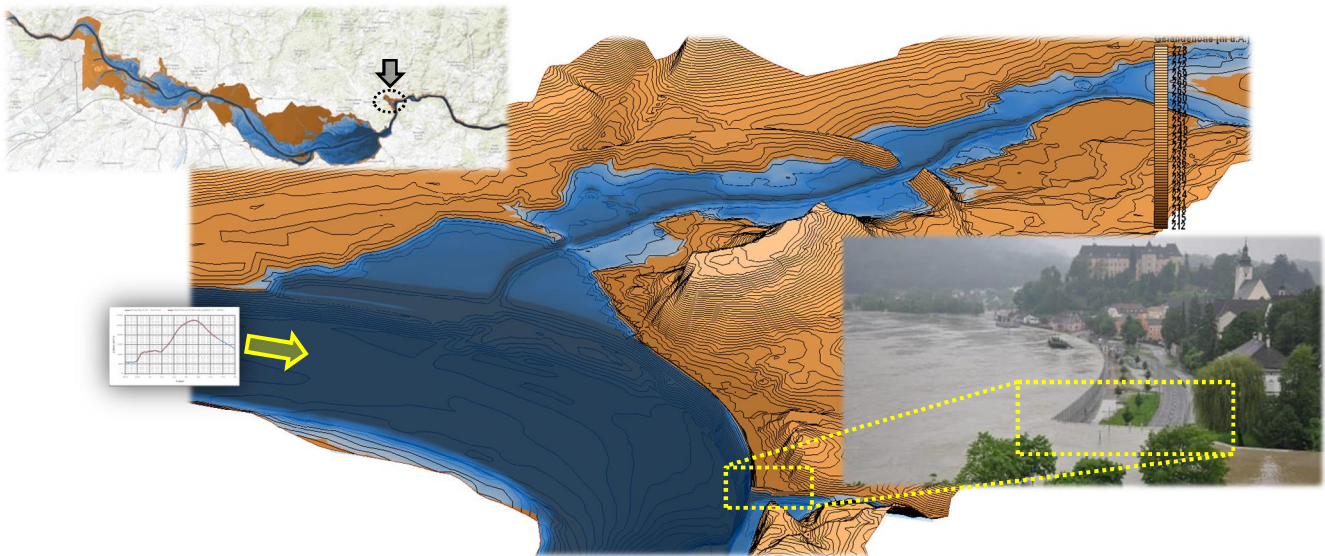


Hochwasser 2013

Numerische Modellierung zur Erstellung von vertiefenden Grundlagen für HW-Management, Alarmplanung und Hochwasserschutz

Endbericht

Version -04₀₀₁ – 22.04.2016



im Auftrag von:

Amt der
Oö. Landesregierung



Linz/Wien, im April 2016

PÖYRY Energy GmbH

Kontakt

DI Georg Puchner
Laaer-Berg-Straße 43
A-1100 Wien
Austria
Tel. +43 (0)1 53 605 - 0
Fax +43 (0)1 53 605-165

DI Günther Reichel
Freistädterstraße 3
A-4040 Linz
Austria
Tel. +43 (0)732 713120 - 20
Fax +43 (0) 732 713120 - 4

PÖYRY Energy GmbH

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	<i>Ausgangssituation und Zielsetzung</i>	6
1.2	<i>Überblick über die durchgeführten Arbeiten</i>	7
1.3	<i>Anmerkungen zur Chronologie des Projektes</i>	8
1.4	<i>Gliederung des vorliegenden Berichtes</i>	9
2	Grundlagen zur Bearbeitung von Phase II und III	11
2.1	<i>Zentrale Ziele, Grundlagen und Erkenntnisse aus Phase I</i>	11
2.1.1	Ziele und Schwerpunkte in Phase I	11
2.1.2	Numerische Modellierung in Phase I	12
2.1.3	Zentrale Ergebnisse aus Phase I.....	15
2.1.3.1	Abgestimmter hydrologischer Längenschnitt der Donau.....	15
2.1.3.2	Durchflussganglinien.....	18
2.1.3.3	Weitere wichtige Ergebnisse und Erkenntnisse in Hinblick auf Phase II und III.....	20
2.2	<i>Parallel durchgeführte, inhaltlich verwandte Projekte</i>	23
2.3	<i>2D-Modelle – Ausgangsmodelle und Modellvarianten</i>	24
2.3.1	Überblick	24
2.3.2	Abbildung der Abflüsse in das Vorland	27
2.3.3	Datengrundlage: Laserscan und Stromgrunddaten der Ausgangsmodelle	28
2.3.4	Netzstruktur - Netzelemente.....	29
2.3.5	Abbildung des Betriebs der Kraftwerke an der Donau.....	31
2.4	<i>Abbildung des KW-Betriebes mit Donau2D</i>	32
2.4.1	Überblick	32
2.4.2	Generelle Aspekte von Donau2D	32
2.4.3	Anpassung von Modellen für die Verwendung von Donau2D	34
2.4.4	Abbildung bzw. Vorgabe von Wehrbetriebsordnungen.....	34
2.4.5	Das Regelkonzept.....	35
2.5	<i>Hydrologische Daten</i>	36
2.5.1	Durchflüsse für die Kalibrierung bzw. Nachrechnung/Modellierung des HW2013	37
2.5.1.1	Eferdinger Becken (M31-2)	37
2.5.1.2	Donau unterhalb von Linz (M31-3)	44
2.5.1.3	Oberes Donautal (M31-1).....	47
2.5.2	Berechnungen HQ ₃₀ , HQ ₁₀₀ und HQ ₃₀₀	47
2.5.2.1	Eferdinger Becken.....	47
2.5.2.2	St. Georgener Bucht / Enns-Enghagen	48
2.5.2.3	Strudengau	48
2.5.3	HQ _{EXTREM}	48
2.5.4	Berechnungen von Lamellen	51
2.5.4.1	Eferdinger Becken.....	51
2.5.4.2	St. Georgener Bucht / Enns-Enghagen	52
2.5.5	Oberwasserstände an den geregelten Kraftwerken	54
2.5.5.1	Beobachtete OW-Stände für die Nachrechnung bzw. Kalibrierung des HW2013	54
2.5.5.2	W/Q-Beziehungen der OW-Stände für die Simulation instationärer Szenarien.....	57
3	Berechnungen für das Eferdinger Becken (Modell M31-2)	62
3.1	<i>Überblick</i>	62
3.2	<i>Modellverbesserung, Kalibrierung und Nachrechnung HW2013</i>	64
3.2.1	Datengrundlage für die Kalibrierung.....	64

3.2.2	Anpassungen am Modell.....	65
3.2.2.1	Festlegung der Randbedingungen: Zuflüsse, KW Ottensheim-Wilhering und unterer Modellrand.....	65
3.2.2.2	Aktualisierung der Höhenkoten und Erweiterung des Modellbereichs.....	67
3.2.2.3	Ergänzung von zusätzlichen Pegelpunkten zur Überprüfung von Simulationen.....	71
3.2.2.4	Kalibrierung – Änderung der Reibungsbeiwerte.....	72
3.2.3	Ergebnisse der Nachrechnung des HW2013.....	74
3.2.3.1	Zeitreihen.....	74
3.2.3.2	Längenschnitte für Messpunkte an den Ufern der Donau.....	79
3.2.3.3	Räumliche Auswertungen.....	79
3.2.4	Weitere Erkenntnisse aus der Nachrechnung des HW2013.....	81
3.3	<i>Berechnungen für HQ₃₀, HQ₁₀₀ und HQ₃₀₀.....</i>	<i>86</i>
3.4	<i>Berechnungen von Lamellen für das Hochwasser-Management.....</i>	<i>90</i>
3.5	<i>Berechnungen von vormaligen HQ₁₀₀-Abflussbereichen.....</i>	<i>92</i>
4	Berechnungen für die Donau unterhalb von Linz (Modell M31-3)	94
4.1	<i>Vorbemerkungen und Überblick.....</i>	<i>94</i>
4.1.1	Überblick der durchgeführten Arbeiten.....	94
4.2	<i>Modellverbesserung, Kalibrierung und Nachrechnung HW2013.....</i>	<i>96</i>
4.2.1	Datengrundlage für die Kalibrierung.....	96
4.2.2	Anpassungen am Modell.....	96
4.2.2.1	Festlegung der Randbedingungen: Zuflüsse, Kraftwerke und unterer Modellrand.....	96
4.2.2.2	Aktualisierung der Höhenkoten und lokale Netzverbesserungen.....	97
4.2.2.3	Maßgebliche Netzverbesserungen.....	102
4.2.2.4	Erweiterung des Modellbereichs.....	108
4.2.2.5	Veränderungen von Sohl- und Geländehöhen.....	110
4.2.2.6	Kalibrierung – Änderung der Reibungsbeiwerte.....	113
4.2.3	Ergebnisse der Nachrechnung des HW2013.....	116
4.2.3.1	Zeitreihen.....	116
4.2.3.2	Längenschnitte für Messpunkte an den Ufern der Donau.....	120
4.2.3.3	Räumliche Auswertungen.....	122
4.2.4	Weitere Erkenntnisse aus der Nachrechnung des HW2013.....	126
4.3	<i>Berechnungen für HQ₃₀, HQ₁₀₀ und HQ₃₀₀.....</i>	<i>130</i>
4.4	<i>Berechnungen von Lamellen für das Hochwasser-Management.....</i>	<i>133</i>
4.5	<i>Berechnungen von vormaligen HQ₁₀₀-Abflussbereichen.....</i>	<i>134</i>
5	Berechnungen für das Obere Donautal (Modell M31-1)	137
5.1	<i>Überblick.....</i>	<i>137</i>
5.2	<i>Modellverbesserung, Kalibrierung und Nachrechnung HW2013.....</i>	<i>138</i>
5.2.1	Datengrundlage für die Kalibrierung.....	138
5.2.2	Anpassungen am Modell.....	139
5.2.2.1	Festlegung der Randbedingungen: Zuflüsse, Kraftwerke und unterer Modellrand.....	139
5.2.2.2	Aktualisierung der Höhenkoten und lokale Netzverbesserungen.....	139
5.2.2.3	Kalibrierung – Änderung der Reibungsbeiwerte.....	143
5.2.3	Ergebnisse der Nachrechnung des HW2013.....	144
5.2.3.1	Zeitreihen.....	144
5.2.3.2	Längenschnitte für Messpunkte an den Ufern der Donau.....	146
5.2.4	Weitere Erkenntnisse aus der Nachrechnung des HW2013.....	147

6	Berechnungen für HQ _{EXTREM} für die öö. Donau	148
6.1	Vorbemerkungen und Ausgangssituation	148
6.2	Hydrologische Festlegungen.....	148
6.3	Modelltechnische Anpassungen.....	152
6.4	Berechnungen und Ergebnisse.....	153
6.5	Zusammenschau und abschließende Bemerkungen	160
7	Verlandungsszenarien – Auswirkungen auf das Eferdinger Becken	161
7.1	Vorbemerkungen und Untersuchungsszenarien	161
7.2	Hydrologische Festlegungen.....	163
7.3	Modelltechnische Anpassungen und Umsetzung der WBO.....	163
7.3.1	Sohllagen und Modellgeometrie.....	163
7.3.2	Berücksichtigung der behördlichen Vorgaben.....	163
7.4	Berechnungen und Ergebnisse.....	164
7.4.1	Verlandungsszenarien Stauraum Aschach (1D)	164
7.4.2	Verlandungsszenarien Stauraum Ottensheim-Wilhering und Eferdinger Becken (2D).....	166
7.5	Zusammenschau	171
8	Zusammenfassung	172
8.1	Beauftragung und Eckpunkte zum Projekt	172
8.2	Arbeitsschwerpunkte von Phase II und III des Projektes.....	172

Anhang

Anhang A Überarbeitete und aktualisierte 2D-Modelle

A.1 Teilmodell M31-1 (Oberes Donautal):	Geländehöhen
A.2 Teilmodell M31-1 (Oberes Donautal):	Reibungsbeiwerte nach Strickler
A.3 Teilmodell M31-2 (Eferdinger Becken):	Geländehöhen
A.4 Teilmodell M31-2 (Eferdinger Becken):	Reibungsbeiwerte nach Strickler
A.5 Teilmodell M31-3 (Wilhering-Landesgrenze):	Geländehöhen
A.6 Teilmodell M31-3 (Wilhering-Landesgrenze):	Reibungsbeiwerte nach Strickler

Anhang B Eferdinger Becken: Differenzen zwischen beobachteten und berechneten Maximal-Wasserständen im Vorland (Kalibrierung/Nachrechnung HW2013)

Anhang C Überflutungsflächen bei HQ₃₀, HQ₁₀₀ und HQ₃₀₀

C.1 Eferdinger Becken mit Hintergrundkarte
C.2 Eferdinger Becken mit Luftbild
C.3 St. Georgener Bucht / Enns-Enghagen mit Hintergrundkarte
C.4 St. Georgener Bucht / Enns-Enghagen mit Luftbild
C.5 Strudengau mit Hintergrundkarte
C.6 Strudengau mit Luftbild

Anhang D Ergebnisse HQ_{EXTREM}

D.1 Wassertiefen

D.2 Zusätzlich betroffene Bereiche im Vergleich zum HW2013

D.3 Differenz der Wassertiefe im Vergleich zum HW2013

Anhang E Ergebnisse Verlandungsszenarien Stauraum Ottensheim-Wilhering

E.1 Differenz der Wassertiefe und zusätzlich betroffene Bereiche

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Unmittelbar nach dem Hochwasser vom Juni 2013 (im Nachfolgenden mit „06/2013“ bzw. „HW2013“ bezeichnet) wurde PÖRY Energy GmbH vom Amt der NÖ Landesregierung und vom Amt der Oö. Landesregierung mit einer *hydrologischen Analyse des Hochwassers an der Donau vom Juni 2013* beauftragt¹.

Wenngleich die beiden Beauftragungen formal unabhängig zu sehen sind, ergab sich sowohl inhaltlich als auch von der Zielsetzung her eine so enge Überschneidung (vgl. Abb. 1.1), dass ein Teil der Arbeiten in einem gemeinsamen Bericht dokumentiert worden ist.

Der nun vorliegende Bericht bezieht sich auf Arbeiten, welche nur dem Auftrag des Amtes der Oö. Landesregierung zuzuordnen sind. Bezogen auf den Auftrag vom 30.07.2013 sind die Arbeiten als Phase II und III des Projektes deklariert und sie umfassen „Vertiefende Fragen, Modellerweiterung – Erweiterung des 2D-Modells“ (Phase II) sowie „Vertiefende Fragen, Modellerweiterung – Berechnungen und Bericht“ (Phase III).

Neben den Arbeiten zu Phase II und Phase III wurden vom Amt der Oö. Landesregierung ergänzende Modellrechnungen beauftragt², welche mit den Arbeiten zu Phase II und III teilweise Überschneidungen aufweisen. Im Sinne einer bestmöglichen Übersicht und Zusammenschau werden daher auch diese Arbeiten im vorliegenden Bericht beschrieben.

Zum Bericht zu Phase I³ sei festgehalten, dass dieser Bericht auch schon Aspekte zu Phase II dokumentiert. Soweit diese Aspekte zum Verständnis der Arbeiten für Phase II und III maßgeblich sind, werden sie im vorliegenden Bericht zusammenfassend wiederholt.

Abb. 1.1 Phasen der Aufträge - Überschneidungen zwischen Land NÖ und Land OÖ



¹ Land NÖ: Auftrag WA2-A-277/016-2013 vom 05.07.2013 mit Erweiterung vom 16.01.2014
Land OÖ: Auftrag OGW-800000/186-2013/Wef/Wd vom 30.07.2013

² Auftrag OGW-090000/41-2014-Dip (Modellerweiterung Hirschenau, vormalige HQ100-Bereiche und Sensitivitätsanalyse Lamellen im Eferdinger Becken inkl. Auswahlkatalog) vom 19.11.2014

³ Hochwasser 2013: Grob-Analyse und Modellierung. Endbericht. PÖRY Energy GmbH, 2014. Im Auftrag des Amtes der Oö. Landesregierung und des Amtes der NÖ Landesregierung.

1.2 Überblick über die durchgeführten Arbeiten

Wie einleitend erwähnt, werden im vorliegenden Bericht die 2D-Modellierungen von Phase II und III sowie von parallel laufenden, inhaltlich verwandten Projekten bzw. Aufträgen beschrieben.

Die Arbeiten lassen sich nach folgenden Blickwinkeln ordnen:

Thematisch

- Aktualisierung der Modellgeometrie für ganz OÖ
- Nachrechnung des HW2013 inkl. Animation für ganz OÖ
- Numerische Berechnung der Wasseranschlagslinie für HQ₃₀, HQ₁₀₀, HQ₃₀₀
- Berechnung eines Extremszenariums und Darstellung für ganz OÖ
- Verlandungsszenarien für die Stauräume Aschach und Ottensheim-Wilhering
- Berechnung von Lamellen mit $dQ = 500 \text{ m}^3/\text{s}$ für das Eferdinger Becken und den Bereich St. Georgener Bucht / Enns-Enghagen
- Sensitivitätsbetrachtungen zu den Lamellenberechnungen für das Eferdinger Becken⁴
- Berechnung vormaliger HQ₁₀₀-Abflussbereiche (d.h. ohne HWS-Anlagen) für die Bereiche Ottensheim, Höflein, Alt-Urfahr West, Steyregg und Steyregg Ost

Regional

- Oberes Donautal
- Eferdinger Becken
- Donau unterhalb von Linz

Zur thematischen Ordnung der Arbeiten sei festgehalten, dass nicht alle Arbeiten für alle Teilabschnitte (regionale Ordnung) durchzuführen waren. Einen Überblick, über die Arbeiten, welche Phase II und III zuzuordnen sind, gibt Tab. 1.1. Zu allen Arbeiten, welche nicht direkt Phase II und III zuzuordnen sind, wird der entsprechende Kontext jeweils bei der Beschreibung der Arbeiten erläutert (z.B. Tab. 1.1).

⁴ Diese Sensitivitätsanalysen behandelten den Einfluss der Wellenform auf das sich ergebende Überflutungsbild und bildeten die Grundlage für die Erstellung eines Auswahlkatalogs zur Festlegung der jeweils zu verwendenden Überflutungslamelle. Entsprechend der Vorgaben durch den Auftraggeber wurde dieser Auswahlkatalog in einer eigenen Anleitung erläutert und dokumentiert (Eferdinger Becken – Katalog Lamellenauswahl, PÖRY 2014). Die durchgeführten Sensitivitätsanalysen sind darin überblicksmäßig angeführt und wurden zusätzlich in einem eigenständigen Bericht detailliert erläutert (Hochwasser-Lamellenprognose für das Eferdinger Becken - Wellenform-Analyse zur Festlegung der Lamellenauswahl, PÖRY 2015). Die Übergabe der Anleitung erfolgte am 19.12.2014 und der Bericht folgte am 16.11.2015. Demzufolge sind diese Sensitivitätsanalysen im vorliegenden Bericht nicht nochmals angeführt.

Tab. 1.1 Arbeiten und Inhalte, welche Phase II und III zuzuordnen sind

Abschnitt // Tätigkeit >>	Modelloptimierung				HW2013		Überflutungsflächen			Lamellen	HOEXTREM	Klassifizierte v- und d-Shapes		Verlandungs-szenarien	vormalige HQ100-Bereiche
	ASL	Sohle	Kalibrierung	spezifische Anpassungen	Überflutungs-flächen	Animation	HQ30	HQ100	HQ300			HQ30/HQ100/HQ300	Lamellen		
Oberes Donautal	x	x	x		x	x	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	x	entfällt	entfällt	x (nur KW Aschach)	
Eferdinger Becken	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	entfällt	x	x
Wilhering bis Mauthausen	x	x	x	x	x	x	x (St.Georgener Bucht / Enns)	x (St.Georgener Bucht / Enns)	x (St.Georgener Bucht / Enns)	x (St.Georgener Bucht / Enns)	x	x (St.Georgener Bucht / Enns)	entfällt		x
Machland	x	x		x		x					entfällt	x	entfällt		
Strudengau	x	x	x	x	x	x	x	x	x	entfällt	x	x	entfällt		

Weiß hinterlegte Felder kennzeichnen Arbeiten, die für einen bestimmten Abschnitt nicht zu erbringen waren. Mit „entfällt“ sind Inhalte angesprochen, welche im Rahmen der Bearbeitung diskutiert wurden, deren Beauftragung aber in der Folge vom Auftraggeber verworfen wurde. Diese Inhalte dienen in der Liste nur der Vervollständigung des Überblickes.

1.3 Anmerkungen zur Chronologie des Projektes

Im Vergleich zu dem Zeitplan, der dem Angebot zu Grunde gelegt worden war, ergaben sich in der Abwicklung und der Fertigstellung des Projektes nennenswerte Verschiebungen:

Während im Angebot von einem Abschluss aller Arbeiten bis 12/2013 ausgegangen worden war, wurde bereits bei der Bearbeitung von Phase I („Ereignisanalyse und Modellüberprüfung“) erkannt, dass die Bearbeitung tiefer gehen soll, als man ursprünglich gedacht hatte und dass sich daraus auch zeitlich eine viel längere Bearbeitungszeit ergeben würde. Aus diesem Grund wird auch im Endbericht zu Phase I, welche die gemeinsam von Land OÖ und Land NÖ beauftragte Leistungen umfasst, folgendes festgehalten:

Im Sinne des angestrebten zeitnahen Abschlusses der Grob-Analyse wurde davon ausgegangen, dass zu all jenen Punkten und Fragen, zu welchen eine Lösung in der Zeit von 10 Wochen nicht gegeben werden kann, dargestellt wird, wie und mit welchem Aufwand eine Klärung erreicht werden kann (z.B. detaillierte hydrodynamische Analysen), respektive wann/wie eine Klärung im Rahmen regelmäßiger hydrografischer Tätigkeiten erfolgt (z.B. Bilanzierung der Umlagerungen an der Sohle im Rahmen der regelmäßigen Stromgrundaufnahmen durch via donau und VHP).

Diesen Überlegungen entsprechend war auch im Angebot für das Land OÖ für Phase I eine Umsetzung bis September 2013 vorgesehen gewesen.

Demgegenüber haben sich im Rahmen der Bearbeitung mehrere Verschiebungen ergeben:

- (1) *Nach den ersten Analysen und Berechnungen haben sich relativ rasch und wiederholt wichtige Fragen und zum Teil auch größere Unsicherheiten in den Datengrundlagen ergeben.
 Im Sinne der gesuchten Antworten wurde daher mehrmals beschlossen, die Projektlaufzeit zu verlängern um die Bearbeitungstiefe erhöhen zu können: Insbesondere auch in Hinblick auf die große wasserwirtschaftliche Bedeutung und die z.T. hohe politische Relevanz der Analysen schien es geboten, die erkannten Fragen und Widersprüche zu verfolgen und bereits im Rahmen der ersten Analyse („Grobanalyse“) bestmöglich aufzulösen.*
- (2) *Durch die Überschneidung der Aufträge von Land NÖ und Land OÖ und durch eine Beteiligung von via donau⁵ gab es auch budgetär die Möglichkeit, bei der Analyse des Ereignisses weiter zu gehen, als es ursprünglich vorgesehen war.*

⁵ Auftragschreiben/Schlussbrief vom 18.12.2013

- (3) *Die Abstimmungen und Überprüfungen von Daten, Zwischenergebnissen und Überlegungen haben sich wesentlich aufwendiger dargestellt, als es ursprünglich erwartet worden war, wobei festgehalten sei, dass diese Abstimmungen und Überprüfungen in Hinblick auf die oben erwähnte Bedeutung der Arbeiten absolut wichtig und zielführend waren.*
- (4) *Durch die parallel laufenden Arbeiten von hydrologischen Diensten, VHP und div. Zivilingenieuren haben sich wiederholt neue Daten, Erkenntnisse und Ausgangssituationen ergeben, die auch in das gegenständliche Projekt eingeflossen sind.*

Aus diesen Gründen konnten die abgestimmten, vorläufig endgültigen hydrologischen Daten zum Hochwasser 06/2013 von via donau erst im Februar 2014 publiziert werden und die endgültige Version des Berichtes zu Phase I wurde erst im Juni 2014 in abprobierter Form abgeschlossen.

Bei der Bearbeitung von Phase II und III haben sich diese Verschiebungen fortgesetzt und - aufgrund der viel tiefer gehenden Detailfragen – zum Teil noch verstärkt (vgl. auch Pkt. 2.1.1). Die Bearbeitung von Phase II und III war demnach charakterisiert von ergänzenden Fragestellungen, sowie von der Anforderung wiederholt aktuell erfasste Daten, Erkenntnisse und/oder Fragestellungen zu integrieren. Nicht zuletzt waren wiederholt auch Themen, welche sich durch die öffentliche Diskussion des Ereignisses von 06/2013 ergaben, einzubeziehen und neu aufgetauchte Fragestellungen zu beantworten.

Zusammenfassend sei festgehalten, dass sich bei der Bearbeitung des Projektes zwar nennenswerte zeitliche Verschiebungen ergeben haben, dass die Bearbeitungstiefe und der Umfang der Arbeiten aber weit über das hinausgeht, was im ursprünglichen Angebot von PÖYRY vom 15.07.2013 angeboten war.

1.4 Gliederung des vorliegenden Berichtes

Der vorliegende Bericht dokumentiert alle Arbeiten aus Phase II und III mit und an den 2D-Modellen für die öö. Donau. Im Sinne der leichteren Lesbarkeit und des projektübergreifenden Verständnisses werden zum Teil auch Inhalte integriert, die aus formaler Sicht nicht Teil der gegenständlichen Beauftragung waren, sondern sich aus parallelen, inhaltlich verwandten Projekten ergeben haben.

Nachdem die Arbeiten aus Phase I zum Teil für das Gesamtverständnis für Phase II und III wichtig sind, werden wichtige Grundlagen und Erkenntnisse aus Phase I zusammenfassend dargestellt. Dazu sind einzelne Textpassagen zum Teil auch direkt und wörtlich von dem Bericht zu Phase I übernommen.

Der vorliegende Bericht gliedert sich in folgende weitere Abschnitte:

- § Grundlagen zur Bearbeitung von Phase II und III
- § Berechnungen für das Eferdinger Becken
- § Berechnungen für die Donau unterhalb von Linz
- § Berechnungen für das Obere Donautal
- § Berechnungen für „HQ_{EXTREM}“ für die gesamte öö. Donau
- § Verlandungsszenarien und Auswirkungen auf das Eferdinger Becken
- § Zusammenfassung

2 Grundlagen zur Bearbeitung von Phase II und III

2.1 Zentrale Ziele, Grundlagen und Erkenntnisse aus Phase I

2.1.1 Ziele und Schwerpunkte in Phase I

Die zentrale Aufgabe für Phase I lag in der Analyse und Rekonstruktion des Hochwasserereignisses von 06/2013 an der Donau, wobei diese Analyse sich auf die gesamte österreichische Donau bezog. Letzteres ergab sich durch die gemeinsame Bearbeitung der Aufträge von Land OÖ und Land NÖ.

Dabei war bereits in den jeweiligen Aufträgen definiert, dass es nicht um getrennte, lokale Analysen geht, sondern um das zentrale Ziel der Schaffung eines kohärenten Gesamtbildes für die ganze Donau zwischen Passau und Bratislava. Zu diesem Gesamtbild war gefordert, dass auch die Arbeiten und Erkenntnisse aus den ober- und unterliegenden Anrainerstaaten einzubeziehen waren.

Aus den Auftragsschreiben zu den Projekten ergaben sich für Phase I folgende Arbeitspakete:

Land OÖ und Land NÖ

- § Zusammenstellung der vorliegenden Daten (Rohdaten und aufbereitete Daten)
- § Modellrechnungen mit dem instationären 1D-Modell der Donau
- § Diskussion und Abstimmung der Daten und Zwischenergebnisse
- § Bericht und Datenträger

Land NÖ

- § Beantwortung von Fragen laut Fragenkatalog

Land OÖ

- § Überprüfung der verfügbaren 2D-Modelle

Wie bereits unter Pkt. 1.3 ausgeführt wurde, war für Phase I ursprünglich ein sehr zeitnaher Abschluss, nämlich bis etwa 10/2013 vorgesehen. Bei Beginn von Phase I wurde davon ausgegangen, dass zu all jenen Punkten und Fragen, zu welchen eine Lösung in dieser Zeit nicht gegeben werden kann, dargestellt wird, wie und mit welchem Aufwand eine Klärung erreicht werden kann (z.B. detaillierte hydrodynamische Analysen), respektive wann/wie eine Klärung im Rahmen regelmäßiger hydrografischer Tätigkeiten erfolgt (z.B. Bilanzierung der Umlagerungen an der Sohle im Rahmen der regelmäßigen Stromgrundaufnahmen durch via donau und VHP).

Demgegenüber haben sich im Rahmen der Bearbeitung durch die unter Pkt. 1.3 aus dem Bericht zu Phase I zitierten Gründen mehrere Verschiebungen ergeben und die Analysen und Berechnungen gehen in vielen Punkten deutlich über die ursprünglich angestrebte Bearbeitungstiefe hinaus. Zum einen wurden einzelne Themen - z.B. Fragen von der Frageliste, welcher Teil der Beauftragung vom Land NÖ war - umfassender behandelt, als

es bei der Auftragserteilung vorgesehen war. Zum anderen wurden zusätzliche Analysen durchgeführt, um Erkenntnisse abzusichern – oder auch, um diese überhaupt gewinnen zu können.

Dem ursprünglichen Ziel, möglichst rasch Ergebnisse und Antworten zu haben, wurde im Rahmen des Projektes dadurch Rechnung getragen, dass in mehreren Veranstaltungen Zwischenergebnisse präsentiert wurden. Exemplarisch erwähnt seien zu Phase I die Präsentationen in Niederösterreich am 07.10.2013 und 20.12.2013 (St. Pölten) sowie die Unterstützung von Pressekonferenzen in Oberösterreich am 06.09.2013 und 25.02.2014 (Linz). Zusätzlich wurden Teilergebnisse in vielen Kurzberichten und Memos zusammengefasst und dienten als Zwischeninformation für die Auftraggeber sowie als Unterlagen für unterschiedlichste Besprechungen und Informationsveranstaltungen.

2.1.2 Numerische Modellierung in Phase I

Für die nachfolgende Zusammenfassung der numerischen Modellierung, die in Phase I eingesetzt wurde, ist auch zu unterscheiden, inwieweit die einzelnen Arbeitsschritte eine Relevanz für Phase II und III haben. Dies ergibt sich daraus, als in Phase I sowohl für das Land OÖ als auch für das Land NÖ auch ausgewählte Themen zu behandeln waren, die in Phase II und III nicht weiter zu vertiefen waren.

In Hinblick auf die Arbeiten in Phase II und III sind folgende methodische Schwerpunkte herauszustreichen:

- § Hydrodynamische Modellierung – 1D
- § Hydrodynamische Modellierung – 2D

ad Hydrodynamische Modellierung- 1D

Für die hydrodynamische 1D-Modellierung wurde jenes 1D-Modell verwendet, das von Land OÖ und Land NÖ auch für die Hochwasserprognose an der Donau verwendet wird.

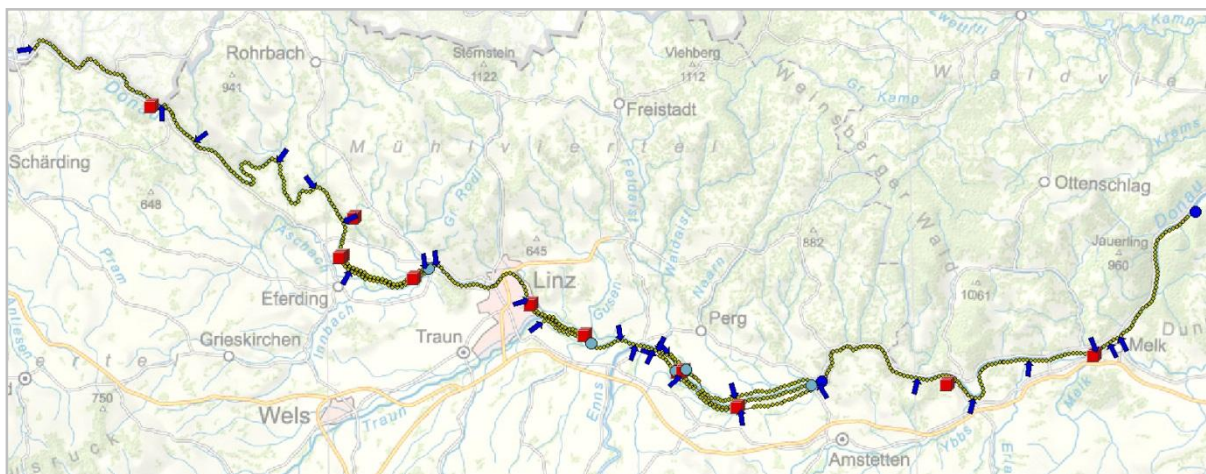
Dieses Modell wurde in den letzten 10-15 Jahren entwickelt und regelmäßig verbessert und liegt aktuell in der Version 10.0 vor. In Hinblick auf spezifische Anforderungen für die Prognose⁶ ist das Modell in 3 Teilmodelle (TM) unterteilt:

- § TM1 deckt den Abschnitt etwa vom Donaukraftwerk Kachlet (Bayern, Donau km 2234.00 d.h. etwa 5 km oberhalb von Passau) bis zum KW Jochenstein (km 2203.36) ab. Es dient im Prognosefall für die Berechnung der Werte für den Pegel Achleiten (km 2223.07).
- § TM2 reicht vom Pegel Achleiten (km 2223.07) bis zum Pegel Kienstock (km 2015.21).
- § TM3 reicht vom Pegel Kienstock bis zum Pegel Wolfsthal (km 1874.84) und umfasst neben der Donau auch ein vollständiges Modell der March bis zum Pegel Hohenau (Modellbeginn der March bei March-km 67.000).

⁶ Einbindung von Messwerten bei den Pegeln Achleiten und Kienstock

Im Rahmen von Phase I wurde das Modell eingesetzt, um mit einer ganzheitlichen, die gesamte österreichische Donau umfassenden Simulation das geforderte kohärente Bild zu entwickeln bzw. um zu prüfen, wie weit sich Detailüberlegungen und Detailanalysen (z.B.: auch mit dem 2D-Modell) in das Gesamtbild einfügen.

Abb. 2.1 Hydrodynamisches Modell der Donau – TM2: Pg Achleiten – Pg Kienstock



ad Hydrodynamische Modellierung- 2D

Der Schwerpunkt der 2D-Simulationen lag in der Analyse und Modellierung der Retentionsbereiche und des Retentionsverhaltens.

Die 2D-Modellierung diente in diesem Zusammenhang der Überprüfung und Ergänzung der 1D-Berechnungen, wobei dazu a priori bekannt war, dass das Retentionsverhalten in den großen Retentionsräumen im 2D-Modell besser abgebildet wird als im existierenden 1D-Modell⁷.

Für die 2D-Berechnungen waren drei Schwerpunkte zu unterscheiden:

- § Eferdinger Becken
- § Machland
- § Tullnerfeld

Für das Eferdinger Becken wurde in Phase I das Modell von SCIETEC/DonauConsult verwendet, für die beiden anderen Abschnitte die Modelle von riocom (damalige Bezeichnung „M31 ab Linz“ und „M34-2“).

In Hinblick auf deren Bedeutung für Phase II und III sind die Eckpunkte zu den 2D-Modellen - d.h. zu den Ausgangsmodellen – unter Pkt. 2.3 beschrieben. Die an den

⁷ Dies ergibt sich u.a. daraus, dass das 1D-Modell für einen operativen Betrieb ausgelegt ist, bei welchem die Prognose für die zentrale Pegel an der Donau im Vordergrund steht. In Hinblick auf eine Optimierung (=Minimierung) der Rechenzeit und Maximierung der Stabilität sind im 1D-Modell in den Vorländern daher sogenannte Preissman-Schlitze angeordnet. Durch diese ist es auch bei Verhältnissen, in welchen die Vorländer nicht überflutet und daher noch trocken sind, möglich, die Berechnungen mit dem Preissmann-Schema durchzuführen. Umgekehrt führen diese Preissmann-Schlitze dazu, dass im 1D-Modell die Retention in jenen Bereichen, in welchen Vorländer als getrennte Äste abgebildet sind, tendenziell leicht unterschätzt wird.

Modellen im Rahmen von Phase II und III durchgeführten Änderungen sind unter Pkt. 3.2.2 (Eferdinger Becken), Pkt. 4.2.2 (Linzer Feld, Machland, Strudengau) und Pkt. 5.2.2 (Oberes Donautal) beschrieben.

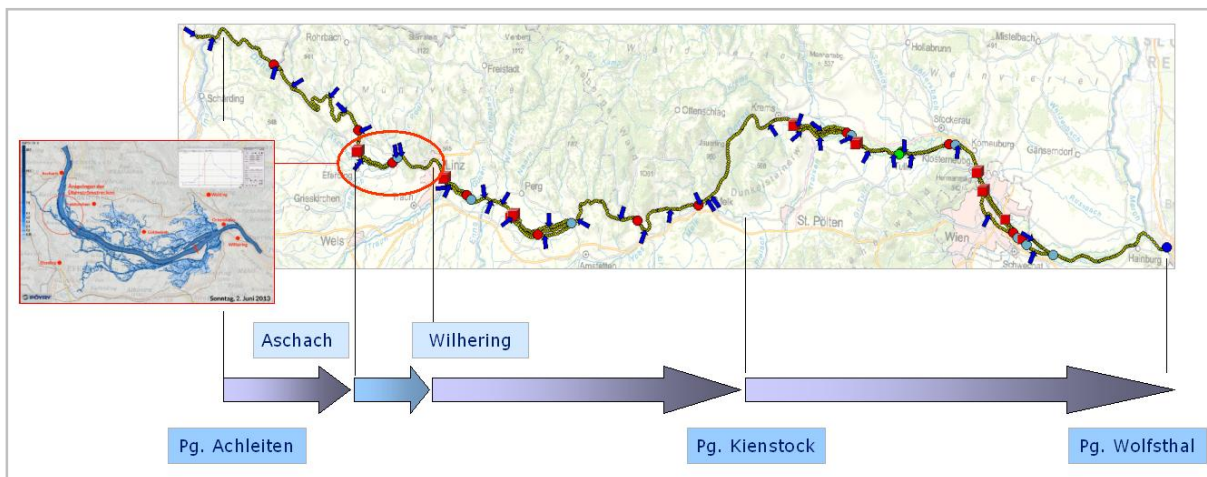
Kombination von 1D-Teilmodellen oder von 1D- und 2D-Modellen

Bei allen Betrachtungen für die gesamte Donau wurden die Berechnungen jeweils mit den 1D-Teilmodellen so durchgeführt, wie die Modelle aktuell verfügbar waren. Nachdem TM1 nur den Bereich Passau bis Achleiten abdeckt, wurde TM1 nicht eingesetzt. Alle Analysen wurden mit TM2 und TM3 durchgeführt, wobei zur Verbindung von TM2 und TM3 jeweils die Durchflussganglinie, die mit TM2 für den Pegel Kienstock errechnet wurde, als Input für TM3 angesetzt wurde.

Für Phase II und III ist von besonderer Bedeutung, dass das kohärente Gesamtbild, das sich primär als hydrologischer Längenschnitt für die gesamte Donau darstellt, nicht nur aus den hydrodynamischen 1D-Berechnungen ergibt, sondern dass die Berechnungen im Eferdinger Becken mit dem 2D-Modell erfolgten:

Bei diesen Berechnungen wurde der Abschnitt vom Pegel Achleiten bis zum UW des KW Aschach mit dem 1D-Modell gerechnet, der Abschnitt vom UW des KW Aschach bis zu km 2141.00 (d.h. bis ca. 3.5 km unterhalb des Pegel Wilhering) mit dem 2D-Modell und dann der Abschnitt von km 2144.00 bis Kienstock sowie von Kienstock bis Wolfsthal mit dem 1D-Modell gerechnet. An den Modellschnittstellen wurde jeweils die errechnete Durchflussganglinie als Input für das nächstfolgende Modell verwendet (Abb. 2.2).

Abb. 2.2 Abschnitte und Schnittstellen bei der Kombination von 1D- und 2D-Berechnungen



Die Abbildung zeigt die Koppelung von 1D- und 2D-Berechnungen. In einem ersten Schritt wurden die Fließvorgänge vom Pegel Achleiten (ca. 3 km stromabwärts von Passau) bis zum Kraftwerk Aschach berechnet.

Die für Aschach berechnete Durchflussganglinie wurde als Input für das 2D-Modell des Eferdinger Beckens verwendet. Mit dem 2D-Modell wurde am Pegel Wilhering der im Modell berechnete Durchfluss abgegriffen und als Input für das nachfolgende 1D Modell verwendet. Dieses reicht von Wilhering bis zum Pegel Kienstock.

In der Folge - für Phase II und III aber nicht mehr von Bedeutung - wurde der im 1D-Modell für Kienstock berechnete Durchfluss als Input für das unterste 1D-Modell angesetzt. Dieses 1D-Modell reicht vom Pegel Kienstock bis zum Pegel Wolfsthal.

2.1.3 Zentrale Ergebnisse aus Phase I

2.1.3.1 Abgestimmter hydrologischer Längenschnitt der Donau

Als *das zentrale Ergebnis* zu Phase I ist der abgestimmte hydrologische Längenschnitt zu sehen, welcher die maximalen Durchflüsse an der österreichischen Donau für das Ereignis von 06/2013 beschreibt.

Bei der Festlegung der konsolidierten Maximal-Durchflüsse wurden alle Aspekte berücksichtigt, welche sich aus den durchgeführten Detailanalysen ergaben.

Festzuhalten ist, dass der abgestimmte hydrologische Längenschnitt nicht das direkte bzw. alleinige Ergebnis von numerischen Simulationen ist, sondern dass er sich aus (1) numerischen Simulationen, (2) hydrografischen Messungen und Aufzeichnungen, (3) der Analyse bzw. dem Wissen um unterschiedliche Fehler in Modellen und Daten und insgesamt (4) aus der gemeinsamen Interpretation aller vorliegenden Daten und Berechnungen ergab.

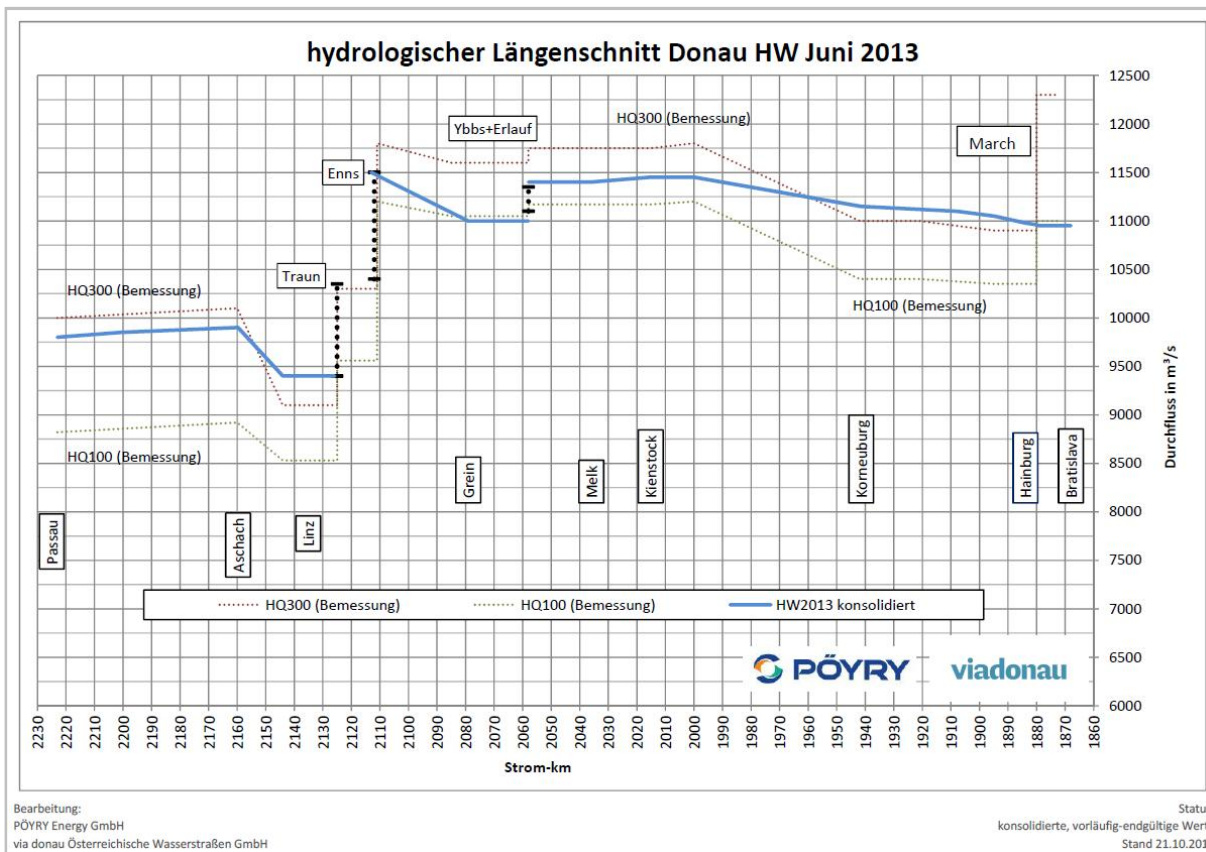
Entsprechend wurde die Festlegung der konsolidierten Maximal-Durchflüsse von *via donau* als hydrografische Behörde für die Donau und PÖRY Energy als Projektbearbeiter durchgeführt⁸.

Von allen Aspekten, welche in die gemeinsame Festlegung eingeflossen sind, seien folgende herausgestrichen:

- § Die konsolidierten Werte ergeben sich weder direkt aus einem einzelnen Rechenlauf, noch direkt aus den gemessenen Durchflüssen.
- § Als maßgeblicher Zufluss für den oberen Modellrand (Grenze Deutschland-Österreich, Pegel Achleiten) wurden die Durchflussdaten von *via donau* angesehen.
- § Für die Zubringer zur Donau wurden alle verfügbaren Daten des HD OÖ und HD NÖ genutzt. Für alle Zubringer und Teileinzugsgebiete, welche nicht durch Messdaten erfasst waren, wurde die Abschätzung der Durchflussganglinien als zielführend angesehen.
- § Bei den Modellrechnungen wurde erkannt, dass das 1D-Modell in der aktuellen Form die Retention tendenziell etwas unterschätzt, während das bestehende 2D-Modell sie etwas überschätzt.
- § Bei den Durchflussmessungen wurden größere Unsicherheiten in Aschach und Linz erkannt, wobei in beiden Fällen die gemessenen Durchflüsse unter den nunmehr als konsolidiert angesehenen Werten liegen.
- § Der abgestimmte hydrologische Längenschnitt ist in Abb. 2.3 dargestellt. Eine Übersicht über die maximalen Durchflüsse an den maßgeblichen Pegeln an der Donau ist in Tab. 2.1 gegeben.

⁸ Die abschließende Abstimmung der Daten erfolgte Ende Jänner 2014. Die Daten wurden in der Folge am 04.02.2014 von *via donau* publiziert.

Abb. 2.3 Konsolidierter hydrologischer Längenschnitt (Maximale Durchflüsse)



Der konsolidierte hydrologische Längenschnitt zeigt die maximalen Durchflüsse für das Hochwasser von 06/2013 für die österreichische Donau, d.h. von Passau bis zur Staatsgrenze bei Bratislava. In blau ist die konsolidierte Durchflusslinie dargestellt. Als Referenz sind die HQ₁₀₀- und HQ₃₀₀-Daten dargestellt, wie sie in dem für die Donau aktuellen Bemessungslängenschnitt der via donau derzeit gegeben sind.

Tab. 2.1 Abgestimmte maximale Durchflüsse an den maßgeblichen Pegeln der Donau

Pegel	km	Q _{MAX} Juni 2013 [m ³ /s] konsolidiert
Achleiten ^{*)}	2223,0	9800
Engelhartzell	2200,7	9850
Aschach-Agentie	2159,7	9900
Wilhering	2144,0	9400
Linz	2135,2	9400
Mauthausen (nach Enns-Mündung)	2113,0	11500
Grein	2079,1	11000
Ybbs	2058,8	11000
Melk	2036,0	11400
Kienstock	2015,2	11450
Stein/Krems	2000,0	11450
Korneuburg	1941,5	11150
Fischamend	1907,9	11100
Wildungsmauer	1894,7	11050
Hainburg	1884,0	10980
Thebnerstraße ^{*)}	1879,3	10950

^{*)} Informationen der Nachbarstaaten sind berücksichtigt, die Werte sind aber noch in den Grenzgewässerkommissionen (GGK) endgültig abzustimmen.

In Hinblick auf die weitere Nutzung der Daten sowie insbesondere auch für einen allfälligen Vergleich mit anderen Auswertungen und Modellrechnungen sind folgende Anmerkungen wichtig:

§ Vom Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) wird im Ereignisbericht zum Hochwasser von 06/2013⁹ der Durchfluss für Passau-Ilzstadt mit 10.000 m³/s angegeben. Die detaillierten unabhängigen Analysen auf österreichischer Seite kamen hier auf die annähernd gleichen Erkenntnisse und liegen durchaus im Bereich der technisch möglichen Genauigkeit (9.800 m³/s Pegel Achleiten, Abweichung nur 2%).

Bei den Auswertungen für Aschach bis Linz liegen die Unsicherheiten geringfügig höher (ca. 4%), da in diesem Bereich auch die größten Abweichungen zwischen den von via donau durchgeführten Durchflussmessungen und den Berechnungen mit den hydrodynamischen Modellen bestehen. Die Unterschiede liegen aber auch hier im Bereich der anerkannten Genauigkeit.

Da diese Differenzen bis zum Zeitpunkt der Berichtserstellung noch nicht eindeutig erklärbar waren, wurden als abgestimmte Werte bewusst jene Durchflüsse gewählt, die aus Sicht der Modellierung im untersten Bereich der Ergebnisse liegen.

Zentraler Hintergrund hierfür ist, dass mit dieser Festlegung die Entscheidung bewusst in Richtung mehr Sicherheit bei der Nutzung der Daten gelegt wurde¹⁰. Für Detailanalysen und die weiterführende Verwendung der Kennwerte muss hier speziell darauf hingewiesen werden.

§ Im Bereich Wien wurden die schon im Juli genannten Werte (z.B. 11.150 m³/s für Korneuburg) durch die Analysen bestätigt.

§ Für den Bereich der March zeigt sich, dass die March zum Hochwasserscheitel praktisch nicht beigetragen hat. Das ergibt sich daraus, dass bis zum Durchflussscheitel der Donau das Wasser von der Donau in die March geströmt ist und dass der „Rückfluss“ von der March erst etwa drei Stunden nach dem Durchflussmaximum der Donau eingesetzt hat. In diesem Abschnitt sind Unsicherheiten im Bereich von 2,5% zu berücksichtigen.

§ Insgesamt zeigte sich, dass die bereits im Juli 2013 genannten Daten in vielen Bereichen bestätigt werden konnten. Durch die Erhebung und Berücksichtigung aller vorhandenen Grundlageninformationen und Untersuchung aller Widersprüche wurden die Nachforschungen immer weiter vertieft und die Richtigkeit der Daten kann nunmehr durch sehr aufwendige Detailanalysen und Recherchen abgesichert werden.

⁹ Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU): Junihochwasser 2013 – Wasserwirtschaftlicher Bericht

¹⁰ Wenn als abgestimmte Werte höhere Durchflüsse gewählt worden wären, hätte das die Sicherheit bzw. die Reserven von Hochwasserschutzanlagen dadurch geändert, dass den aufgetretenen Wasserständen eben höhere Durchflüsse zugeordnet worden wären.

2.1.3.2 Durchflussganglinien

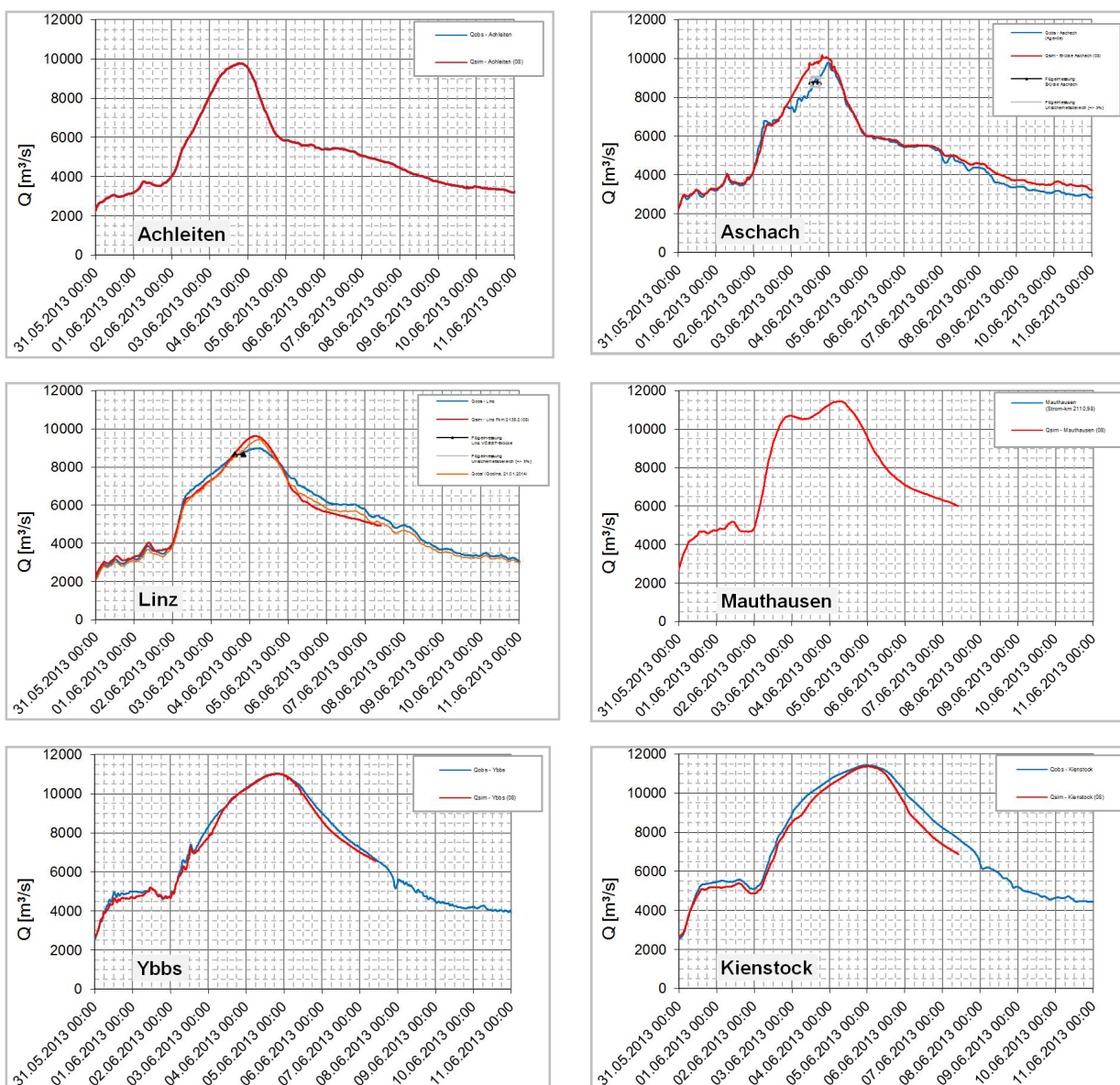
Als vorläufige Durchflussganglinien zur Beschreibung des Ereignisses können die Ergebnisse aus der Simulation 31-32 mit dem 1D-Modell angesehen werden:

Diese Simulation basiert in Achleiten auf den Zuflussdaten der via donau, berücksichtigt als Zuflüsse alle gemessenen Donauzubringer sowie die Schätzungen für die nicht beobachteten Teil-Einzugsgebiete.

In Hinblick auf die Maximalwerte und den Vergleich zwischen beobachteten und berechneten Durchflüssen zeigt diese Simulation die beste Übereinstimmung mit den beobachteten Werten, wobei bei den Pegeln, bei welchen größere Unterschiede zwischen „gemessenen“ und berechneten Durchflüssen bestehen, diese Differenzen erklärbar sind.

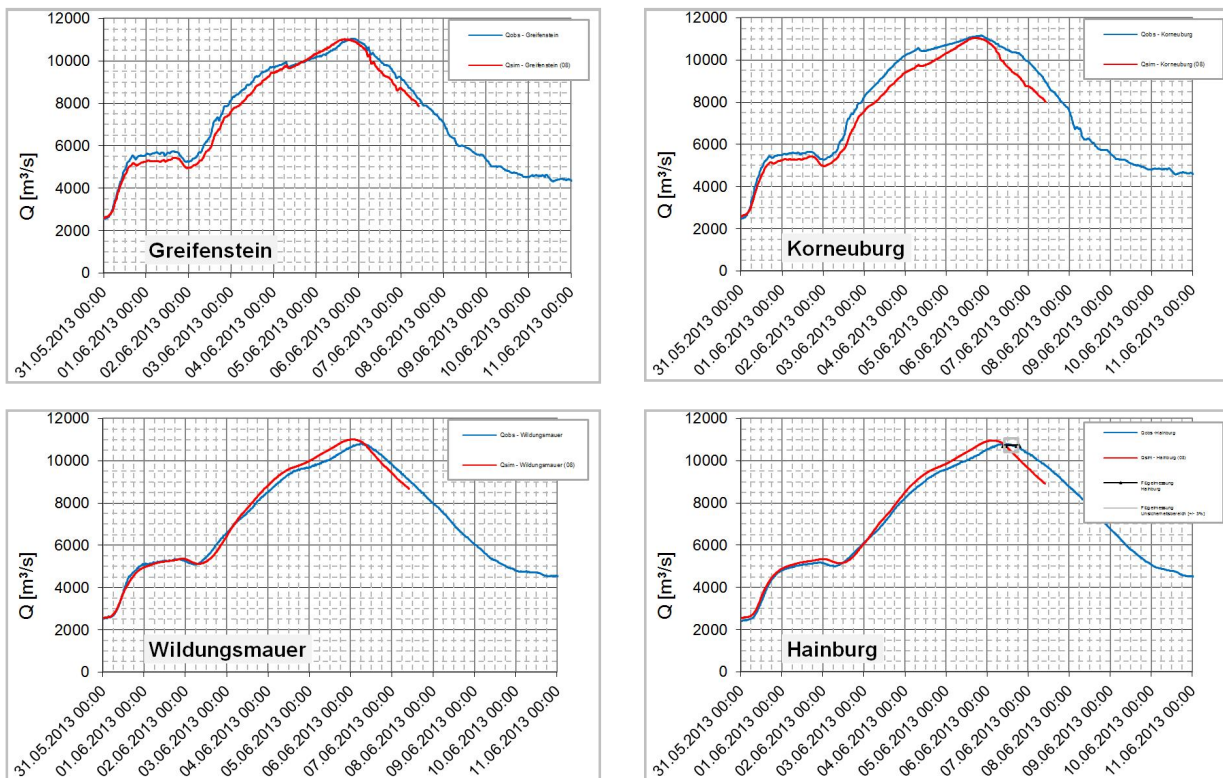
Nachfolgend werden exemplarisch die Durchflussganglinien aus Simulation 31-32 dargestellt.

Abb. 2.4 Durchflussganglinien für ausgewählte Pegel (Simulation 31-32)



Anmerkungen zu den Abbildungen siehe nächste Seite.

Abb. 2.5 Durchflussganglinien für ausgewählte Pegel – Fortsetzung (Simulation 31-32)



In den Diagrammen stellen blaue Ganglinien die Messwerte und rote die gerechneten Werte dar. Die berechneten Werte reichen in den Abbildungen nur bis zum 07.06.2013, da die 2D-Simulationen im Eferdinger Becken aus Gründen der Zeitökonomie entsprechend gekürzt wurden.

Die Abweichungen zwischen beobachteten und berechneten Ganglinien ergeben sich aus unterschiedlichen Gründen: In Aschach, Linz, Kienstock und Korneuburg ergeben sie sich primär aus den Pegelschlüsseln, welche für die Ermittlung der Messwerte verwendet worden waren. In Wildungsmauer und Hainburg ergeben sich die Differenzen in erster Linie daraus, dass das 1D-Modell in diesen Bereichen eine zu geringe Retention berechnet.

Für die Pegel, in welchen die Differenzen sich primär aus dem Pegelschlüssel erklären, sind in den aktualisierten Daten von via donau Änderungen in den Durchflussganglinien zu erwarten. Die in orange eingezeichnete Durchflussganglinie in Linz kann dabei als erster Schritt in diese Richtung gesehen werden: Die Ganglinie wurde vom HZB aus den beobachteten Wasserständen mit einem adaptierten Pegelschlüssel berechnet¹¹.

Nach Abschluss von Phase I wurden zum Hochwasserereignis durch via donau neue Pegelschlüssel erstellt. Damit wurden von via donau Durchflussganglinien für alle maßgeblichen Pegelstellen an der Donau errechnet¹². Diese ersetzen die in Phase I ermittelten „Roh-Durchflussdaten“.

¹¹ Quelle: HZB/DI Godina: informell übermittelter Datensatz (21.01.2014)

¹² Diese auch als „konsolidierte Durchflussganglinien“ bezeichneten Datensätze der via donau standen PÖRY ab März 2014 zur Verfügung und wurden konsequent für die Kalibrierung aller 3 2D-Modelle (M31-1, M31-2 und M31-3) verwendet.

2.1.3.3 Weitere wichtige Ergebnisse und Erkenntnisse in Hinblick auf Phase II und III

Als zentrale Erkenntnisse aus Phase I seien nachfolgend die wichtigsten Punkte beschrieben, wobei die Punkte zum Großteil wortwörtlich aus der Zusammenfassung im Endbericht zu Phase I übernommen sind. Sie werden hier im Sinne der leichteren Lesbarkeit des Berichtes - respektive auch mit dem Ziel, ein für sich vollständiges Dokument zu schaffen - übernommen. Umgekehrt wurden in den übernommenen Textpassagen alle Aussagen, die sich primär auf NÖ beziehen und für OÖ von untergeordneter Bedeutung sind, weggelassen:

Konsolidierte Durchflüsse und abgestimmte Durchflussganglinien

- § Trotz intensiver Analysen und umfassenden Szenarien- und Sensitivitätsanalysen bleiben bei den konsolidierten Durchflussdaten und insbesondere auch bei den offiziellen Durchflusszeitreihen Unsicherheiten, die aus heutiger Sicht nicht erklärbar sind – oder nur mit extrem großem Aufwand auflösbar wären.
- § Diese Unsicherheiten betreffen insbesondere auch die Durchflüsse im Abschnitt Aschach bis Linz.
- § Zentraler Grund für die Unsicherheiten ist, dass – bedingt durch die extremen Durchflüsse und den damit verbundenen Schwierigkeiten bei Messung und Modellierung (Datenverlust, Untergang von Messeinrichtungen, Sohländerungen, etc.) – in den Daten zwangsweise so viele unterschiedliche Widersprüche sind, dass diese nicht vollständig zweifelsfrei aufgelöst werden können.
- § Umgekehrt ist aber wichtig, dass die verbliebenen Unsicherheiten für die hier relevanten Fragestellungen und für viele Detailaussagen keine Bedeutung haben. Insbesondere ist auch wichtig, dass viele Detailuntersuchungen und Aussagen sich auf vergleichende Berechnungen stützen und dass die relative Genauigkeit von Berechnungen viel größer ist als die absolute Genauigkeit¹³.
- § Es versteht sich von selbst, dass der mögliche Einfluss von potenziellen Unsicherheiten von PÖYRY untersucht wurde. Insbesondere zu den o.a. Unsicherheiten für den Bereich Aschach bis Linz, die ja primär die Form der Ganglinie nicht aber den Durchflussscheitel betreffen, wurde dabei erkannt, dass die Unsicherheiten für die Aussagen und Ergebnisse keinen störenden Einfluss haben.

Retention

- § Die Retention in den großen Retentionsräumen entlang der Donau war durch die breite Hochwasserwelle geprägt. Da es aufgrund der großen Fracht und des flachen Hochwasserscheitels zu einer starken Vorfüllung der Retentionsräume kam, war die Retention weniger stark ausgeprägt als z.B. beim Ereignis von

¹³ Die relative Genauigkeit ergibt sich, wenn z.B. bei einem kalibrierten Modell nur die Wehrbetriebsordnung (WBO) verändert wird, um z.B. den Einfluss einer Änderung der WBO zu analysieren. Die absolute Genauigkeit hingegen bezieht sich z.B. auf die exakt bei einem bestimmten Durchfluss zu erwartenden Wasserstände (z.B. im Vorland). Da diese Werte von vielen Parametern abhängig sind, ist die absolute Genauigkeit geringer als die relative Genauigkeit.

08/2002 und weniger stark, als sie aufgrund der Bemessungslängenschnitte für HQ₁₀₀ und HQ₃₀₀ zu erwarten gewesen wäre.

- § Aufgrund dieser Effekte ergibt sich, dass – bezogen auf den o.a. Bemessungslängenschnitt - die Durchflüsse im Bereich von Linz und ab etwa Tulln über HQ₃₀₀ liegen.
- § Umgekehrt ist zu bedenken, dass die im hydrologischen Längenschnitt erkennbare Retention ein Summeneffekt ist, bei welchem die Retentionswirkung („Netto-Retention“) durch die lokalen Zuflüsse (z.B. Aschach, Innbach, Pesenbach und Gr. Rodl im Eferdinger Becken) überlagert wird. Dadurch ergibt sich – bei oberflächlicher Betrachtung – eine scheinbar geringere Retentionswirkung, als sie aus hydraulischer Sicht tatsächlich gegeben ist.

Überströmstrecken

- § Aus Detailanalysen zeigt sich, dass es bei der Berechnung der Abflüsse über die Überströmstrecken noch Unsicherheiten und Fragen im Vergleich zu früheren Berechnungen gibt. So ergibt die 2D-Berechnung im Eferdinger Becken z.B. eine stärkere Ausströmung in das rechte Vorland als in das linke und im Machland gab es mit dem aktuellen 2D-Modell Abweichungen zwischen den Simulationsergebnissen und Auswertungen von VHP.
- § Umgekehrt konnte durch eigene Szenarienanalysen aber überprüft und abgesichert werden, dass die o.a. Unsicherheiten auf die Berechnungen der Abflüsse insgesamt und auf die Rekonstruktion des aktuellen Ereignisses keinen negativen Einfluss hatten.

Querprofile und Stromsohlen

- § Die exemplarische Analyse einzelner Querprofile und die gesamthafte Auswertung der Stromgrundaufnahmen durch via donau zeigen zum Teil sehr starke und heterogene Umlagerungen¹⁴.

Pegelschlüssel und W/Q-Beziehungen

- § Die numerische Simulation gibt ein gutes Bild über die dynamischen Effekte in der W/Q-Beziehung, welche durch konventionelle Pegelschlüssel nicht abgebildet wird bzw. werden kann (Hysterese, Effekte durch Einstau). Diese Effekte können selbst bei „unsensiblen“ Pegeln einige hundert m³/s Unterschied zwischen aufsteigendem und abfallendem Ast ausmachen. Bei „sensiblen“ Pegeln wie z.B. in Hainburg ergaben sich bei der Nachrechnung des aktuellen Hochwassers maximale Unterschiede von 1000 m³/s.
- § Für die Pegel Wilhering, Linz und Korneuburg ergaben sich zwischen Modellrechnung und der Darstellung der Messwerte von via donau deutliche Unterschiede im Verlauf der Pegelschlüssel.

¹⁴ Den späteren Ausführungen zu Phase II und III vorgreifend sei festgehalten, dass aus diesem Grund die Modellierung im Rahmen von Phase II und III die aktuellsten Stromgrund- und auch Vorlanddaten einbezieht.

Dazu ist wichtig, dass die Modellierung sicher wichtige Hinweise auf den Verlauf geben kann (es gilt ja als Stand der Technik Pegelschlüssel mit numerischen Modellen zu erweitern oder zu optimieren).

Umgekehrt ist festzuhalten, dass die in Phase I mit dem Modell errechneten W/Q-Beziehungen aufgrund der o.a. Unsicherheiten in den Querprofilen ebenfalls noch eine gewisse Unsicherheit aufweisen.

Entsprechend wird empfohlen, die berechneten W/Q-Beziehungen nach einer Aktualisierung der Querprofile und nach erfolgter Nachkalibrierung des 1D-Modells zu verifizieren und ggf. die bei via donau zur Durchflussbestimmung verwendeten W/Q-Beziehungen neu zu bestimmen.

Modellierung – Nachbildung des Ereignisses

§ Die Analysen der Phase I zeigen, dass die bestehenden Modelle das Hochwasserereignis insbesondere in Hinblick auf die Durchflüsse und auf die Veränderung der Durchflussganglinie im Grundsatz sehr gut nachbilden können.

§ Bei den Wasserständen ist aufgefallen, dass durch die Tatsache, dass in den bei Phase I vorhandenen 1D-Modellen z.T. keine aktuellen Stromgrunddaten implementiert sind, die berechneten Wasserstände anhand der beobachteten Wasserstände korrigiert werden mussten.

Dieses Vorgehen wurde zwar durch unterschiedliche Detailberechnungen überprüft, insgesamt wird aber empfohlen, die Stromgrunddaten der vorhandenen 1D-Modelle zu aktualisieren und die 1D-Modelle zumindest in jenen Bereichen, in welchen dann noch größere Differenzen bleiben, neu zu kalibrieren¹⁵.

§ Aufgrund von methodischen Ansätzen (Preissmann-Schlitz) wird in 1D-Modellen in den Bereichen, in welchen das Vorland als eigener Ast abgebildet wird, die Retention unterschätzt (d.h. die Welle fließt etwas zu schnell durch das Vorland).

§ Bei den 2D-Modellen der Donau ist aufgefallen, dass die Retention tendenziell etwas überschätzt wird, wobei dies bei der Nachrechnung des aktuellen Ereignisses mit tendenziell etwas zu hohen maximalen Wasserständen im Vorland korrespondierte.

§ In Hinblick auf die Verwendung des 1D-Modells im Hochwasserprognosesystem wird ein Austausch oder eine Aktualisierung des Modells derzeit nicht vorgeschlagen.

Es wurde erkannt, dass als wesentlicher Schritt davor die schon mehrfach angesprochenen Aktualisierung der Querprofile und eine Nachkalibrierung durchgeführt werden sollte.

Bisher gültige Ausweisungen der HW₃₀- und HW₁₀₀-Überflutungsflächen

§ Beim Ereignis von 06/2013 waren die Wasserstände in vielen Bereichen unter den für derartige Durchflüsse erwarteten Wasserständen. Daraus ergibt sich, dass - aus heutiger Sicht - die HW₃₀- und HW₁₀₀-Überflutungsflächen als „konservative Ausweisung“ zu sehen sind.

¹⁵ Auch hierzu sei festgehalten, dass diese Vorschläge aus Phase I in Phase II und III umgesetzt wurden.

- § Zur Tatsache, dass die Wasserspiegellagen in vielen Bereichen unter den erwarteten lagen, ist festzuhalten, dass nach dem Ereignis viele Modelle an den Daten von 08/2002 kalibriert worden waren, weil das Ereignis auf Grund seiner Größe als wichtige Referenz angesehen wurde. Wichtig ist, dass die Wasserstände von 08/2002 in einigen Bereichen über den damals erwarteten lagen, wobei die damals verfügbaren Modelle tendenziell mit Daten von 1991 kalibriert waren.

2.2 Parallel durchgeführte, inhaltlich verwandte Projekte

- § *Berechnungen für die geplanten Anpassungen am Hochwasserschutz der voestalpine Stahl GmbH*

Die Berechnungen sind insofern von Bedeutung, als sie - mit Zustimmung von Land OÖ und via donau - mit dem 2D-Modell der Donau durchgeführt wurden. Das Modell wurde dabei spezifisch erweitert und verbessert, wobei diese Verbesserungen im Modell integriert blieben und somit den weiteren Arbeiten für das Land OÖ bzw. dem Modell von via donau zu Gute kamen (vgl. Pkt. 4.2.2).

- § *Detailberechnungen und Auswertungen für die gutachterliche Tätigkeit von Prof. Theobald im Auftrag des Landes OÖ¹⁶*

Als Grundlage für die gutachterliche Tätigkeit von Prof. Theobald wurden zum einen auf Basis vorhandener Modellberechnungen zusätzliche Detailauswertungen durchgeführt und zum anderen auch weitere, entsprechend der Vorgaben von Prof. Theobald definierte Modellrechnungen ausgeführt und ausgewertet. Sowohl die bereits vorhandenen - d.h. im Zuge von Phase II und III durchgeführten - Modellrechnungen, als auch die neu erstellen Szenarien basieren auf den vollständig aktualisierten 2D-Modellen.

Die Berechnungen sind insofern von Relevanz, als sie Erkenntnisse zum Modellverhalten per se, insbesondere aber Erkenntnisse über die Vorgänge im Eferdinger Becken und für die Donau unterhalb von Linz bringen.

- § *Hochwasser vom Juni 2013 - Hydrodynamische Detailanalysen zum Kraftwerk Aschach*

Die Analysen bezogen sich im Detail auf die Auswirkungen der Abweichungen von der Wehrbetriebsordnung bei den Kraftwerken Aschach und Ottensheim, wobei die Auswirkungen sowohl für den Stauraum Aschach als auch für den Abwurf an den Überströmstrecken im Eferdinger Becken analysiert wurden. Herauszustreichen in Bezug auf diese Analysen ist, dass die detaillierte Aufarbeitung von Messprotokollen und Datenaufzeichnungen auch zur Klärung von jenen Widersprüchen in den Daten führte, welche im Sommer 2013 in den übergebenen Rohdaten der VHP noch enthalten waren. Hierbei ist anzumerken, dass die ersten Berechnungen im Sommer 2013, welche mit diesen „unkorrigierten Rohdaten“ durchgeführt worden waren, etwas stärkere Einflüsse auf das Abflussgeschehen ergeben haben, als die aktuellsten Berechnungen mit überprüften und korrigierten Daten.

¹⁶ Auftrag OGW-090000/42-2014-Dip (Simulationen und Auswertungen für GA Prof. Theobald – Teil 1) vom 19.11.2014 und Auftrag OGW-090000/49-2014-Dip (Simulationen und Auswertungen für GA Prof. Theobald – Teil 2) vom 09.12.2014

§ *Modellerweiterung und Analyse zum Hochwasser 06/2013 an Inn und Donau*

Im Rahmen der im August 2014 vom LfU, Bayern beauftragten und im März 2015 von PÖRY abgeschlossenen Studie wurden unter anderem umfassende Simulationen für die Donau von Schwabelweis bis Achleiten und für den Inn zwischen Kufstein und Passau durchgeführt. Die Simulationen lieferten damit wichtige Informationen zu den Durchflüssen an der bayerischen Donau und am bayerischen Inn und damit zu den Daten für Passau bzw. für den Pegel Achleiten. Als zentrale Erkenntnis für das gegenständliche Projekt ergab sich, dass es keinen maßgeblichen Hinweis zu allfälligen Fehlern in den Durchflussdaten von Achleiten gab, dass aber umgekehrt insgesamt Unsicherheiten in den Durchflussdaten bleiben und dass diese Unsicherheiten nicht, oder nur mit einem extremen, aus hydrologischer Sicht nicht vertretbaren Aufwand, verringert werden können¹⁷.

2.3 2D-Modelle – Ausgangsmodelle und Modellvarianten

2.3.1 Überblick

Bei Beginn des Projektes im Juli 2013 standen bereits mehrere 2D-Modelle für die Donau zur Verfügung, die auftragsgemäß als Basis für alle Arbeiten verwendet werden sollten. Dabei bestand in Phase I *ein* Teil der Leistungen darin, diese Modelle zu vergleichen und die geeignetsten Modelle als Basis für die weiteren Arbeiten auszuwählen.

Die im Juli 2013 verfügbaren Modelle lassen sich wie folgt einteilen:

- (A) *Modell SCIETEC/DonauConsult: Eferdinger Becken und Linzer Feld*
Das Modell wurde im Zeitraum 2007 bis 2010 von der ARGE SCIETEC/DonauConsult im Zuge der Ermittlung der Anschlaglinien für HQ₃₀ und HQ₁₀₀ im Auftrag des Landes OÖ erstellt.
Dieses Modell umfasst die Abschnitte km 2162.3 bis km 2141.0 (Eferdinger Becken) und km 2129.0 bis km 2106.85 (Linzer Feld).
- (B) *Modell riocom: Gesamte österreichische Donau*
Das Modell wurde im Zeitraum 2010 bis 2011 von riocom im Rahmen des Projektes Danube Flood Risk erstellt¹⁸.
Das Modell ist in vier Teilmodelle¹⁹ unterteilt und umfasst die gesamte österreichische Donau zwischen km 2223.5 (Pegel Achleiten) und km 1872.7 (Staatsgrenze)²⁰.

¹⁷ Im Sinne eines nachhaltigen Hochwassermanagements erscheint es wichtig, mit derartigen Unsicherheiten umgehen zu können oder die Unsicherheiten bei künftigen Ereignissen zu reduzieren. Es erscheint aber wenig zielführend, die verbliebenen Unsicherheiten durch extrem aufwendige ex-post-Betrachtungen zu reduzieren, weil sich dadurch für künftige Hochwässer kein relevanter Erkenntnisgewinn ergeben würde.

¹⁸ DANUBE FLOODRISK - Hydraulische Berechnung zur Ermittlung der Spiegellage für HQ300 an der österreichischen Donau (riocom, 2011)

¹⁹ Die 4 Teilmodelle heißen M31 (oö. Donau bis KW Ybbs-Persenbeug), sowie M34-1, M34-2 und M34-3 für den nö. Donauabschnitt.

²⁰ Für die Arbeiten für Land OÖ und insbesondere für die Arbeiten in Phase II und III ist nur das oberste Teilmodell, von riocom als „Modell M31“ bezeichnet, relevant. Das Modell deckt in der Form von riocom die gesamte oö. Donau ab (vgl. dazu Fußnote 19).

Die beiden Modelle weisen einerseits einen unterschiedlichen Detaillierungsgrad auf, zum anderen sind die Zielsetzungen für welche die Modelle erstellt wurden, unterschiedlich:

- § *Modell A* (SCIETEC/DonauConsult) wurde speziell für die Ausweisung von HW_{30}/HW_{100} -Überflutungsflächen ausgelegt und dazu auch kleinräumig sehr detailliert ausgearbeitet und überprüft.
- § *Modell B* (riocom) wurde insbesondere für sehr hohe Durchflüsse (HQ_{300}/HQ_{1000}) entwickelt und optimiert. Ein wesentlicher Aspekt ist, dass das Modell die gesamte Donau umfasst, weshalb a priori eine Abbildung von regionalen bzw. kleinräumigen Details oder gar eine detaillierte Überprüfung von Ergebnissen durch Vor-Ort-Begehungen nicht möglich und auch nicht vorgesehen waren.

Eine Gemeinsamkeit der beiden Modelle ist hingegen die geometrische Nachbildung der Hochwasserschutzanlagen für die Donau. Demzufolge sind nicht nur Schutzdämme bzw. Hochwasserschutzmauern geometrisch im Modell implementiert, sondern auch mobile Schutzvorrichtungen wurden berücksichtigt.

Des Weiteren sind beide Modelle für das hydrodynamische, 2D-tiefengemittelt rechnende Programm HYDRO-AS_2D (Nujic, 2003) erstellt. Die erforderlichen Pre- und Postprocessing-Arbeiten erfolgten bei PÖRY jeweils mit SMS (v.9.2 und v.10.0).

Abb. 2.6 2D-Modell von SCIETEC/DonauConsult: Eferdinger Becken

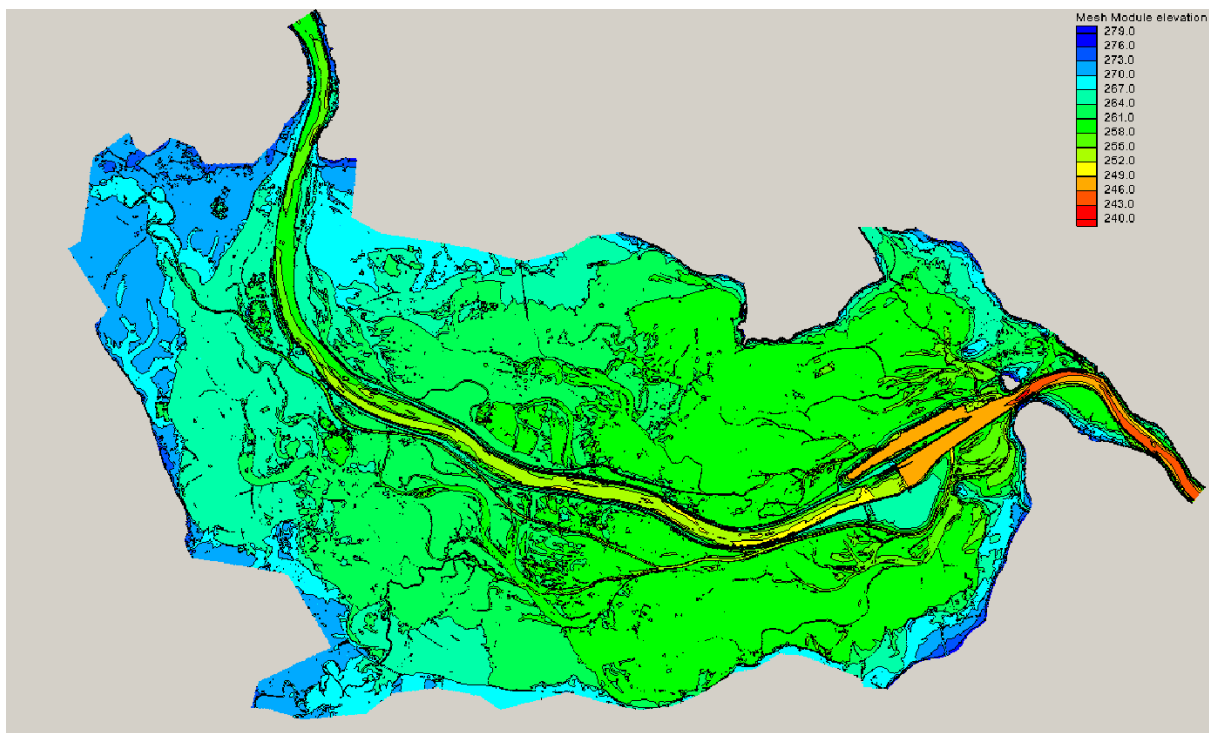


Abb. 2.7 2D-Modell von SCIETEC/DonauConsult: Linzer Feld

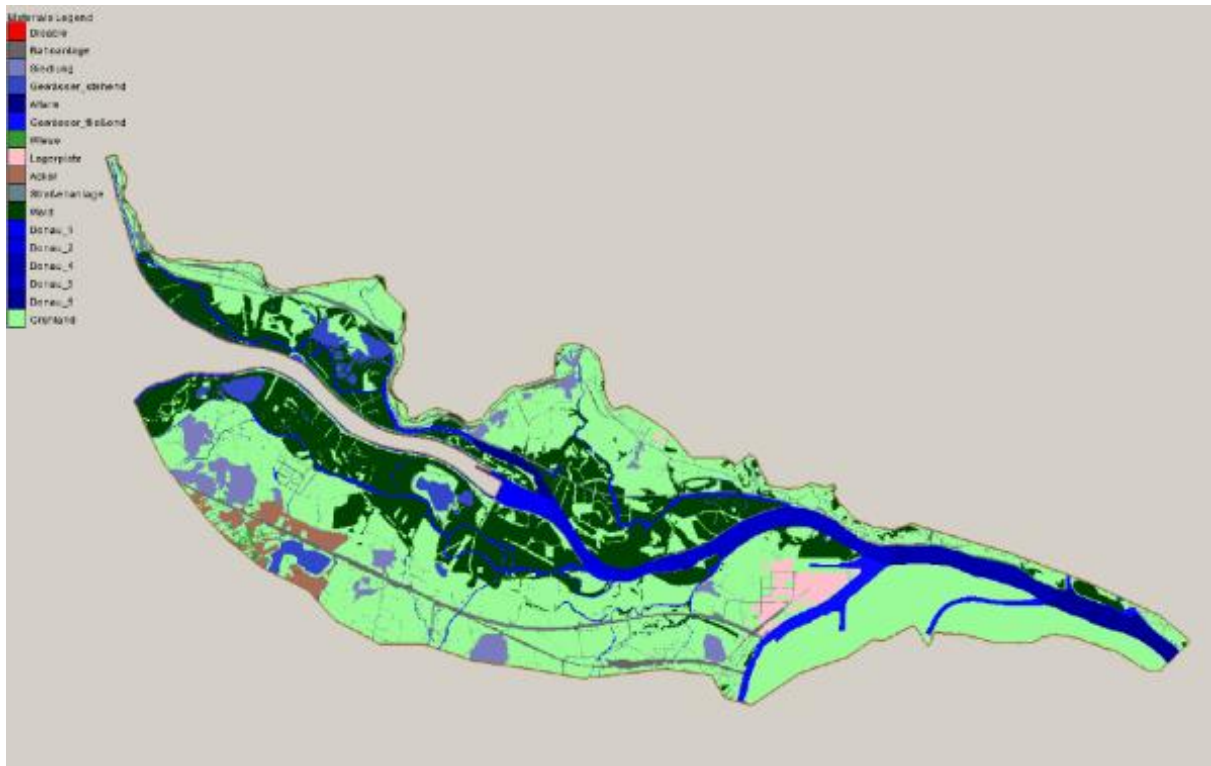
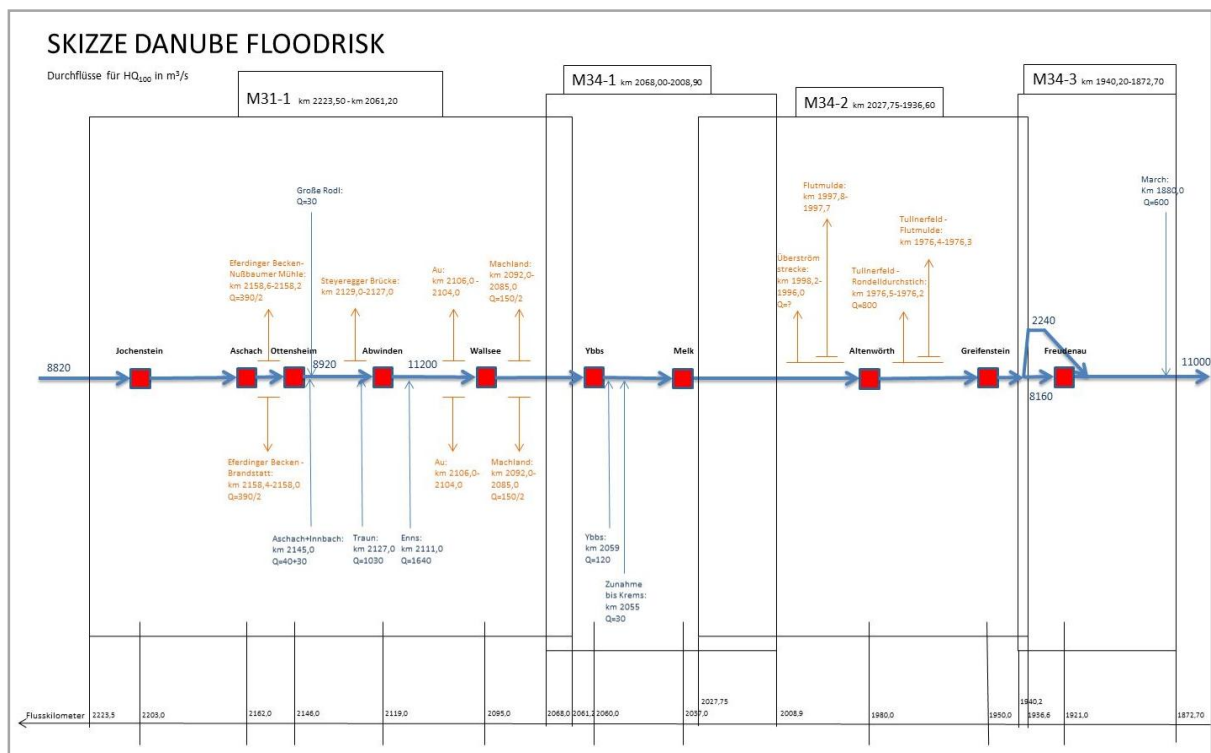


Abb. 2.8 2D-Modelle von riocom: 4 Teilmodelle für die gesamte Donau



Die Abbildung zeigt schematisch jene Abschnitte der Donau, welche durch die vier, von riocom im Rahmen des Projektes Danube Flood Risk erstellten Teilmodelle abgedeckt werden. Die Modelle selbst weisen eine relativ geringe Überlappung auf, wobei der untere Modellrand von M31-1, M34-1 und M34-2 jeweils in kraftwerksbeeinflussten Bereichen der Donau liegt.

Im Zuge von Phase I wurde erkannt, dass für das Eferdinger Becken das 2D-Modell von SCIETEC/DonauConsult die beste Basis ist, was in der Folge in Abstimmung mit den Auftraggebern fixiert wurde. Für alle anderen Bereiche wurde entschieden, das Modell von riocom als Basis zu nehmen.

Da ein Verschmelzen der Modelle bzw. Modellabschnitte (1) modelltechnisch nicht möglich/sinnvoll ist (Überschreitung der maximalen Punkt- und Elementanzahl) und (2) aufgrund eben dieser Rechenetzgröße auch zu extrem langen Berechnungsdauern führen würde, wurde in Phase II das Modell von riocom vor der Überarbeitung in drei Teilabschnitte geteilt, wobei die Teilung aus den o.a. Gründen (Modellgröße, Performance) auch beibehalten wurde. Die überarbeitete und optimierte Version des 2D-Modells der öö. Donau besteht daher nunmehr aus folgenden 3 Teilmodellen:

- § M31-1 Oberes Donautal (Basis: riocom-Modell)
- § M31-2 Eferdinger Becken bis Linz (Basis: SCIETEC/DonauConsult-Modell)
- § M31-3 Engstelle Wilhering bis KW Ybbs-Persenbeug (Basis: riocom-Modell)

Festzuhalten ist dazu, dass im Linzer Feld das Modell von SCIETEC/DonauConsult eine höhere Auflösung hat und eine bessere Übereinstimmung zwischen Rechenwert und Beobachtungswerten als das Ausgangsmodell von riocom gezeigt hat. Das Modell von riocom erschien jedoch wegen seiner größeren Erstreckung und der geometrischen bzw. 2D-hydrodynamischen Abbildung des Abwurfes über die ÜSS-Steyregg für eine Gesamtbetrachtung als besser geeignet und wurde daher auch als Basis für die Erstellung des optimierten Modells verwendet.

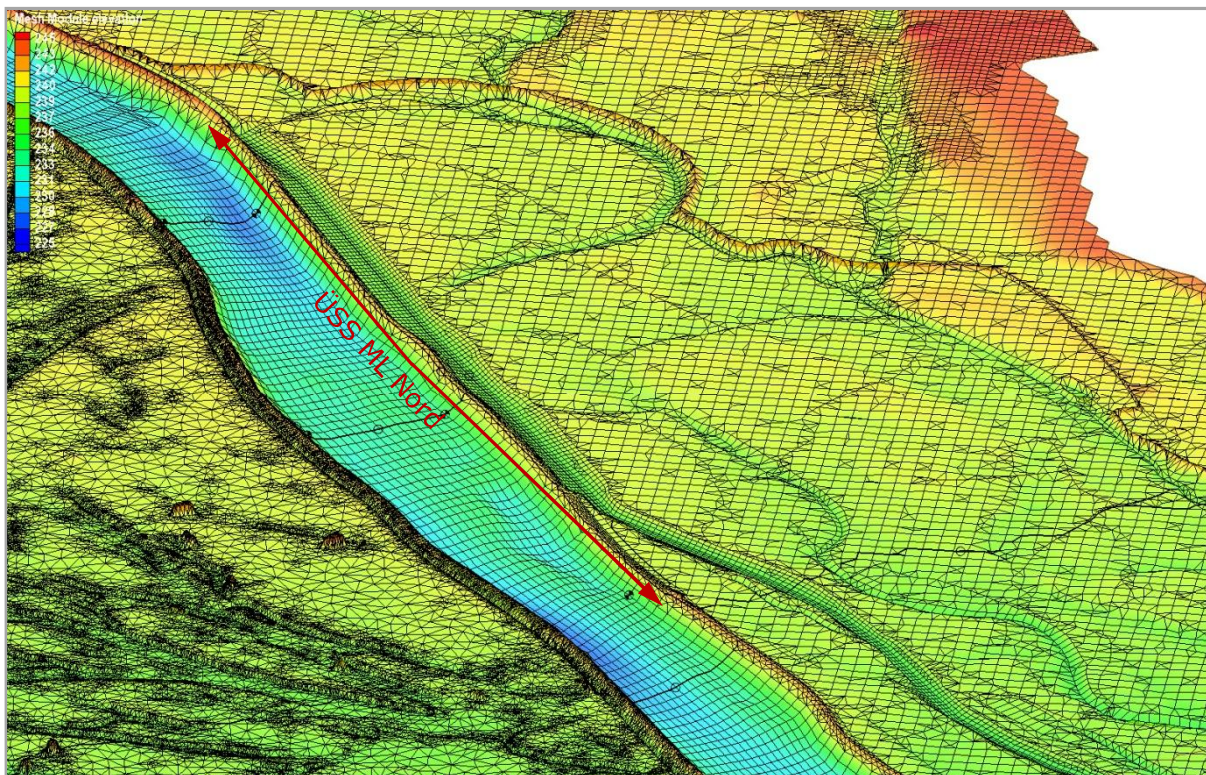
2.3.2 Abbildung der Abflüsse in das Vorland

Die Abbildung der Abflüsse in das Vorland erfolgt in allen 2D-Modell grundsätzlich über die Nachbildung der geometrischen Verhältnisse in den Ausuferungsbereichen²¹. Dies gilt insbesondere auch für die Abflüsse über die Überströmstrecken (vgl. Abb. 2.9), wobei der Abfluss über die Überströmstrecke naturgemäß auch stark von den Reibungsbeiwerten im Bereich der Überströmstrecken und im Vorland abhängig ist.

Dabei zeigte die Analyse der verfügbaren Modelle, dass im Bereich der Überströmstrecken bereichsweise heterogene Reibungsbeiwerte definiert wurden und dass die Festlegungen mitunter nicht alleine durch Vegetation und Landnutzung bestimmt waren. Die genauen Hintergründe zur Festlegung der Reibungsbeiwerte wurden von PÖYRY im gegenständlichen Projekt nicht recherchiert, da sie für die aktuelle Bearbeitung keine Relevanz haben und im Rahmen des gegenständlichen Projektes die Reibungsbeiwerte von PÖYRY ohnehin überarbeitet wurden.

²¹ Diese Aussage bezieht sich im Besonderen auch auf die 2D-Modelle, wie sie verfügbar waren und verwendet wurden. Der Hinweis ist insbesondere auch im Vergleich zu den 1D-Modellen zu sehen, in welchen die Abflüsse in das Vorland in der Regel als $Q_{\text{VORLAND}} = f(Q_{\text{DONAU}})$ und für ausgewählte Fragestellungen als $Q_{\text{VORLAND}} = f(W_{\text{DONAU}})$ implementiert sind. Die Implementierung im 1D-Modell wurde in der Regel auf Grund der Vorgaben der jeweiligen Auftraggeber gewählt, um die Vorlandabflüsse auch im 1D-Modell so zu haben, wie sie aufgrund von methodisch aufwendigeren Verfahren ermittelt worden waren (z.B. hydraulische Modellversuche der VHP (damals Donaukraftwerke AG) oder 2D-Berechnungen).

Abb. 2.9 Geometrische Abbildung von Überströmstrecken (exemplarisch Machland)



Der Beginn der linksufrigen Überströmstrecke (USS Machland Nord) ist im linken oberen Bereich des Bildes deutlich zu erkennen. Ebenso deutlich zu erkennen ist die Flutmulde hinter dem abgesenkten Damm (Verlauf zunächst direkt parallel zum Ufer und danach etwas zurückgesetzt).

2.3.3 Datengrundlage: Laserscan und Stromgrunddaten der Ausgangsmodelle

Die 2D-Modelle hatten in Hinblick auf Laserscan-Daten (ALS) und Stromgrundaufnahmen eine heterogene Datenbasis (vgl. Tab. 2.2):

- § Die ALS-Daten stammen überwiegend aus dem Zeitraum 2005 bis 2009, nur die Daten für das Eferdinger Becken aus dem Jahr 2003.
- § Die Stromgrundaufnahmen der Donau stammen aus dem Zeitraum 2008 bis 2010.

Die Aufbereitung der ALS-Daten erfolgte in unterschiedlichen Projekten und daher mit teils unterschiedlichen Methoden. Große Teile wurden mit LASER_AS-2D bearbeitet, andere Abschnitte dagegen mit gesonderter Bruchkantenermittlung in Kombination mit rasterförmiger Ausdünnung flacher Geländebereiche.

Tab. 2.2 Geometriedaten in den 2D-Modellen (beschränkt auf jene Ausgangsmodelle, die für Phase II und III von Bedeutung sind)

Bezeichnung	Bereich	Fkm Anfang	Fkm Ende	Datum ALS	Datum Sohlaufnahme
SCT.EB	Eferdinger Becken	2162,3 (UW KW Aschach)	2141	2003	08/2008
SCT.LF	Linzer Feld	2129	2108.85 (WP Au)	2009	Stauraum Abwinden- Asten 11/2007, Stauraum Wallsee- Mitterkirchen 09/2007
M31	Donau OÖ	2223,5 (Achleiten)	2061,2 (OW KW Ybbs)	2003, 2005, 2006, 2007, 2009	2009 (außer Stauraum Ottensheim -> 2010)
M31 ab Linz	Donau OÖ ab Linz	2139.3	2061,2 (OW KW Ybbs)	OÖ: Machland 2005 & 2009 bzw. nördliches Machland basiert auf photogrammetrischen Auswertungen) NÖ: 2007 - 2008	2009

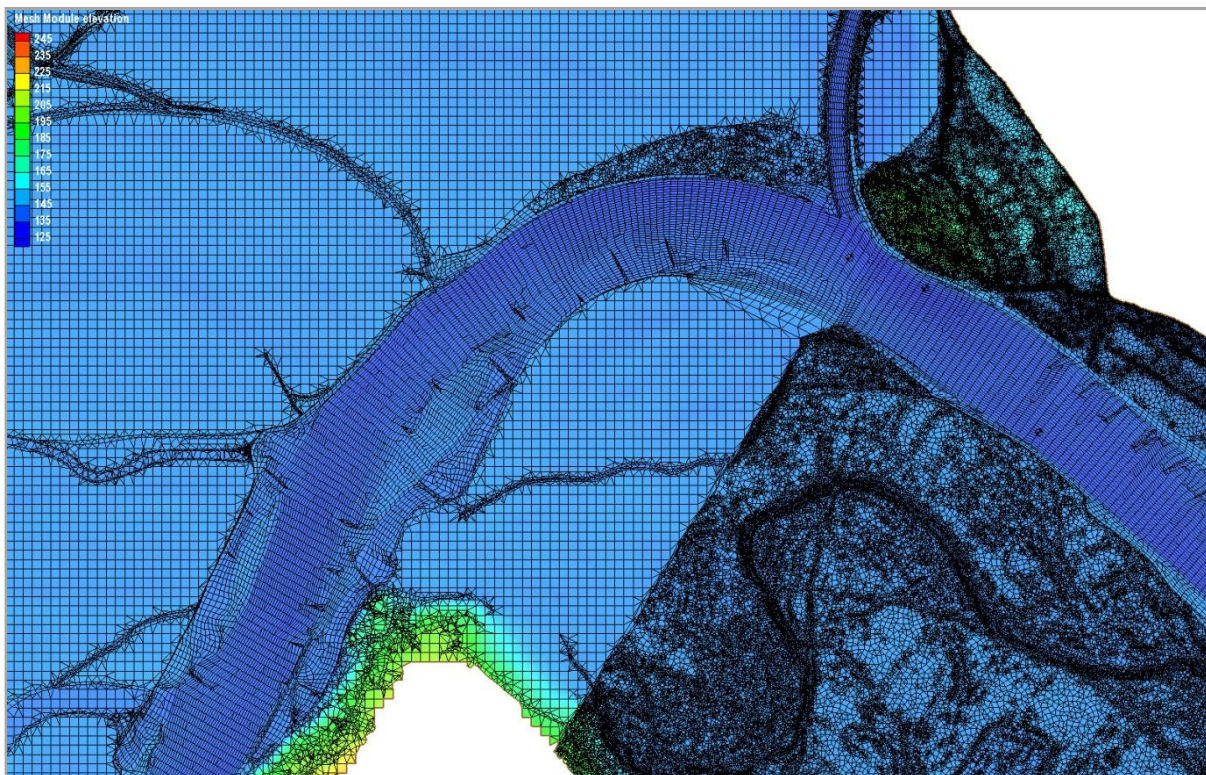
2.3.4 Netzstruktur - Netzelemente

In Hinblick auf die Netzstruktur sind zwischen und innerhalb der Ausgangsmodelle große Heterogenitäten gegeben:

Innerhalb der Modelle von riocom ist eine große Streuung in der Größe und Form der Rechenelemente gegeben (vgl. Abb. 2.10). Dies resultiert unter anderem auch daraus, dass riocom bei der Erstellung des Donaumodells auch bestehende Modelle Dritter eingebunden hat und dass diese Modelle, wenn sie z.B. für lokale Untersuchungen oder Planungen entwickelt worden waren, zum Teil sehr fein aufgelöst waren.

Bezogen auf den öö. Donauabschnitt wurden im Flussschlauch flussauf von Mauthausen großteils ca. 50-55 m lange und ca. 20-30 m breite Zellen und flussab von Mauthausen ca. 25-35 m lange und 10-15 m breite Zellen verwendet.

Abb. 2.10 Netzstruktur der Ausgangsmodelle (exemplarisch im Bereich der Marchmündung)



Aus der Abbildung ist der unterschiedliche Detaillierungsgrad der verwendeten Basismodelle deutlich ersichtlich: Stromauf der Marchmündung (die March ist im oberen rechten Bereich erkennbar) ist das Vorland durch ein reguläres Viereck-Netz abgebildet, in welchem nur Gewässer mittels kleinräumiger Strukturen eingearbeitet sind. Ab der Marchmündung ist das links- und das rechtsufrige Vorland deutlich detaillierter durch ein relativ engmaschiges Dreiecks-Netz modelliert.

Die von SCIETEC/DonauConsult erstellten Modelle weisen demgegenüber fast durchgängig ein sehr feines Netz auf.

Das Modell für das Eferdinger Becken zeigt die für derartige Verhältnisse typischen zwei Element-Bereiche mit unterschiedlichen Elementen im Fluss-Schlauch und im Vorland (Tab. 2.3; vgl. Abb. 3.2).

Insgesamt liegt der mittlere Punktabstand bei rund 10 m. Die in Tab. 2.3 angeführten Werte gelten für das gesamte Modell bis auf zwei Bereiche: Der Abströmrand (unterer Modellrand) weist größere Punktabstände auf und der Fluss-Schlauch im Nahbereich des KW Ottensheim-Wilhering weist geringere Punktabstände auf.

Tab. 2.3 Typische Punktabstände des Berechnungsnetzes (Modell Eferdinger Becken; SCIETEC/DonauConsult)

Bereich	Typ	Punktabstand
Fluss-Schlauch	Vierecksnetz mit rel. ähnlichen Punktabständen	Hauptströmungsrichtung: ca. 25 m Quer zur Hauptströmungsrichtung: ca. 10 m
Vorland	Dreiecksnetz mit veränderlichem Punktabstand	Min. 5 m Max. ca. 30 m

2.3.5 Abbildung des Betriebs der Kraftwerke an der Donau

Bei der Abbildung des Betriebs der Kraftwerke ist zwischen dem Ausgangszustand der Basismodelle und der Verwendung der Modelle im Rahmen des gegenständlichen Projektes zu unterscheiden:

Modelle von riocom:

In den Ausgangsvarianten der riocom-Modelle sind die Kraftwerke jeweils über die Geometrie der Wehrfelder (vollständig geöffnet) abgebildet worden.

Für Berechnungen von HQ₃₀ und HQ₁₀₀ sowie für die Kalibrierung der Modelle wurde dabei die Rauigkeit im Wehrbereich und die Anzahl der geöffneten Verschlüsse jeweils so angepasst, dass der OW-Wasserstand den in der WBO vorgegebenen oder bei den Ereignissen beobachteten Werten entsprach.

Für Berechnungen bei HQ₃₀₀ und HQ₁₀₀₀ wurden alle Wehrfelder als vollständig geöffnet abgebildet, so dass der sich daraus im Oberwasser ergebende Wasserstand ein Ergebnis der Simulationen war.

Später wurden von PÖYRY im Auftrag der via donau²² entsprechende Wehrsteuerungen in den Modellen implementiert, welche die Betriebsweise gemäß der realen behördlichen Vorgaben nachbilden können.

Modelle von SCIETEC/DonauConsult:

In den ursprünglichen SCIETEC/DonauConsult-Modellen wurden die Kraftwerke über flache W/Q-Beziehungen („Halten eines Stauziels“) modelliert. Die Wehrfelder und Krafthaus wurden dabei nicht einzeln geometrisch berücksichtigt, sondern lediglich der Bereich der Schleuse.

Bereits in Phase I des gegenständlichen Projekts wurde auch das SCIETEC/DonauConsult-Modell des Eferdinger Beckens mit der gleichen realitätsgetreuen Kraftwerksregelung wie zuvor die riocom-Modelle ausgestattet.

Nähere Ausführungen zu den implementierten Kraftwerkssteuerungen finden sich im nachfolgenden Abschnitt 2.4.

²² Projekt Danube Floodrisk, vgl. Endbericht DANUBE FLOODRISK - Ausweisung der Anschlaglinien und Überflutungshöhen für HQ30, HQ100 und HQ300 sowie 2D-Modellierung der Wehrsteuerungen an der österreichischen Donau (PÖYRY, 2012).

2.4 Abbildung des KW-Betriebes mit **Donau2D**

2.4.1 Überblick

Für die Abbildung des Betriebs von Kraftwerken wird im 2D-Modell jenes Regelungsmodul eingesetzt, das von PÖYRY Energy GmbH im Jahre 2012/2013 im Rahmen des Projektes Danube Flood Risk²³ entwickelt wurde.

Das Modul (Bezeichnung „Donau2D“) ist als Ergänzungsmodul für HYDRO_AS-2D konzipiert, der HYDRO_AS aufruft und bei jedem Aufruf alle für die Nachbildung des Wehrbetriebes relevanten Daten in die Inputfiles von HYDRO_AS schreibt.

Das Regelungsmodul ist inzwischen für die Modelle an der Donau als ein integraler Bestandteil zu sehen. Entsprechend wurden alle Modelle, die für das Projekt Danube Flood Risk eingesetzt wurden, im Jahre 2012/2013 von PÖYRY Energy im Auftrag von via donau für die Verwendung mit dem Donau2D adaptiert.

2.4.2 Generelle Aspekte von **Donau2D**

Donau2D ist ein ausführbares Programm, das spezifisch für die Verwendung mit HYDRO_AS-2D und dabei zur Abbildung eines regelbasierten Betriebs von Kraftwerken und Dotationsbauwerken („geregelte Knoten“) entwickelt wurde.

Für die Abbildung des regelbasierten Betriebes werden die Simulationen mit HYDRO_AS-2D in eine Vielzahl von Einzelsimulationen unterteilt, wobei die Inputdaten für HYDRO_AS-2D von Donau2D so generiert werden, dass sich aus Sicht des Anwenders aus diesen Einzelsimulationen eine Gesamtsimulation für den interessierenden Zeitrahmen ergibt (vgl. Abb. 2.11).

Aus IT-technischer Sicht ruft Donau2D HYDRO_AS-2D zyklisch auf und wertet die Ergebnisse einer Einzelsimulation aus, um daraus die Vorgaben für alle geregelten Knoten ableiten zu können (Abb. 2.12).

Vor dem Aufruf von HYDRO_AS-2D generiert Donau2D die Input-Files für die nächste „Einzelsimulation“ von HYDRO_AS-2D. Dabei werden zum einen die Parameter variiert, welche spezifisch die Simulationen mit HYDRO_AS-2D steuern (Anfang und Ende der Simulation, Neustart oder an bestehende Simulation anschließen, ...). Zum anderen werden für die zu regelnden Knoten die Durchflüsse, die für die nächste „Einzelsimulation“ gelten, generiert.

Zur Vereinfachung der Verwendung für beliebige Durchfluss-Szenarien unterstützt Donau2D die Einbindung von Zuflussdaten, die in einem eigenen File zur Verfügung gestellt werden. Anstelle der Definition von Durchflüssen über SMS oder im File hydro_as-2d.inp, können die Zeitreihen von Zuflüssen aus einer zusätzlichen Datei

²³ EU-Projekt zur Erstellung eines europaweiten Donau-Atlas. Teilprojekt Neuberechnung der Anschlaglinien und Überflutungshöhen für Bemessungsdurchflüsse HQ₃₀, HQ₁₀₀, HQ₃₀₀ an der österreichischen Donau sowie Integration der aktuellen Wehrbetriebsordnungen der VHP in das 2D-Modell. Auftraggeber: via donau.

übernommen werden, wobei die Zeitreihen in dieser Datei mit beliebiger zeitlicher Auflösung und in beliebigen Einheiten bereitgestellt werden könnten²⁴.

Alle für den Anwender relevanten Optionen von Donau2D können über die Konfigurationsdatei des Programms respektive über die für HYDRO_AS-2D vorbereiteten Inputfiles gesteuert werden. Entsprechend wird für alle Modelle das gleiche ausführbare Programm Donau2D.exe mit jeweils unterschiedlicher, spezifischer Konfiguration verwendet.

Abb. 2.11 Funktionsweise von Donau2D in Hinblick auf die Koppelung mit HYDRO_AS-2D (schematisch)

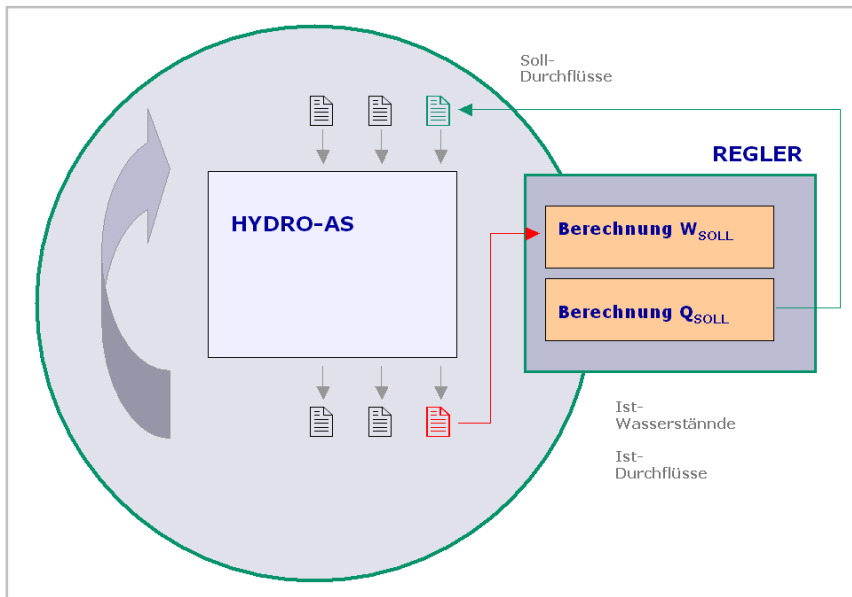
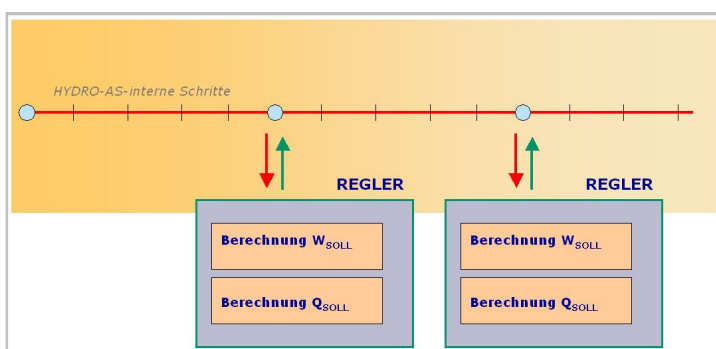


Abb. 2.12 Unterteilung einer Simulation in Einzelsimulationen mit unterschiedlichen Zyklen für die numerische FV-Berechnung und die Regelung (schematisch)



²⁴ Im Gegensatz zur Angabe in hydro_as-2d.inp können die Zeitreihen auch nicht-äquidistant sein. Die Zeitwerte können in Sekunden, Minuten, Stunden, Tagen, etc. angegeben werden, wobei die konkret verwendete Einheit durch einen Multiplikationsfaktor beliebig definiert werden kann.

2.4.3 Anpassung von Modellen für die Verwendung von **Donau2D**

Für die Verwendung mit **Donau2D** sind **HYDRO_AS-2D**-Modelle im Wesentlichen in der gleichen Art zu erstellen, wie bei einer Verwendung mit **HYDRO_AS-2D** alleine.

Als Besonderheit erlaubt **Donau2D** die Regelung von Knoten auf Grund von spezifischen Vorgaben, wobei in einem ersten Schritt alle Elemente, Knoten und Randbedingungen in **HYDRO_AS-2D** bzw. einem **HYDRO_AS-2D**-Modell vorzubereiten sind. Um einen Knoten über **Donau2D** regeln zu können, sind dabei folgende Anforderungen im **HYDRO_AS-2D**-Modell zu erfüllen:

- § unmittelbar oberhalb und unterhalb des zu regelnden Knotens oder Bauwerkes muss in **HYDRO_AS-2D** je ein Nodestring definiert werden (vgl. Abb. 2.13)
- § für die Vorgabe der Sollwerte muss in **HYDRO_AS-2D** ein Pegelpunkt definiert werden (z.B. ein Pegelpunkt, der bei einem Kraftwerk die Lage des OW-Pegels beschreibt)
- § für die Regelung (P-Regelung mit Störgrößenaufschaltung; vgl. Abb. 2.14) muss ein Nodestring definiert werden, der für **Donau2D** als „maßgeblicher Zuflussquerschnitt“ angesehen wird
- § im **HYDRO_AS-2D**-Modell sind die Länge der Zeitschritte bei der Berechnung in **HYDRO_AS** sowie der Endzeitpunkt einer Simulation anzugeben (Parameter in Zeile 11 und 12 von **HYDRO_AS-2D.inp**)

2.4.4 Abbildung bzw. Vorgabe von Wehrbetriebsordnungen

Für die Entwicklung von **Donau2D** war zwischen via donau und PÖYRY vereinbart worden, dass die Wehrbetriebsordnungen in einer vereinfachten Form mit jeweils einer Beziehung abgebildet bzw. vorgegeben werden.

Während sich die realen Wehrbetriebsordnungen der VHP in der Regel als eine Folge von Vorgaben für unterschiedliche Pegelpunkte darstellen (zunächst OW-Pegel, dann Wendepiegel, etc.), werden diese Zusammenhänge in den für **Donau2D** implementierten Vorgaben implizit berücksichtigt. Für **Donau2D** sind alle Vorgaben in der Regel auf den OW-Pegel bezogen, wobei die konkrete Lage des OW-Pegels durch Definition eines entsprechenden Pegels in **HYDRO_AS-2D** und dann durch Angabe im Konfigurationsfile von **Donau2D** festgelegt wird.

Für die Formulierung der Vorgaben stellt **Donau2D** fünf Optionen zur Verfügung²⁵:

- § $W_{SOLL} = \text{konstant}$
- § $W_{SOLL} = f(Q_{ZU})$
- § $W_{SOLL} = f(t)$
- § $Q_{AB} = f(Q_{ZU})$
- § $Q_{AB} = f(t)$

²⁵ Gesteuert über Parameter `table_mode` mit `table_mode = {0,1,2,3,4}`

Die Optionen, bei welchen W_{SOLL} oder Q_{AB} als $f(t)$ definiert werden, sind primär zum Nachrechnen von konkreten Ereignissen vorgesehen. Die übrigen Optionen sind für die Abbildung eines regelbasierten Betriebs implementiert.

Abb. 2.13 Definition der Nodestrings für Knoten, die von Donau2D geregelt werden (exemplarisch für das Donaukraftwerk Wallsee-Mitterkirchen)

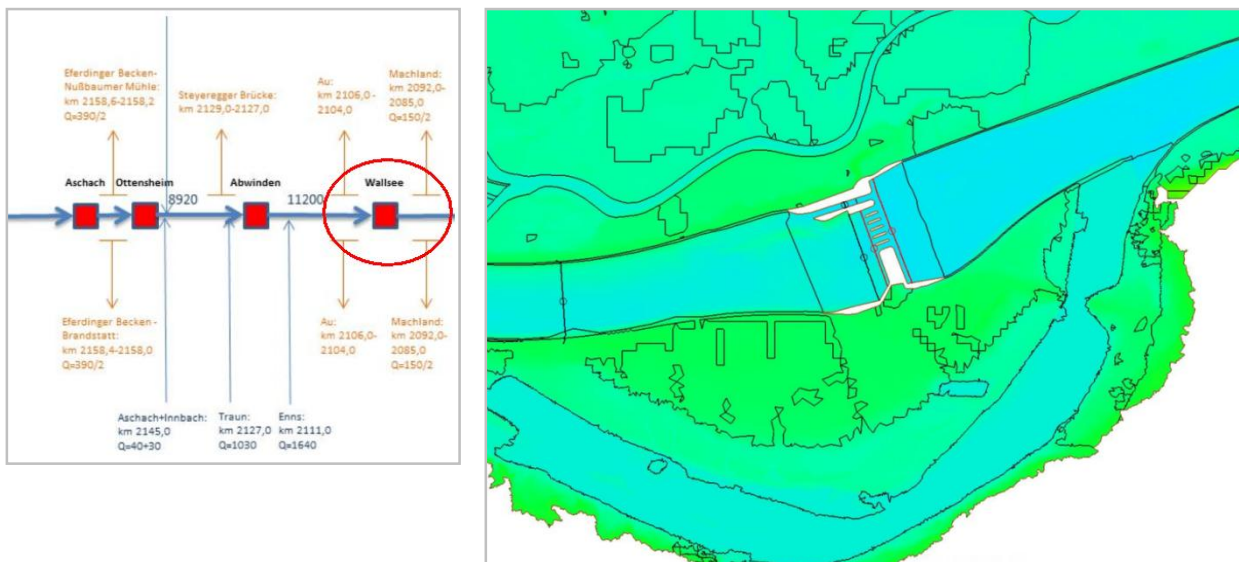


Abb. 2.14 Allfällig anzupassende Parameter in Hydro_As-2D.inp

```

Hydro_as-2d_M31-1.inp
1  HYDRO_AS-2D Programmversion 2.2
2  =====
3  PARAMETER
4
5  HMIN=  0.01000  VELMAX=  15.00000  CMUVISC=  0.60000
6  COEFH=  0.10000  COEFUV=  0.50000      CFL=  0.95000
7  SCF=  2.00000
8  -----
9  RUN CONTROL DATA SET (Rk.dat)
10
11  777600.0      3600.000      900.0000
12  0.0000000E+00      1      1
13  -----
14  RUN CONTROL DATA SET (Rk.dat)
    
```

2.4.5 Das Regelkonzept

Für die Regelung der durch Donau2D kontrollierten Knoten wird ein einfacher *P-Regler mit Störgrößenaufschaltung* eingesetzt.

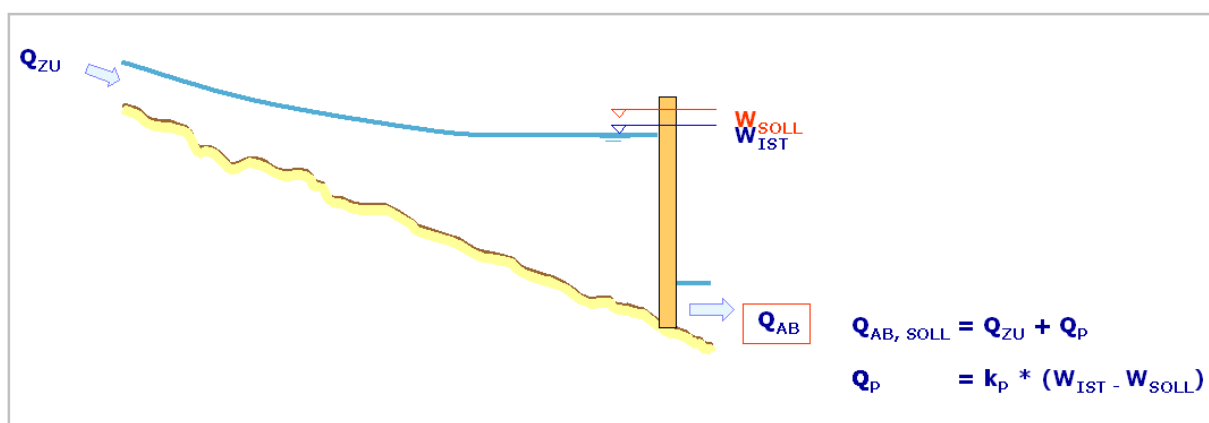
Der Begriff „Störgröße“ bezeichnet dabei den Zufluss in den Stauraum und aus Sicht des Anwenders jenen Zufluss, der auch wirklich zum geregelten Knoten fließt. Diese Festlegung ist insofern wichtig, als es an der Donau auch zu Ausströmungen ins Vorland kommt, wodurch bei mehreren Kraftwerken auch ein Teil des (Hochwasser-) Abflusses am Kraftwerk vorbei fließt.

Im Sinne einer einfachen und robusten Regelung ist es daher nötig, für jedes Kraftwerk (d.h. jeden geregelten Knoten) einen Nodestring zu definieren, welcher einen Querschnitt repräsentiert, dessen Durchfluss vollständig zum Kraftwerk fließt.

Für die Regelung werden von Donau2D folgende zwei Schritten durchgeführt:

- § Ermittlung der relevanten Soll-Werte:
 Typischerweise W_{SOLL} als $f(Q_{ZU})$ bzw. andere Werte auf Basis der o.a. Optionen
- § Berechnung des (Soll-) Durchflusses Q_{AB} im geregelten Knoten:
 Q_{AB} wird berechnet als Summe von Q_{ZU} und einem Anteil Q_P , der sich aus der aktuellen Abweichung zwischen Ist- und Soll-Wasserstand ergibt (Abb. 2.15)

Abb. 2.15 Regelungskonzept von Donau2D: P-Regelung mit Störgrößenaufschaltung



Bei der P-Regelung mit Störgrößenaufschaltung ergibt sich der am zu regelnden Knoten abzugebende Durchfluss aus zwei Anteilen: Zum einen wird direkt der zufließende Abfluss Q_{ZU} („Störgröße“) abgegeben, wobei der Ort, an welchem Q_{ZU} gemessen wird, parametrierbar ist. Zum anderen wird ein Anteil Q_P ermittelt, welcher sich direkt aus der sogenannten Regelabweichung ergibt. Die Regelabweichung ist die Differenz zwischen aktuellem Ist-Wert und aktuellem Soll-Wert. Eine Überschreitung der Soll-Wasserstände führt demnach zu einer Erhöhung des Durchflusses am zu regelnden Knoten, eine Unterschreitung führt zu einer Reduktion des Durchflusses (jeweils verglichen mit dem Zufluss zur „Regelstrecke“, d.h. zum Stauraum).

2.5 Hydrologische Daten

Einleitend wird, wie an mehreren Stellen des Berichts erläutert, nochmals darauf hingewiesen, dass für die 2D-Berechnungen die Eingangszeitreihen (Durchflüsse, OW-Wasserstandsverläufe) aus programmtechnischen Gründen jeweils in ausgedünnter Form angesetzt werden mussten. In den Darstellungen von Eingangsdaten werden daher immer die Originaldaten und die tatsächlich bei der Modellierung verwendeten Daten überlagert abgebildet.

Als wichtige und häufig zitierte hydrologische Datengrundlage ist der hydrologische Längenschnitt der Donau der via donau anzuführen. Ein Auszug für die öö. Donau findet sich in Tab. 2.4. Die in den detaillierten Untersuchungen zum Eferdinger Becken verwendeten Kennwerte der Zubringer sind in Tab. 2.5 angeführt. Für den Abschnitt unterhalb von Linz wurden entsprechend der ursprünglichen Modellkonzeption als

„Donau-Gesamtmodell“ nur die Zubringer von übergeordneter Bedeutung, also die Traun und die Enns, berücksichtigt. Deren jeweiliger Beitrag zum Abfluss von Donauhochwässern bestimmter Jährlichkeiten wurde direkt aus dem hydrologischen Längenschnitt abgeleitet. Im obersten Teilmodell (Oberes Donautal) sind auch nach der Überarbeitung keine Zubringer implementiert, da der Gesamtbeitrag des Zwischenzuflusses dieses Abschnitts größtenteils im Bereich von weniger 1% liegt.

Tab. 2.4 Hydrologischer Längenschnitt – Auszug öö. Donau (via donau)

Lage/Stelle	Fkm	RNQ [m³/s]	MQ [m³/s]	HSQ [m³/s]	HQ ₁ [m³/s]	HQ ₂ [m³/s]	HQ ₅ [m³/s]	HQ ₁₀ [m³/s]	HQ ₂₀ [m³/s]	HQ ₃₀ [m³/s]	HQ ₅₀ [m³/s]	HQ ₁₀₀ [m³/s]	HQ ₃₀₀ [m³/s]	HQ ₁₀₀₀ [m³/s]
Achleiten	2223	750	1440	3500	4000	4580	5580	6100	6950	7570	8210	8820	10000	11500
Aschach	2160	755	1450	3530	4000	4580	5580	6110	7000	7600	8290	8920	10100	
Wilhering	2144	760	1455	3560	4080	4590	5500	6000	6800	7360	7960	8530	9100	10000
Traun o	2125	765	1460	3670	4100	4600	5500	6000	6800	7360	7960	8530	9100	10000
Traun u	2125	810	1595	4090	4500	5100	5940	6540	7800	8380	8950	9560	10300	
Enns o	2111	815	1595	4100	4510	5110	5950	6550	7810	8390	8950	9560	10300	
Enns u	2111	880	1800	4720	5100	5750	6620	7390	9400	10000	10570	11200	11800	13100
Dornach	2085	890	1805	4730	5100	5750	6600	7300	9320	9900	10430	11050	11600	
Ybbs o	2058	900	1810	4760	5110	5770	6600	7300	9320	9900	10430	11050	11600	12800

Tab. 2.5 Hydrologische Kennwerte der Zubringer im Eferdinger Becken

Gewässername	Pegelstelle	HQ ₁ [m³/s]	HQ ₅ [m³/s]	HQ ₁₀ [m³/s]	HQ ₃₀ [m³/s]	HQ ₁₀₀ [m³/s]
Pesenbach ¹	Bad Mühlacken	11	28	35	55	80
Große Rodl ²	Rottenegg	32		78	103	130
Aschach ³	Kropfmühle				230	280
Innbach ³	Fraham				135	170

¹ Quelle: GZP Pesenbach (IB Humer)

² Quelle: HWS-Planung Gr. Rodl (Warnecke Consult)

³ Quelle: Amt der Oö. Landesregierung, Gewässerbezirk Grieskirchen

2.5.1 Durchflüsse für die Kalibrierung bzw. Nachrechnung/Modellierung des HW2013

2.5.1.1 Eferdinger Becken (M31-2)

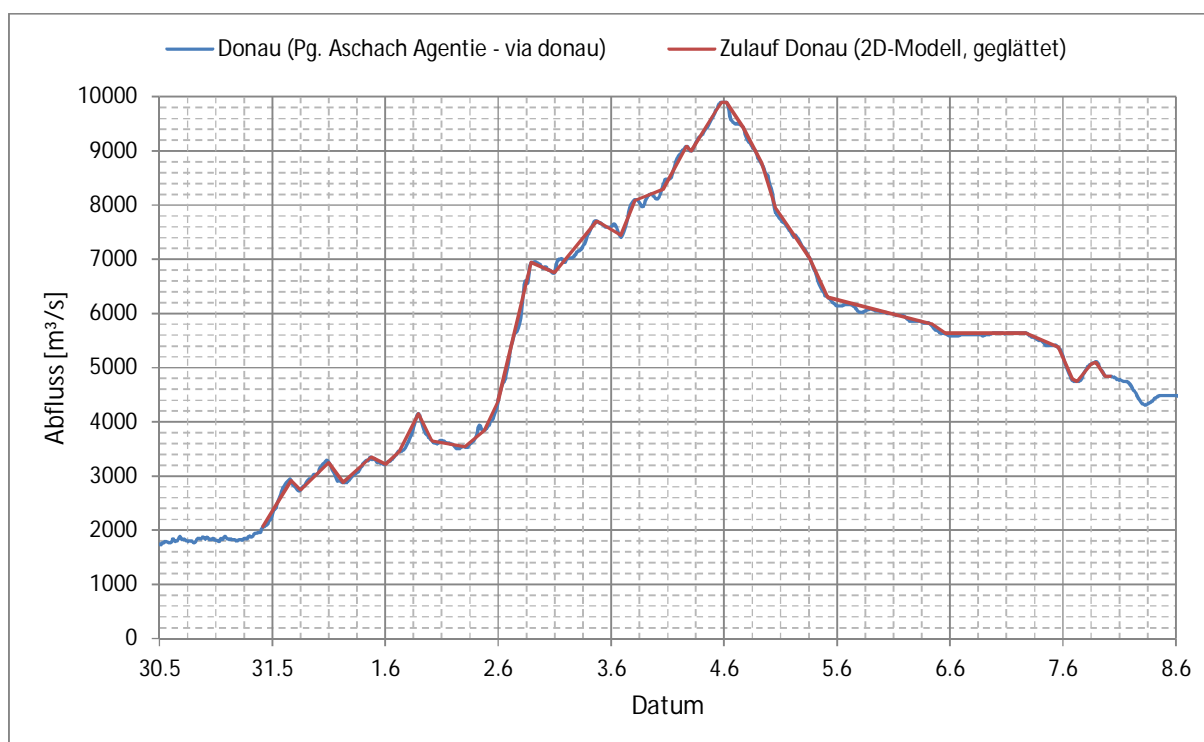
Die hydrologischen Daten für den Donauzufluss wurden unverändert so verwendet, wie sie im März 2014 von via donau – in ihrer Rolle als hydrografische Stelle für die Donau – aufbauend auf die Grob-Analyse und Modellierung zum Ereignis (Phase I) erstellt und zur Verfügung gestellt wurden (Abb. 2.16).

Zu dieser Ganglinie für den Pegel Aschach ist festzuhalten, dass sie sich im Scheitelwert mit dem „abgestimmten hydrologischen Längenschnitt der Donau“ (vgl. Pkt. 2.1.3.1) deckt, und dass sie sich im Verlauf von der simulierten Ganglinie, wie sie am Ende von Phase I als Ergebnis der 1D-Analysen ergeben hatte, unterscheidet. Nachdem diese Ganglinie aber die offizielle Ganglinie für das Ereignis darstellt, wurde sie als maßgeblich

für die weiteren Berechnungen angesehen. Für vertiefende Erläuterungen siehe Pkt. 2.5.1.1.1.

Für die Zubringer im Eferdinger Becken wurden die Daten des Hydrografischen Dienstes OÖ, wie sie ebenfalls bereits in Phase I zur Verfügung standen, angesetzt (Abb. 2.17 bis Abb. 2.20). Dabei wurde die Ganglinie der Aschach um 2h nach hinten verschoben angesetzt, um die Fließzeit²⁶ zwischen Pegelstelle und Zuflussrand im 2D-Modell näherungsweise zu berücksichtigen. Da bei den anderen 3 Zubringern die geschätzte Fließzeit vom Pegel bis zum jeweiligen Zulauftrand im Bereich von weniger 30 Minuten lag, wurde bei diesen auf eine solche Anpassung verzichtet. In den Durchflussdaten für den Pesenbach wurde jene kleinere Hochwasserwelle, die unmittelbar vor dem Hochwasser von 06/2013 aufgetreten ist, nicht berücksichtigt²⁷.

Abb. 2.16 Durchflussganglinie am Pg Aschach Agentie beim HW2013 (Quelle: via donau)



²⁶ Die geschätzte Fließzeit ergibt sich aus einer Distanz von ca. 10 km und einer angenommenen mittleren Fließgeschwindigkeit von rd. 1,5 m/s.

²⁷ Der Scheiteldurchfluss der Vorwelle betrug weniger als 15% des eigentlichen Hochwasserscheitels

Abb. 2.17 Durchflussganglinie Pesenbach (Quelle: HD OÖ)

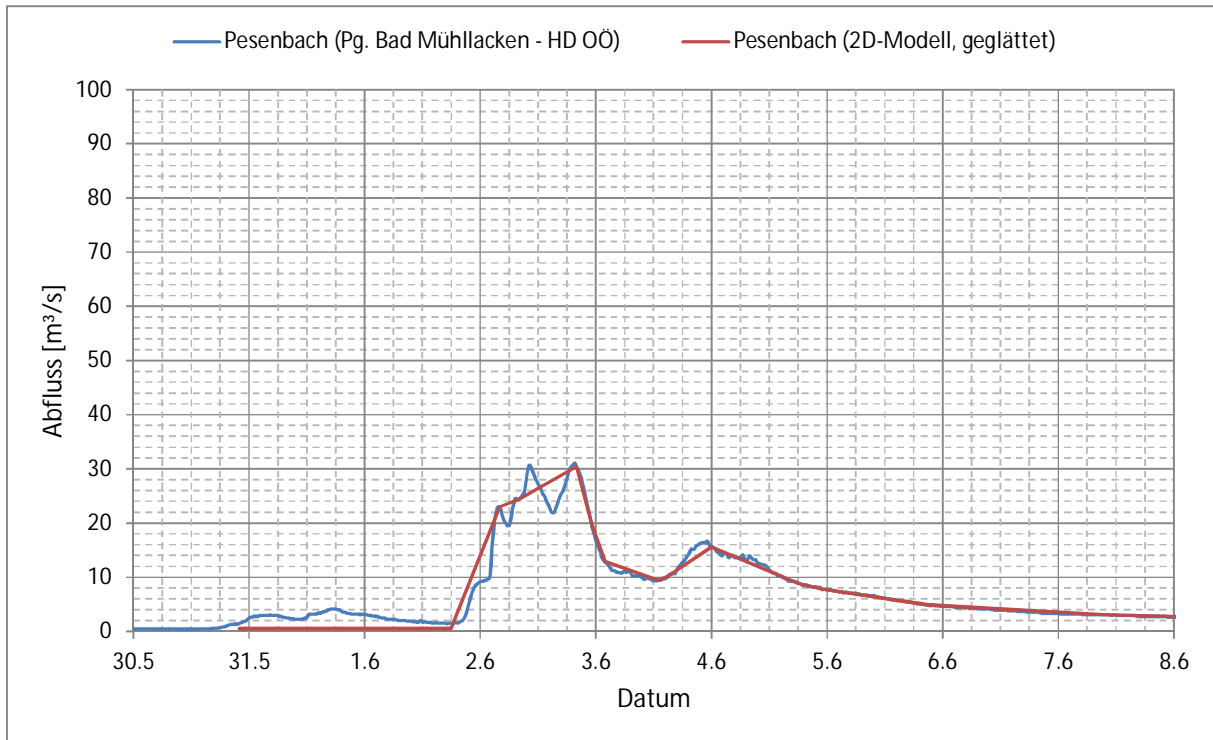


Abb. 2.18 Durchflussganglinie Große Rodl (Quelle: HD OÖ)

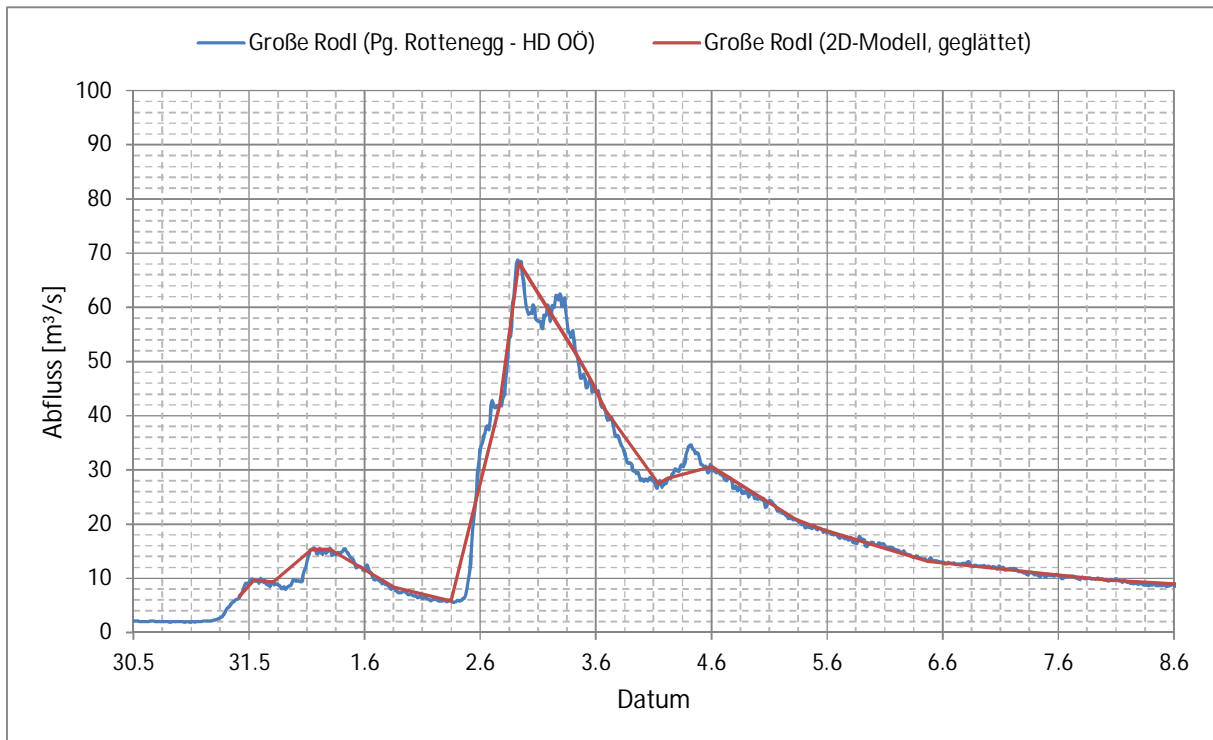
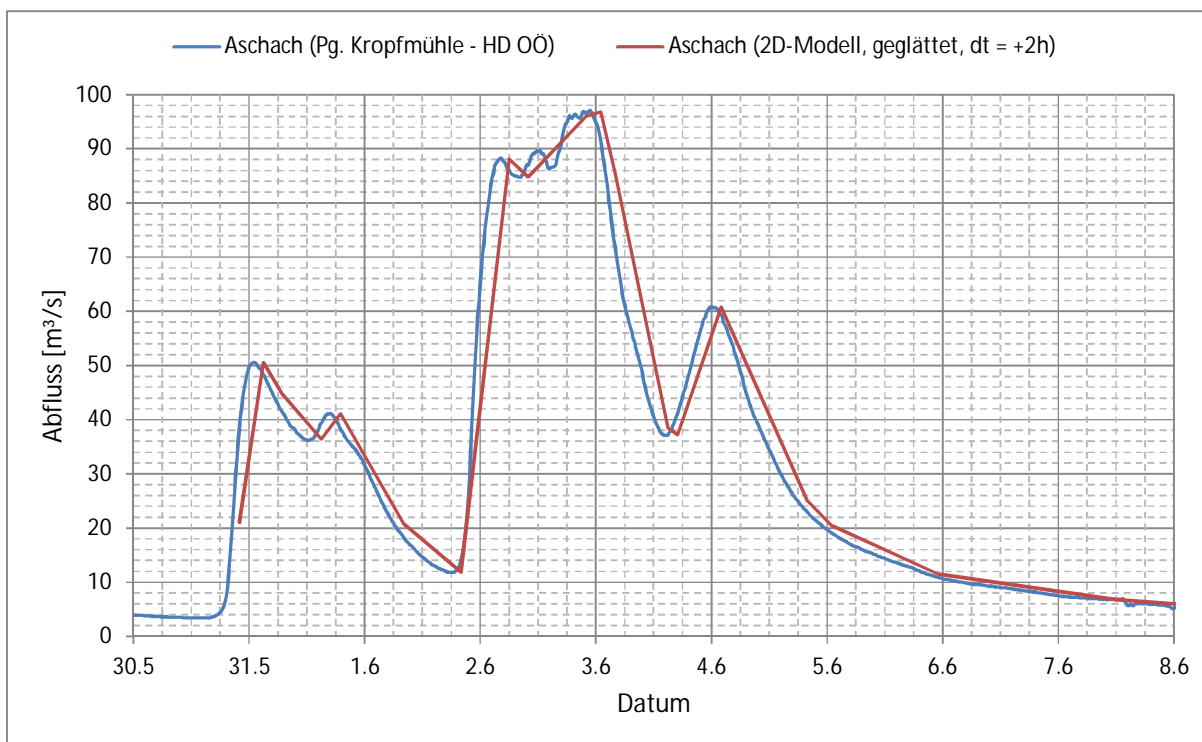
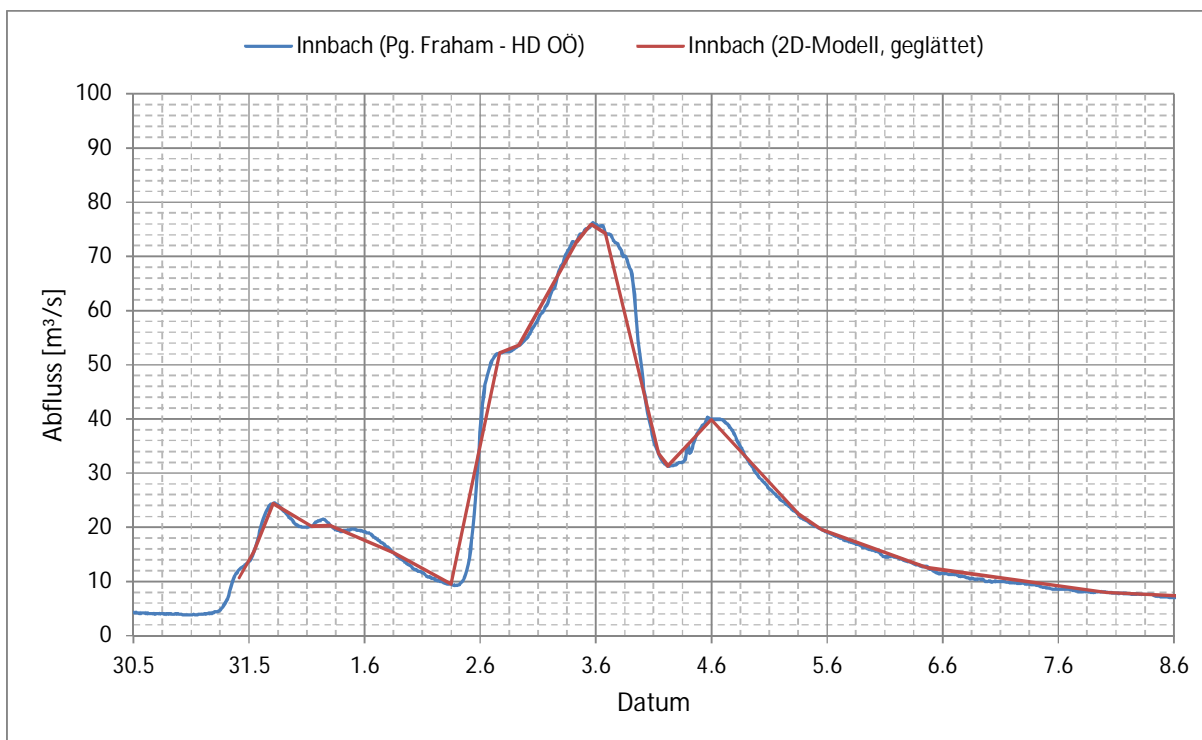


Abb. 2.19 Durchflussganglinie Aschach (Quelle: HD OÖ)



In der Modellierung (rote Linie) wurde der Zufluss um 2h zeitversetzt angesetzt, um die Fließzeit vom Pegel zum Zuflussrand näherungsweise zu berücksichtigen.

Abb. 2.20 Durchflussganglinie Innbach (Quelle: HD OÖ)



2.5.1.1.1 Vertiefende Ausführungen zum Zufluss ins Eferdinger Becken

Nachdem dem angesetzten Zufluss in der Donau, d.h. praktisch dem angesetzten Durchfluss am Kraftwerk Aschach eine besondere Bedeutung und auch Beachtung zukommt, wird auf zentrale Aspekte zu diesem Durchfluss nachfolgend eingegangen:

- § Die von via donau erstellte Durchflussganglinie zum Ereignis von 06/2013 für Aschach versucht, drei Eckpunkte zu integrieren, nämlich (1) die numerischen Berechnungen mit dem 1D-Modell, (2) die Messungen der Wasserstände samt deren Umrechnung mit Pegelschlüsseln und (3) das Wissen um Unsicherheiten von Modellen und Messwerten.
- § Für alle im Bericht zu Phase I publizierten Modellrechnungen war die Ausgangsbasis die Durchflusszeitreihen für den Pegel Achleiten, wobei Analysen sowohl mit Daten von via donau als auch des LfU durchgeführt wurden²⁸. Zusätzlich wurde analysiert, ob durch den Einfluss des KW Jochenstein besondere Unsicherheiten denkbar gewesen wären, wobei dabei für den Scheitel und die grundsätzliche Form der Ganglinie kein relevanter Einfluss erkannt wurde.
- § Unter Berücksichtigung der beobachteten Oberwasserstände am KW Jochenstein und am KW Aschach waren dann in Folge mit $Q(t)_{ACHLEITEN}$ als Input am oberen Modellrand und allen weiteren angesetzten Durchflüssen die Durchflüsse an der gesamten österreichischen Donau errechnet worden (vgl. Endbericht zu Phase I).
- § Zentral ist dabei, dass sich insbesondere für die Pegel Aschach und Linz deutliche Unterschiede zwischen „beobachteten“ (d.h. aus Wasserständen mittels Pegelschlüssel umgerechneten) und simulierten Durchflüssen ergaben, die im Rahmen der Grobanalyse zumindest für Aschach auch nicht aufgelöst werden konnten²⁹. Als signifikantester Unterschied ist der Verlauf des Durchflusses im ansteigenden Ast zwischen 02.06., 12:00 Uhr und 04.06., 00:00 Uhr zu nennen (vgl. Abb. 2.21).
- § Fakt ist, dass damit zwischen den Durchflussdaten Achleiten, den OW-Daten des KW Aschach und den Durchflussdaten am KW Aschach Widersprüche geblieben sind und dass man z.B. in - später und losgelöst durchgeführten - Detailanalysen von VHP zu anderen Durchflussganglinien für Aschach gekommen ist.
- § Fakt ist aber auch, dass die Daten von via donau zum Zeitpunkt der 2D-Berechnungen den offiziellen und damit zu verwendenden Datensatz darstellten und dass die Unterschiede für die Darstellung des Überflutungsbildes, der maximalen Überflutungstiefen und der Fließgeschwindigkeiten keinen relevanten Einfluss haben.

²⁸ Beide Datensätze ergeben sich mit $Q(t)$ durch die Umrechnung von $W(t)$ mittels Pegelschlüssel, wobei sich die Unterschiede zwischen den Q -Zeitreihen von via donau und LfU nur durch den für die Umrechnung verwendeten Pegelschlüssel ergeben.

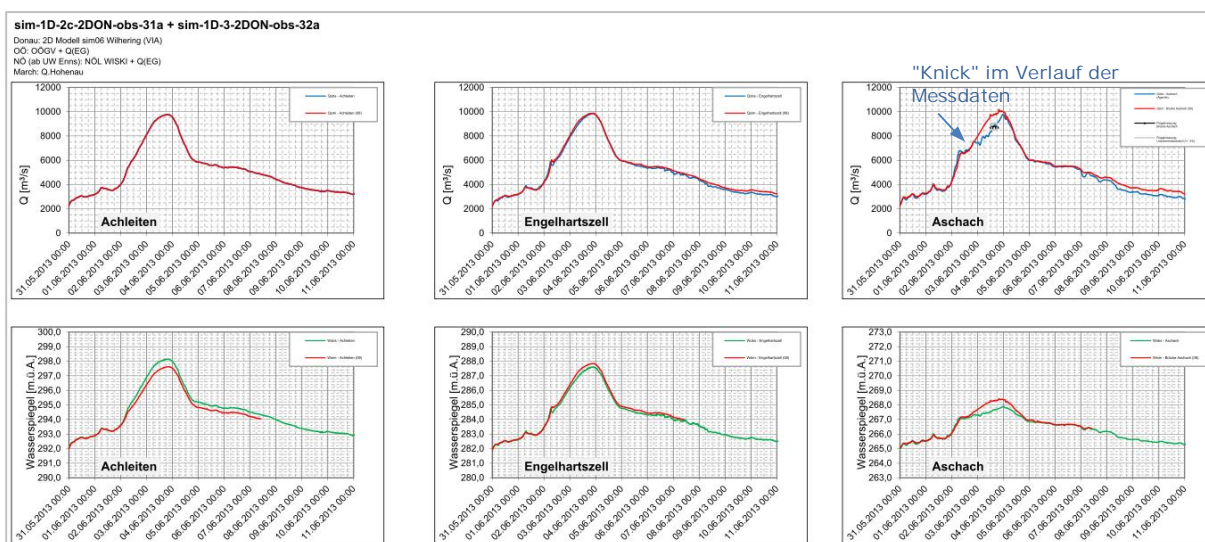
²⁹ Für Linz ergab sich eine bemerkenswerte Übereinstimmung zwischen Modellergebnissen und den später vom HZB neu erstellten Durchflussganglinien, wobei diese Durchflussganglinien vom HZB losgelöst von den Modellierungen rein aufgrund von Pegelschlüsselüberlegungen adaptiert worden waren.

Zuletzt sei auf Erkenntnisse aus Analysen zum Hochwasser 06/2013 an Inn und (deutscher) Donau für das LfU verwiesen³⁰. Bei diesen Analysen hatte sich für den Inn ergeben, dass zwischen den Daten am Pegel Salzach/Burghausen und den ober- und unter der Salzacheinmündung liegenden Pegeln am Inn Widersprüche gibt, die bis heute noch unaufgeklärt sind:

Während sich an allen Kraftwerken im Verlauf ein signifikanter Knick am 02.06. gegen 06:00 Uhr zeigt, ist dieser mit jenen im Modell angesetzten Durchflussdaten, die als maßgeblich und „anzusetzende“ anzusehen waren (u.a. auch Durchflüsse aus Beobachtungen an der Salzach), nicht abbildbar (vgl. Abb. 2.22).

Bis heute ist offen - und aufgrund der insgesamt zu vielen und zu offensichtlichen Datenfehler auch nicht beantwortbar - ob es sich bei dem „beobachteten“ Q-Verlauf um ein Artefakt aus der Messung oder ob der Knick im Verlauf tatsächlich so eingetreten ist. Interessant ist jedenfalls, dass der oben beschriebene „geknickte“ Q-Verlauf (besonders gut erkennbar beim KW Schärding-Neuhaus) auffällige Parallelen zum „beobachteten“ ebenfalls „geknickten“ Q-Verlauf in Aschach-Agentie aufweist.

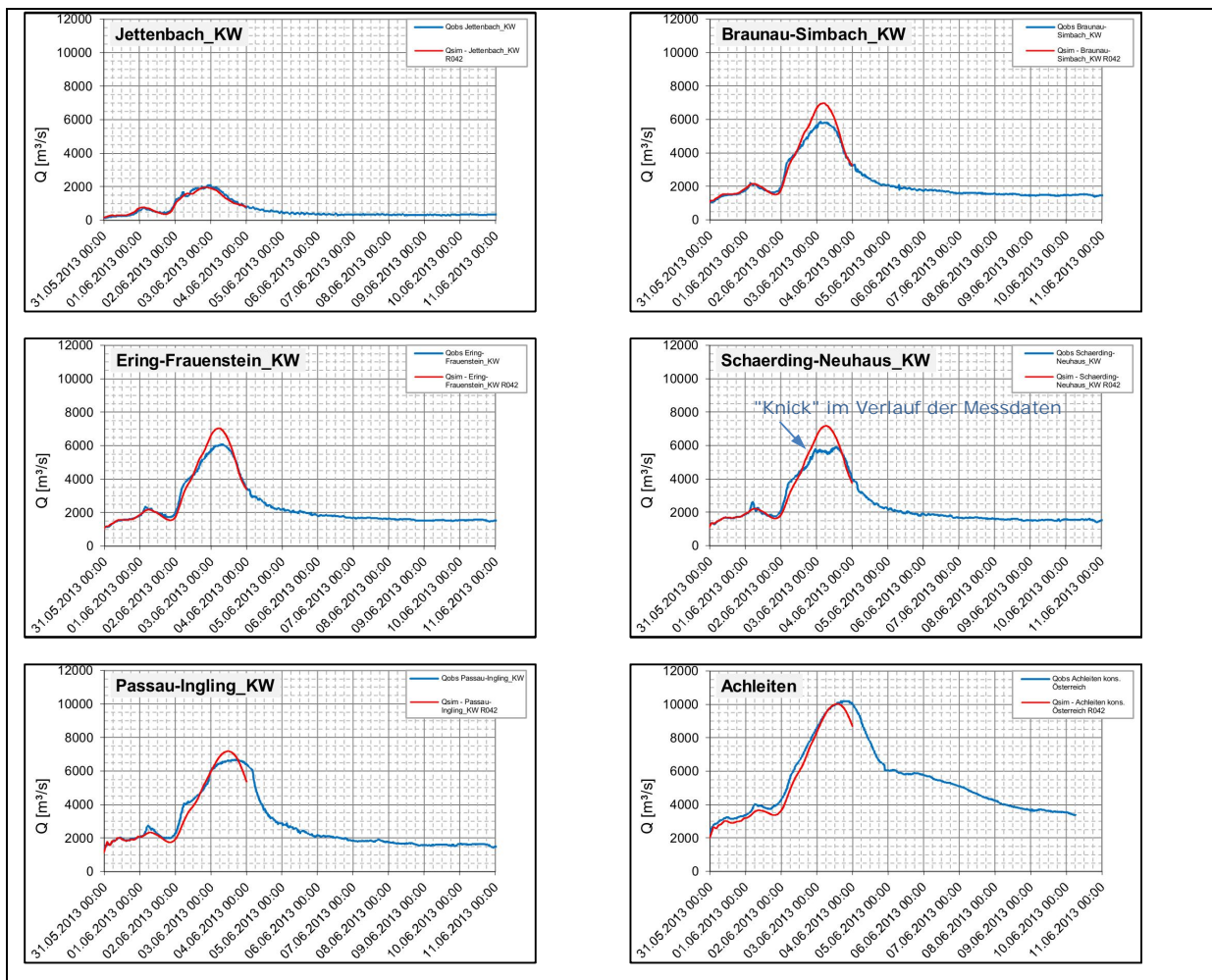
Abb. 2.21 Durchflüsse und Wasserstände: Beobachtungen und 1D-Simulation



Die Diagramme zeigen exemplarisch die Daten von Simulation 31a für den Bereich Achleiten bis Aschach. Die roten Linien sind jeweils Simulationswerte, die blauen bzw. grünen Beobachtungsdaten (grün = Wasserstand, blau = mittels Pegelschlüssel abgeleitete Durchflüsse).

³⁰ Modellerweiterung und Analyse zum Hochwasser 06/2013 an Inn und Donau. PÖRY Energy GmbH im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Bayern (04/2015).

Abb. 2.22 Ausgewählte Pegel: Modell Inn – Durchflüsse (Simulation R042)



Die Abbildung zeigt exemplarisch Ergebnisse einer Nachrechnung für den Inn aus den Arbeiten für das LfU (vgl. Fußnote 30). In blau dargestellt sind Beobachtungsdaten, in rot Simulationsdaten. Der im Text angesprochene charakteristische Verlauf in den Beobachtungsdaten ist für alle Pegelstellen bzw. Kraftwerke am Inn ab der Einmündung der Salzach zu sehen. Am Pegel Achleiten hingegen ist der „Knick“ in den Beobachtungsdaten nicht mehr bzw. nur sehr eingeschränkt gegeben.

Abschließend kann daher für den Durchfluss am KW Aschach folgendes zusammengefasst werden:

- § Für das gegenständliche Projekt war es aus inhaltlicher und formaler Sicht klar und außer Diskussion, dass die erstellten Durchflussdaten von via donau so zu verwenden waren, wie sie bereitgestellt wurden.
- § Der Verlauf weicht von den Ergebnissen der 1D-Modellrechnung in Phase I ab, der Verlauf ist aber z.B. kohärent zu anderen Datensätzen am Inn (siehe oben), auch wenn ein quantitativer Abgleich nicht durchgeführt wurde und nur mit größerem Aufwand durchgeführt werden könnte.
- § Offen ist, ob die Durchflussdaten der via donau von Achleiten unsicherer sind, als man a priori erwartet hätte. In Hinblick auf die Fragen im gegenständlichen Projekt ist aber auch diese Frage von untergeordneter Bedeutung.
- § Zentral ist, dass all diese Detailüberlegungen aus Sicht des aktuellen Projektes nachrangig sind, weil die Unterschiede keine relevante Unsicherheit auf die

Ergebnisse implizieren: Dies ergibt sich daraus, dass die Scheitelwerte gleich sind und weil die Unterschiede zu gering sind, als dass relevante Auswirkungen auf Überflutungsbild und maximale Wasserstände zu erwarten wären.

- § Die Unsicherheiten in der Durchflussganglinie sind damit nur eine von mehreren Unsicherheitsquellen, welche für die projektsgegenständlichen Aufgaben charakteristisch sind.

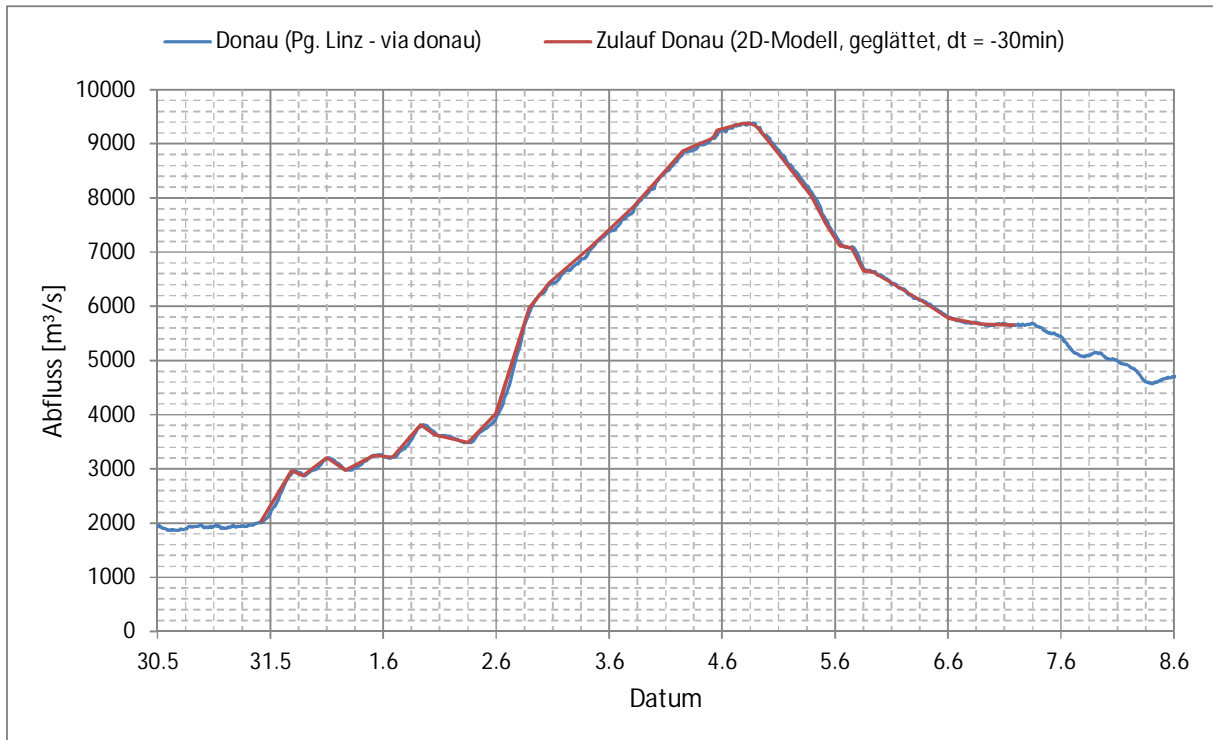
2.5.1.2 Donau unterhalb von Linz (M31-3)

Für diesen Abschnitt standen als – von der via donau im März 2014 übermittelte - maßgebliche Abflussganglinien jene des Pegels Linz (Abb. 2.23) und des Pegels Grein (Abb. 2.24) zur Verfügung. Für den Bereich oberhalb des Machlandes wurde der Durchfluss in Linz plus die Zuflüsse aus Traun und Enns (beide vom Hydrographischen Dienst OÖ bereitgestellt, Abb. 2.25 und Abb. 2.26) als maßgeblich erachtet. Für den Strudengau³¹, also den Abschnitt flussab des Machlandes, jener des Pegels Grein.

Um den Fließzeiten zwischen jeweiliger Pegelstelle und dem Zugabepunkt im Modell Rechnung zu tragen, wurden die Ganglinien mit entsprechend abgeschätzten Zeitversätzen angesetzt. Diese wurden sofern möglich, aus der Überlagerung von Pegelmessungen abgeschätzt, so geschehen für den Pegel Linz (Überlagerung mit dem Pegel Wilhering). Bei allen anderen wurden die Abschätzungen auf Basis der Länge der Fließstrecke und angenommener Fließgeschwindigkeiten durchgeführt.

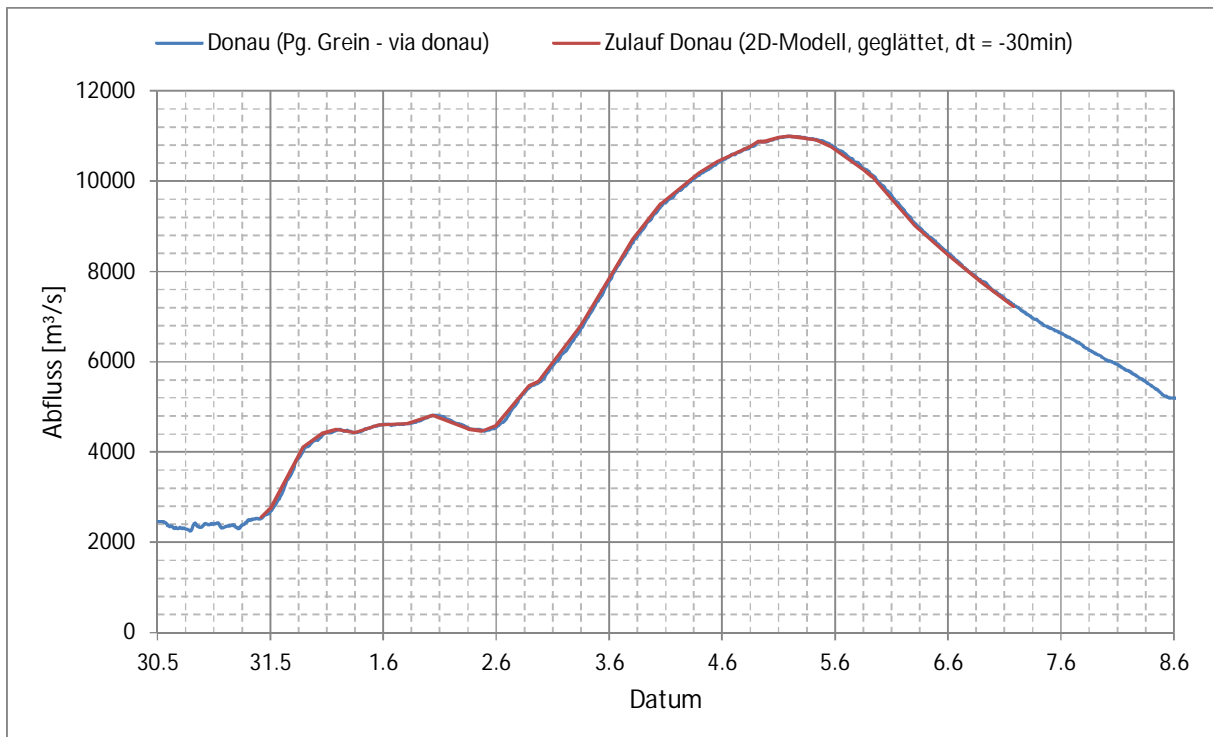
³¹ Aufgrund der auftragsgemäßen „Ausklammerung“ des Machlandes in Bezug auf den Großteil der durchzuführenden Analysen, waren die Kalibrierung des Machlandes und damit eine detaillierte Berücksichtigung der dortigen Zuflüsse von untergeordneter Bedeutung. Demzufolge wurden auch keine zusätzlichen, d.h. keine bereits zuvor im Modell vorhandenen, Zuflüsse aufgenommen und das Teilmodell M31-3 blieb auf die wesentlichen Donauhauptzubringer Traun und Enns beschränkt. Zur Verbesserung der Kalibrierungsgüte wurde jedoch für den Abschnitt unterhalb des Machlandes für die Kalibrierung die Ganglinie des Pegels Grein verwendet, die die tatsächlich aufgetretenen Verhältnisse im Strudengau widerspiegelt.

Abb. 2.23 Durchflussganglinie am Pg Linz beim HW2013 (Quelle: via donau)



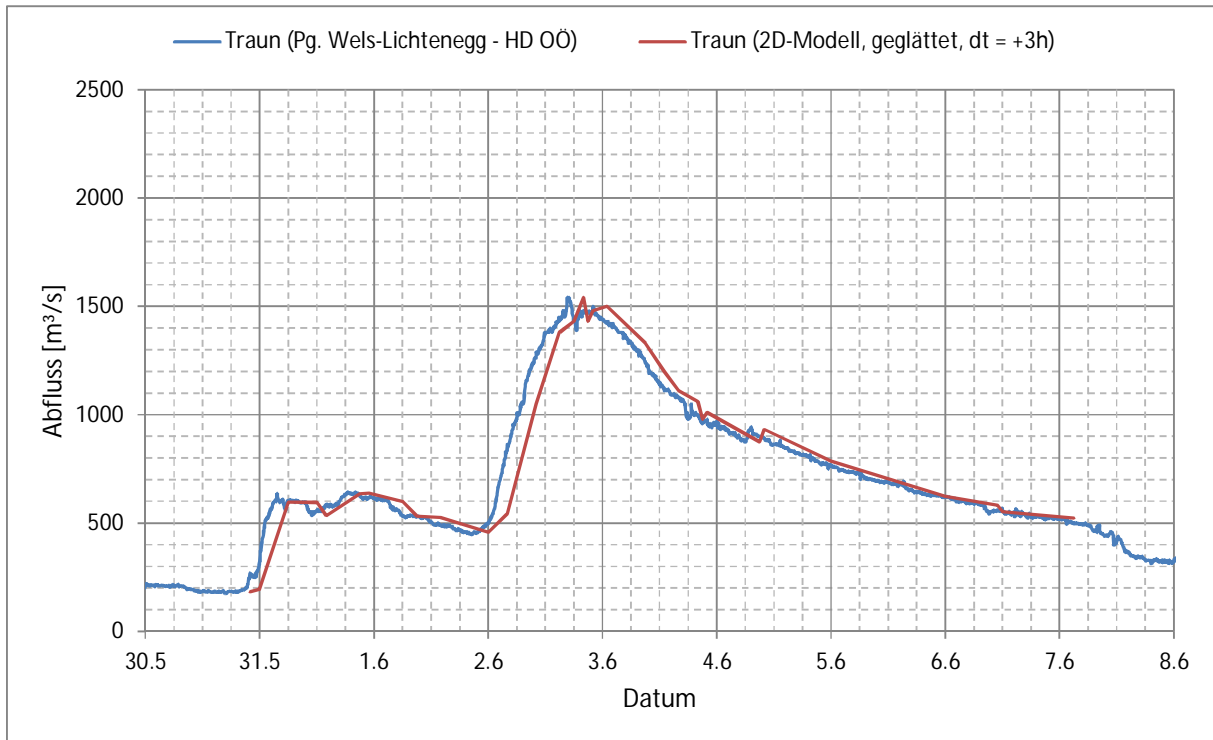
Der Zeitversatz von -30 min in den in der 2D-Berechnung verwendeten Eingangsdaten berücksichtigt näherungsweise die Fließzeit vom oberen Modellrand zum weiter flussab gelegenen Pegel Linz.

Abb. 2.24 Durchflussganglinie am Pg Grein beim HW2013 (Quelle: via donau)



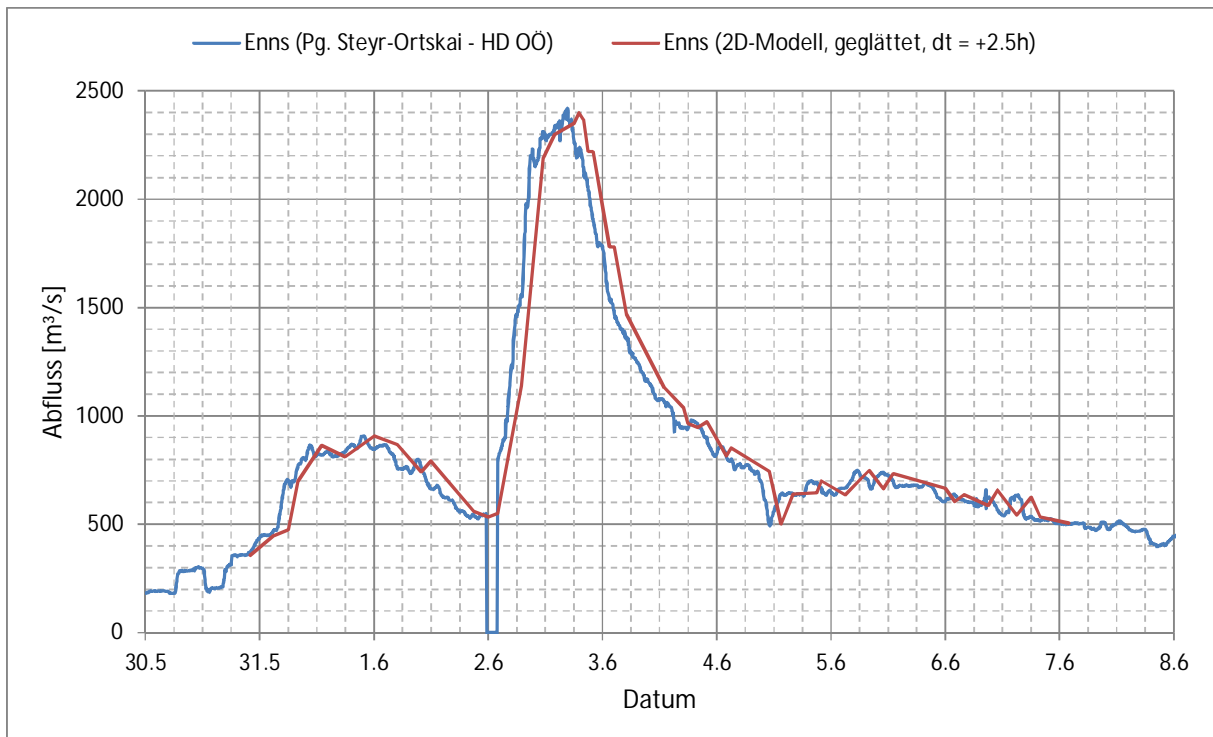
Der Zeitversatz von -30 min berücksichtigt näherungsweise die Fließzeit vom oberen Modellrand, des eigens für Berechnungen im Strudengau stark verkürzten Modells M31-3, zum weiter flussab gelegenen Pegel Grein.

Abb. 2.25 Durchflussganglinie Traun (Quelle: HD OÖ)



Der Zeitversatz von +3 h berücksichtigt näherungsweise die Fließzeit vom Pegel Wels Lichtenegg zum Zugangspunkt im 2D-Modell.

Abb. 2.26 Durchflussganglinie Enns (Quelle: HD OÖ)

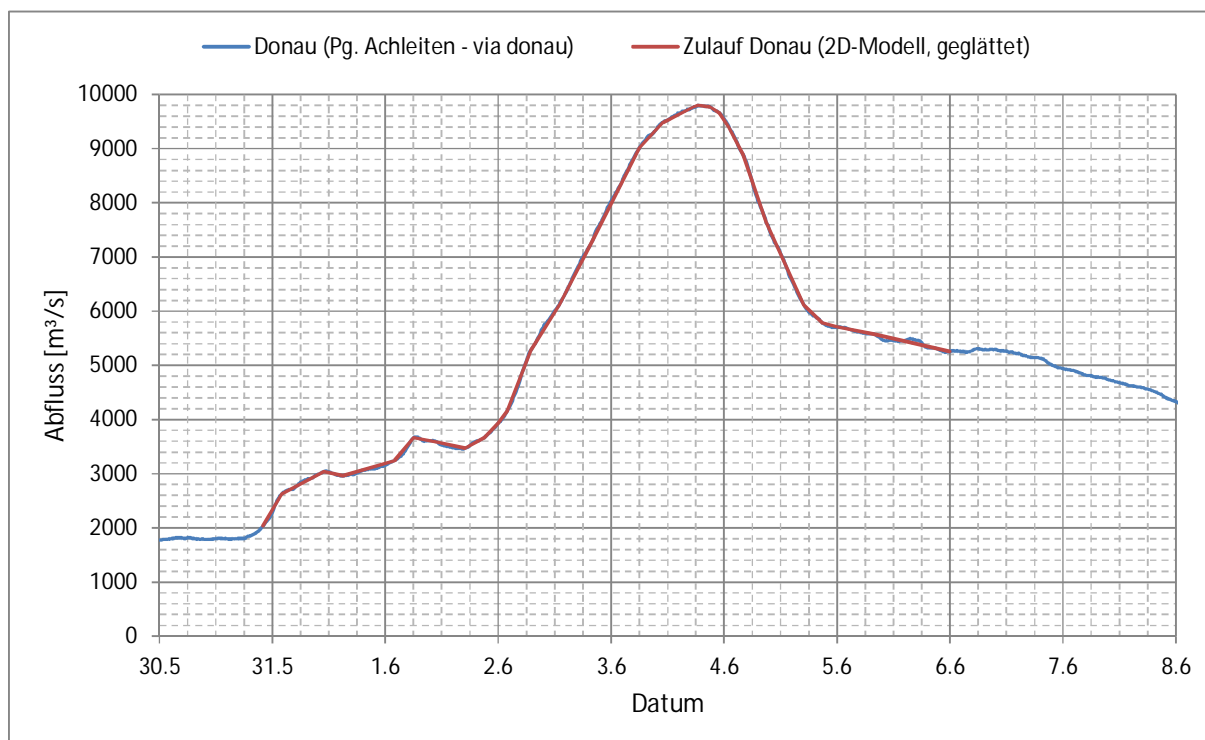


Der Zeitversatz von +2.5 h berücksichtigt näherungsweise die Fließzeit vom Pegel Steyr-Ortskai zum Zugangspunkt im 2D-Modell.

2.5.1.3 Oberes Donautal (M31-1)

Auch für den obersten Abschnitt wurde auf die von der via donau im März 2014 übermittelten Daten zurückgegriffen. Die Abflussganglinie für den Pegel Achleiten wurde inhaltlich unverändert am oberen Modellrand angesetzt. Wie bereits ausgeführt, befinden sich im Teilmodell M31-1 keine weiteren Zuläufe, da der Gesamtbeitrag des Zwischenzuflusses dieses Abschnitts größtenteils im Bereich von weniger 1% liegt.

Abb. 2.27 Durchflussganglinie am Pg Achleiten beim HW2013 (Quelle: via donau)



2.5.2 Berechnungen HQ_{30} , HQ_{100} und HQ_{300}

2.5.2.1 Eferdinger Becken

Die Berechnungen für HQ_{30} und HQ_{100} erfolgten in Abstimmung mit dem Auftraggeber stationär.

Als Durchfluss am oberen Modellrand (KW Aschach) wurden die maßgeblichen Werte aus dem offiziellen hydrologischen Längenschnitt der Donau übernommen. Die Zubringer im Eferdinger Becken wurden bei der HQ_{100} -Berechnung mit HQ_{30} , bei der HQ_{30} -Berechnung mit $0,5 \times HQ_{30}$ ³² angesetzt.

Die Berechnung für HQ_{300} erfolgte instationär, wobei zur Festlegung der anzusetzenden Wellenform der Donauabflussganglinie jene Schritte durchgeführt wurden, welche parallel

³² Der sich daraus ergebende Durchflusswert entspricht bei den beiden nördlichen Zubringern in etwa einem HQ_5 , bei den beiden südlichen standen keine Angaben unter HQ_{30} zur Verfügung (vgl. Tab. 2.5).

zur Festlegung der Lamellendurchflüsse entwickelt wurden und welche unter 2.5.4.1 näher beschrieben sind³³.

Der Scheitelwert der HQ₃₀₀-Welle wurde aus den Daten des hydrologischen Längenschnittes der Donau übernommen. Die Zuflüsse wurden stationär mit ihrem jeweiligen HQ₁₀₀-Wert angesetzt.

2.5.2.2 St. Georgener Bucht / Enns-Enghagen

Für den Bereich St. Georgener Bucht / Enns-Enghagen wurden alle drei Berechnungen - d.h. auch die Berechnung für HQ₃₀₀ - in Abstimmung mit dem Auftraggeber stationär durchgeführt. Für diese Festlegung gelten sinngemäß die unter Pkt. 2.5.4.2 angeführten hydraulisch-hydrologischen Begründungen.

Die Q-Werte für Linz wurden dabei jeweils direkt vom hydrologischen Längenschnitt übernommen. Die Zuflüsse von Traun und Enns wurden so gewählt, dass der resultierende Gesamtabfluss sich so ergibt, wie er im hydrologischen Längenschnitt der Donau ausgewiesen ist.

2.5.2.3 Strudengau

Für den Strudengau wurden aufgrund fehlender Retentionsräume ebenso alle drei Berechnungen (HQ₃₀, HQ₁₀₀ und HQ₃₀₀) stationär durchgeführt. Die Q-Werte wurden dabei jeweils direkt vom hydrologischen Längenschnitt (Pegel Grein) übernommen. Im Strudengau befinden sich keine relevanten Zuflüsse.

2.5.3 HQ_{EXTREM}

Die Festlegung der Durchflüsse für das Szenarium „HQ_{EXTREM}“ erfolgte unter Bedachtnahme auf ein aktuell für das Amt der NÖ Landesregierung in Bearbeitung befindliches Projekt:

Bei diesem Projekt „Überlegungen zu Extremst-Hochwässern an der Donau“ wird untersucht, welche Verhältnisse an der Donau zu erwarten sind, wenn ein Hochwasser auftritt, das zu einem Durchfluss in Wien von 14.000 m³/s führt³⁴.

Im Rahmen dieses Projektes wird u.a. abgeschätzt, welche Durchflüsse entlang des niederösterreichischen Donauabschnitts im Bereich westlich von Wien, d.h. zwischen Wien und Mauthausen auftreten könnten.

Aufbauend auf die in diesem Projekt gewählten Ansätze wurde für das Szenarium HQ_{EXTREM} der Durchfluss am oberen Modellrand (Passau) durch Skalieren der Hochwasserganglinie von 1954 erstellt: Basierend auf den Abschätzungen im o.a. Projekt für NÖ wurde die Ganglinie von 1954 in Q- und t-Richtung mit einem Faktor 1,4 skaliert.

Auf die erforderlichen hydrologisch-meteorologischen Voraussetzungen zur Entstehung eines derartigen Hochwasserereignisses wird unter Pkt. 6.2 näher eingegangen.

³³ Die gewählte Wellenform beruht auf dem HW2013 und wurde analog der angeführten Vorgangsweise für die Lamellenberechnungen verzerrt.

³⁴ Der Wert von Q=14.000 m³/s wurde von Kresser, 1957 als RHHQ für Wien abgeschätzt.

Die Q-Daten für die maßgeblichen Zubringer (Traun und Enns) wurden ebenfalls in Anlehnung an das o.a. Projekt für NÖ festgelegt und demgemäß ebenso in Q- und t-Richtung mit einem Faktor 1,4 skaliert. Die bereits für die Nachrechnung des Ereignisses 06/2013 abgeschätzten Fließzeiten von den Messpegeln zu den jeweiligen Zugangspunkten im Modell wurden dabei ebenso berücksichtigt (vgl. Pkt. 2.5.1.2).

Die im Teilmodell M31-2 (Eferdinger Becken) implementierten Zubringer wurden nicht (hochwasserwirksam) berücksichtigt und wurden mit sehr geringem konstanten Durchfluss angesetzt.

Für die durchgängige Berechnung der öö. Donau mit den 3 Teilmodellen wurde als oberer Zufluss (d.h. jener der Donau) jeweils das Rechenergebnis des Oberliegermodells herangezogen. Die simulierten Durchflussganglinien bildeten somit den Input für das nächste Unterliegermodell. Da es sich somit um ein Zwischenergebnis und nicht um unabhängige Eingangsdaten handelt, sind diese Durchflüsse bei den Berechnungen bzw. deren Ergebnissen angeführt (Abb. 6.4 und Abb. 6.5).

Abb. 2.28 Donau-Durchflussganglinie für den oberen Modellrand des Teilmodells M31-1 (blau: Ausgangsbasis HW1954, rot: hochskalierte Welle für das HQ_{EXTREM})

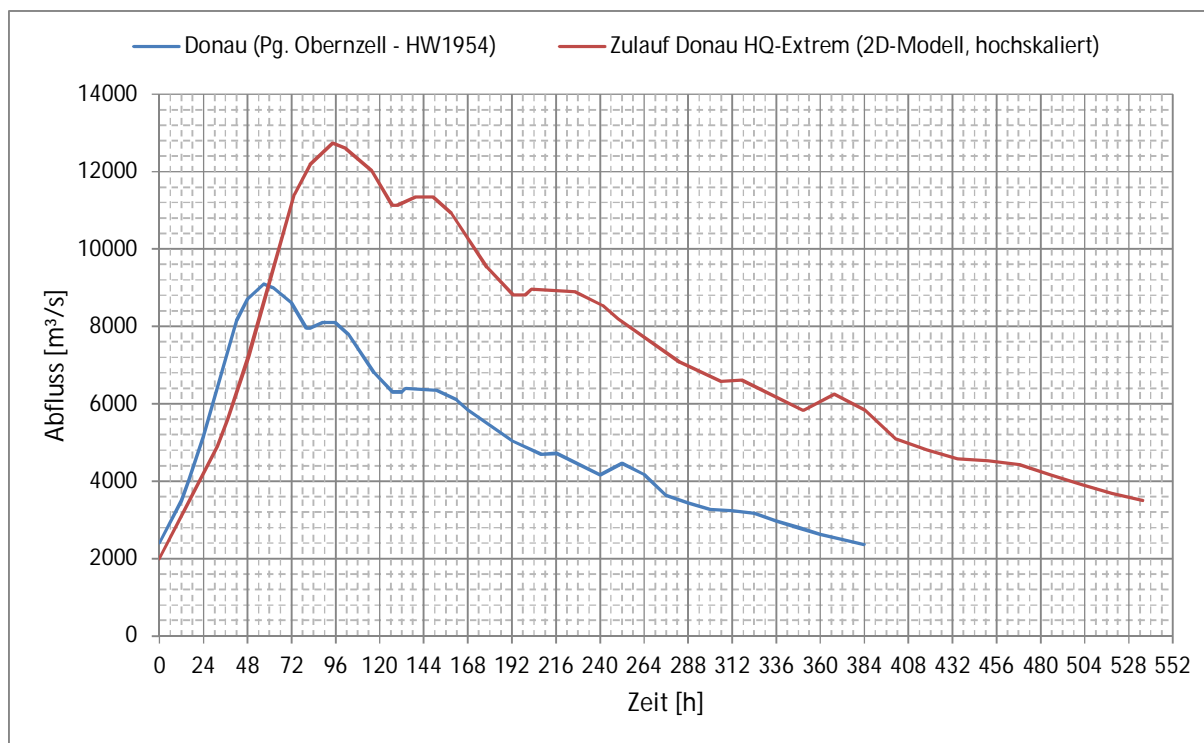


Abb. 2.29 Traun-Durchflussganglinie für das Teilmodell M31-3 (blau: Ausgangsbasis HW1954, rot: hochskalierte Welle für das HQ_{EXTREM})

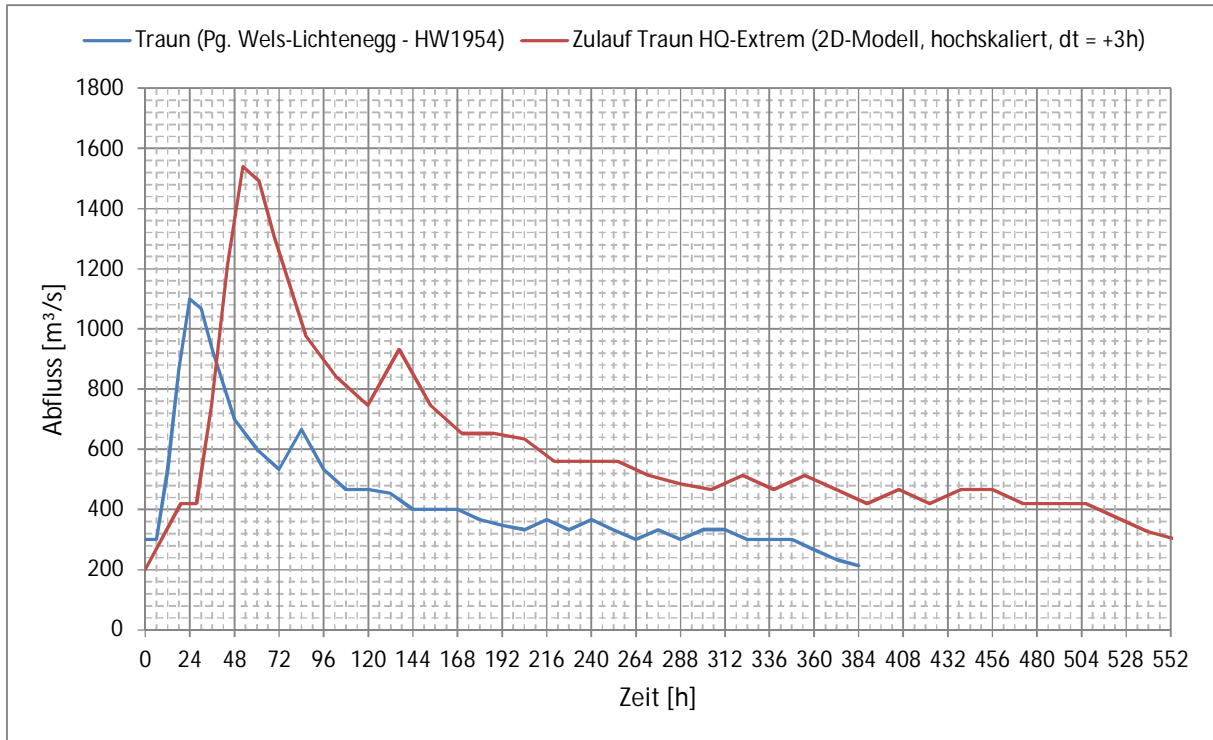
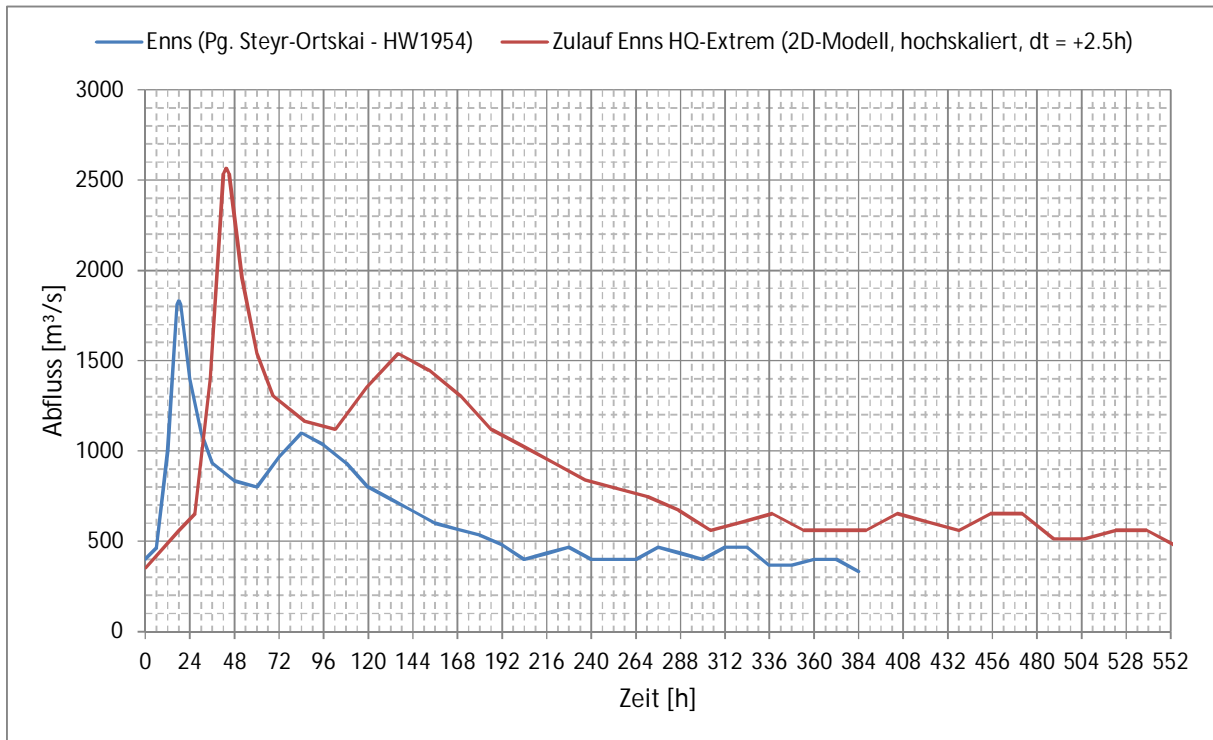


Abb. 2.30 Enns-Durchflussganglinie für das Teilmodell M31-3 (blau: Ausgangsbasis HW1954, rot: hochskalierte Welle für das HQ_{EXTREM})



2.5.4 Berechnungen von Lamellen

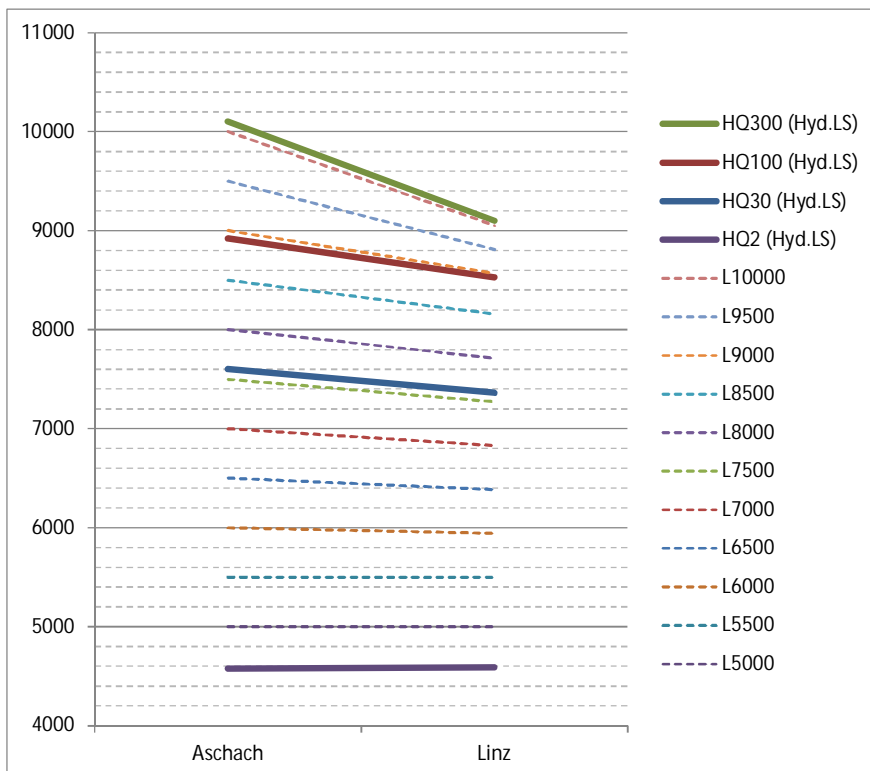
Die Lamellenberechnungen wurden gem. Beauftragung ausschließlich für das Eferdinger Becken und den Bereich St. Georgener Bucht / Enns-Enghagen durchgeführt. Dabei wurde von $Q = 5000 \text{ m}^3/\text{s}$ bis $Q = 10.000 \text{ m}^3/\text{s}$ in Stufen zu $\Delta Q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$ gerechnet.

2.5.4.1 Eferdinger Becken

Bei der Ermittlung der Überflutungsbilder im Eferdinger Becken wurden die Donauabflüsse instationär und die Zubringer stationär angesetzt. Zur Abschätzung der maßgeblichen Wellenformen des Donauabflusses wurde folgende Vorgangsweise entwickelt.

- § Die Basiswellenform bildete das stark geglättete HW2013, das entsprechend auf den jeweiligen Lamellendurchfluss skaliert wurde. D.h. ausgehend von der Relation des Soll-Durchflusses zum Scheiteldurchfluss des HW2013 wurde mit diesem Faktor gleichermaßen in X- und Y-Richtung gestreckt bzw. gestaucht.
- § Darauf aufbauend wurden auch „schmalere“ Wellenformen entwickelt (Stauchung in X-Richtung mit den Faktoren 0.85, 0.7 und 0.5), um den Einfluss auf die Retention abzuschätzen.
- § In der Folge wurde mit dem 1D-Modell die voraussichtliche Retentionswirkung des Eferdinger Beckens bei den unterschiedlichen Wellenformen abgeschätzt.
- § Aus dem Vergleich von unterschiedlichen, im Rahmen des Projektes durchgeführten 1D- und 2D-Berechnungen wurde ein Korrekturwert für die zu erwartende Retentionswirkung ermittelt.
- § Aus der erwarteten Retentionswirkung und dem hydrologischen Längenschnitt, welcher Werte für Aschach und Linz enthält (Abb. 2.31), wurde als Differenz der nötige Zufluss in den Zubringern im Eferdinger Becken abgeschätzt.
- § Diese Differenz wurde auf die vier Zubringer Aschach, Innbach, Große Rodl und Pesenbach aufgeteilt, wobei der Anteil im Verhältnis der HQ_{30} -Werte dieser Zubringer gewählt wurde.

Abb. 2.31 Festlegung bzw. Interpolation der Durchflussverhältnisse an der Donau für die Lamellenberechnung im Eferdinger Becken



Die ausgezogenen Linien entsprechen den Originaldaten des hydrologischen Längenschnitts der Donau (Quelle: via donau). Die strichlierten Linien zeigen die interpolierten Verläufe für die stationären Lamellenberechnungen.

2.5.4.2 St. Georgener Bucht / Enns-Enghagen

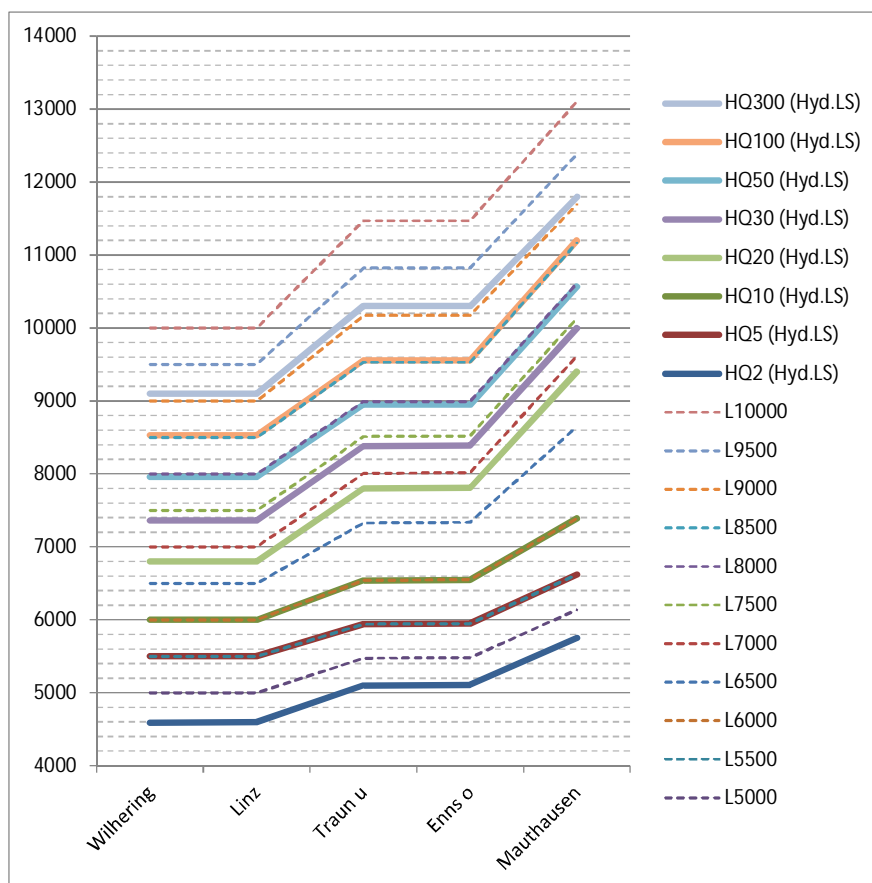
Im Gegensatz zum Eferdinger Becken wurden für die Lamellenberechnungen im Bereich der St. Georgener Bucht / Enns-Enghagen sämtliche Durchflüsse stationär angesetzt.

Der Grund liegt in der überaus komplexen hydraulischen Situation des Donauabschnitts „Linzer Feld“. Die Abflussverzweigung an der ÜSS Steyregg mit der, vor dem Rückfluss in das Hauptgerinne (d.h. oberhalb des KW Abwinden-Asten) gelegenen, Traunmündung, in Kombination mit dem Rückstau einfluss der Ennseinmündung bei Mauthausen, erlauben keine sinnvolle bzw. verständlich nachvollziehbare instationäre Szenarienfestlegung für die Lamellenberechnung.

Aus diesem Grund wurde in Abstimmung mit dem Auftraggeber die stationäre Berechnung mit aus dem hydrologischen Längenschnitt der Donau abgeleiteten Durchflusswerten festgelegt:

- § Als Bezugspegel für die Bestimmung der einzelnen Durchflüsse von Donau, Traun und Enns dient der Pegel Linz, d.h. die vordefinierten Lamellenstufen ($Q = 5000 \text{ m}^3/\text{s}$ bis $Q = 10.000 \text{ m}^3/\text{s}$) beziehen sich auf den Durchfluss am Pegel Linz³⁵.
- § Von diesen Lamellenstufen ausgehend, wurden entsprechende Werte für die nachfolgenden Stationen (Einmündung Traun, Einmündung Enns)³⁶ des hydrologischen Längenschnitts interpoliert (Abb. 2.32).
- § Aus diesen interpolierten Verläufen wurden schließlich die stationären Beiträge (Zuflüsse) von Traun und Enns ermittelt.

Abb. 2.32 Festlegung bzw. Interpolation der Durchflussverhältnisse an der Donau für die Lamellenberechnung im Bereich St. Georgener Bucht / Enns-Enghagen



Die ausgezogenen Linien entsprechen den Originaldaten des hydrologischen Längenschnitts der Donau (Quelle: via donau). Die strichlierten Linien zeigen die interpolierten Verläufe für die stationären Lamellenberechnungen.

Basis der Interpolation war dabei jeweils der Pegel Linz, an welchem die Durchflüsse exakt mit der Lamellenbezeichnung übereinstimmen (z.B. $Q = 5000 \text{ m}^3/\text{s}$ bei L5000). Der jeweils in der Modellierung angesetzte Durchfluss der Traun errechnet sich aus der Differenz von „Linz“ zu „Traun u“ bzw. jener der Enns aus der Differenz von „Enns o“ zu „Mauthausen“.

³⁵ Ein Vorteil dieser Festlegung ist unter anderem, dass dadurch das mit den Lamellenberechnungen abgedeckte Abflussspektrum im Bereich der St. Georgener Bucht / Enns-Enghagen am größten ist.

³⁶ Die korrekten Bezeichnungen gem. hydrologischem Längenschnitt der Donau (via donau) lauten „Traun o“ für Linz, „Traun u“ für unterhalb der Traunmündung, „Enns o“ und „Enns u“ für oberhalb bzw. unterhalb der Ennsmündung.

2.5.5 Oberwasserstände an den geregelten Kraftwerken

Für die Simulation des Kraftwerkbetriebs ist in Abhängigkeit der Fragestellung eine der beiden nachfolgenden Randbedingungen erforderlich:

- § Nachrechnung realer Ereignisse:
 - Zeitreihen beobachteter Oberwasserstände
- § Simulation instationärer Szenarien:
 - W/Q-Beziehung für die Oberwasserstände³⁷

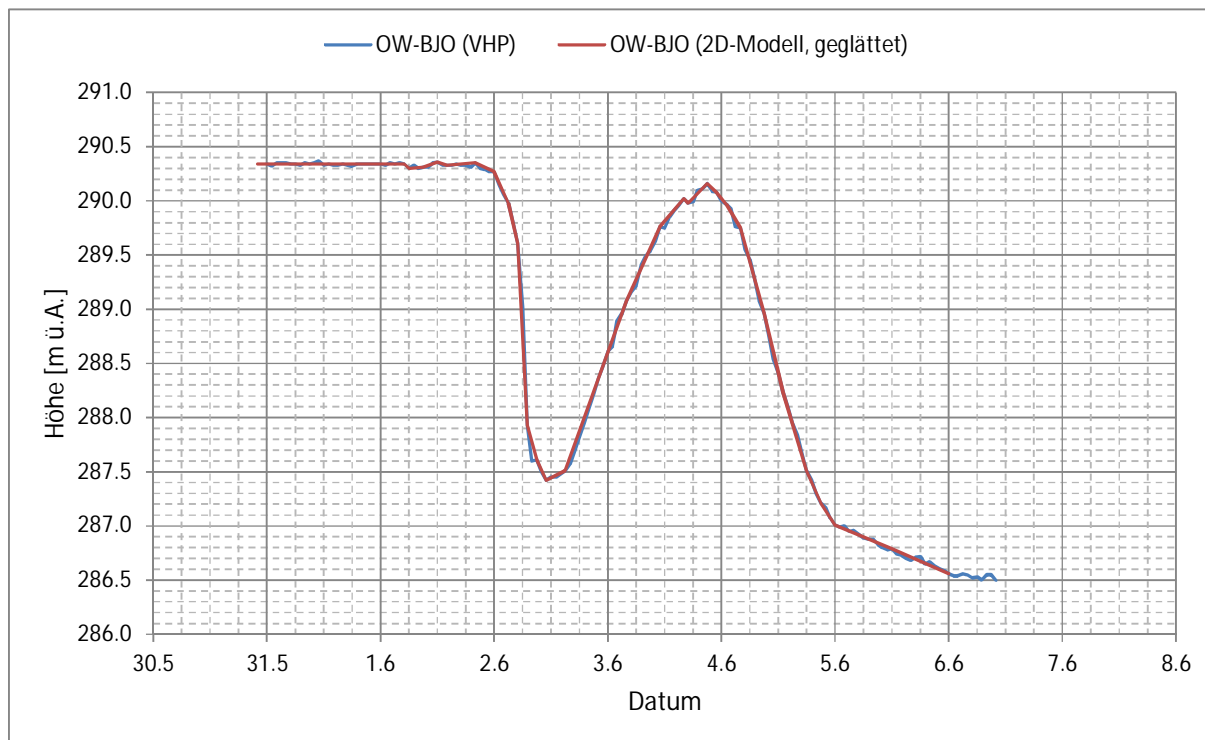
2.5.5.1 Beobachtete OW-Stände für die Nachrechnung bzw. Kalibrierung des HW2013

Für die Nachrechnung des Ereignisses von 06/2013 bzw. die Modellkalibrierung an diesem Ereignis wurden die Messdaten für die Oberwasserstände aller in den Modellen regeltechnisch abgebildeten Donaukraftwerke von der VHP bereitgestellt.

Ähnlich wie bei den Zuflüssen ist es erforderlich, die Originalzeitreihen entsprechend auszudünnen, da die Anzahl der maximal programmtechnisch verarbeitbaren Wertepaare (t, W) beschränkt ist. In den nachfolgenden Darstellungen der verwendeten Eingangsdaten sind daher jeweils die Originaldaten (blau) und die im Modell implementierten (rot) überlagert dargestellt.

In den nachfolgenden Abbildungen (Abb. 2.33 bis Abb. 2.38) sind die verwendeten Datensätze dargestellt, wobei die Reihenfolge in Fließrichtung erfolgt.

Abb. 2.33 Oberwasserstand am KW Jochenstein beim HW2013 (Quelle: VHP), Teilmodell M31-1



³⁷ Diese werden aus der Wehrbetriebsordnung (WBO) des Kraftwerks abgeleitet.

Abb. 2.34 Oberwasserstand am KW Aschach beim HW2013 (Quelle: VHP),
Teilmodell M31-1

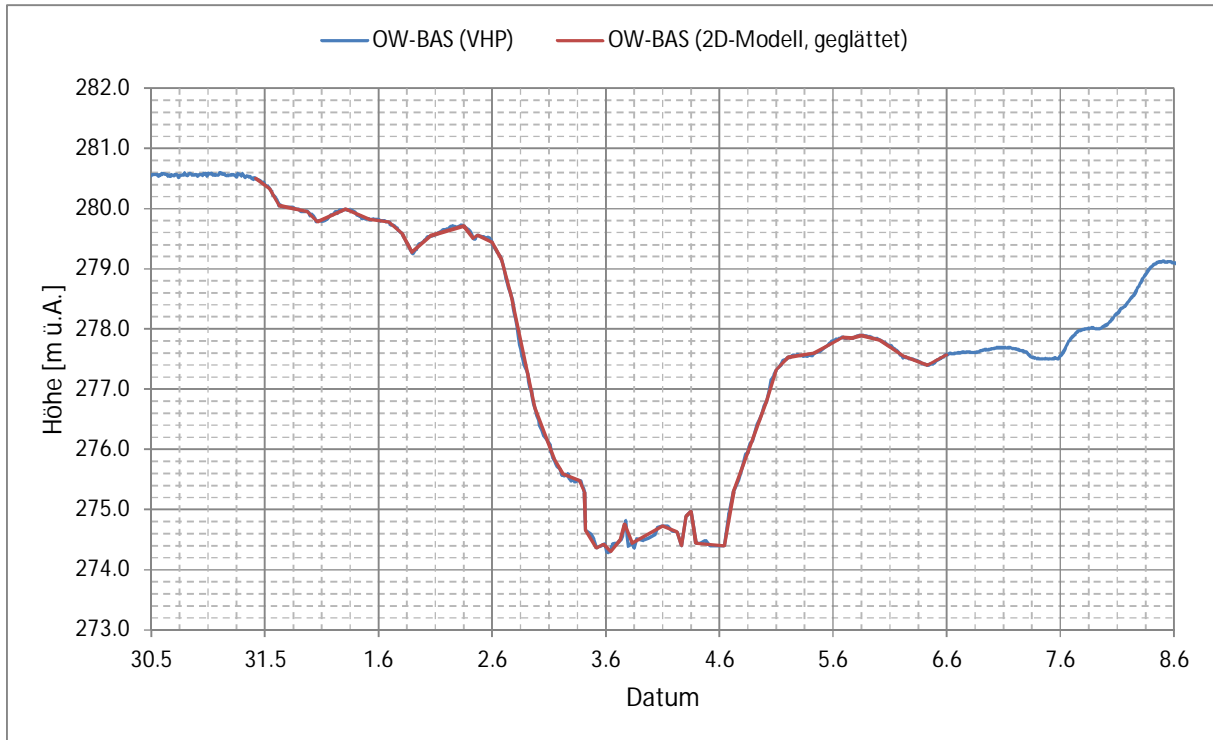


Abb. 2.35 Oberwasserstand am KW Ottensheim-Wilhering beim HW2013 (Quelle: VHP),
Teilmodell M31-2

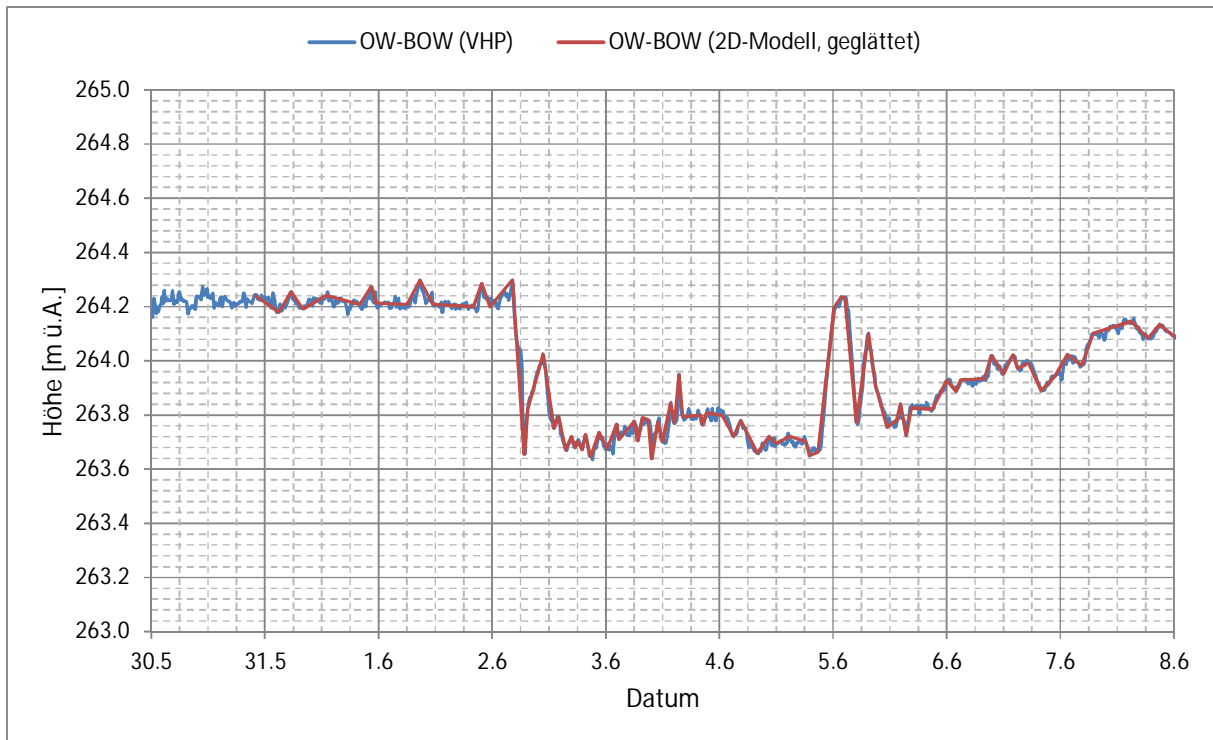


Abb. 2.36 Oberwasserstand am KW Abwinden-Asten beim HW2013 (Quelle: VHP), Teilmodell M31-3

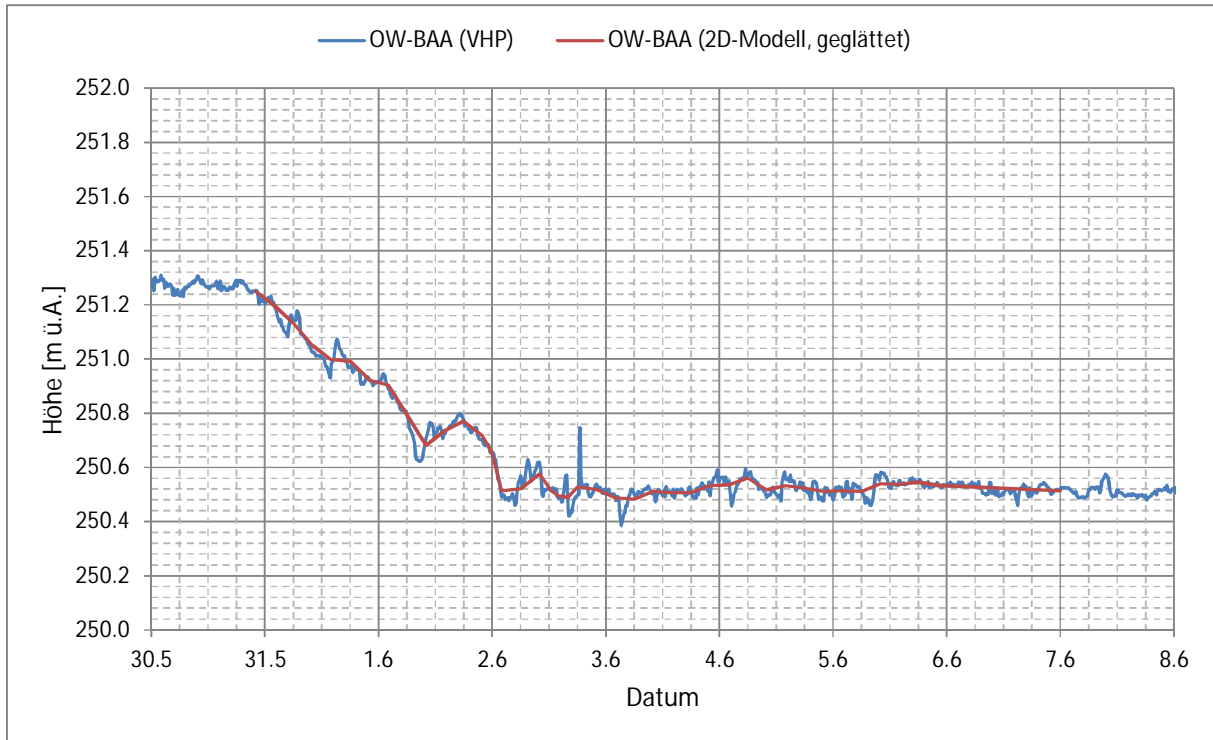


Abb. 2.37 Oberwasserstand am KW Wallsee-Mitterkirchen beim HW2013 (Quelle: VHP), Teilmodell M31-3

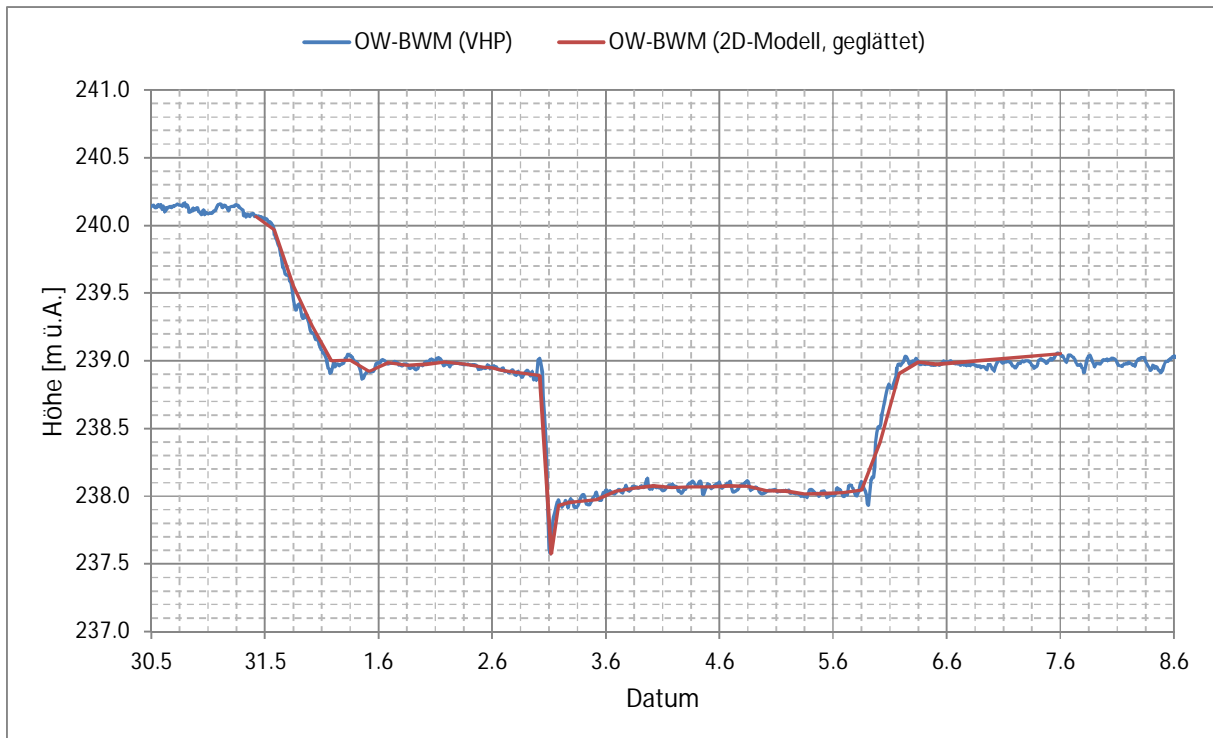
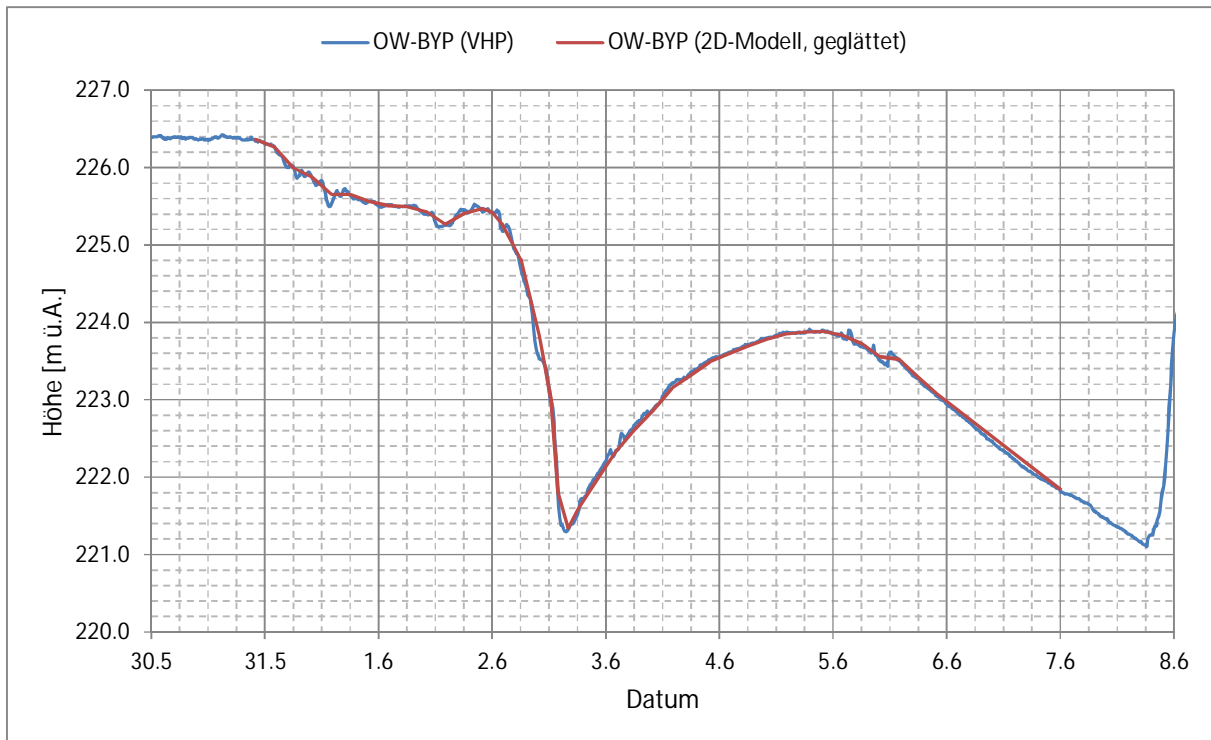


Abb. 2.38 Oberwasserstand am KW Ybbs-Persenbeug beim HW2013 (Quelle: VHP), Teilmodell M31-3



2.5.5.2 W/Q-Beziehungen der OW-Stände für die Simulation instationärer Szenarien

Die ursprünglich in den Modellen implementierten W/Q-Beziehungen wurden im Zuge der Bearbeitung erweitert (d.h. für höhere Durchflussbereiche „verlängert“)³⁸. Für diese Erweiterungen/Verlängerungen wurden von VHP die Ergebnisse von physikalischen Modellversuchen zur Verfügung gestellt. Dennoch musste für extrem hohe Durchflüsse teilweise extrapoliert werden. Bei der Ermittlung wurden entsprechend den Vorgaben der jeweiligen WBO jeweils sämtliche Wehrverschlüsse und Schleusen als voll funktionsfähig angesetzt. D.h. es wurden keine Versagensannahmen getroffen (n-1 o.ä.), wengleich das schrittweise Öffnen zusätzlicher Abflussöffnungen sehr wohl berücksichtigt ist.

In niedrigen Abflussbereichen setzen die implementierten Beziehungen oftmals die in der jeweiligen WBO verankerte „obere“ Toleranz des verordneten Wasserstandes um. Da jedoch grundsätzlich Hochwasserereignisse modelliert wurden, bzw. die Modelle für Hochwasseranalysen konzipiert sind, sind solche zulässigen (!) Variabilitäten in der Anwendung der Verordnungstexte nicht von Bedeutung und haben keinen Einfluss auf das Endergebnis. Für die durchgeführten Untersuchungen ist dagegen geradezu die möglichst korrekte Nachbildung bei hohen Durchflüssen, also während des Durchlaufens der Hochwasserwelle, maßgeblich.

In den Abbildungen (Abb. 2.33 bis Abb. 2.38) sind die verwendeten Datensätze dargestellt, wobei die Reihenfolge in Fließrichtung erfolgt.

³⁸ Dieser Schritt war v.a. für die Analyse eines HQ_{EXTREM} erforderlich.

Für die Darstellung der Wehrbetriebsordnungen ist wichtig, dass die Wehrbetriebsordnungen im Modell in vereinfachter Form hinterlegt sind: Dabei sind alle Vorgaben auf den OW-Pegel bezogen, wobei in der Darstellung von $W_{\text{SOLL, OW}}$ als $f(Q)$ implizit auch jene Vorgaben einbezogen sind, welche sich z.B. durch das Einhalten von Wasserständen am Wendepiegel ergeben. Die Ermittlung von $W_{\text{SOLL, OW}} = f(Q)$ erfolgte durch 1D-Simulationen, welche die Wehrbetriebsordnung mit allen detaillierten Informationen enthalten. Diese Ermittlung erfolgte im Rahmen der Entwicklung des Hochwasserprognosesystems für die österreichische Donau. Die im 2D-Modell für die Regelung der Kraftwerke implementierten Ansätze wurden direkt von den ausführlichen Analysen und Festlegungen im Rahmen des damaligen Projektes übernommen.

Abb. 2.39 Oberwasser – W/Q-Beziehung für die Regelung des KW Jochenstein, Teilmodell M31-1

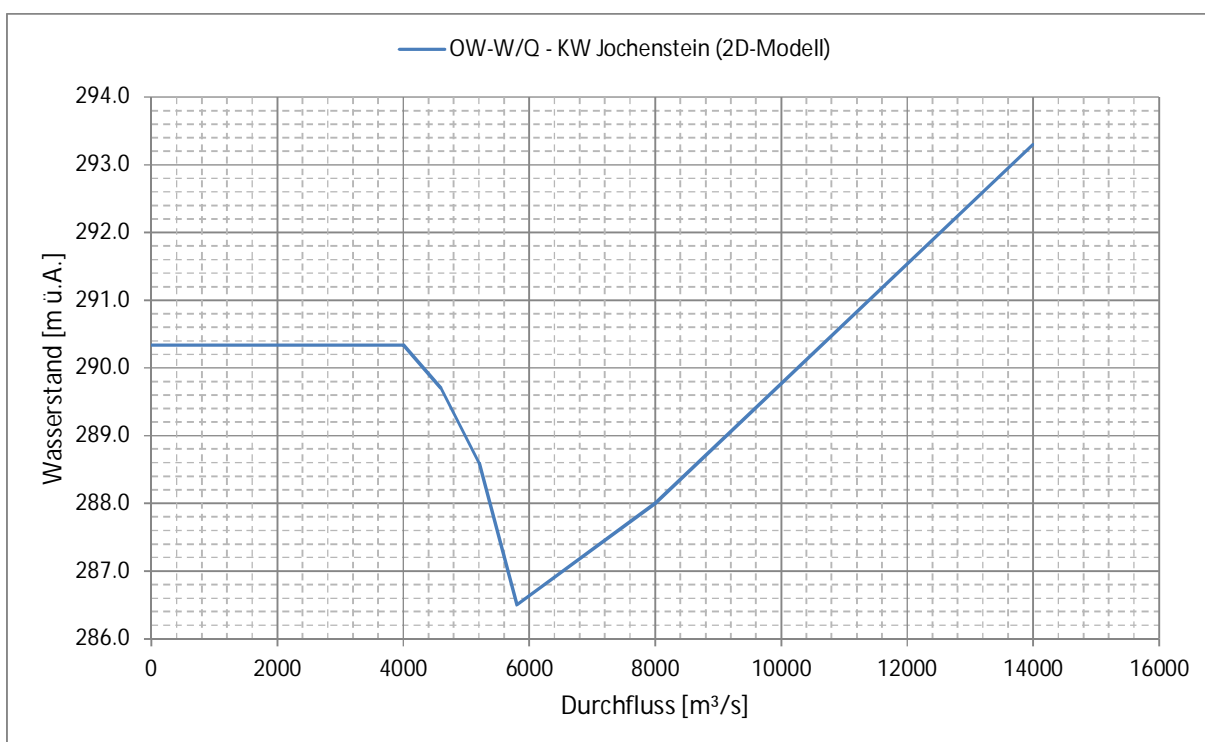


Abb. 2.40 Oberwasser – W/Q-Beziehung für die Regelung des KW Aschach, Teilmodell M31-1

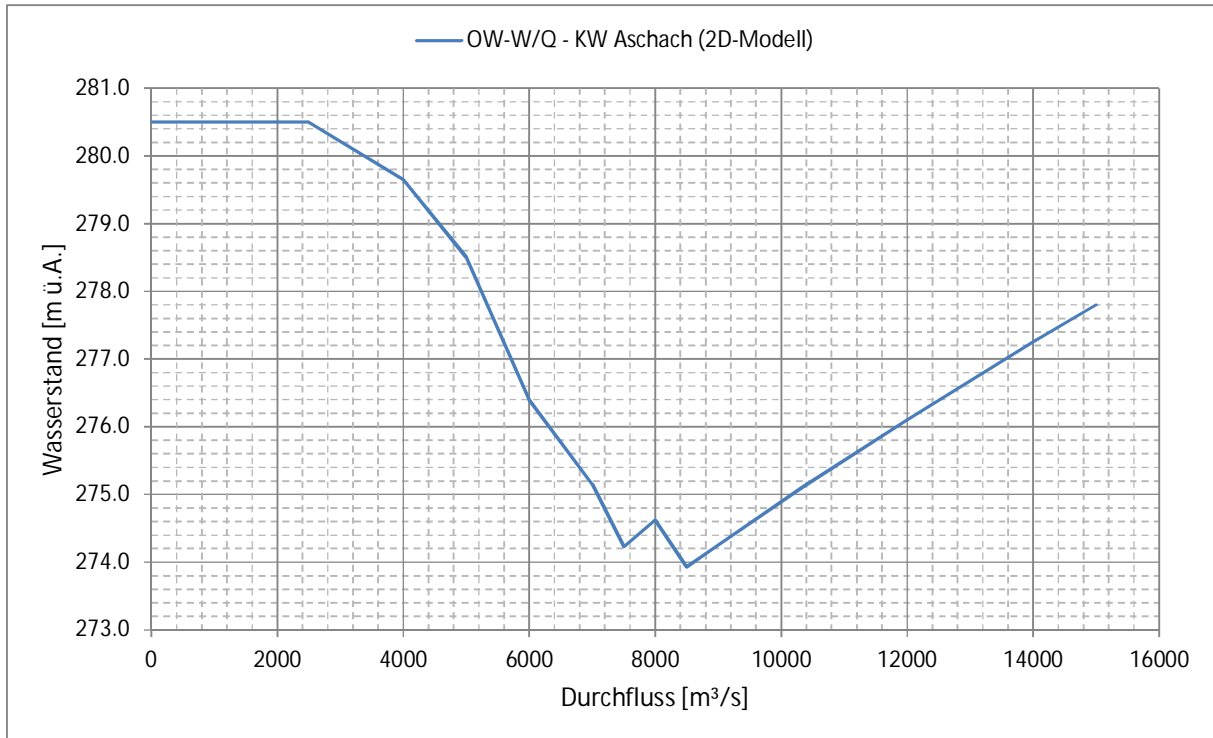


Abb. 2.41 Oberwasser – W/Q-Beziehung für die Regelung des KW Ottensheim-Wilhering, Teilmodell M31-2



Abb. 2.42 Oberwasser – W/Q-Beziehung für die Regelung des KW Abwinden-Asten, Teilmodell M31-3

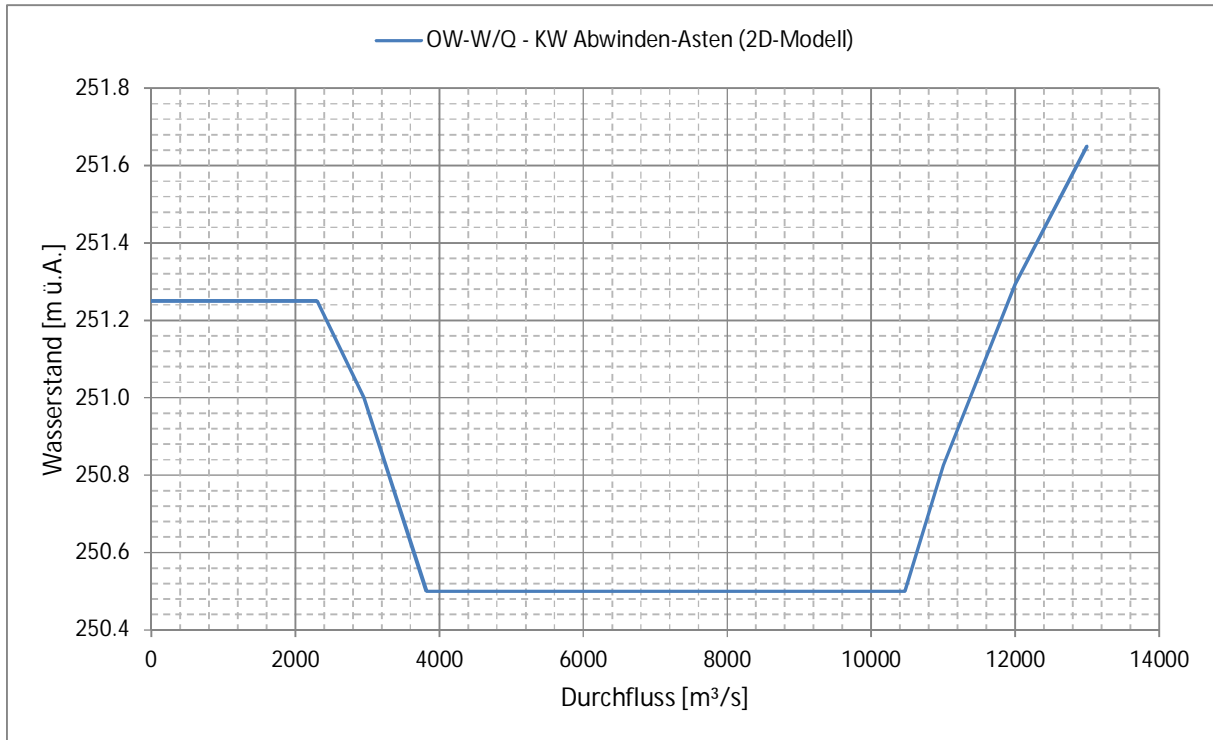


Abb. 2.43 Oberwasser – W/Q-Beziehung für die Regelung des KW Wallsee-Mitterkirchen, Teilmodell M31-3

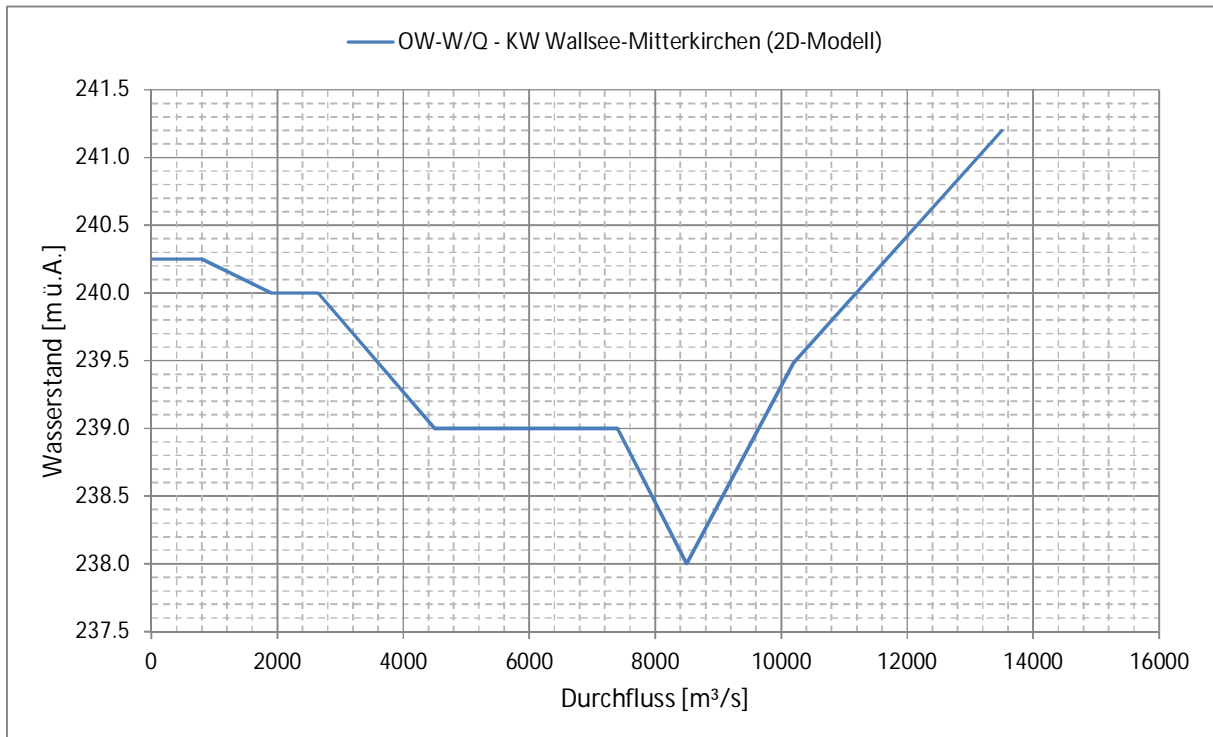
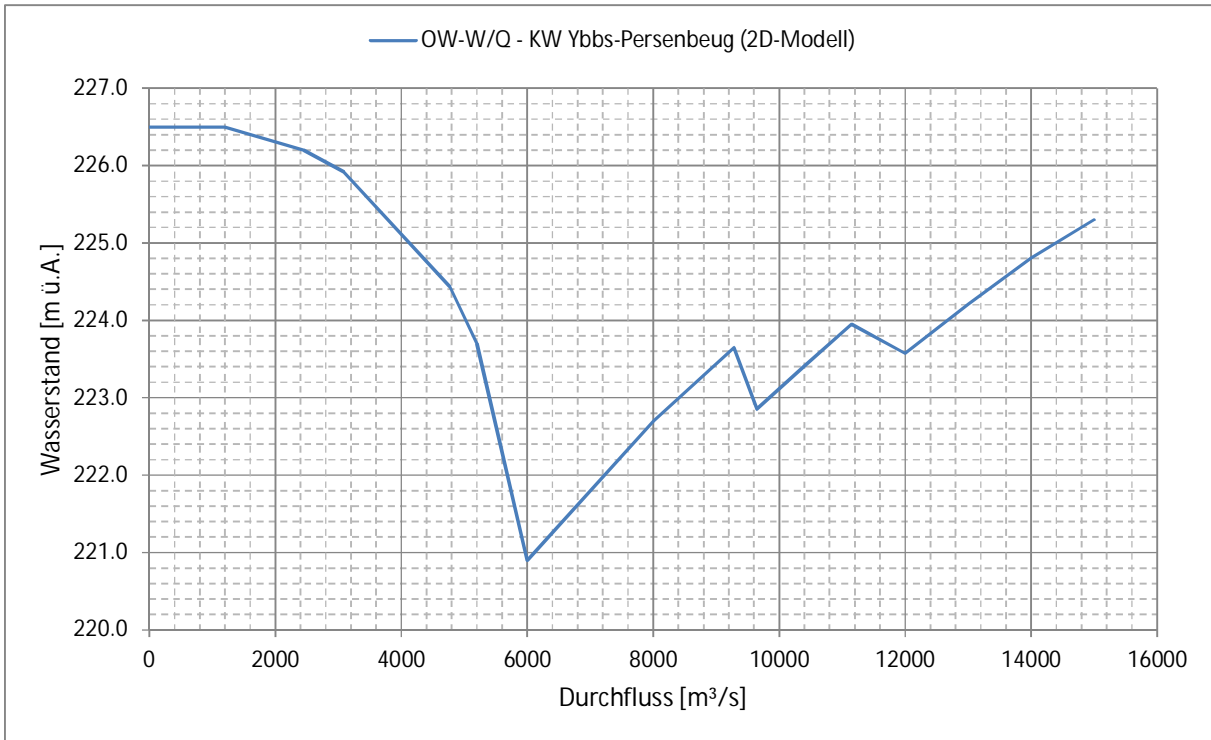


Abb. 2.44 Oberwasser – W/Q-Beziehung für die Regelung des KW Ybbs-Persenbeug, Teilmodell M31-3



3 Berechnungen für das Eferdinger Becken (Modell M31-2)

3.1 Überblick

Die Arbeiten an und mit dem Modell für das Eferdinger Becken lassen sich in folgende Punkte gliedern:

(1) *Grundsätzliche Anpassungen am Modell und Nachrechnung des HW2013*

Diese Anpassungen beinhalten alle Schritte, welche dazu dienen, das Modell vom Ausgangsmodell in einen besseren Zustand zu bringen. Dies umfasst die Aufprägung aktueller Laserscan-Daten, die Überprüfung und die lokale Verbesserung des Berechnungsnetzes und dabei insbesondere die Verbesserung des Berechnungsnetzes für die Gewässersohle der Zubringer Aschach, Innbach, Pesenbach und Große Rodel. Hinzu kommt die Nachrechnung des HW2013 und dabei die Verbesserung der Kalibrierung des Modells.

Vorweg sei festgehalten, dass im Rahmen des gegenständlichen Projektes a priori keine Kalibrierung des Modells vorgesehen war. Die Entscheidung, das Modell in einzelnen Abschnitten nachzukalibrieren hat sich im Rahmen der Nachrechnungen dadurch ergeben, dass es ein wichtiges Ziel war, mit dem Modell die beobachteten Verhältnisse abzubilden.

Ergänzend sei auch festgehalten, dass die durchgeführte Kalibrierung nicht die oft angewendete Praxis mit Unterteilung von (a) Kalibrierung mit einem Datensatz und (b) Verifizierung an einem zweiten, unabhängigen Datensatz umfasst. Die Kalibrierung erfolgt durch Änderung der Reibungsbeiwerte mit dem Ziel, die beobachteten Verhältnisse bestmöglich nachbilden zu können.

In diesem Sinne sind Kalibrierung und Nachrechnung des Ereignisses von 06/2013 *als ein Schritt zu sehen*. Die Überprüfung der durchgeführten Kalibrierung ergibt sich durch einen Vergleich zwischen den mit der letztgültigen Modellversion berechneten Wasserständen und den für das Projekt zur Verfügung stehenden Beobachtungen. Eine zusätzliche Sicherung der Qualität der Kalibrierung ergibt sich dadurch, dass nur Änderungen an den Reibungsbeiwerten durchgeführt wurden, welche sich aus inhaltlich-hydraulischer Sicht eindeutig argumentieren lassen (z.B. aufgrund der Landnutzung und durch Beschränkung auf k_{STR} -Werte, welche für die entsprechenden Verhältnisse in der Literatur dokumentiert sind).

Die Nachrechnung des HW2013 diene in weiterer Folge für die Erstellung einer animierten Visualisierung zum Hochwasser für die gesamte öö. Donau, wobei diese Visualisierung sich auf die unmittelbare animierte Darstellung der 2D-Simulationen beschränkt. Für die Erstellung des Films zum Hochwasser von 06/2013³⁹ wurde im Sommer 2013 das 2D-Modell von SCIE TEC/DonauConsult verwendet, wie es damals verfügbar war⁴⁰.

³⁹ Hochwasser 2013 – Analyse und Modellierung der Überflutungen im Eferdinger Becken. PÖYRY Energy GmbH im Auftrag des Amtes der Oö. Landesregierung.

⁴⁰ Die damalige Modellvariante entsprach im Wesentlichen noch dem unveränderten Ausgangsmodell von SCIE TEC/DonauConsult, jedoch bereits erweitert um die von PÖYRY implementierte Kraftwerksregelung und die Berücksichtigung des Pesenbachzuflusses.

(2) *Berechnungen von HQ₃₀-, HQ₁₀₀- und HQ₃₀₀-Szenarien*

Mit dem überarbeiteten und neukalibrierten Modell wurden Neuberechnungen für ein HQ₃₀-, HQ₁₀₀- und HQ₃₀₀-Szenarium durchgeführt. Aus den Berechnungsergebnissen wurden GIS-Datensätze (Shape-Files) für die Überflutungsflächen, Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten ausgearbeitet.

(3) *Lamellenberechnungen*

Die Lamellen zeigen das zu erwartende Überflutungsbild für Durchflüsse zwischen 5.000 und 10.000 m³/s bezogen auf den Pegel Achleiten. Die Lamellen wurden für 500 m³/s-Schritte gerechnet und ausgewiesen. Ziel war die Erstellung von GIS-Datensätzen (Shape-Files) der Überflutungsflächen.

Ergänzend sei angemerkt, dass in umfangreichen Sensitivitätsanalysen untersucht wurde, wie sich der Charakter einer Durchflussganglinie (d.h. spitze Welle versus flache Welle, auf das Überflutungsbild im Eferdinger Becken auswirkt. Die Erkenntnisse dienten zur Erstellung eines Auswahlkatalogs der jeweils zu verwendenden Lamelle. Dieser Auswahlkatalog wurde in einer eigenen Anleitung gemeinsam mit den Sensitivitätsanalysen dokumentiert und ist demzufolge nicht Teil des vorliegenden Berichts (vgl. Fußnote 4).

(4) *HQ_{EXTREM}*

Die Berechnungen ermitteln das Überflutungsbild für ein Extremszenarium, welches auf Grund von hydrologischen Überlegungen definiert wurde.

Dieses Extremszenarium wurde für die gesamte öö. Donau ermittelt und konsistent festgelegt. Die Berechnungen für das Eferdinger Becken sind damit ein Teil der Gesamtberechnung für Oberösterreich und sind unter Pkt. 6 erläutert.

(5) *Simulation unterschiedlicher Verlandungsszenarien im Stauraum Ottensheim-Wilhering*

Die Berechnungen zeigen, wie sich unterschiedliche Verlandungsszenarien auf die Durchflussverhältnisse und das Überflutungsbild im Eferdinger Becken auswirken.

Die Szenarien für diese Untersuchung wurden seitens des Landes OÖ im Grundsatz definiert.

Die Untersuchungen sind gemeinsam mit den Verlandungsszenarien für den Stauraum Aschach unter Pkt. 7 angeführt.

(6) *Vormalige HQ₁₀₀-Abflussbereiche*

Die Berechnungen sollen das Ausmaß der (theoretischen) Überflutungen in den vom Auftraggeber vorgegebenen Bereichen Höflein und Ottensheim darstellen, wenn dort kein Hochwasserschutz vorhanden wäre.

3.2 Modellverbesserung, Kalibrierung und Nachrechnung HW2013

3.2.1 Datengrundlage für die Kalibrierung

Für die Kalibrierung des 2D-Modells des Eferdinger Beckens standen folgende Beobachtungs-Datengrundlagen zur Verfügung:

1. Durchflussganglinie am Pegel Wilhering von via donau (Stand: 03/2014)
2. Wasserstandsganglinien an folgenden Pegelstellen:
 - via donau: Aschach Strombauleitung, Aschach Agentie, ÜSS Brandstatt, ÜSS Feldkirchen, Wilhering und Kürnberg
 - VHP: WP Christl
3. Maximale Wasserstände der Donau von via donau (linkes und rechtes Ufer)
4. Maximale Wasserstände in den Vorländern (Land OÖ)
5. Anrainerbeobachtungen.

Die zur Verfügung gestellten Anrainerbeobachtungen waren sowohl inhaltlich als auch qualitativ sehr heterogen. Teils standen detaillierte, gut verwertbare Wasserstandszeitreihen zur Verfügung, teilweise beschränkten sich die Angaben auf qualitative Beschreibungen. In Tab. 3.1 sind die insgesamt 12 Datensätze überblicksmäßig erläutert.

Davon befindet sich ein Datensatz außerhalb des Modellgebiets und 2 Datensätze sind auf dieselbe Örtlichkeit bezogen (wenn auch nicht mit restlos konsistenten Angaben⁴¹). Daher verblieben 10 Stellen, an denen jeweils die Modellergebnisse für Kontrollzwecke ausgelesen wurden. Diese wurden mit den Kurz-IDs G1 bis G4, W1 und W2, sowie A1 bis A4 betitelt, wobei der vorangestellte Buchstabe einen Verweis auf die Gemeinde des Beobachtungsortes ist. D.h. G steht für Goldwörth, W für Walding und A für Alkoven (vgl. Spalte 1 und 3 in Tab. 3.1).

Aufgrund fehlender quantitativer Angaben bei 2 Datensätzen (kein vorhandener oder ableitbarer Absolutbezug der beobachteten Wasserstände bei G4 und W2) war ein Vergleich schlussendlich nur an insgesamt 8 Stellen im gesamten Eferdinger Becken möglich. Entsprechend der unterschiedlichen, verfügbaren Angaben zu den einzelnen Anrainerbeobachtungen erlauben diese folgende Vergleiche/Kontrollen:

- Typ 1. Scheitelwert und Verlauf (G1, G2 und A1)
- Typ 2. Scheitelwert (G3, W1, A4)
- Typ 3. Verlauf (A2 und A3)

⁴¹ Aus den Angaben ergibt sich ein Delta im maximalen Wasserstand von 9 cm.

Tab. 3.1 Übersicht der Anrainerbeobachtungen

ID	Name	Ort	Adresse	Rechtswert	Hochwert	Typ / Inhalt	Anmerkungen	Node-ID
G1	Helzmannseder Günther	Goldwörth	Ahornweg 12	56893	354358	W(t)	Detaillierte Aufzeichnungen	469413
G2	Gumpfmayr August	Goldwörth	Kirchengasse 11	56786	354647	W(t)		477526
G3	Foto Hubschrauber	Goldwörth	Nähe Kirche	56913	354575	W-max = 262.04		479150
G4	Burgstaller	Goldwörth	Bachstrasse 25	56587	354442	Infos zu Pesenbach/Donau	Quantitativ nicht verwertbar	446591
W1	Schober	Walding	Rodl 2	60722	355942	W-max = 261.78		765000
W2	Schned	Walding	Purworth 6	58850	354797	Fotos, keine absoluten Koten	Quantitativ nicht verwertbar	642592
A1	Haslmayr Hans-Peter Lugmair	Alkoven	Prägartnerhofstrasse 35	56565	351472	W(t)W-max = 262.15	Detaillierte Aufzeichnungen Diskrepanz Lugmair/Haslmayr = 9 cm	551988
A2	Manigatterer Kurt	Alkoven	Prägartnerhofstraße 21	56553	351194	dW(t)	Ohne Absolutbezug - nur für Verlaufskontrolle geeignet	577905
A3	Eder	Alkoven	Innbachstrasse 45	58969	351826	W(t)	Ohne Absolutbezug - nur für Verlaufskontrolle geeignet	610622
A4	Lindinger	Alkoven	Tiefeldstraße 9	57694	350522	W-max = 262.04		665419
??		Hartkirchen	Hacking 10	47906	358468	Detaillangaben zur Aschach	Befindet sich außerhalb des 2D-Modells	

3.2.2 Anpassungen am Modell

3.2.2.1 Festlegung der Randbedingungen: Zuflüsse, KW Ottensheim-Wilhering und unterer Modellrand

Im Vergleich zum Ausgangsmodell von SCIETEC/DonauConsult wurde für das aktuelle Projekt der Pesenbach als Zufluss ergänzt.

Ebenfalls adaptiert wurden jene Elemente im Bereich des KW Ottensheim-Wilhering, die für die Modellierung des Kraftwerksbetriebes mit Donau2D nötig sind (vgl. Pkt. 2.4.3).

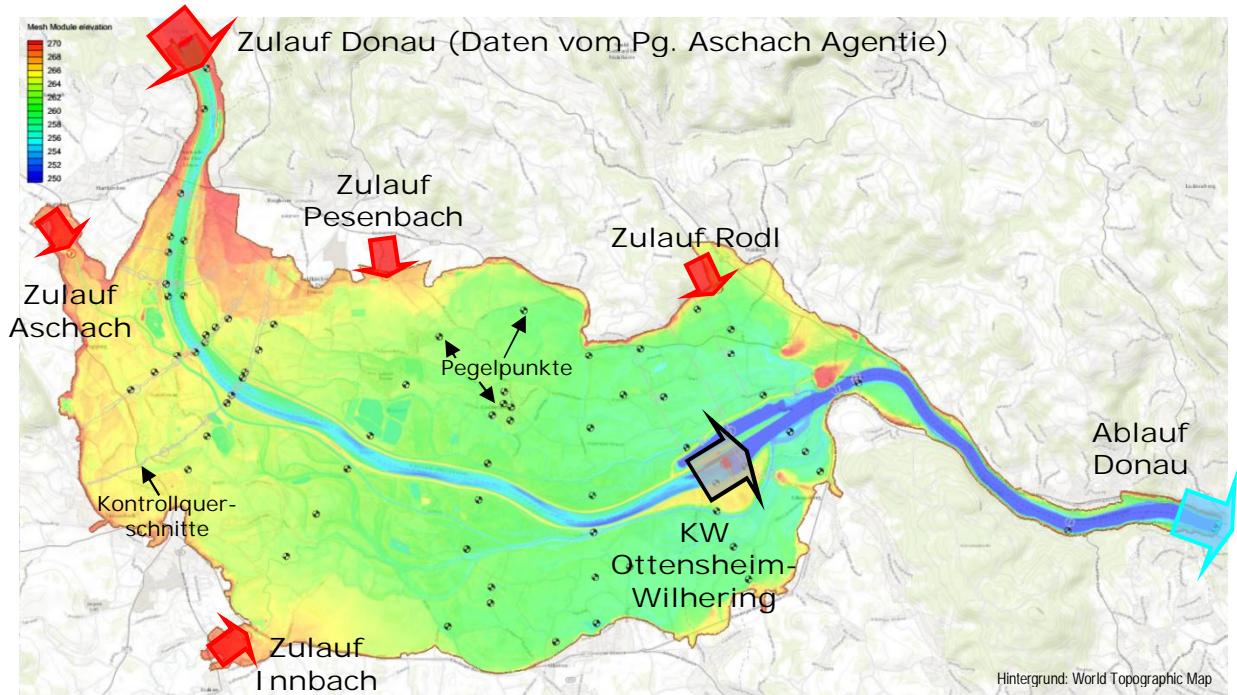
Mit diesen Änderungen ergeben sich damit die in Abb. 3.2 dargestellten Randbedingungen, zu denen folgende Details festzuhalten sind:

- § Der Modellzulauf im Unterwasser des KW Aschach ist durch eine Zuflussganglinie abgebildet, wobei die Ganglinie für die Nachrechnung des Ereignisses von 06/2013 wie unter Pkt. 2.5.1 angeführt, auf einem Datensatz für den Pegel Aschach Agentie der via donau beruht. Für alle anderen Szenarien sind die Annahmen/Festlegungen unter den entsprechenden Punkten beschrieben.
- § Für die Verwendung mit dem Programm Donau2D sind die Input-Zeitreihen entsprechend auszudünnen, da die maximale Anzahl an einlesbaren Wertepaaren von t und Q beschränkt ist. Die Ausdünnung erfolgte dabei nicht äquidistant, sondern es blieben alle wesentlichen Stützpunkte berücksichtigt.
- § Die Zuflüsse in Großer Rodl, Pesenbach, Aschach und Innbach sind ebenfalls als Zuflussganglinien abgebildet, für die sinngemäß das Gleiche gilt, wie für die Donau.
- § Der Modellablauf in der Donau ist über eine W/Q-Beziehung definiert, die für die entsprechende Stelle (Fkm 2136.7) aus den aktuell verfügbaren hydrografischen Daten (KWD, Pegelschlüssel) und Ergebnissen des 1D-Modells abgeleitet wurde.

Zur W/Q-Beziehung am unteren Modellrand ist wichtig, dass dieser Modellrand so weit unterhalb des Bereiches liegt, für den mit M31-2 Aussagen getroffen werden, dass die W/Q-Beziehung auf diese Ergebnisse nur eingeschränkt Einfluss hat. In Hinblick auf eine bestmögliche Abbildung der Verhältnisse wurde die W/Q-Beziehung im Rahmen der

Nachrechnung des Ereignisses aber nachjustiert, um eine bestmögliche Übereinstimmung zwischen Rechenwerten und Beobachtungswerten zu erzielen⁴².

Abb. 3.1 Übersicht der Randbedingungen mit Pegelpunkten und Kontrollquerschnitten

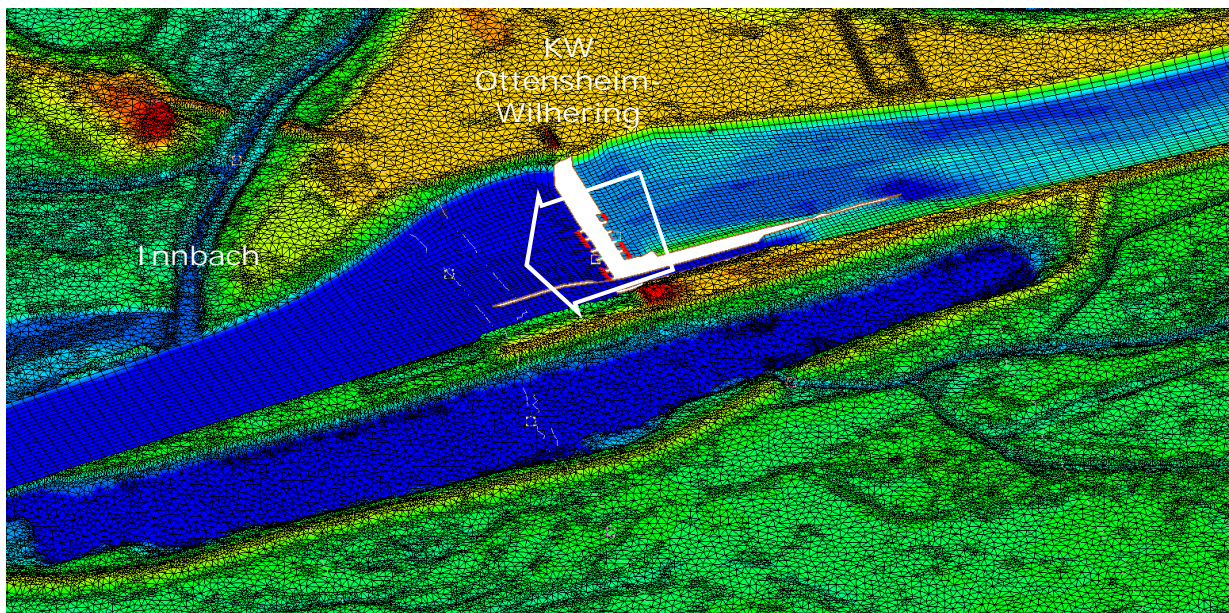


Die Abbildung zeigt schematisch die Randbedingungen im 2D-Modell für das Eferdinger Becken. Mit roten Pfeilen dargestellt sind die Zuflüsse/Zuläufe, wobei als Zufluss in der Donau für die Nachrechnung des Ereignisses von 06/2013 der Durchfluss vom Pg. Aschach Agentur verwendet wird. Dieser Zufluss ist für das Abflussgeschehen dominant. Zusätzlich angesetzt sind die Zuflüsse in Pesenbach und Große Rodl (linksufrig) sowie in Aschach und Innbach (rechtsufrig). Der schwarze Pfeil symbolisiert die inneren Randbedingungen, welche zur Regelung des Kraftwerks Ottensheim-Wilhering implementiert sind.

Am unteren (östlichen) Ende des Modells wird der Ablauf in der Donau durch eine W/Q-Beziehung abgebildet.

⁴² Gem. den zeitlichen Vorgaben durch den AG wurde das 2D-Modell für das Eferdinger Becken (Teilmodell M31-2) vor dem Unterliegermodell M31-3 überarbeitet und aktualisiert. Daher standen noch keine Berechnungen mit dem Unterliegermodell zur Verfügung, die für eine Ableitung der W/Q-Beziehung am unteren Modellrand von M31-2 herangezogen hätten werden können. Da grundsätzlich eine ausreichend lange Überlappungsstrecke zwischen den beiden Modellen vorliegt, könnte im Bedarfsfall bei zukünftigen Überarbeitungen von M31-2 die W/Q-Beziehung des unteren Modellrandes aus Berechnungen von M31-3 ermittelt werden.

Abb. 3.2 Detail: Netzstruktur und interne Randbedingung am KW Ottensheim-Wilhering



Die Abbildung zeigt als Ausschnitt das KW Ottensheim. Blickrichtung ist Richtung Süd. Die roten Punkte direkt im Ober- und Unterwasser des Kraftwerkes zeigen die Nodestings, welche für die Verwendung mit `Donau2D` implementiert wurden.

3.2.2.2 Aktualisierung der Höhenkoten und Erweiterung des Modellbereichs

Nachdem in der Phase I der Analysen zum HW2013 die Festlegung der weiterzuverwendenden Modelle getroffen worden war (vgl. Pkt. 2.3.1), musste der Modellbereich des Ausgangsmodells von SCIETEC/DonauConsult, das nunmehr zu Teilmodell M31-2 deklariert wurde, etwas erweitert werden, um eine nahtlose Verbindung bzw. sinnvolle Überlappung zum Ober- und Unterliegermodell herzustellen.

Dazu wurde das Modell verlängert, sodass der obere Modellrand unmittelbar im Unterwasser des KW Aschach zu liegen kommt (vgl. Abb. 3.7), da sich das KW Aschach als eindeutige hydraulische Schnittstelle optimal als Modellgrenze eignet. Am unteren Modellrand wurde das Rechenetz bis Linz verlängert, um im Bedarfsfall mit nur einem Rechenlauf direkte quantitative Aussagen über die Wechselwirkungen zwischen Eferdinger Becken und den Abflussverhältnissen in Linz treffen zu können. Umgekehrt beginnt das Unterliegermodell M31-3 bereits unmittelbar an der Engstelle bei Wilhering, um ebenfalls mit nur einem Rechenlauf Aussagen über die Einflüsse des Stauraums Abwinden-Asten auf das Eferdinger Becken treffen zu können.

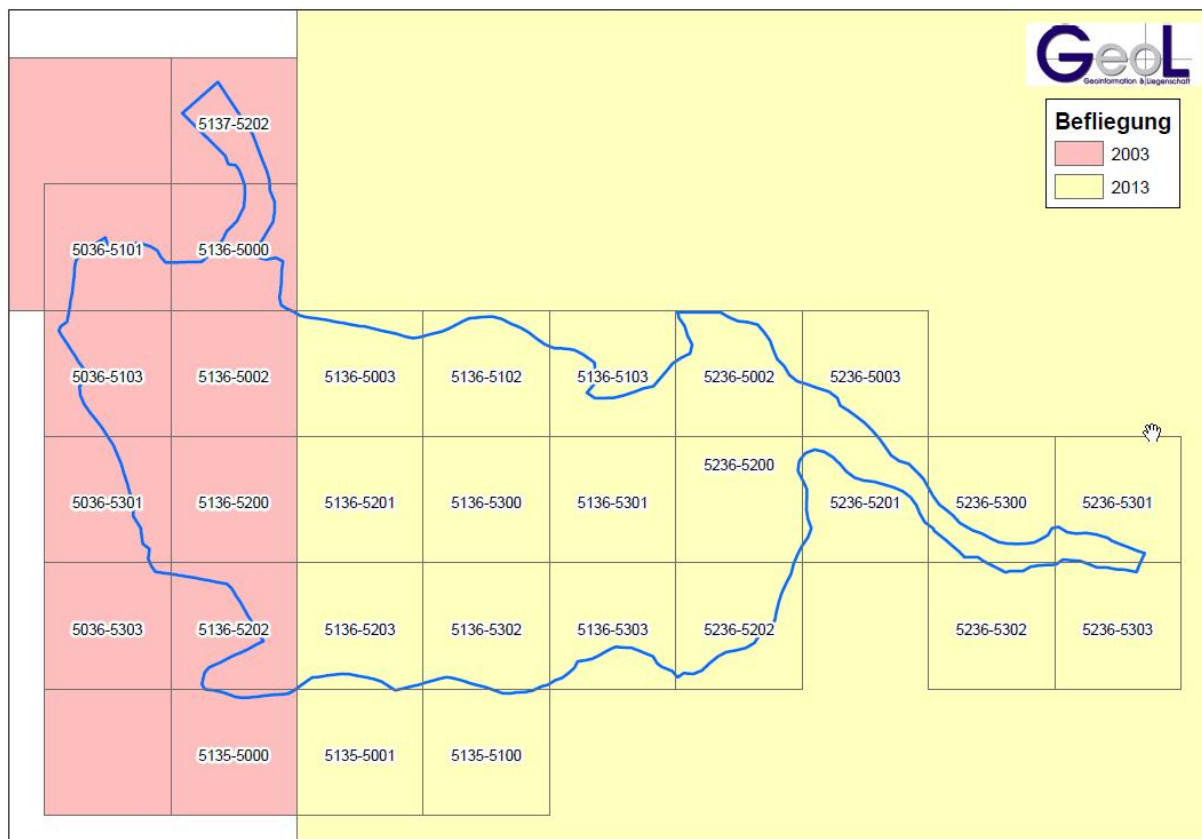
3.2.2.2.1 Vorland und Gelände

Die Aktualisierung der Höhenkoten erfolgte durch Aufprägung der aktuellsten Laserscan-Daten (ALS) auf das bestehende Berechnungsnetz. Eine Neuauswertung von Bruchkanten war damit nicht nötig, wobei die Unterschiede, welche sich zwischen den früheren und den aktuellen Höhenkoten ergeben, visuell überprüft wurden (vgl. Abb. 3.7). Zusätzlich wurde in neuralgischen Bereichen, d.h. in jenen Bereichen, in welchen in den Höhen deutliche Gradienten gegeben sind oder in welchen im Gelände auf kleinem Raum sehr unterschiedliche Höhenkoten sind (z.B. Brücken und Durchlässe), überprüft, ob sich mit den aufgeprägten Koten ein konsistentes Geländemodell ergibt.

Die ALS-Daten im westlichen Bereich des Eferdinger Beckens, d.h. bis inklusive der Überströmstrecken stammen aus dem Jahre 2003, jene im zentralen und östlichen Bereich des Eferdinger Beckens stammen von März bzw. April 2013 (vgl. Abb. 3.3).

Im Bereich der Überströmstrecken wurden aus Aktualitätsgründen zunächst ALS-Daten der VHP von 08/2013 (d.h. nach dem HW2013) aufgeprägt. In einem zweiten, späteren Schritt wurden die Bereiche der Überströmstrecken mit jenen terrestrisch gemessenen Daten überarbeitet, die 04/2014 vom Land OÖ erfasst worden waren.

Abb. 3.3 Aufnahmezeitpunkte von ALS-Daten (Quelle: Land OÖ, Abt. GEOL)



3.2.2.2 Gewässersohlen

Für die Sohle der Donau wurden in Absprache mit dem Land OÖ die jeweils aktuellsten Stromgrunddaten übernommen, wobei diese für den Stauraum Ottensheim-Wilhering von 08/2013 und für den Stauraum Abwinden-Asten von 10/2013 stammen. Beide Datensätze repräsentieren damit die Sohle nach dem Ereignis von 06/2013. Die Datensätze wurden von VHP aufgenommen und zur Verfügung gestellt.

Für die Zubringer, die im 2D-Modell explizit berücksichtigt sind, wurde die Sohlgeometrie aus folgenden Gründen verbessert:

Bei der Ausweisung der Überflutungsflächen für HQ_{30} und HQ_{100} ⁴³ waren die Zuflüsse in den Zubringern des Eferdinger Beckens von untergeordneter Bedeutung, da der

⁴³ Ausweisung der Anschlaglinien und Überflutungsflächen für HW30/100 an der oberösterreichischen Donau. SCIE TEC/DonauConsult (2010) im Auftrag des Amtes der Oö. Landesregierung.

Schwerpunkt bei dieser Ausweisung auf dem Durchfluss in der Donau lag und weil für HQ_{30} und HQ_{100} laut hydrologischem Längenschnitt deutlich geringere Zuflüsse anzusetzen waren, als bei der Nachrechnung des HW2013. Entsprechend waren die Gewässersohlen der Zubringer im Eferdinger Becken nur vereinfacht angesetzt worden.

Bereits bei der ersten Verwendung des Modells hatte sich im Zusammenhang mit Analysen zum HW2013 gezeigt, dass Durchflüsse aus realen Hochwasserereignissen an den Zubringern sowie bei deren Einmündung in die Donau im Modell lokal begrenzt Ausuferungen ergaben, die so in der Natur nicht aufgetreten sind. Entsprechend wurden die Sohlkoten und Uferböschungen der Zubringer überarbeitet und teilweise tiefer gesetzt, wobei die Basis für diese Korrekturen zum einen verfügbare Projektunterlagen (Pesenbach und Große Rodl), zum anderen extra vom Land OÖ durchgeführte Einzelmessungen waren. Der nunmehr sich im Modell klar abzeichnende Verlauf der Zubringer ist in den Abbildungen Abb. 3.4 bis Abb. 3.5 exemplarisch dargestellt.

Abb. 3.4 Zulaufträger Pesenbach (links) und Große Rodl (rechts)

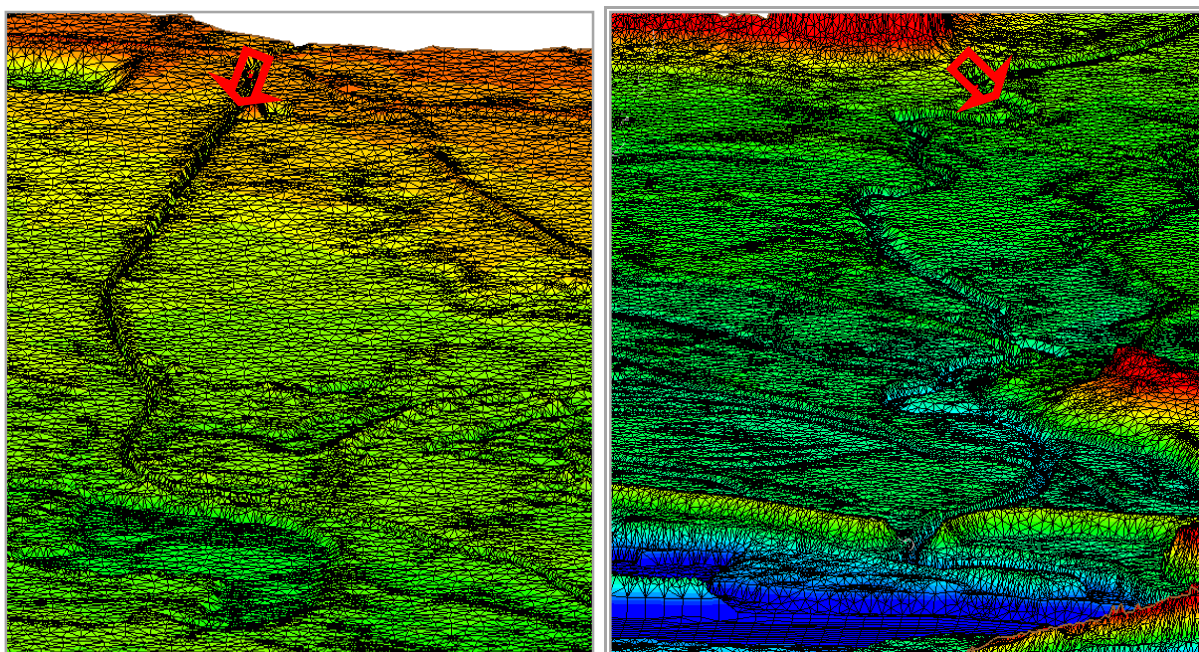
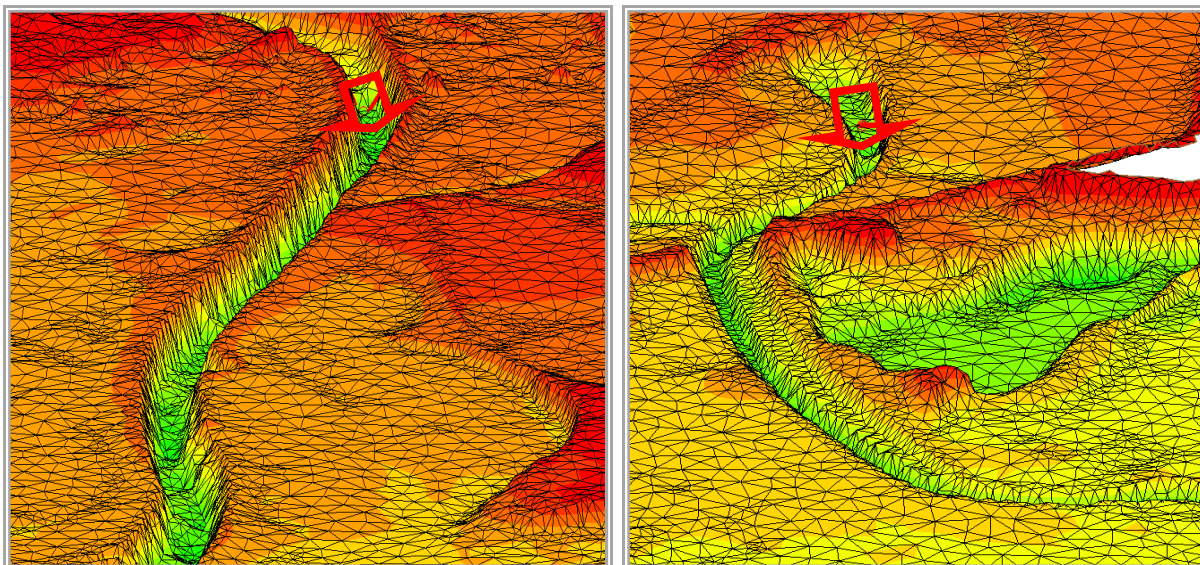


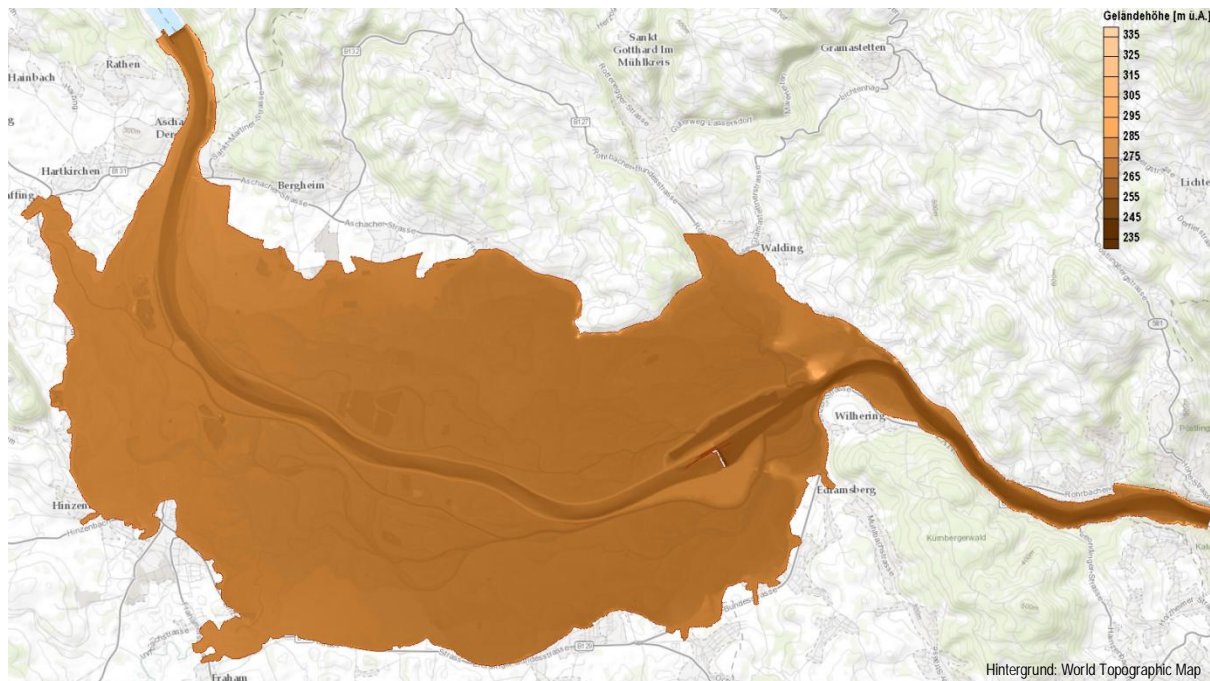
Abb. 3.5 Zulauf-Randbedingung Aschach (links) und Innbach (rechts)



3.2.2.2.3 Veränderungen von Sohl- und Geländehöhen

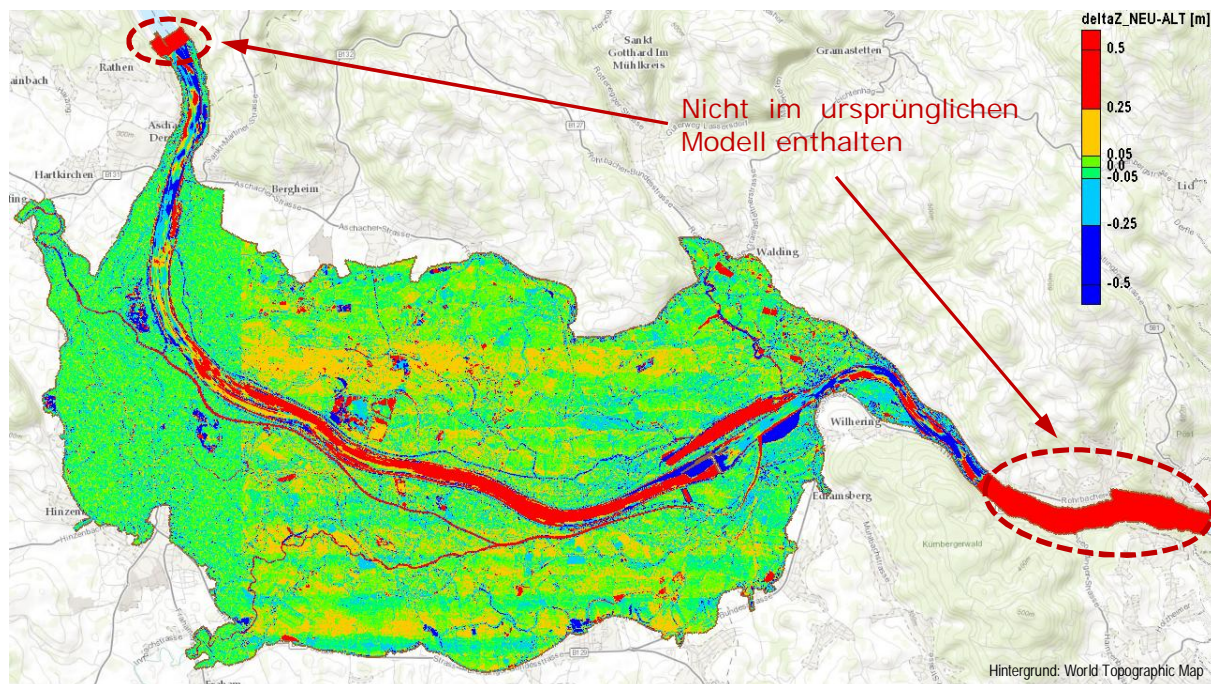
Die Geländehöhen im fertigen 2D-Modell nach Abschluss sämtlicher Aktualisierungs- und Verbesserungsarbeiten sind in Abb. 3.6 dargestellt. Um einen Überblick zu geben, wie stark sich durch die Aktualisierung die Vorland- und Sohl Daten verändert haben, wurde ein Differenzenplot erstellt. Dieser gibt den Höhenunterschied zwischen aktualisiertem und ursprünglichem Modell („neu minus alt“) wieder.

Abb. 3.6 Geländehöhen von Teilmodell M31-2 nach der Überarbeitung



Hinweis: Diese Abbildung findet sich nochmals in vergrößerter Form in Anhang A.3.

Abb. 3.7 Differenzenplot Teilmodell M31-2



Die Abbildung zeigt das Delta der Höhenunterschiede vom aktualisierten und ursprünglichen Modell, wobei positive Werte bedeuten, dass nunmehr höhere Z-Werte vorliegen und vice versa.

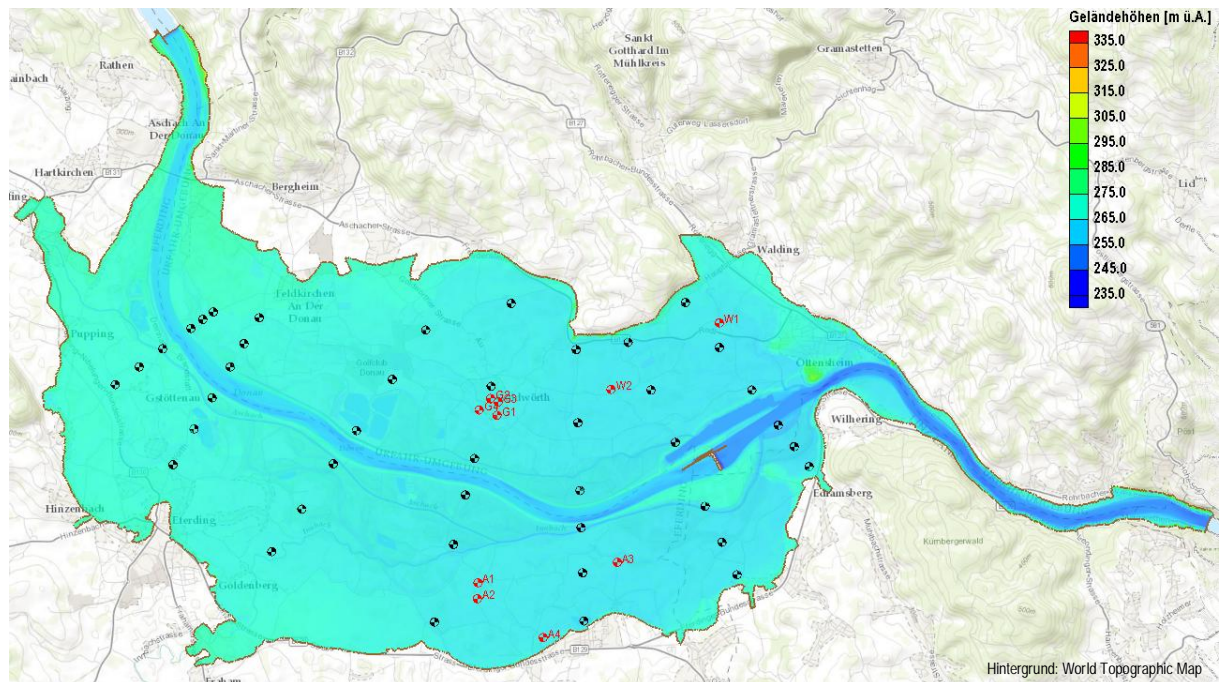
Klar erkennbar ist, dass im westlichen Teil, in dem nachwievor relativ alte ALS-Daten verwendet werden mussten, großteils nur marginale Änderungen im Bereich von weniger als ± 5 cm vorhanden sind. Im östlichen Bereich dagegen sind Änderungen von bis zu ± 25 cm in nennenswertem Ausmaß vorhanden.

Auffällig ist die teils massive Verlandung der Donausohle von mehreren Metern im Stauraum des KW Ottensheim-Wilhering. Der Flussabschnitt ganz zu Beginn und am Ende des Modells, war im ursprünglichen Modell nicht vorhanden, weshalb dort keine gültigen Differenzen berechnet werden konnten.

3.2.2.3 Ergänzung von zusätzlichen Pegelpunkten zur Überprüfung von Simulationen

Zur Qualitätssicherung der Simulationen und zur einfacheren Überprüfung der Berechnungen wurden im 2D-Modell weitere Pegelpunkte in den Vorländern definiert. Diese befinden sich zum einen genau an jenen Stellen, an denen von Anrainern Wasserstandsbeobachtungen dokumentiert wurden (vgl. Tab. 3.1), zum anderen wurden aber auch in großer Zahl weitere Pegelpunkte definiert, wobei diese entlang von Geraden angeordnet sind und somit in Form von „Talquerprofilen“ auch den gesamten Vorlandbereich abdecken (Abb. 3.8).

Abb. 3.8 Pegel-/Monitoringpunkte im Vorland bei Modell M31-2



Die roten Symbole repräsentieren die Lage von Beobachtungen von Anrainern, die schwarzen Symbole zeigen die Lage jener Monitoringpunkte, die entlang von „Talquerprofilen“ angeordnet sind.

3.2.2.4 Kalibrierung – Änderung der Reibungsbeiwerte

Wie unter Pkt. 3.1 beschrieben wurde, erfolgte die Überarbeitung der Kalibrierung derart, dass mit dem Modell die Verhältnisse von 06/2013 bestmöglich nachgebildet wurden.

Dabei war es aber ausdrücklich kein Ziel, die beobachteten Wasserstände in jedem Punkt exakt zu treffen und dazu ggf. eine Variabilität in den Reibungsbeiwerten in Kauf zu nehmen. Stattdessen war es - ausgehend von den aktuellen Landnutzungsdaten und den gegebenen Beobachtungsdaten - das Ziel, eine bestmögliche, konsistente Kalibrierung durchzuführen.

In Hinblick auf die oft übliche Vorgehensweise bei numerischen Modellen, nämlich der Validierung der Kalibrierung an einem zweiten unabhängigen, d.h. für die Kalibrierung nicht verwendeten Datensatz, sei festgehalten, dass diese Vorgehensweise nicht möglich war, weil es der explizite Wunsch des Auftraggebers war, das Modell am aktuellsten Ereignis zu kalibrieren und weil eine Validierung mit einem zweiten Datensatz (z.B. den Daten von 1991 oder 2002) nicht vorgesehen war.

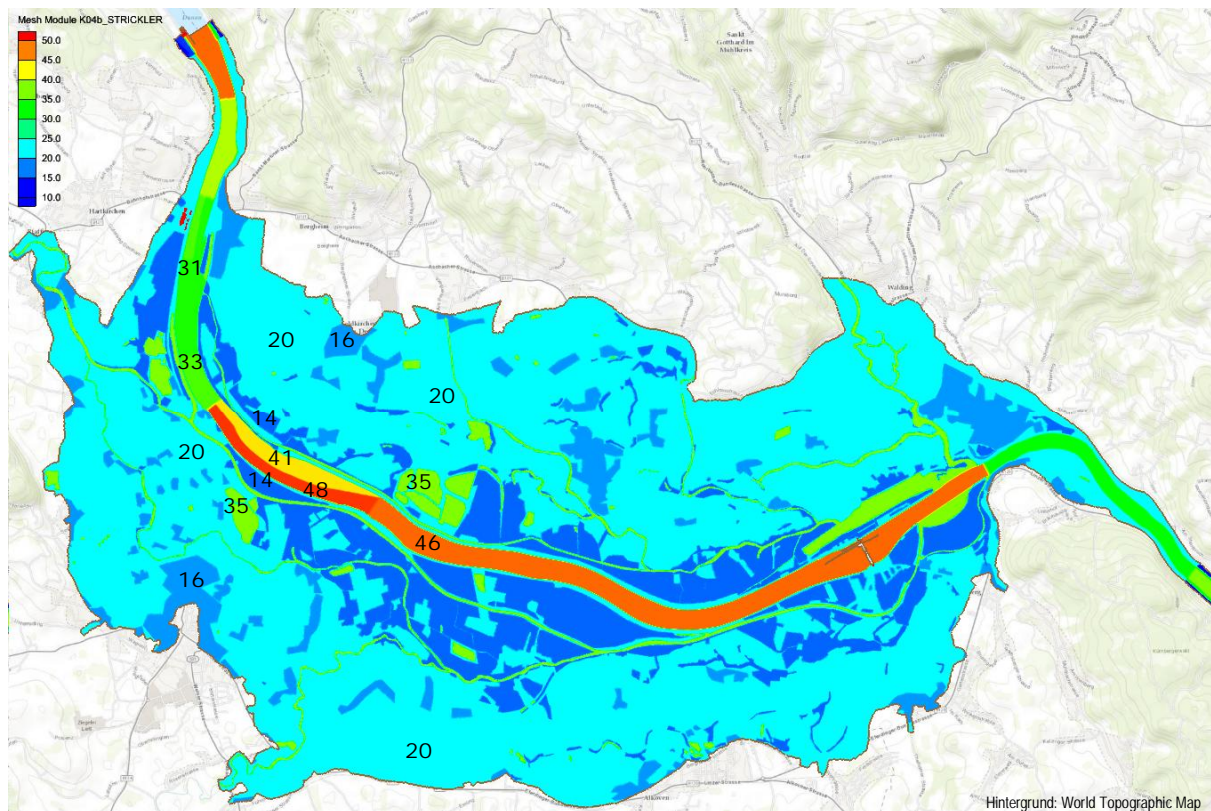
Zur Kalibrierung selbst sei festgehalten, dass sich eine erste, deutliche Verbesserung der Modellgüte bereits durch die Aktualisierung der Höhendaten (Vorländer mit ASL-Daten und Stromgrunddaten aus Echolotung) ergab.

Die Reibungsbeiwerte, wie sie sich nach dem letzten Kalibrierungsschritt ergaben, sind in Abb. 3.9 für das gesamte Modellgebiet und in Abb. 3.10 exemplarisch für den Bereich der Überströmstrecken im Eferdinger Becken dargestellt.

Die Übereinstimmung zwischen den beobachteten und den mit dem kalibrierten Modell errechneten Wasserständen sind in Abb. 3.17 (Statistik) und Abb. 3.18 (Lageplan) dargestellt.

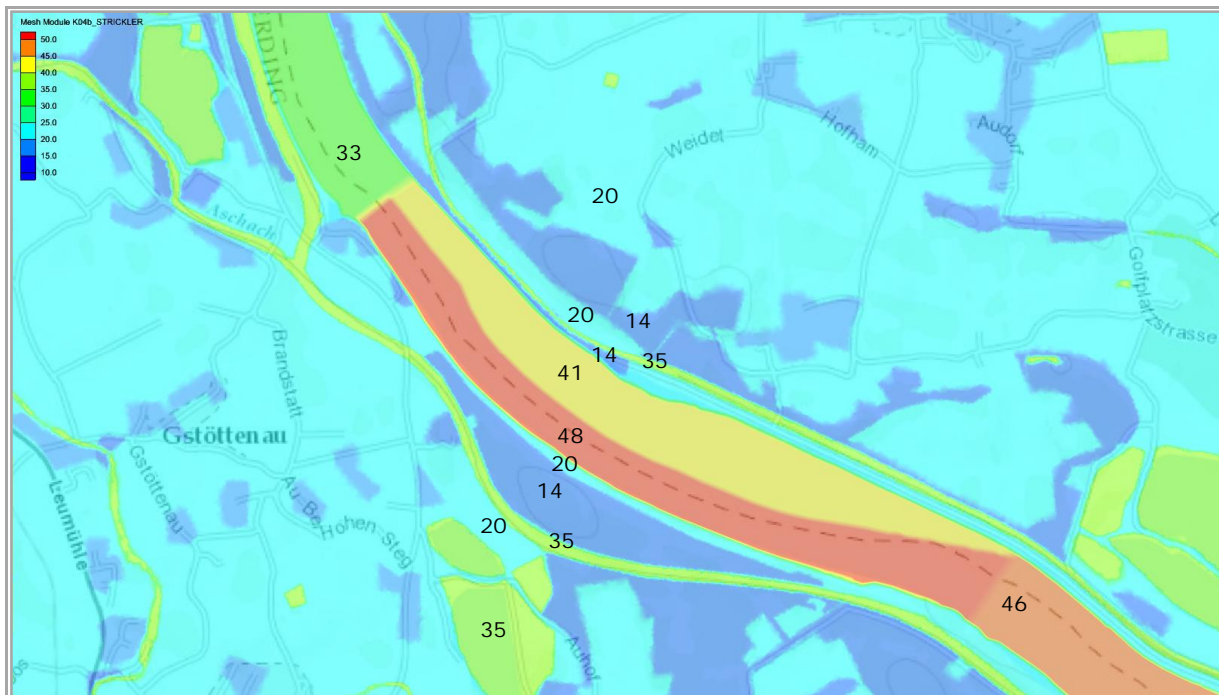
Im Rahmen der Kalibrierung wurde auch die Sensitivität der Spiegellagen auf Änderungen der Reibungsbeiwerte betrachtet, wobei dazu keine expliziten Sensitivitätsanalysen durchgeführt wurden, sondern die Sensitivität anhand der Reaktion des Modells auf jeweils durchgeführte Änderungen beobachtet wurde. Demzufolge wurden bei jedem Kalibrierungsschritt die sich neu ergebenden Differenzen zwischen berechneten und beobachteten Wasserständen ausgewertet und als Basis für den nächstfolgenden Kalibrierungsschritt herangezogen.

Abb. 3.9 Übersicht der Rauigkeitsbeiwerte nach Strickler mit Angaben im Eferdinger Becken



Hinweis: Diese Abbildung findet sich nochmals in vergrößerter Form in Anhang A.4.

Abb. 3.10 Detail der Rauigkeitsbeiwerte nach Strickler mit Angaben im Bereich der Überströmstrecke



3.2.3 Ergebnisse der Nachrechnung des HW2013

Die Ergebnisse der Nachrechnung sind unter zwei Gesichtspunkten zu betrachten: Zum einen zeigt der Vergleich zwischen Beobachtungsdaten und Rechenwerten, wie gut die 2D-Simulation die beobachteten Verhältnisse wiedergibt. Zum anderen liefern die Ergebnisse der 2D-Simulation natürlich wichtige Informationen, die ein zeitlich und räumlich hochaufgelöstes Bild über die Vorgänge selbst abgeben.

Die Darstellung der Ergebnisse der Nachrechnung gliedert sich demnach nach diesen beiden Gesichtspunkten: In den Punkten 3.2.3.1 bis 3.2.3.3 werden die Rechenergebnisse den Beobachtungswerten gegenübergestellt.

Die Ergebnisse der Nachbildung selbst, d.h. Anschlaglinien, Überflutungstiefen und Fließgeschwindigkeiten wurden auftragsgemäß nicht in Form von gedruckten Karten aufbereitet, sondern dem Amt der Oö. Landregierung digital als Shape-Files übergeben. Diese Übergabe erfolgte im Juni 2014⁴⁴.

3.2.3.1 Zeitreihen

Bei der Auswertung der Zeitreihen zeigt sich grundsätzlich eine sehr gute Übereinstimmung zwischen berechneten und beobachteten Wasserständen.

Auffällig sind die Unterschiede zwischen Berechnung und Beobachtung am Pegel Christl, die signifikant größer sind als an allen anderen Pegeln, wobei die simulierten Wasserstände deutlich über den beobachteten liegen.

⁴⁴ Gem. Beauftragung wurden Shape-Files der Überflutungsflächen ausgearbeitet. Die Übergabe erfolgte am 12.06.2014.

Ein möglicher Erklärungsansatz ist, dass vor dem Hochwasser der Stauraum Aschach verlandet und der Stauraum Ottensheim entlandet war. Nach dem Hochwasser hat sich die Situation genau umgekehrt dargestellt, was bedeutet, dass es im Stauraum Ottensheim Anlandungen gegeben hat (vgl. Abb. 3.7). Nachdem bei den Modellrechnungen auftragsgemäß die Sohllagen nach dem Hochwasser verwendet wurden, ergibt sich, dass in den Bereichen, in welchen Anlandungen stattgefunden haben, die Spiegellagen tendenziell zu hoch berechnet worden sind.

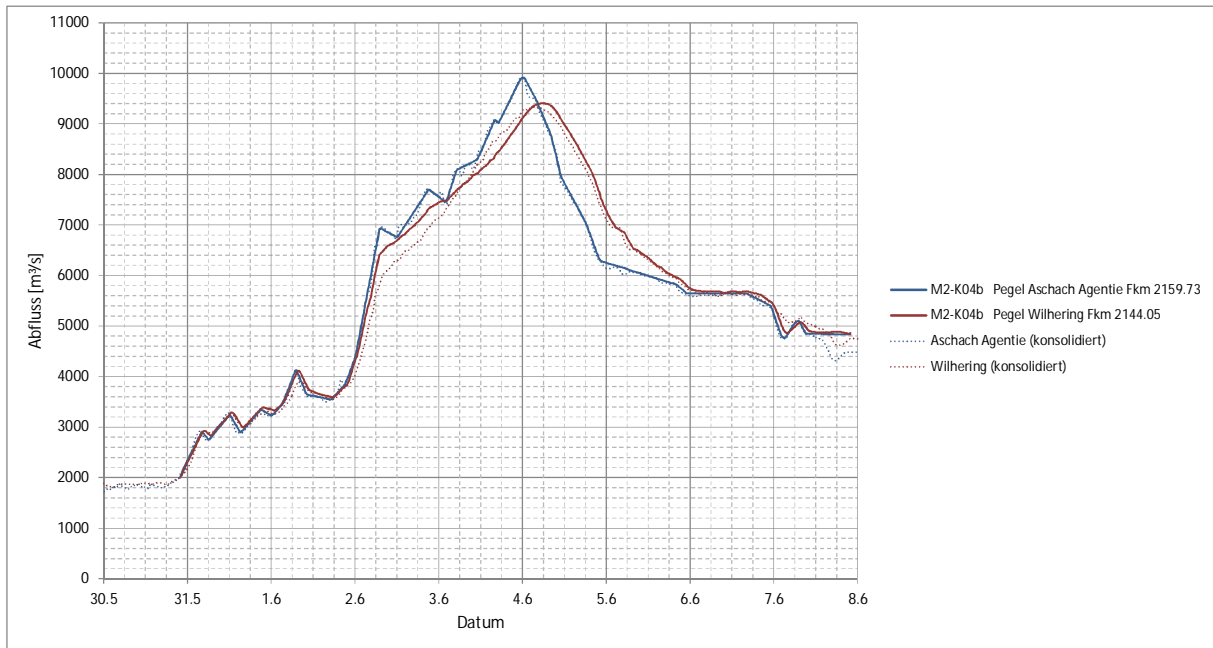
Umgekehrt ist aber zu bedenken, dass sich bei anderen naheliegenden Pegeln, d.h. an den Pegel Feldkirchen und Brandstatt keine vergleichbar großen Differenzen zeigen und dass es überraschend wäre, wenn sich Änderungen in der Stromsohle nur lokal auswirken sollten.

Eine detaillierte Aussage zu diesem Punkt könnte daher nur durch Szenarienrechnungen erreicht werden, wobei dabei die Umlagerungen in den Stauräumen - und dabei insbesondere die Anlandungen im Stauraum Ottensheim - explizit berücksichtigt werden müssten.

In Hinblick auf die Aufgabenstellung und die Zielsetzung des 2D-Modells ist aber wichtig, dass die Unsicherheiten am Pegel Christl für das Gesamtergebnis und für die Gesamtaussage von untergeordneter Bedeutung sind. Dies gilt insbesondere, wenn man berücksichtigt, dass die Berechnungen für HQ₃₀, HQ₁₀₀ und HQ₃₀₀ ja der Vorsorge für künftige Ereignisse dienen, und dass daher die Verwendung der Stromsohlen, wie sie sich nach dem Hochwasser ergeben haben, in jedem Fall angezeigt ist.

Die Vergleiche mit den Beobachtungsdaten mit Zeitreihen in den Vorländern („Anrainerbeobachtungen“) verdeutlichen die ausgesprochen gute Übereinstimmung zwischen Messdaten und dem kalibrierten Modell für das Ereignis von 06/2013 (Abb. 3.13 bis Abb. 3.15).

Abb. 3.11 Abflussganglinien an den Pegelstellen der Donau mit Abflussangaben

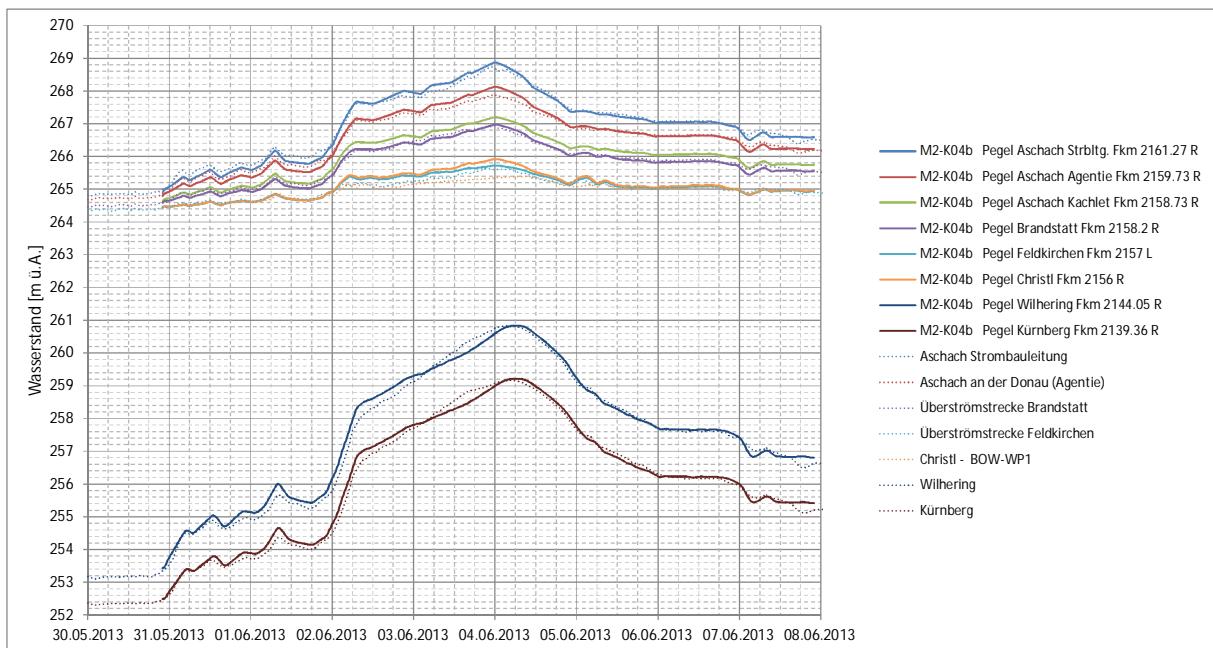


Die Abbildung zeigt den Abfluss am Pegel Aschach Agentie (blaue Linie) und den Abfluss am Ende des Eferdinger Beckens (rote Linie; Pegel Wilhering). Dabei sind die beobachteten Daten, wie sie sich aus der Konsolidierung in Phase I ergeben, punktiert dargestellt. Die im Modell verwendeten bzw. vom Modell berechneten Daten sind in durchgezogenen Linien dargestellt. Die geringfügigen Abweichungen in den Ganglinien beim Pegel Aschach Agentie ergeben sich dadurch, dass für die 2D-Simulationen die Original-Durchflussganglinien auf max. 200 Wertepaare reduziert werden mussten.

Die Abweichungen am Pegel Wilhering im ansteigenden Ast vom 02.06. bis 03.06 sind sehr wahrscheinlich eine Folge von Unschärfen bei der Nachbildung des Abflusses an den ÜSS. Diese hängen wiederum mit den im Modell nicht nachbildbaren Veränderungen der Sohl- und/oder Ufergeometrie und auch der Rauigkeitsverhältnisse während des HW-Ereignisses zusammen. Weiters spielt möglicherweise auch das im Modell (vereinfacht nachgebildete) Regelverhalten in der Absenkphase eine gewisse Rolle.

Wesentlich ist jedoch, dass sich insbesondere im Scheitelpunkt, sowie im abfallenden Ast und in der gesamten Zeitspanne vor dem 02.06. am Pegel Wilhering eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Simulationswerten und Beobachtungen ergibt.

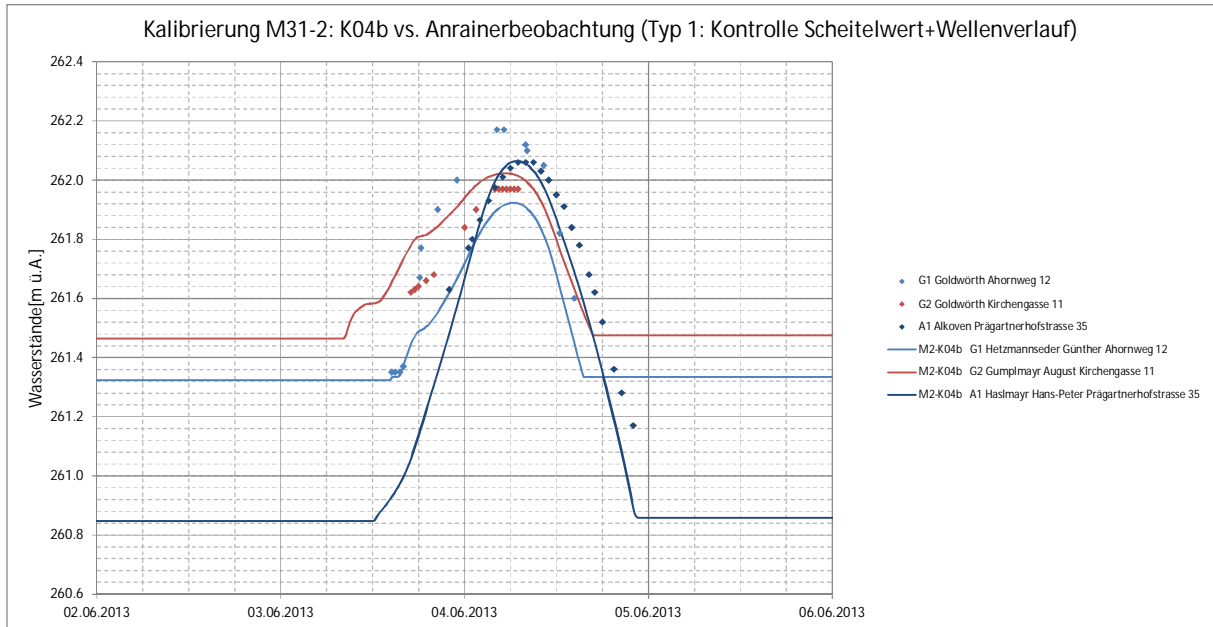
Abb. 3.12 Wasserstände an den verfügbaren Pegelstellen



Die Abbildung zeigt die Wasserstände an insgesamt acht Pegeln. In durchgezogenen Linien dargestellt sind jeweils die Simulationswerte, punktiert dargestellt sind die Beobachtungswerte.

Auffällig sind die deutlichen Abweichungen zwischen Rechen- und Beobachtungswerten am Pegel Christl, welche signifikant größer sind als die Abweichungen an allen anderen Pegeln. Eine sehr gute Übereinstimmung ergibt sich auch für die Pegel Wilhering und Kürnberg, die in der freien Fließstrecke der Donau liegen und bei welchen die Scheitelwerte nahezu exakt getroffen werden.

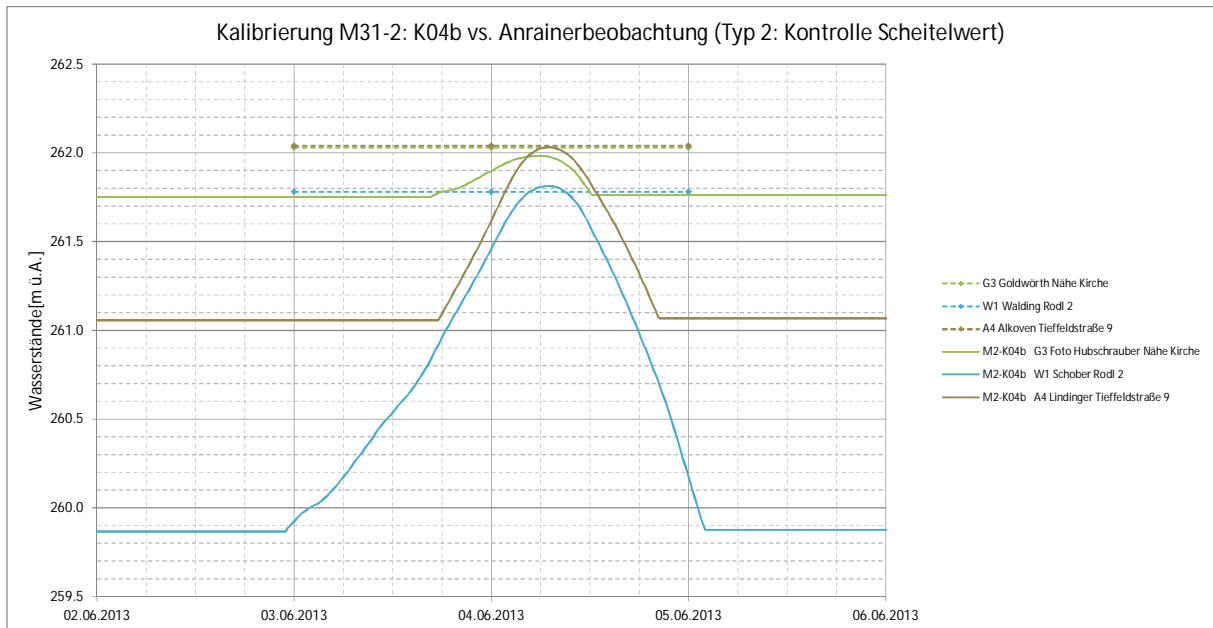
Abb. 3.13 Simulierte und beobachtete Wasserstände im Vorland an Anrainerbeobachtungspunkten (Typ 1)



Typ 1 bedeutet, dass aufgrund der vorhandenen Daten ein Vergleich sowohl von Scheitelwert als auch der Wellenform möglich ist.

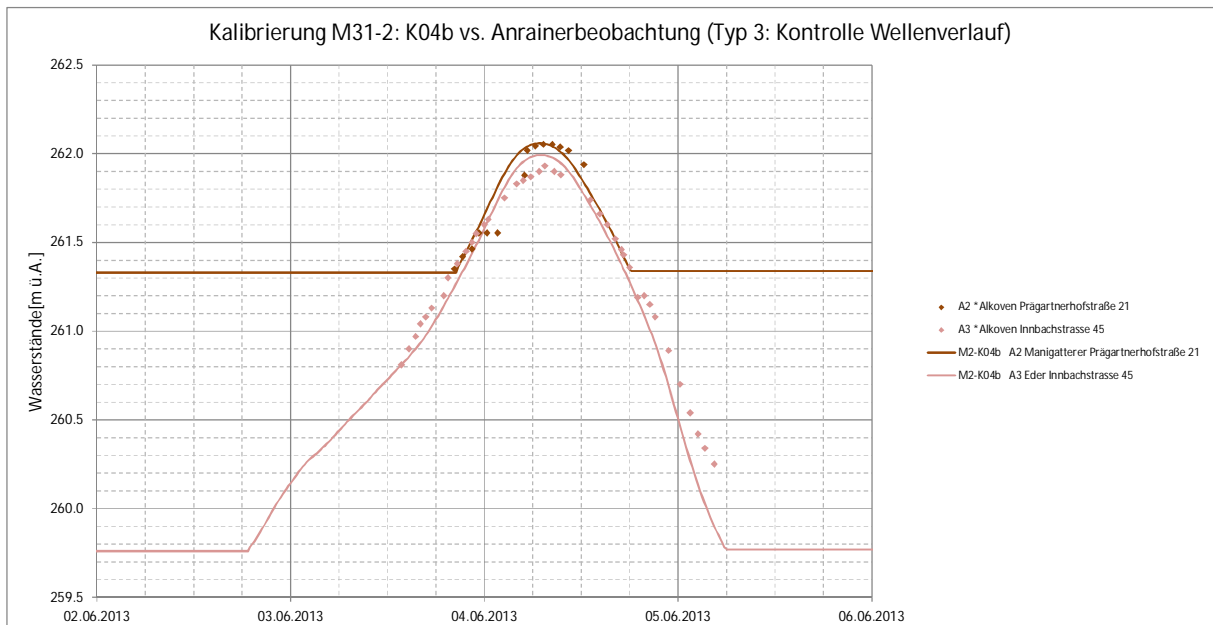
Die Vergleichspunkte A1 und G2 zeigen eine sehr gute Übereinstimmung mit den Beobachtungen, wobei die Scheitelwerte bis auf wenige cm genau getroffen werden und sich auch die Wasserstandsverläufe größtenteils sehr gut decken. Lediglich bei Vergleichspunkt G1 liegen die Abweichungen mit ca. 25 cm verhältnismäßig hoch, wenngleich noch immer im gut akzeptierbaren Bereich für ein Modell dieser Größe und Netzauflösung, bei dem typischerweise die Berücksichtigung einzelner Gebäude nicht möglich ist. Aufgrund der örtlichen Nähe von G1 und G2 kann der - wenn auch geringe - Unterschied der Übereinstimmungsgüte möglicherweise auch in lokalen Effekten begründet sein (z.B. Strömungsverhältnisse an den Gebäuden).

Abb. 3.14 Simulierte und beobachtete Wasserstände im Vorland an Anrainerbeobachtungspunkten (Typ 2)



Typ 2 bedeutet, dass es zu diesen Punkten keinen zeitlichen Verlauf gibt, sondern dass die Daten den maximal beobachteten Wassererstand repräsentieren. Entsprechend kann mit diesen Daten lediglich ein Vergleich des Scheitelwertes durchgeführt werden. Da es zu diesen Daten keine Zeitangaben gibt, sind sie bewusst als Strich und nicht als Punkt dargestellt. Alle 3 Vergleichspunkte zeigen eine extrem gute Übereinstimmung mit den Beobachtungen, wobei die Scheitelwerte bis auf wenige cm genau getroffen werden. Dies ist insofern bemerkenswert, als sich alle 3 Vergleichspunkte in verschiedenen Gemeinden befinden und damit eine besonders breite örtliche Streuung aufweisen.

Abb. 3.15 Simulierte und beobachtete Wasserstände im Vorland an Anrainerbeobachtungspunkten (Typ 3)

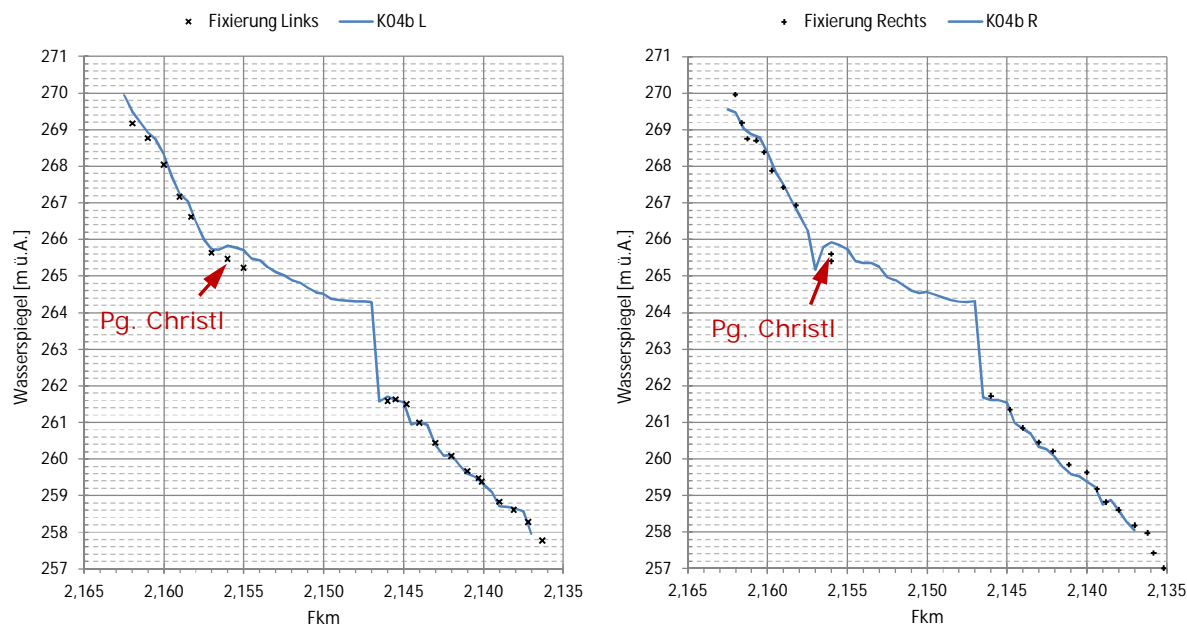


Typ 3 bedeutet, dass aufgrund der vorhandenen Daten lediglich ein Vergleich des Wellenverlaufs möglich ist (d.h. aufgrund des fehlenden Absolutbezuges wurde die beobachtete Wasserstandsganglinie in Richtung der Ordinate so verschoben, bis eine gute Deckung mit den Simulationsergebnissen erreicht wurde). Beide Vergleichspunkte zeigen eine sehr gute Übereinstimmung in Bezug auf den Anstiegsgradienten und die Wellenbreite.

3.2.3.2 Längenschnitte für Messpunkte an den Ufern der Donau

Die Auswertung der Längenschnitte für die maximalen Wasserspiegellagen entlang der beiden Donauufer zeigt grundsätzlich eine gute Übereinstimmung zu den Aufnahmen der via donau. Größere Abweichungen gibt es im Nahbereich des Pegels Christl. Die möglichen Ursachen hierfür wurden bereits unter Pkt. 3.2.3.1 erläutert.

Abb. 3.16 Längenschnitte der maximalen Wasserstände für linkes und rechtes Donauufer für Teilmodell M31-2

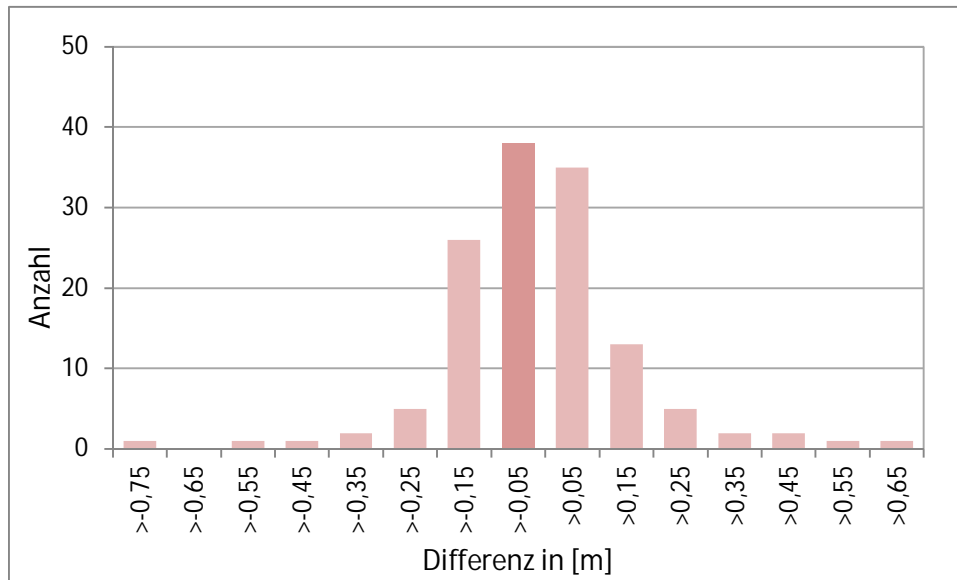


Zu den Abweichungen beim Pegel Christl siehe Pkt. 3.2.3.1.

3.2.3.3 Räumliche Auswertungen

Bei der räumlichen Auswertung der Differenzen zwischen Rechenwerten und Beobachtungen zeigt sich, dass 29% der Differenzen im Bereich von ± 5 cm respektive 58% im Bereich von ± 10 cm liegen (Abb. 3.17). Der Mittelwert und der Median aller Abweichungen betragen 4 cm.

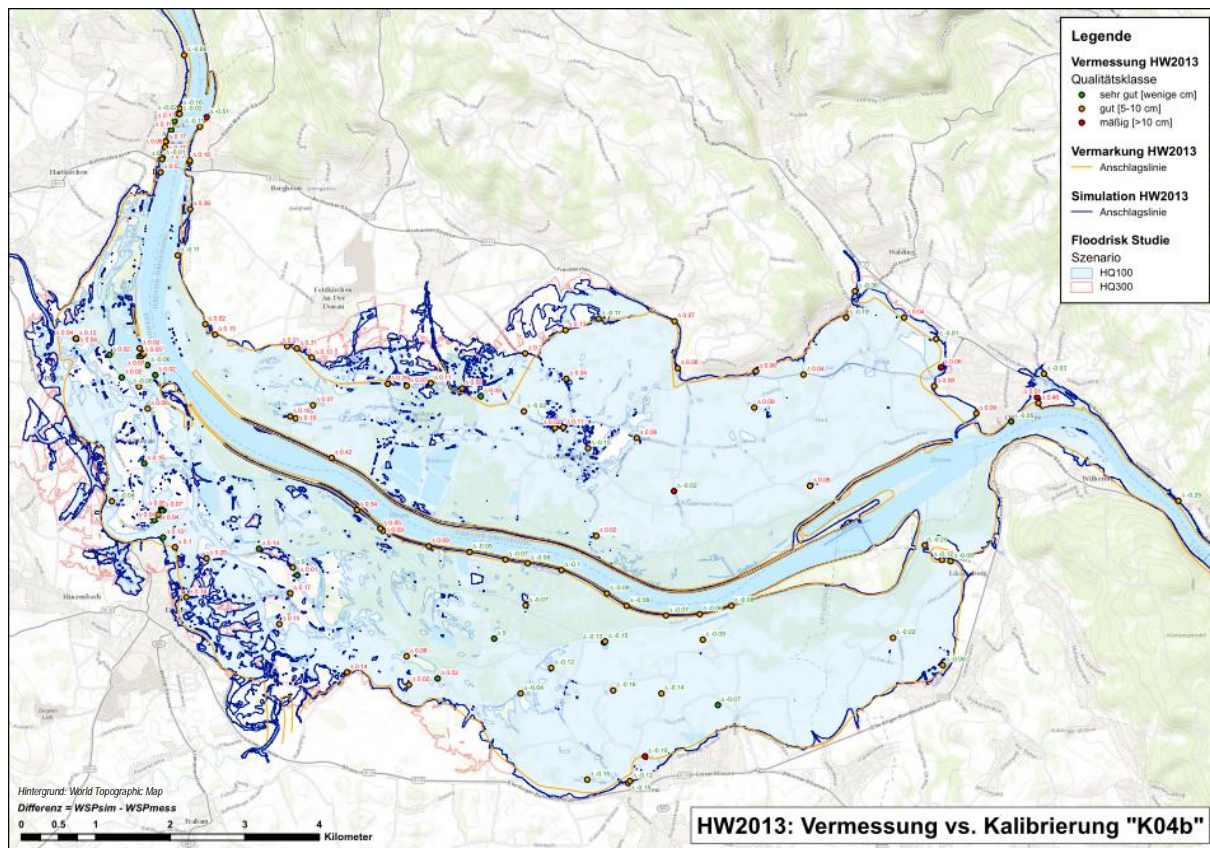
Abb. 3.17 Verteilung der Differenzen zwischen Modell- und Realwerten



Die detaillierte lagemäßige Auswertung zeigt, dass die Abweichungen im nördlichen Eferdinger Becken tendenziell leicht positiv sind, d.h. die Rechenwerte liegen tendenziell leicht über den Beobachtungen. Im südlichen Bereich ist es umgekehrt, wobei die meisten Abweichungen in beiden Bereichen zwischen 0 und 10 cm liegen.

Der Vergleich der Anschlaglinien zeigt, dass es nur im Bereich süd-östlich von Feldkirchen - konkret im Bereich Schulstraße, Golfplatzstraße, Pesenbach und Goldwörther Straße - deutlichere Unterschiede zwischen den berechneten und den beobachteten Anschlaglinien gibt, wobei auch in diesem Bereich die Differenzen zwischen berechneten und beobachteten Wasserständen im Mittel unter ± 10 cm liegen.

Abb. 3.18 Differenzen zwischen beobachteten und berechneten Maximal-Wasserständen



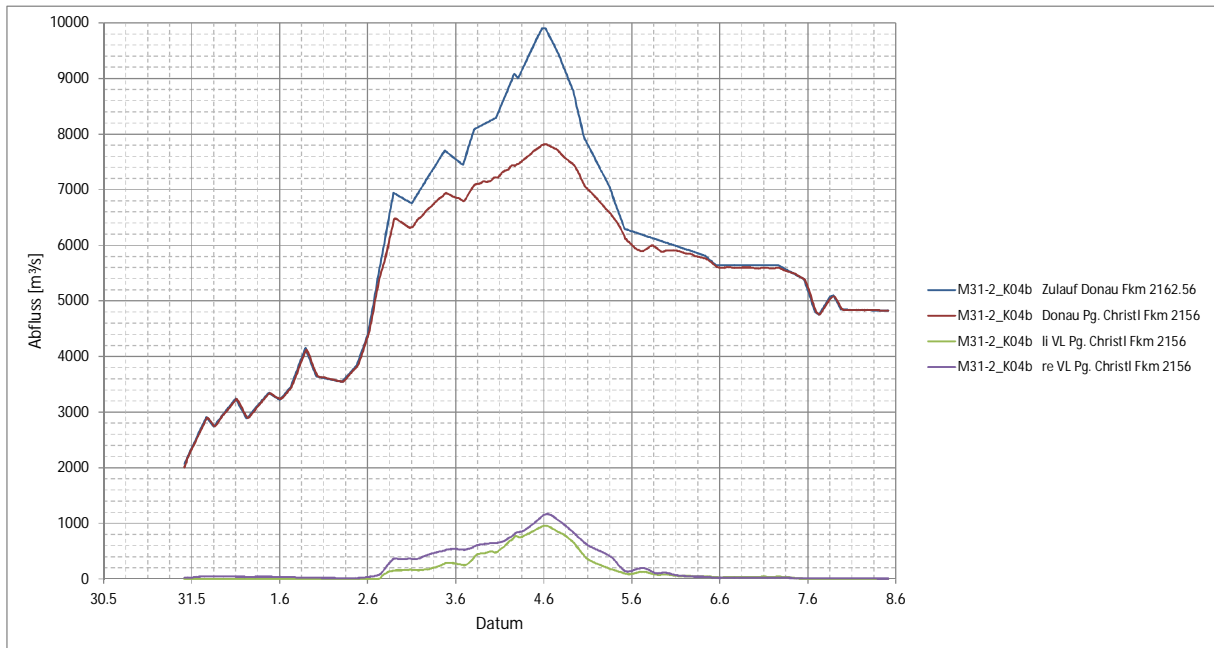
Hinweis: Diese Abbildung findet sich nochmals in vergrößerter Form in Anhang B.

3.2.4 Weitere Erkenntnisse aus der Nachrechnung des HW2013

Neben den Ergebnissen in Bezug auf die Kalibrierungsgüte konnten aus den Simulationen noch weitere Erkenntnisse zum Flutungsgeschehen während des Ereignisses von 06/2013 gewonnen werden. Diese umfassen zum einen wiederum Zeitreihen von Durchflüssen und Wasserständen an einflussreichen Stellen, zu denen es keine Beobachtungsdaten gibt und die daher besonders aufschlussreich sind (Überströmstrecken und Vorländer) und zum anderen räumlich-zeitliche Erkenntnisse des Flutungsvorgangs. Während diese zusätzlichen Zeitreihen nachfolgend dargestellt sind, wurde der Flutungsvorgang des Eferdinger Beckens mit Hilfe eines Animationsfilms visualisiert und dem Auftraggeber gesondert übergeben⁴⁵.

⁴⁵ Die Übergabe an das Land OÖ erfolgte am 20.02.2015.

Abb. 3.19 Abflussverhältnisse an der Überströmstrecke im Eferdinger Becken



Die Abbildung zeigt die Durchflüsse in der Donau vor (blaue Linie) und nach (rote Linie) der ÜSS. Der Abfluss über die ÜSS ins nördliche Eferdinger Becken (grüne Linie) ist etwas geringer als jener in das südliche Eferdinger Becken (lila Linie). Anzumerken ist, dass bei den dargestellten Abflüssen im rechten Vorland (südliches ÜSS) auch die Zuflüsse der Aschach inkludiert sind (max. $Q = \text{rd. } 100 \text{ m}^3/\text{s}$), so dass die Abflüsse die Summe aus Abfluss über die ÜSS und Durchfluss in der Aschach darstellen. Der Abwurf ins südliche Eferdinger Becken über die Überströmstrecken war beim HW2013 daher etwas geringer als der im Diagramm dargestellte Durchfluss.

Abb. 3.20 Wasserstände entlang der Überströmstrecke im Eferdinger Becken

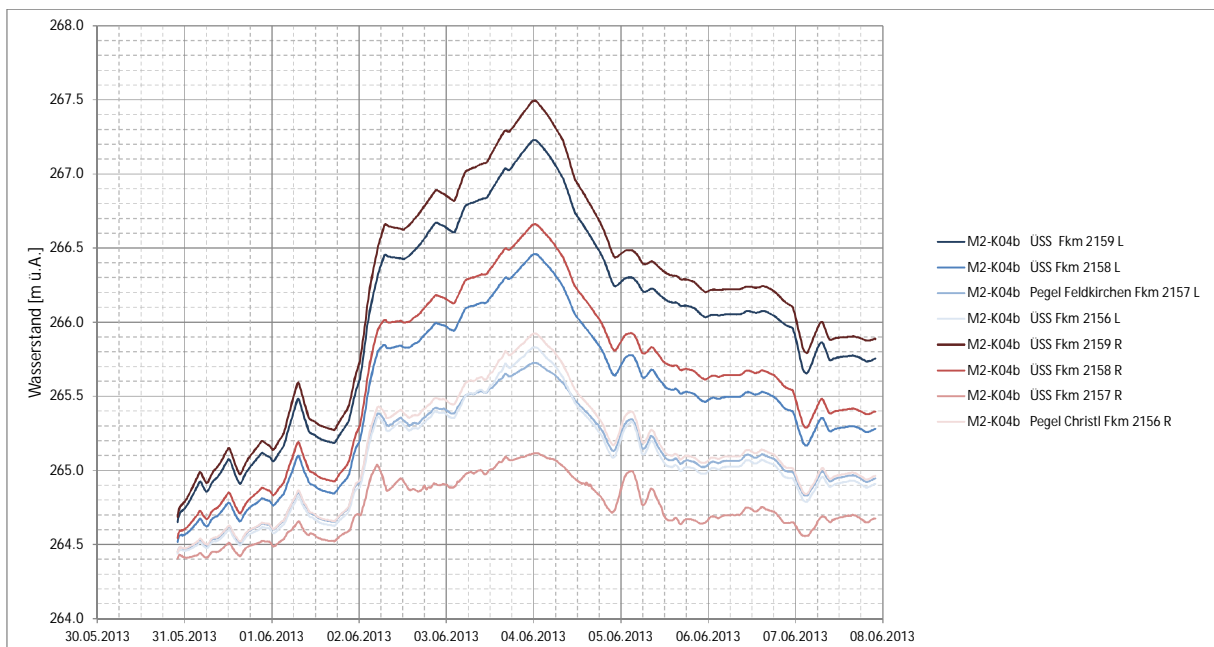
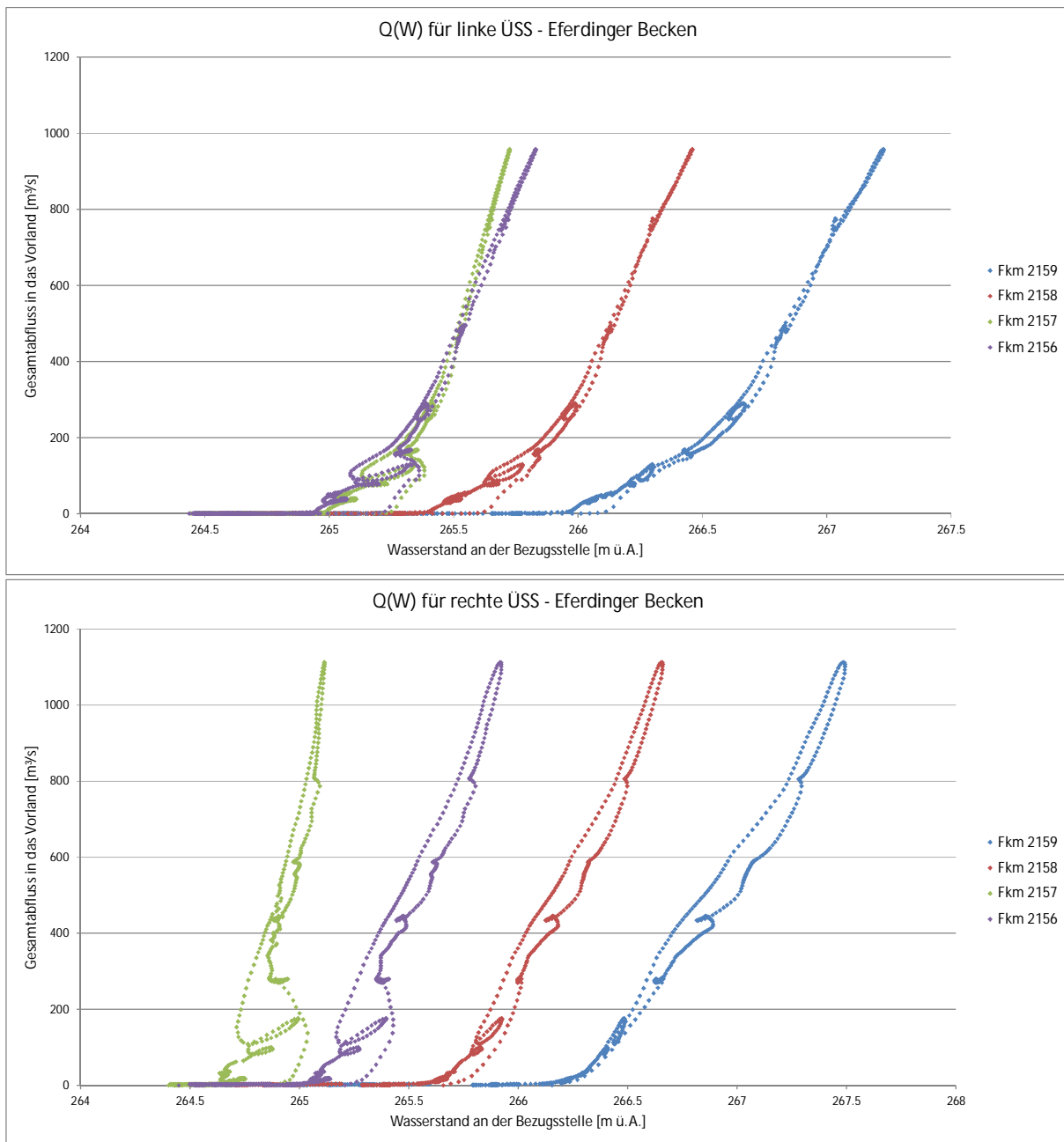


Abb. 3.21 Abfluss-Wasserstandsbeziehungen an den Überströmstrecken im Eferdinger Becken (oben linksufrig, unten rechtsufrig)



Es gilt zu beachten, dass es aufgrund der örtlichen Gegebenheiten (Bucht mit anschließender Einschnürung des Donauquerschnitts) rechtsufrig bei Fkm2157 zu einer Beschleunigung des Abflusses kommt, der lokal zu einer signifikanten Absenkung des Wasserspiegels führt. Diese Absenkung ist so stark, dass bei Fkm2157 die Wasserspiegel deutlich unter jenen bei Fkm2156 liegen. Weiters wirkt sie sich bei großen Durchflüssen ($Q_{\text{Donau}} > \text{ca. } 6000 \text{ m}^3/\text{s}$) sogar bis zum gegenüber liegenden Ufer aus, wodurch dort ebenfalls etwas niedrigere Wasserspiegel als flussab bei Fkm2156 vorherrschen.

Abb. 3.22 Wasserstände in den Vorländern des Eferdinger Beckens (jeweils 3 Punkte für linkes und rechtes VL) – „Profile“ 1-3

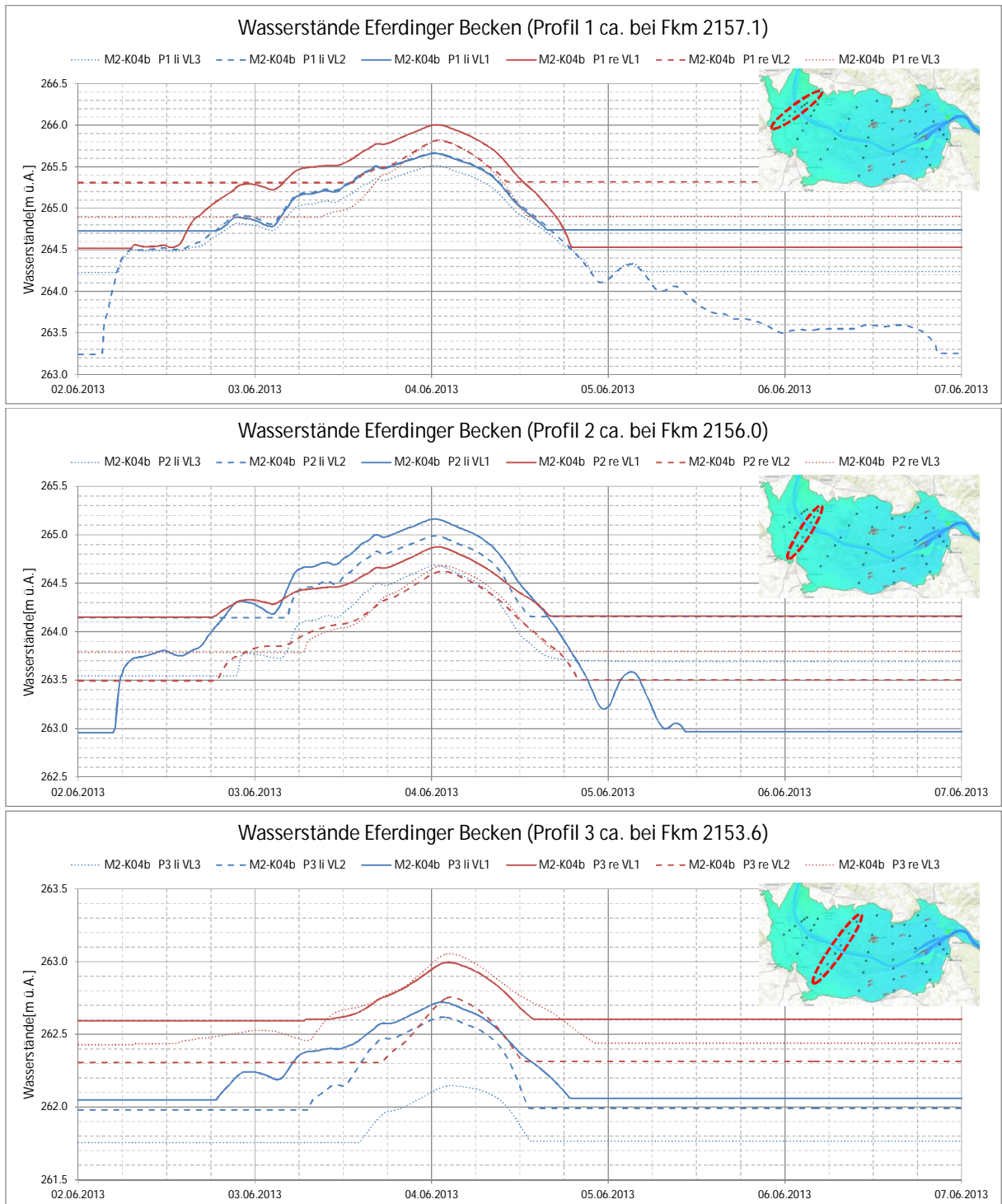


Abb. 3.23 Wasserstände in den Vorländern des Eferdinger Beckens (jeweils 3 Punkte für linkes und rechtes VL) – „Profile“ 4-6

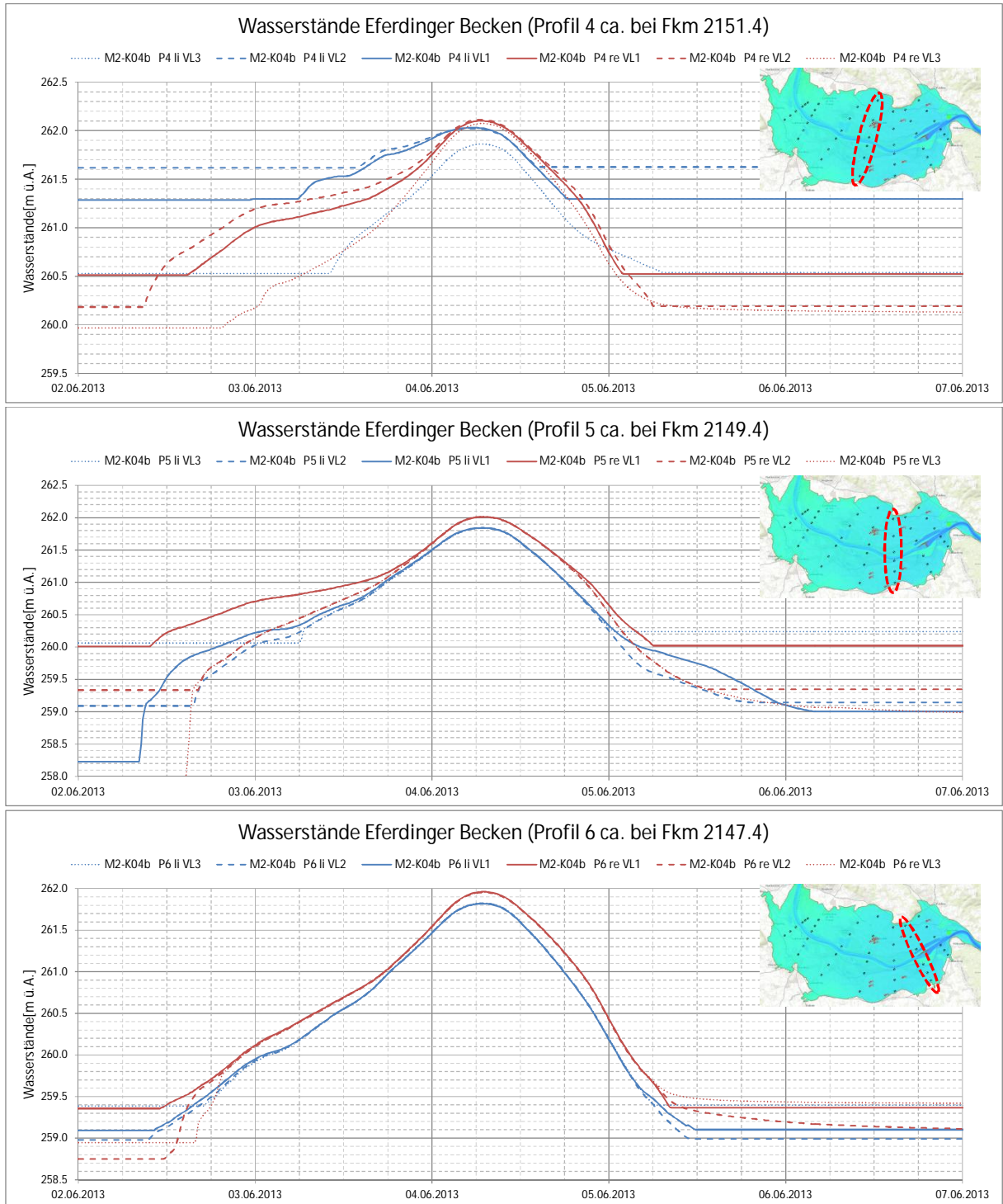
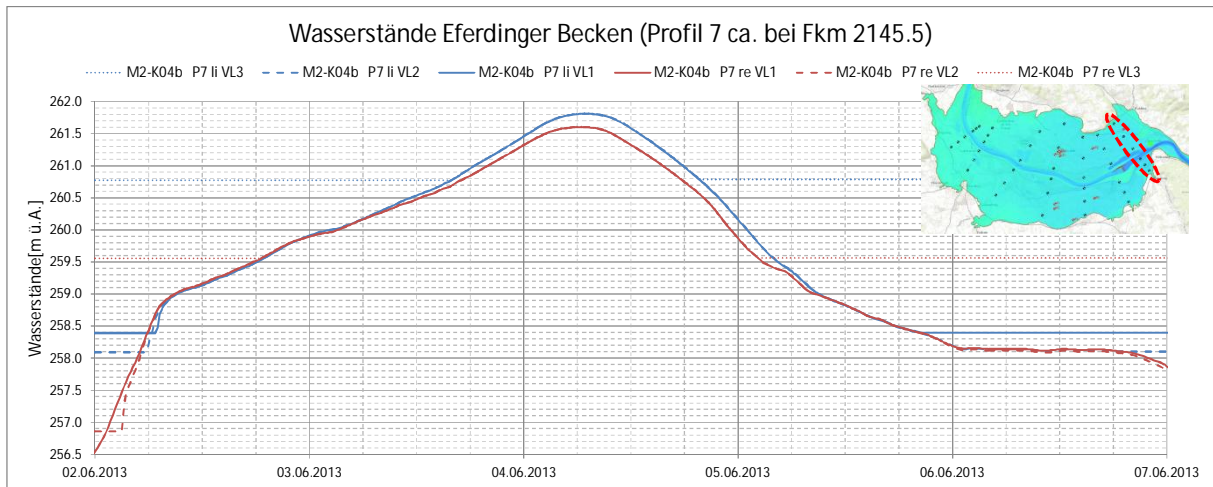


Abb. 3.24 Wasserstände in den Vorländern des Eferdinger Beckens (jeweils 3 Punkte für linkes und rechtes VL) – „Profil“ 7



3.3 Berechnungen für HQ_{30} , HQ_{100} und HQ_{300}

Die Berechnungen für HQ_{30} , HQ_{100} und HQ_{300} haben das Ziel, die Basis für die Neu-Ausweisung der entsprechenden Überflutungsflächen und der zentralen Kennwerte (Fließgeschwindigkeiten, Überflutungstiefen) zu bilden.

Wichtig ist zu den Berechnungen, dass die im Projekt erarbeiteten Ergebnisse reine Simulationsergebnisse sind und dass diese – z.B. im Gegensatz zur Ausweisung der HW_{30} - und HW_{100} -Anschlaglinien durch SCIETEC/DonauConsult (2010) – keine Vor-Ort-Begehungen und keine Korrekturen der errechneten Daten auf Grund von Beobachtungen bei Hochwasserereignissen gegeben hat. Entsprechend wären vor einer allfälligen Publikation der Daten als „offizielle HW-Anschlaglinien“ eine detailliert-kleinräumige Prüfung und allfällig eine manuelle Korrektur der Daten erforderlich.

Die Berechnungen für HQ_{30} und HQ_{100} wurden stationär durchgeführt und sind damit aus hydrologischer Sicht als konservativer Ansatz zu sehen (keine Retention). Die Entscheidung für den stationären Ansatz wurde in Abstimmung mit dem AG getroffen. Die Berechnung für HQ_{300} wurde instationär durchgeführt, weil dies für HQ_{300} als Stand der Technik gilt.

Die für die Berechnungen konkret angesetzten Durchflüsse für die Donau und die Zubringer sind in Tab. 3.2 zusammengefasst. Die hydrologischen Überlegungen, welche diesen Daten zugrunde liegen, sind im Detail unter Pkt. 2.5.2.1 beschrieben. Weiters sind in der Tabelle auch die sich bei den Szenarien ergebenden Abflüsse über die Überströmstrecken angegeben.

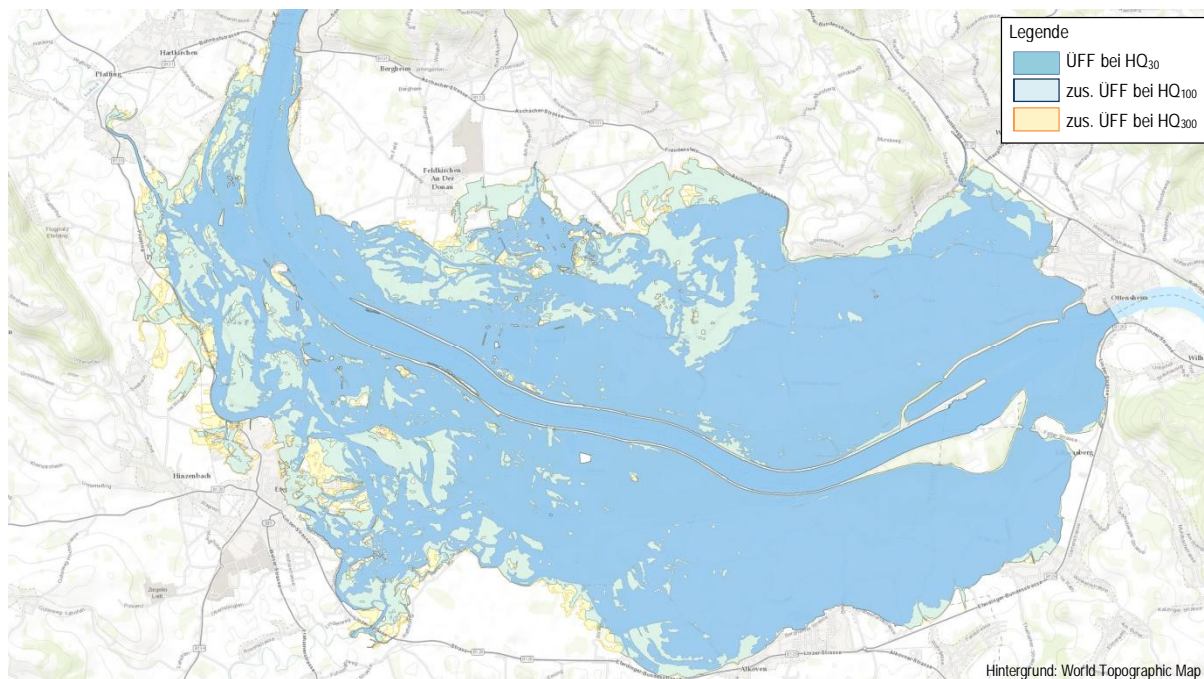
Tab. 3.2 Durchflussverhältnisse bei den Szenarien HQ₃₀, HQ₁₀₀ und HQ₃₀₀

Szenario	Donau	Aschach	Innbach	Pesen- bach	Große Rodl	Gesamtabfluss	ÜSS Eferdinger Becken Nord	ÜSS Eferdinger Becken Süd
HQ ₃₀	7600	115	67.5	27.5	51.5	7861.5	280	450
HQ ₁₀₀	8920	230	135	55	103	9443	700	710
HQ ₃₀₀ *	10100	280	170	80	130	10760	1000	1080

* HQ₃₀₀ wurde im Gegensatz zu den beiden anderen Szenarien instationär berechnet. In der Tabelle sind nur die Maximalwerte angeführt.

Als Ergebnisse der Berechnungen liegen für das Eferdinger Becken Shape-Files mit den Überflutungsflächen und der klassifizierten Fließgeschwindigkeiten und Wassertiefen vor⁴⁶. Noch einmal sei darauf hingewiesen, dass diese Shape-Files direkte aus den Simulationsergebnissen und ohne Vor-Ort-Begehungen abgeleitet wurden. Die berechneten Überflutungsflächen (ÜFF) für das Eferdinger Becken sind in Abb. 3.25 dargestellt.

Abb. 3.25 Überflutungsflächen bei HQ₃₀, HQ₁₀₀ und HQ₃₀₀ im Eferdinger Becken



Hinweis: Diese Abbildung findet sich nochmals in vergrößerter Form in Anhang C.1 bzw. mit Luftbild als alternativem Hintergrund in Anhang C.2.

Die zentralen hydraulischen Eckdaten bzw. Ergebnisse (Durchflüsse und Wasserstände an den interessierenden Pegelpunkten) sind in den Abbildungen Abb. 3.26 bis Abb. 3.29 dargestellt.

⁴⁶ Die Übergabe der Überflutungsflächen an das Land OÖ erfolgte am 12.06.2014. Die klassifizierten Shape-Files für die Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten wurden am 17.12.2014 übergeben.

Abb. 3.26 Wasserstände entlang der Überströmstrecken im Eferdinger Becken beim Szenarium HQ_{30}

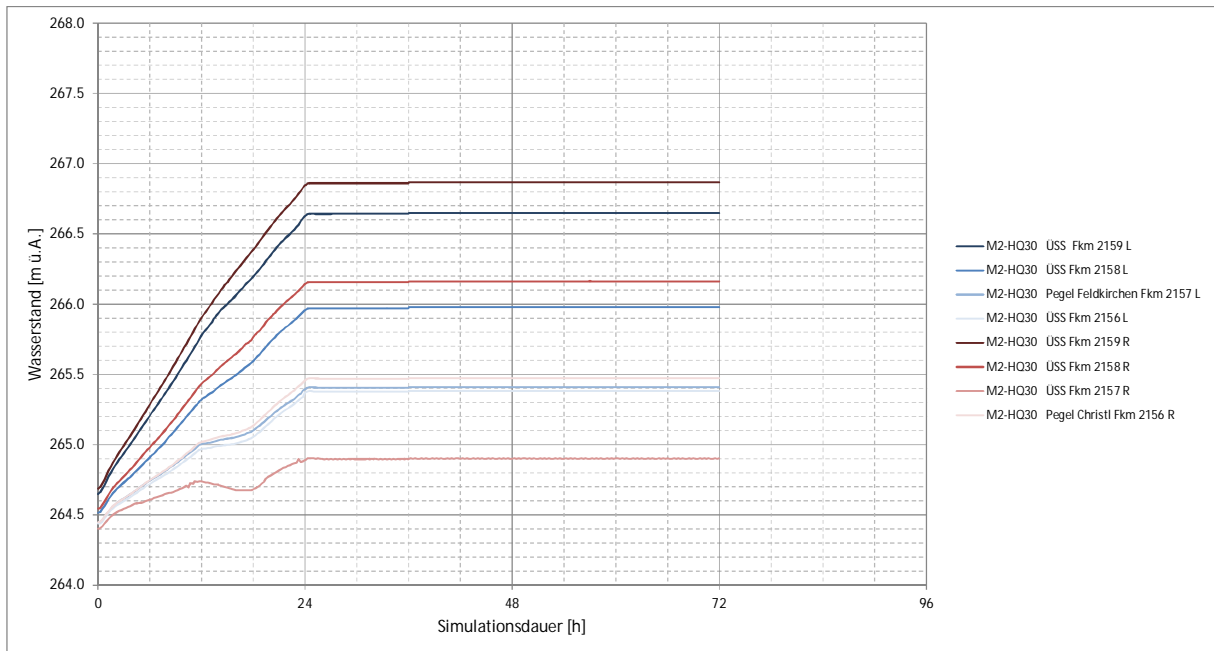


Abb. 3.27 Wasserstände entlang der Überströmstrecken im Eferdinger Becken beim Szenarium HQ_{100}

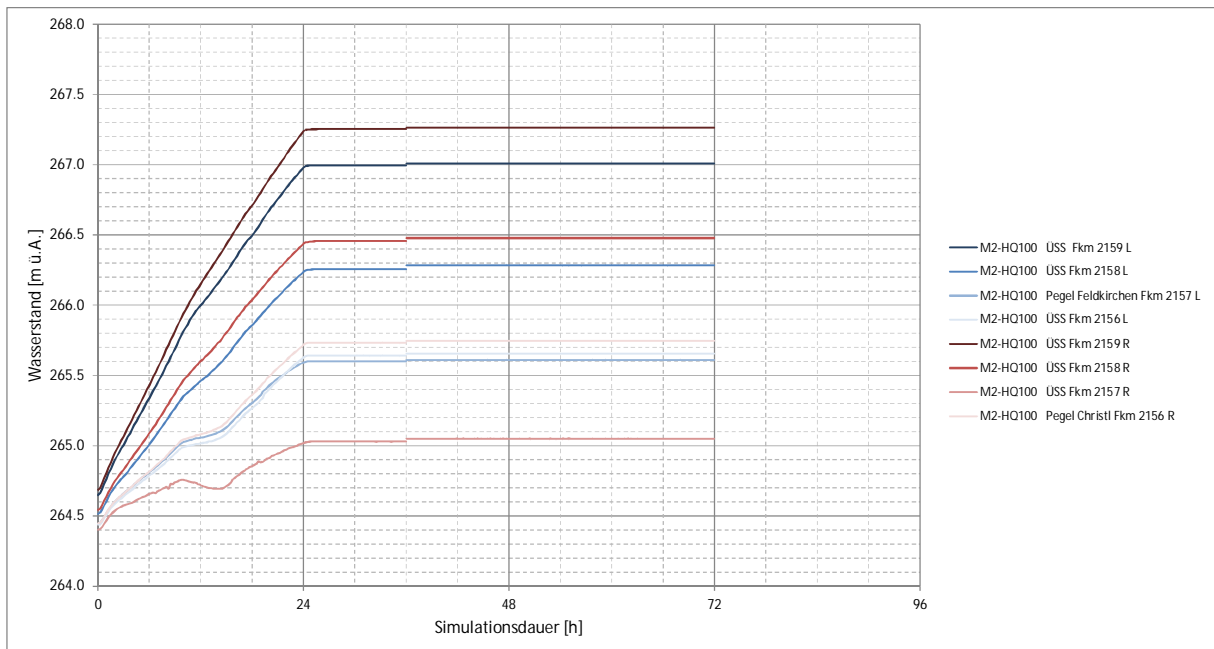


Abb. 3.28 Wasserstände entlang der Überströmstrecken im Eferdinger Becken beim Szenarium HQ_{300}

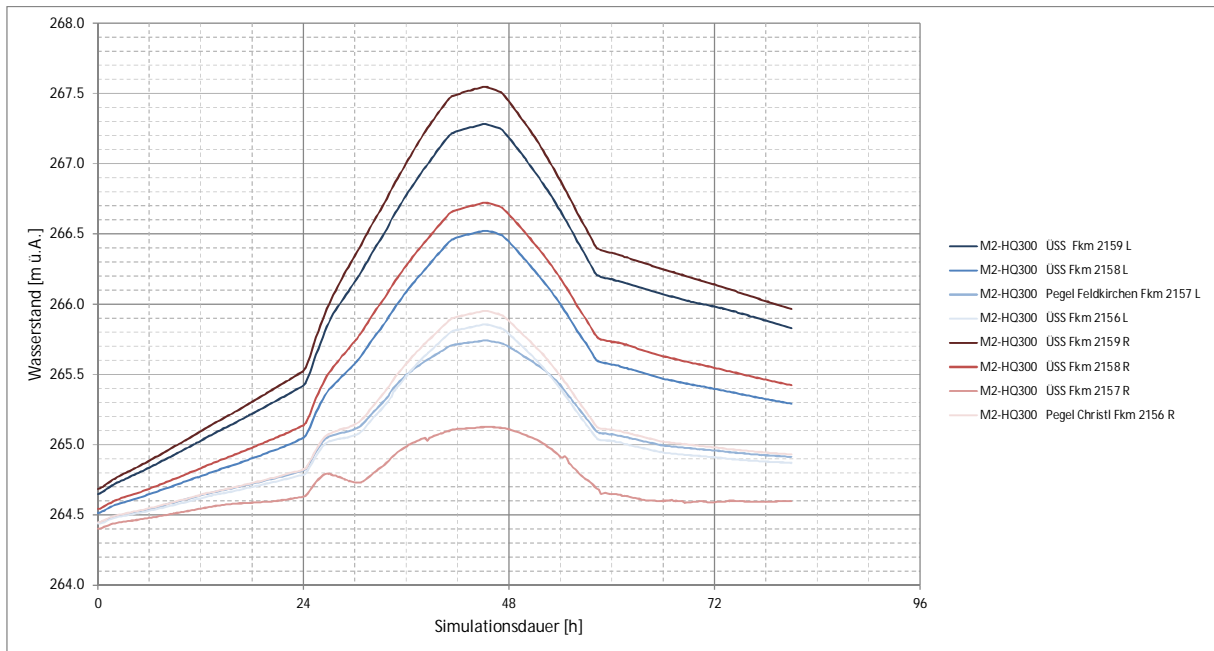
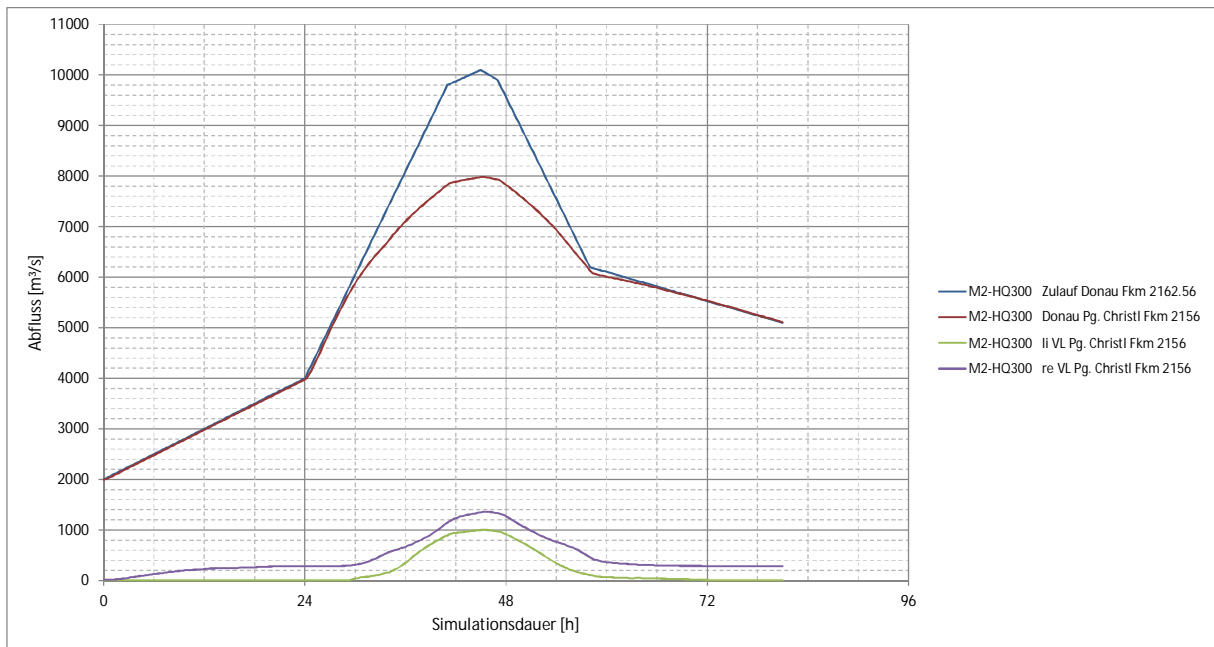


Abb. 3.29 Abflussverhältnisse an der Überströmstrecke im Eferdinger Becken beim Szenarium HQ_{300}



Die Abbildung zeigt die Durchflüsse in der Donau vor (blaue Linie) und nach (rote Linie) der ÜSS. Der Abfluss über die ÜSS ins nördliche Eferdinger Becken (grüne Linie) ist geringfügig niedriger als jener in das südliche Eferdinger Becken (lila Linie). Anzumerken ist, dass bei den dargestellten Abflüssen im rechten Vorland (südliches ÜSS) auch die Zuflüsse der Aschach inkludiert sind. Da der Zufluss der Aschach nach einer anfänglichen Anrampung (Dauer 12h) stationär mit $Q = \text{rd. } 280 \text{ m}^3/\text{s}$ angesetzt wurde, ist der zu erwartende Abwurf ins südliche Eferdinger Becken über die Überströmstrecken alleine bei einem HQ_{300} um diesen Wert geringer als im Diagramm dargestellt.

3.4 Berechnungen von Lamellen für das Hochwasser-Management

Die Berechnung der Lamellen für das Eferdinger Becken stellt die Basis für die sog. Lamellenprognose dar: Bei der Lamellenprognose soll - ausgehend von der jeweils aktuellen Durchflussprognose des Hydrographischen Dienstes - jenes voraussichtliche Überflutungsbild kommuniziert werden, das aufgrund der hydrologischen Situation zu erwarten ist. Dabei ist aus Sicht des gegenständlichen Projektes offen (und für die Berechnungen an sich nicht von Bedeutung), ob das zu erwartende Überflutungsbild „nur“ für einen erwarteten Hochwasserscheitel oder auch für einen zu erwartenden zeitlichen Verlauf kommuniziert wird.

Die Berechnung der Lamellen erfolgte mit einer Abstufung von 500 m³/s für den Durchflussbereich von 5.000 bis 10.000 m³/s bezogen auf den Durchfluss beim KW Aschach⁴⁷. Die Berechnung der Lamellen für das Eferdinger Becken wurde auftragsgemäß instationär durchgeführt. Dabei wurden die Durchflüsse der Zubringer so gewählt, dass sich ein mit dem offiziellen hydrologischen Längenschnitt korrespondierendes Bild ergibt (vgl. Pkt. 2.5.4.1). Nachdem die Retention aber jeweils vor einer Simulation abgeschätzt werden musste und die konkrete Retention sich erst durch die Simulation ergab, werden die Daten aus dem hydrologischen Längenschnitt nicht exakt getroffen (Tab. 3.3). Das Gesamtbild deckt sich aber bei allen Berechnungen sehr gut mit den o.a. Vorgaben und die sich ergebenden Abweichungen des Maximalabflusses betragen im Mittel lediglich 1.4%.

Tab. 3.3 Abweichungen des Scheitelabflusses der instationären Lamellensimulationen

Szenarium	Maximaler Durchfluss am Pg. Kürnberg [m ³ /s]		Abweichung	
	SOLL	IST	[m ³ /s]	%
L5000	5000	5021	21	0.4%
L5500	5499	5531	33	0.6%
L6000	5942	6015	73	1.2%
L6500	6385	6509	124	1.9%
L7000	6828	6944	116	1.7%
L7500	7271	7407	135	1.9%
L8000	7715	7799	85	1.1%
L8500	8158	8272	114	1.4%
L9000	8569	8632	63	0.7%
L9500	8810	9092	281	3.2%
L10000	9052	9154	102	1.1%

Anmerkungen zur Tabelle:

Der Pegel Kürnberg befindet flussab der Engstelle bei Wilhering an der Fließstrecke zwischen dem Eferdinger Becken und Linz und ist daher besonders gut geeignet, die bereits vollständig entfaltete Retentionswirkung des Eferdinger Beckens widerzuspiegeln. Die „SOLL-Werte“ sind aus dem hydrologischen Längenschnitt für die Donau der via donau abgeleitet.

Festgehalten sei auch, dass sich zwischen den Überflutungsbildern aus den Lamellenberechnungen und den HQ₃₀ und HQ₁₀₀-Berechnungen leichte Unterschiede

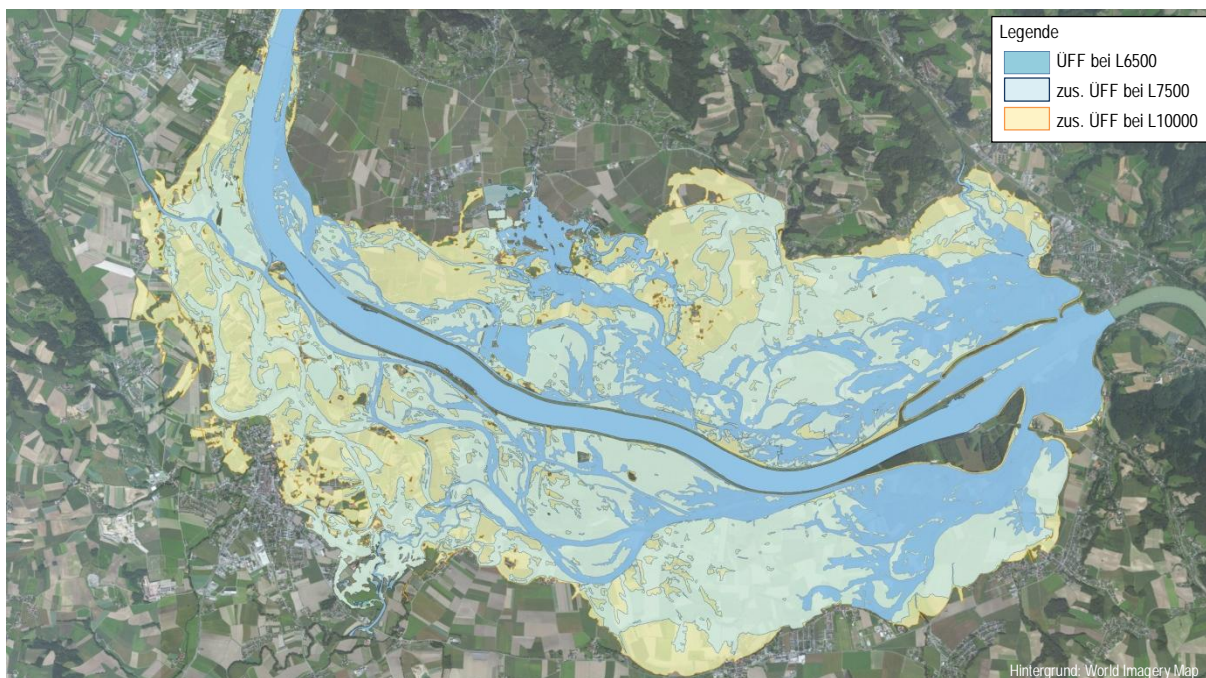
⁴⁷ Das KW Aschach ist für die hydrologische Prognose und das Hochwassermanagement zwar kein Prognosepegel, es kann für die Lamellenprognose aber aufgrund aller gegebenen Unsicherheiten der Durchfluss am KW Aschach mit dem Durchfluss am Pegel Achleiten gleichgesetzt werden. Entsprechend wurde bei der Berechnung der Lamellen der Durchfluss direkt am oberen Modellrand mit den o.a. Durchflussstufen angesetzt (d.h. 5.000, 5.5000, 6.000,... bis 10.000 m³/s). Im Rahmen der operationellen Anwendung gilt für die Lamellenprognose aber der Pegel Achleiten als Bezugspegel.

ergeben können, da die Lamellen instationär und die HQ₃₀- und HQ₁₀₀-Berechnung stationär gerechnet wurden. Die Unterschiede sind aber gering und lokal begrenzt und können den Betroffenen und den künftigen Anwendern (Behörden, Feuerwehr) auf Basis der Methodik und der für die unterschiedlichen Berechnungen üblichen Standards leicht vermittelt werden.

In Hinblick auf die für die Lamellenprognose angesetzten Durchflussganglinien sei darauf verwiesen, dass in einer eigens vom Land OÖ beauftragten Analyse untersucht wurde, wie sich die Wellenform auf das zu erwartende Überflutungsbild auswirkt und wie dies bei der Verwendung der Lamellen zu berücksichtigen ist („Sensitivitätsanalyse“ vgl. Fußnote 4). Zusammenfassend sei festgehalten, dass der Einfluss der Wellenform bei allen Durchflüssen relativ gering ist und dass die Unterschiede zwischen Lamellen (d.h. die Unterschiede, die sich bei einer Änderung des Durchflusses um 500 m³/s ergeben) immer deutlich größer sind, als die Unterschiede durch unterschiedliche Wellenformen.

Als Ergebnis der Lamellenberechnungen liegen 11 Shape-Files für die sich ergebenden Überflutungsflächen vor. Diese Shape-Files wurden dem Auftraggeber in digitaler Form übergeben⁴⁸ und werden von diesem in das Gesamt-System der Lamellenprognose integriert. Beispielhaft sind in Abb. 3.30 die Überflutungsbilder von ausgewählten Lamellen dargestellt, die die jeweils betroffenen Überflutungsflächen (ÜFF) kennzeichnen.

Abb. 3.30 Überflutungsbilder unterschiedlicher Lamellen im Eferdinger Becken (exemplarische Auswahl)



⁴⁸ Die Übergabe der Lamellen-Überflutungsflächen an das Land OÖ erfolgte am 12.06.2014

3.5 Berechnungen von vormaligen HQ₁₀₀-Abflussbereichen

Von den für die Berechnung der vormaligen HQ₁₀₀-Abflussbereiche vom Auftraggeber festgelegten Bereichen, liegen die Hochwasserschutzanlagen Höflein und Ottensheim im Modell für das Eferdinger Becken (Modell M31-2).

Für die Berechnungen der vormaligen HQ₁₀₀-Abflussbereiche wurden in den im Rahmen des Projektes adaptierten/optimierten Modellen - d.h. in den Modellen, wie sie nach Durchführung der unter Pkt. 3.2 beschriebenen Schritte vorlagen - die Hochwasserschutzanlagen entfernt. Die Berechnungen wurden exakt mit den gleichen Durchflüssen und Randbedingungen, wie die unter Pkt. 3.3 beschriebenen HQ₁₀₀-Berechnungen durchgeführt.

Als Ergebnis der Berechnungen liegen Shape-Files vor, die die Verhältnisse zeigen, wie sie sich bei HQ₁₀₀ ohne die Hochwasserschutzanlagen von Höflein und Ottensheim ergeben würden. Die Shape-Files umfassen die Überflutungsflächen, sowie klassifizierte Fließgeschwindigkeiten und Wasserstände für die zusätzlich betroffenen Bereiche⁴⁹.

In Abb. 3.31 sind exemplarisch die Verhältnisse mit und ohne Hochwasserschutz dargestellt. Deutlich zu sehen ist, dass sich das Überflutungsbild im Bereich Ottensheim durch die theoretische Wegnahme der Hochwasserschutzanlage deutlich ändert und große Siedlungsgebiete von Überflutungen betroffen wären. Im Bereich Höflein hingegen sind keine Unterschiede gegeben, weil der Hochwasserschutzdamm in Höflein bei HQ₁₀₀ überströmt ist und damit bei HQ₁₀₀ auch keinen Schutz vor einem Donauhochwasser bietet.

⁴⁹ Die Übergabe an das Land OÖ erfolgte am 28.05.2014.

Abb. 3.31 Gegenüberstellung der Wassertiefen für „HQ₁₀₀“ (oben) und „vormalige HQ₁₀₀-Abflussbereiche“ (unten)



Die Abbildung zeigt die durch die Hochwasserschutzanlagen geschützten Bereiche bei einem HQ₁₀₀-Szenario. Die rot umrandeten Bereiche in Ottensheim wären ohne den vorhandenen Hochwasserschutz von Überflutungen betroffen. Beim HWS Höflein hingegen gibt es keine Auswirkungen, da dieser bei einem HQ₁₀₀ in der Donau ohnehin überströmt wird.

4 Berechnungen für die Donau unterhalb von Linz (Modell M31-3)

4.1 Vorbemerkungen und Überblick

Die nachfolgend beschriebenen Berechnungen mit dem Teilmodell M31-3 betreffen in erster Linie Donauabschnitte flussab von Linz (Linzer Feld und Strudengau). Das Teilmodell M31-3 selbst beginnt jedoch bereits bei der rd. 8 km flussauf von Linz gelegenen Engstelle bei Wilhering und erstreckt sich bis etwas flussab der Landesgrenze bis zum Oberwasser des KW Ybbs-Persenbeug. Demzufolge befinden sich im Teilmodell M31-3 die Stauräume der drei Donaukraftwerke Abwinden-Asten („BAA“), Wallsee-Mitterkirchen („BWM“) und Ybbs-Persenbeug („BYP“).

Aus modelltechnischen Überlegungen wurde eine relativ lange Überlappungsstrecke mit dem Oberliegermodell, welches bis knapp flussauf von Linz herab reicht, gewählt, um mit nur einem Rechenlauf von M31-3 die Einflüsse des Stauraums Abwinden-Asten auf das Eferdinger Becken beurteilen zu können. Umgekehrt können mit dem Oberliegermodell in einem Rechenlauf direkte quantitative Aussagen über die Wechselwirkungen zwischen Eferdinger Becken und den Abflussverhältnissen in Linz getroffen werden.

Weiters ist die Inklusion der Zwischenstrecke von Wilhering bis Linz in beide Teilmodelle M31-2 und M31-3 insofern sinnvoll, als es dort aufgrund fehlender (maßgeblicher) Zubringer oder Retentionsräume zu keinen bedeutsamen Änderungen in den hydrologischen Verhältnissen kommt. So kann beispielsweise bei Betrachtung stationärer Szenarien ohne Implementierung zusätzlicher Zuflüsse (oder Senken) diese Zwischenstrecke jeweils unabhängig vom anderen Teilmodell mitmodelliert werden.

Unter den gegebenen Aufgabenstellungen war dieser lange Überlappungsbereich in erster Linie für die durchgängige Berechnung des HQ_{EXTREM} vorteilhaft, weil dadurch nicht die randbeeinflusste Auslaufganglinie des Oberliegermodells angesetzt werden musste, sondern auf jene an der Engstelle bei Wilhering zurückgegriffen werden konnte.

Für alle anderen beauftragten Berechnungen wäre eine kürzere Überlappung ausreichend gewesen, da die Modelle jedoch quasi den Status als „2D-Standard-Modelle“ für die österreichische Donau aufweisen, wurden die oben angeführten Überlegungen bei der Festlegung der Modellgrenzen angestellt.

4.1.1 Überblick der durchgeführten Arbeiten

Die Arbeiten an und mit dem Teilmodell M31-3 lassen sich in die nachfolgenden Punkte gliedern, wobei sowohl Umfang der Arbeiten als auch die Herangehensweise bzw. Zielsetzung (v.a. bei Modellanpassung und Kalibrierung) vergleichbar mit den Arbeiten für das Eferdinger Becken sind (vgl. Pkt. 3.1):

- (1) *Grundsätzliche Anpassungen am Modell und Nachrechnung des HW2013*
Diese Anpassungen beinhalten alle Schritte, welche dazu dienen, das Modell vom Ausgangsmodell in einen besseren Zustand zu bringen. Dies umfasst die Aufprägung aktueller Laserscan- und Stromgrunddaten, die Überprüfung und die lokale Verbesserung des Berechnungsnetzes und dabei insbesondere die Verbesserung des Berechnungsnetzes im Bereich der Überströmstrecken und Hochwasserschutzanlagen. Weiters die beauftragte Netzerweiterung im Bereich Hirschenau, sowie die im Zuge eines parallelen Projektes durchgeführte

Erweiterung des voestalpine-Areals. Hinzu kommt ebenso die Nachrechnung des HW2013 und dabei die Verbesserung der Kalibrierung des Modells.

Für das Teilmodell M31-3 gelten in Bezug auf die Kalibrierung die ausführlichen Erläuterungen unter Pkt. 3.1 (1) sinngemäß. Demzufolge sei hier nochmals festgehalten, dass im Rahmen des gegenständlichen Projektes a priori keine Kalibrierung des Modells vorgesehen war und das somit Kalibrierung und Nachrechnung des Ereignisses von 06/2013 *als ein Schritt zu sehen sind*.

Die Nachrechnung des Ereignisses des HW2013 diene in weiterer Folge für die Erstellung eines Animationsfilms, der den Ablauf der Flutungsvorgänge im Linzer Feld, im Machland und im Strudengau visualisiert. Im Rahmen des Auftrags wurden für die gesamte öö. Donau solche Animationen erstellt.

(2) *Berechnungen von HQ₃₀-, HQ₁₀₀- und HQ₃₀₀-Szenarien*

Mit dem überarbeiteten und neukalibrierten Modell wurden für den Bereich St. Georgener Bucht / Enns-Enghagen sowie im Strudengau Neuberechnungen für ein HQ₃₀-, HQ₁₀₀- und HQ₃₀₀-Szenarium durchgeführt. Aus den Berechnungsergebnissen wurden GIS-Datensätze (Shape-Files) für die Überflutungsflächen, Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten ausgearbeitet.

(3) *Lamellenberechnungen*

Die Lamellenberechnungen wurden auftragsgemäß ebenfalls nur für den Bereich St. Georgener Bucht / Enns-Enghagen durchgeführt. Die Lamellen zeigen das zu erwartende Überflutungsbild für Durchflüsse zwischen 5.000 und 10.000 m³/s bezogen auf den Pegel Linz. Die Lamellen wurden analog zum Eferdinger Becken für 500 m³/s-Schritte gerechnet und ausgewiesen. Ziel war die Erstellung von GIS-Datensätzen (Shape-Files) der Überflutungsflächen.

(4) *HQ_{EXTREM}*

Die Berechnungen ermitteln das Überflutungsbild für ein Extremszenarium, welches auf Grund von hydrologischen Überlegungen definiert wurde.

Dieses Extremszenarium wurde für die gesamte öö. Donau ermittelt und konsistent festgelegt. Die Berechnungen für das Teilmodell M31-3 (Wilhering bis Landesgrenze) sind damit ein Teil der Gesamtberechnung für Oberösterreich und sind unter Pkt. 6 erläutert.

(5) *Vormalige HQ₁₀₀-Abflussbereiche*

Die Berechnungen sollen das Ausmaß der (theoretischen) Überflutungen in den vom Auftraggeber vorgegebenen Bereichen Alt-Urfahr West, sowie Steyregg und Steyregg Ost darstellen, wenn dort kein Hochwasserschutz vorhanden wäre.

4.2 Modellverbesserung, Kalibrierung und Nachrechnung HW2013

4.2.1 Datengrundlage für die Kalibrierung

Für die Kalibrierung des 2D-Modells M31-3 standen folgende Beobachtungs-Datengrundlagen zur Verfügung:

1. Durchflussganglinie an den Pegeln Wilhering, Linz und Grein von via donau (Stand: 03/2014)
2. Wasserstandsganglinien der via donau an folgenden Pegelstellen (unterteilt in die Stauräume):
 - BAA: Wilhering, Kürnberg, Linz, Linz Handelshafen, ÜSS Steyregg und Linz VÖEST-Hafen
 - BWM: Mauthausen, Schwarzholz, Au, ÜSS Wallsee Fkm 2106 links- und rechtsufrig, ÜSS Wallsee Fkm 2105 links- und rechtsufrig
 - BYP: Wallsee, Pumpwerk Machland Nord, Grein und Sarmingstein
3. Maximale Wasserstände der Donau von via donau (linkes und rechtes Ufer)
4. Maximale Wasserstände in den Vorländern (Wasserverband St. Georgener Bucht, VHP und Machlanddamm-Betriebsgesellschaft)

4.2.2 Anpassungen am Modell

Nachdem in Phase I der Analysen die Festlegung der weiterzuverwendenden Modelle getroffen worden war (vgl. Pkt. 2.3.1), musste jener Modellbereich des Ausgangsmodells M31 von riocom, der nunmehr zu Teilmodell M31-3 deklariert wurde, entsprechend aufbereitet werden. Diese Aufbereitungen wurden teilweise auch im Zuge eines parallel bearbeiteten Projektes durchgeführt (vgl. Pkt. 2.2).

4.2.2.1 Festlegung der Randbedingungen: Zuflüsse, Kraftwerke und unterer Modellrand

Im Teilmodell M31-3 waren keine so spezifischen Anpassungen nötig, wie sie im Teilmodell M31-2 („Eferdinger Becken“) erforderlich waren⁵⁰. Im Grundsatz ident wie bei Modell M31-2 sind jedenfalls die methodischen Eckpunkte, wie die Ausdünnung von Zeitreihen, um die formalen Anforderungen von HYDRO_AS-2D und Donau2D zu erfüllen (max. Anzahl von Datenpunkte).

⁵⁰ z.B. iterative Anpassung des W/Q-Beziehung am unteren Modellrand (vgl. Pkt. 3.2.2.1)

Zusammenfassend seien zu Teilmodell M31-3 folgende Punkte festgehalten:

- § Der Modellzulauf wird jeweils durch die Durchflussganglinie in Wilhering abgebildet, wobei die konkrete Ganglinie sich entweder aus den Berechnungsergebnissen des Oberliegermodells (Modell M31-2) oder aus den spezifischen hydrologischen Überlegungen (vgl. Pkt. 2.5) ergibt.
- § Den unteren Modellrand bildet das KW Ybbs-Persenbeug. Als Vorgaben für das Kraftwerk sind bei Nachrechnungen zum Ereignis von 06/2013 die beobachteten Wasserstände $W(t)$, bei allen anderen Simulationen die Wehrbetriebsordnung angesetzt.
- § Als Zuflüsse sind die Traun und die Enns angesetzt.

4.2.2.2 Aktualisierung der Höhenkoten und lokale Netzverbesserungen

4.2.2.2.1 Vorland und Gelände

Die Aktualisierung der Höhenkoten erfolgte durch Aufprägung der aktuellsten Laserscan-Daten (ALS) auf das bestehende Berechnungsnetz. Eine Neuauswertung von Bruchkanten war damit nicht nötig, wobei die Unterschiede, welche sich zwischen den früheren und den aktuellen Höhenkoten ergeben, visuell überprüft wurden. Analog zu der Vorgehensweise im Eferdinger Becken, wurde zusätzlich in neuralgischen Bereichen wie beispielsweise bei Brücken und Durchlässen überprüft, ob sich mit den aufgeprägten Koten ein konsistentes Geländemodell ergibt. Sofern erforderlich, wurden an diesen Stellen lokale Verbesserungen des Rechennetzes manuell durchgeführt.

Im Besonderen wurden auch die Überströmstrecken und Hochwasserschutzanlagen überprüft, wobei festgestellt wurde, dass dort eine umfangreichere Überarbeitung des bestehenden Rechennetzes von besonderer Bedeutung ist. Die durchgeführten Verbesserungen sind unter Pkt. 4.2.2.3 beschrieben.

Die zum Zeitpunkt der Bearbeitung verfügbaren ALS-Daten wurden zwischen 2009 und 2013 aufgenommen (vgl. Abb. 4.1) und stammen von vor dem Donauhochwasser⁵¹. In jenen Bereichen, in welchen vom Land OÖ keine ALS-Daten bereitgestellt werden konnten, wurden die vorhandenen Geländehöhen beibehalten. Dies betrifft Modellbereiche, die auf dem Landesgebiet von NÖ liegen, also v.a. das südliche Machland mit Daten aus 2007 bis 2008. Wie aus Abb. 4.2 hervorgeht, sind dies aber ohnehin nachwievor die aktuellsten verfügbaren Daten.

⁵¹ Die Modellverbesserung von M31-3 wurde im September 2014 durchgeführt. Jene Neubefliegung, welche nach dem Hochwasserereignis von 06/2013 erfolgt ist, war zu diesem Zeitpunkt noch nicht verfügbar.

Abb. 4.1 Aufnahmezeitpunkte von ALS-Daten für die Modellaktualisierung (Quelle: Land OÖ, Abt. GEOL)

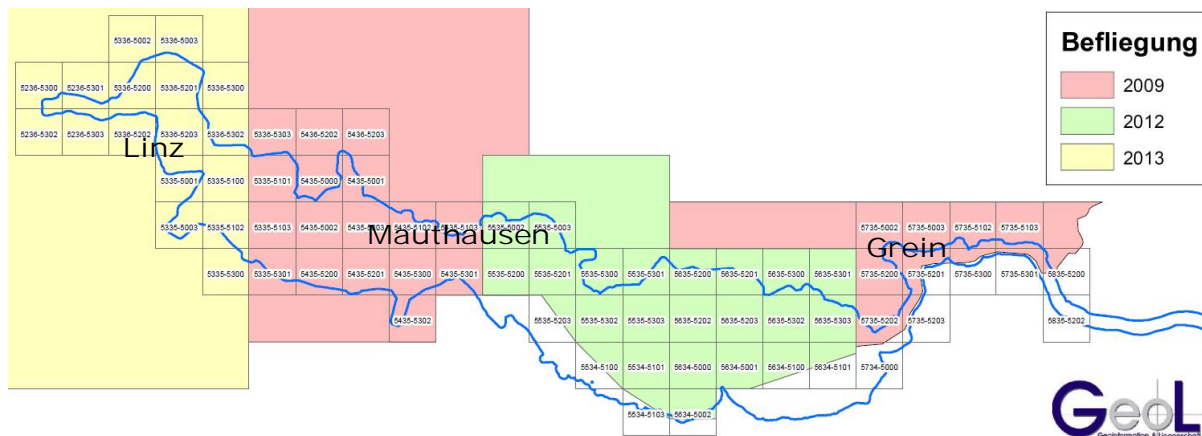
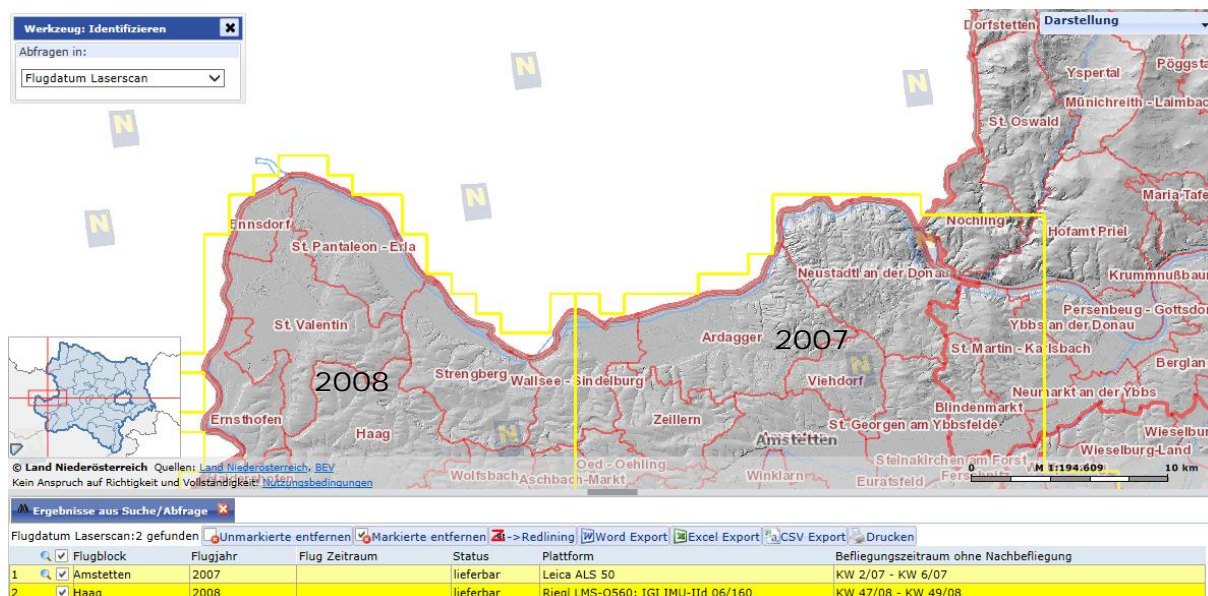


Abb. 4.2 Aufnahmezeitpunkte von ALS-Daten in NÖ (Quelle: NÖAtlas)



4.2.2.2 Berücksichtigung von Anlandungen (Steyregger Au)

Wie an anderer Stelle im Bericht erwähnt (Pkt. 2.2), flossen auch Modellverbesserungen aus parallel durchgeführten Projekten bei der Aktualisierung ein. In Hinblick auf den o.a. Umstand, dass die Laserscan-Daten allesamt von vor dem Hochwasserereignis von 06/2013 stammen, wurden im Zuge der Modellaufbereitung für ein Projekt der voestalpine Stahl GmbH Korrekturen im Bereich der Steyregger Au vorgenommen. Diese umfassen die Berücksichtigung der beim Hochwasser aufgetretenen Sedimentablagerungen an der ÜSS Steyregg und dem nachfolgendem Auegebiet südlich der Stadt Steyregg.

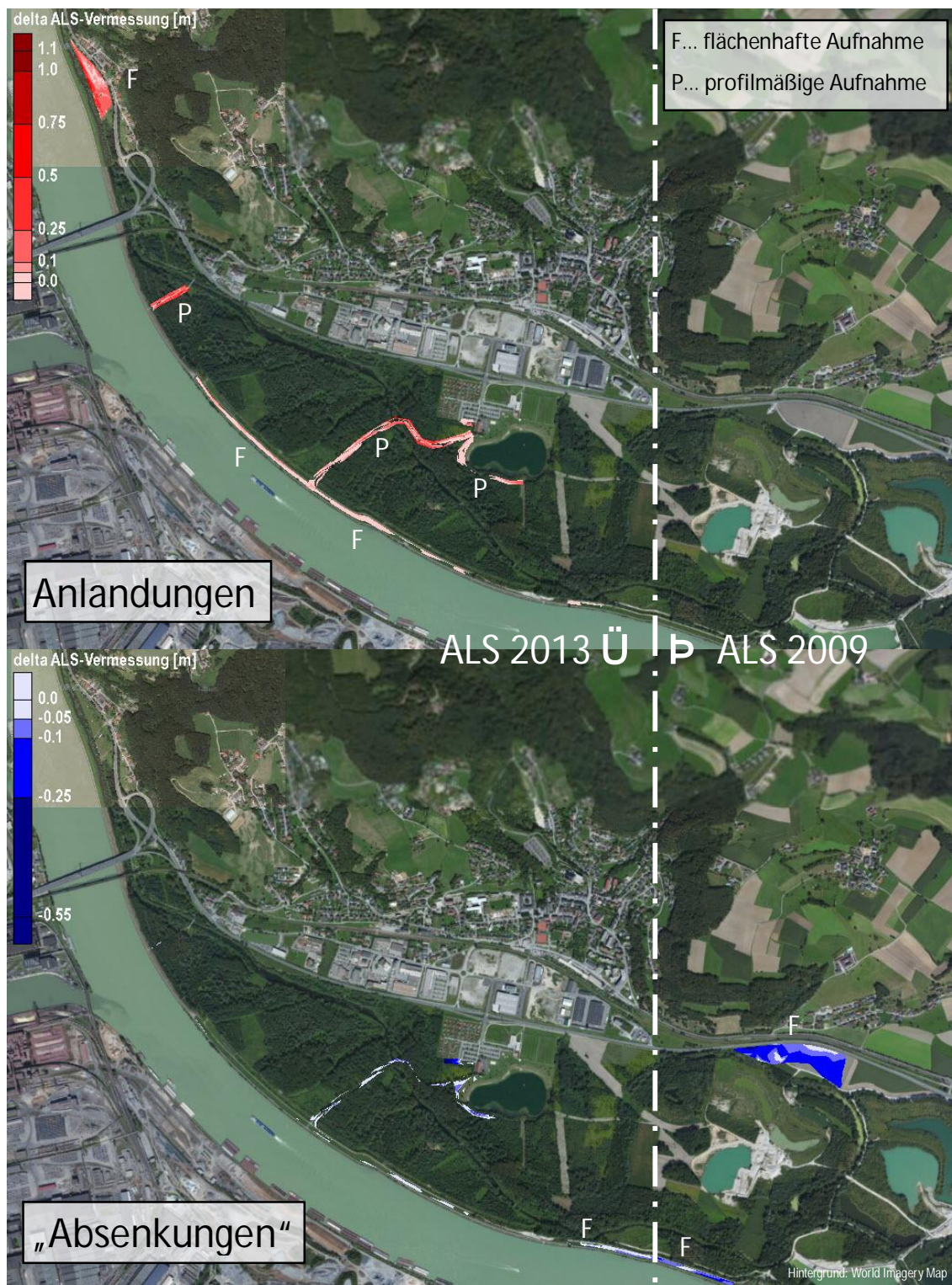
Hierfür wurden im Auftrag der voestalpine Stahl GmbH an zuvor gemeinsam mit Ortskundigen festgelegten Bereichen terrestrische Geländeaufnahmen durchgeführt⁵². Anhand der zum Teil flächenhaft und teils profilartig erhobenen Vermessungsdaten wurden die Abweichungen zu den ALS-Daten analysiert. Diese ergaben insofern ein ambivalentes Bild, als sich in jenen Bereichen mit sehr aktuellen ALS-Daten (2013) zwar die erwarteten Anlandungen im Bereich von wenigen cm bis einigen dm ergaben, jedoch in den Bereichen mit etwas älteren ALS-Daten (2009) die Vermessungshöhen großteils rd. 5-20 cm tiefer als diese lagen. Die genauen Hintergründe für diesen Sachverhalt konnten nicht geklärt werden, es wird jedoch vermutet, dass es möglicherweise entweder mit einer geänderten Aufnahmetechnik⁵³ oder dem Zeitpunkt der Aufnahme⁵⁴ zusammenhängt. Das Vorhandensein maßgeblicher erosiver Strömungseffekte stromab der Grenze ALS 2009 / ALS 2013 konnte bei einer Grobanalyse der Simulationsergebnisse jedenfalls ausgeschlossen werden.

⁵² Durchgeführt vom Büro DK-Vermessungsservice ZT-GmbH, Aufnahmezeitraum KW41 2014.

⁵³ Die Daten aus 2009 wurden in einem Raster von 1 m, jene aus 2013 mit einem Raster von 0.5 m zur Verfügung gestellt.

⁵⁴ Saisonal bedingte höhere Vegetations- bzw. Belaubungsdichte führt möglicherweise zu unterschiedlichem Durchdringungsvermögen des Laserstrahls zur Geländeoberkante.

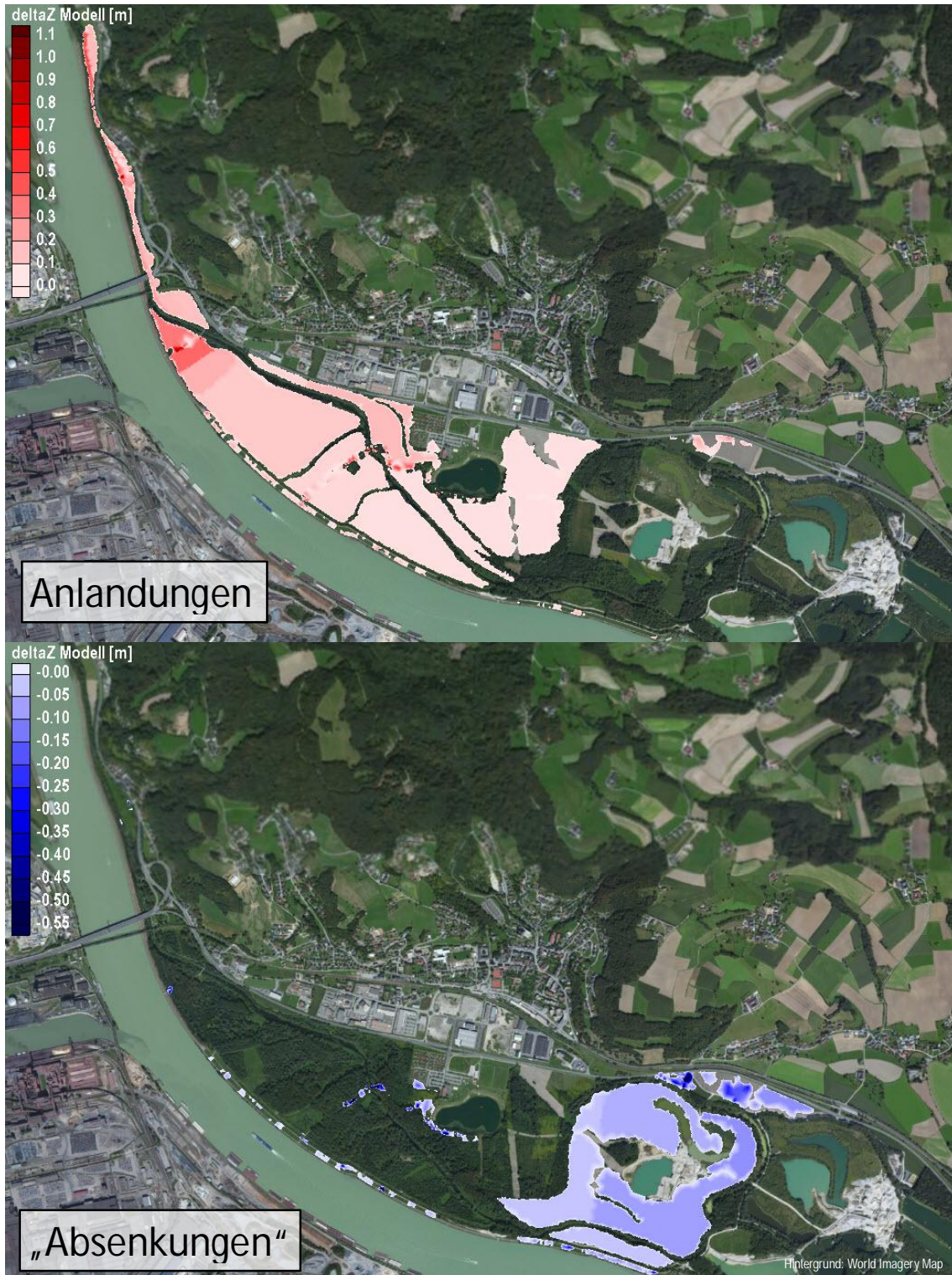
Abb. 4.3 Vergleich Vermessungsdaten vs. ALS-Daten



Aus den Erkenntnissen der Vermessung wurden für die weiteren, nicht vermessenen Flächen der Steyregger Au mittlere Korrekturhöhen abgeschätzt. Die Kombination aus vermessenen Höhenänderungen und dazwischen liegenden Flächen mit geschätzten Korrekturhöhen bildete die Basis für eine entsprechende Hebung bzw. Senkung des Rechennetzes. Dabei wurde darauf geachtet, dass relevante vorhandene

Gewässerstrukturen nicht „zugeschüttet“ oder „abgesperrt“ werden bzw. wurden zuvor vorhandene, abflussbehindernde Modellartefakte manuell korrigiert. Die Änderungen der Geländehöhen im 2D-Modell sind in Abb. 4.4 dargestellt.

Abb. 4.4 Berücksichtigung der Höhenänderungen im Bereich der Steyregger Au



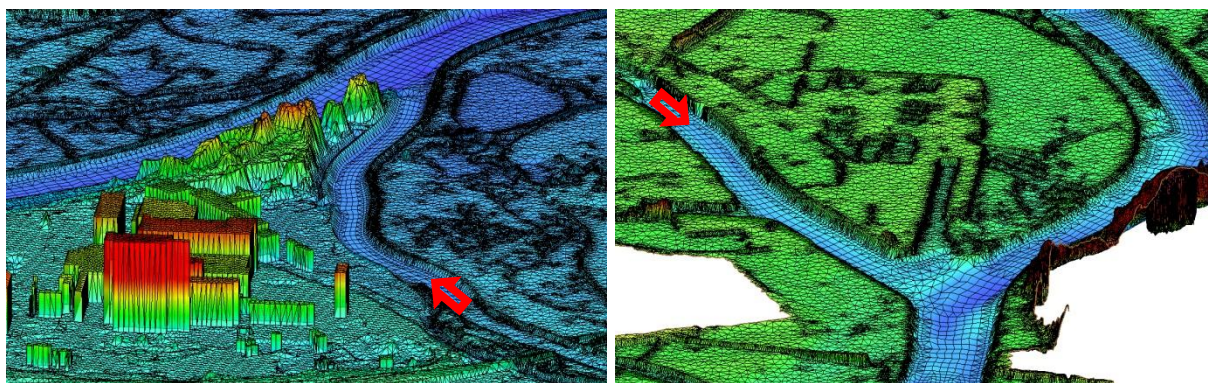
4.2.2.2.3 Gewässersohlen

Für die Sohle der Donau wurden analog zum Eferdinger Becken in Absprache mit dem Land OÖ die jeweils aktuellsten Stromgrunddaten übernommen. Folgende Datensätze, die allesamt den Zustand nach dem Ereignis von 06/2013 repräsentieren, wurden dabei zugrundegelegt:

- Stauraum KW Asten-Abwinden: VHP (Stand 10/2013)
- Stauraum KW Wallsee-Mitterkirchen: via donau (Stand 09/2013)
- Stauraum KW Ybbs-Persenbeug: via donau (Stand 08/2013)

In jenen Sohlbereichen, in denen keine neuen Daten bereitgestellt wurden (z.B. Mündungsbereiche Traun und Enns, Alt- und Nebenarme, Hafenbecken, etc.), wurden entweder die ursprünglichen Sohlhöhen beibehalten oder sinnvolle Annahmen getroffen.

Abb. 4.5 Zulauftrand Traun (links) und Enns (rechts)



Zum Zwecke einer besseren Erkennbarkeit sind die Darstellungen 5-fach überhöht. Im linken Bild (Mündung der Traun) ist die Blickrichtung Nord-Ost, im rechten Bild (Mündung der Enns) ist sie Richtung Westen.

4.2.2.3 Maßgebliche Netzverbesserungen

Bei der Überarbeitung des Modells wurde erkannt, dass die vorhandene Netzgeometrie besonders im Bereich der Überströmstrecken und Hochwasserschutzanlagen offensichtliche Schwächen aufwies. Das führte zu dem Entschluss, diese Bereiche entsprechend zu überarbeiten.

4.2.2.3.1 Überströmstrecken Steyregg, Machland Nord und Machland Süd

Die vorhandene Netzgeometrie entlang der Überströmstrecken war von einer stark generalisierten Nachbildung der maßgeblichen Bruchkanten gekennzeichnet. Dadurch war die tatsächliche Oberkante großteils nicht ausreichend erfasst und mit einer zu geringen Höhenlage im Modell abgebildet⁵⁵ oder von in der Realität nicht vorhandenen kleinen Breschen unterbrochen.

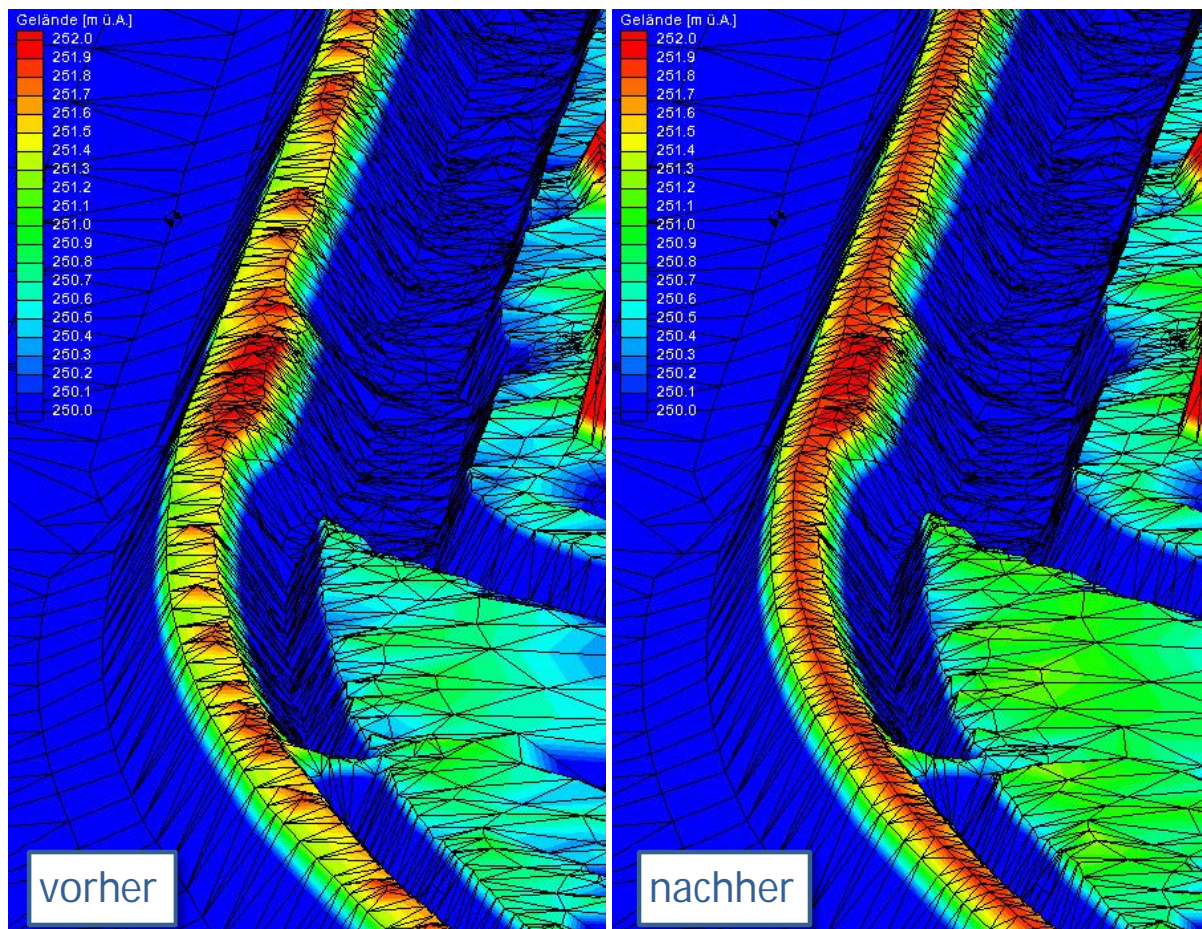
Um hier Abhilfe zu schaffen, wurden entlang der Überströmstrecken manuell optimierte Netzstreifen eingeschnitten, bei welchen die exakten Verläufe der Oberkanten aus den

⁵⁵ Die Unterschreitung lag vielfach im Bereich einiger dm.

Original-ALS-Daten abgegriffen worden sind. Dadurch konnten die Überströmstrecken sowohl lage- als auch höhenmäßig außerordentlich genau nachgebildet werden (Abb. 4.6).

Von dieser Überarbeitung ausgenommen werden konnten lediglich die oberen Abschnitte der beiden Machland-Überströmstrecken, welche bereits im Zuge von Phase I aktualisiert worden waren.⁵⁶

Abb. 4.6 Modellverbesserung im Bereich der Überströmstrecken (exemplarisch bei ÜSS Steyregg)

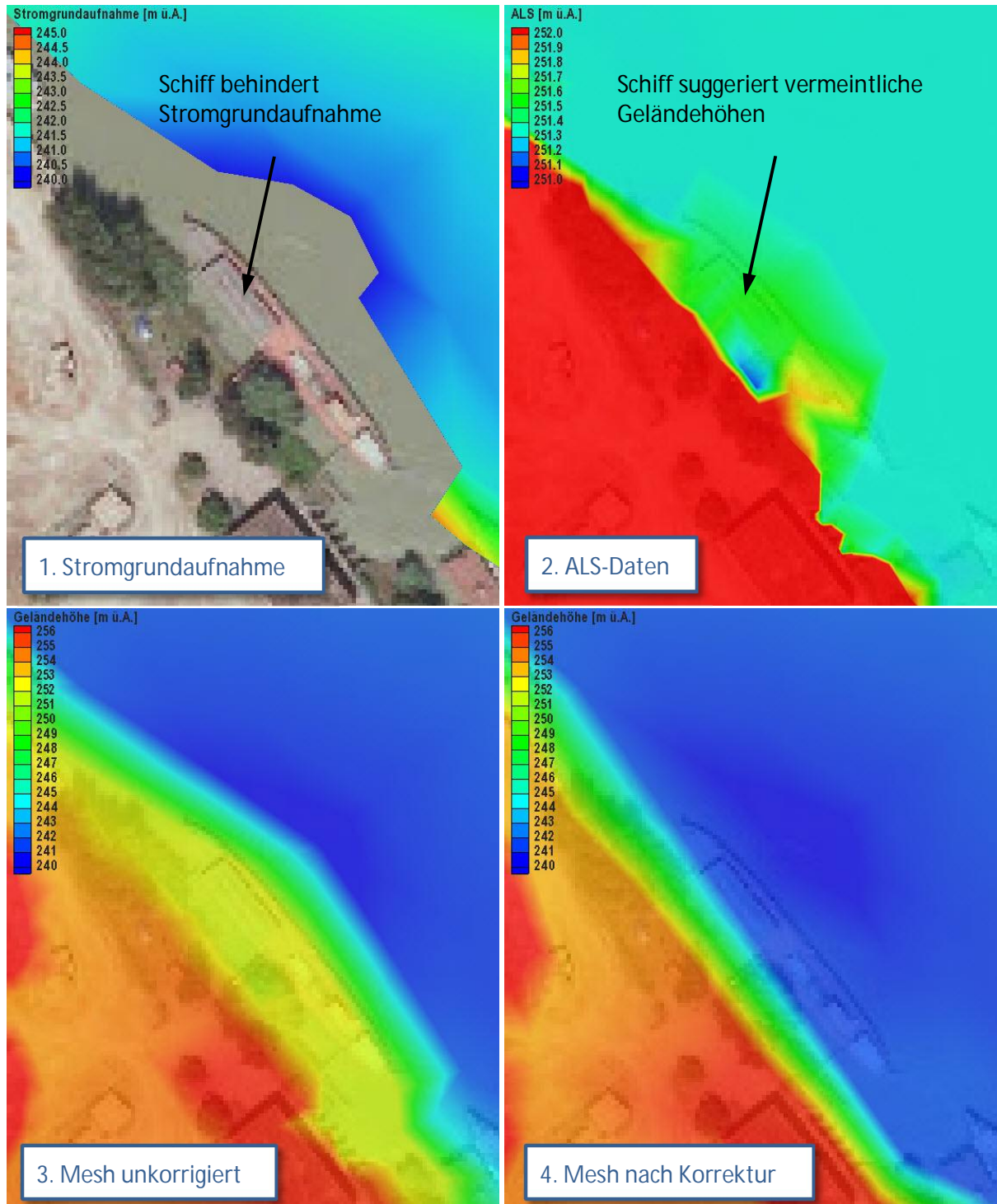


Die Oberkante entlang der ÜSS Steyregg war im ursprünglichen Modell nicht durchlaufend, weshalb beim Aufprägen von ALS-Daten abschnittsweise Scharfen bzw. eine zu tief liegende Oberkante vorhanden waren (linkes Bild). Durch eine Verbesserung der Netzstruktur konnte die reale Oberkante höhen- und lagerichtig im Modell eingepflegt werden (rechtes Bild).

Bei der Optimierung der Netzgeometrie der linksufrigen ÜSS Steyregg fiel auf, dass am gegenüberliegenden Ufer, entlang des voestalpine-Areals auffällige „Strukturen“ im Modell vorhanden waren. Nach der Überprüfung dieses Uferabschnitts war klar, dass es sich dabei um künstliche Artefakte handelt. Diese wurden durch eine große Anzahl angelegter Schiffe verursacht, die teilweise auch mehrfach parallel nebeneinander vertäut waren. Dieser Umstand führte zu einer Missinterpretation der Grenze Stromgrundaufnahme / ALS-Daten in der semi-automatischen Aufbereitung.

⁵⁶ In Phase I wurden die im Machland im Jahr 2007 beidseitig errichteten rd. 1 km langen und rd. 1 m hohen Dammerhöhungen bereits in das Modell implementiert.

Abb. 4.7 Korrektur des gegenüber der ÜSS Steyregg gelegenen Donauufers entlang des voestalpine-Areals



Aufgrund der angelegten Schiffe kann es bereichsweise zu einem Zusammenspiel von nicht vorhandenen Sohldaten (Bild 1) und gleichzeitig über dem Wasserspiegel liegenden ALS-Daten (Bild 2) kommen, welche in der semi-automatischen Datenaufbereitung als Geländedaten interpretiert werden (Bild 3). Durch manuelle Bearbeitung wurden diese Bereiche korrigiert (Bild 4).

4.2.2.3.2 Hochwasserschutzanlagen

Die Netzgeometrie entlang der berücksichtigten HWS-Anlagen war zum einen teilweise numerisch ungünstig (überlange und spitzwinkelige Zellen, stark variierende Punktabstände) und zum anderen stellenweise lagemäßig ungenau. Daher wurde die Netzgeometrie wenn möglich manuell verbessert, d.h. lagerichtig geschoben wie beispielsweise beim HWS-Mauthausen (Abb. 4.8), oder in verbesserter Form gänzlich neu eingeschnitten (Machland-Dämme, Abb. 4.9).

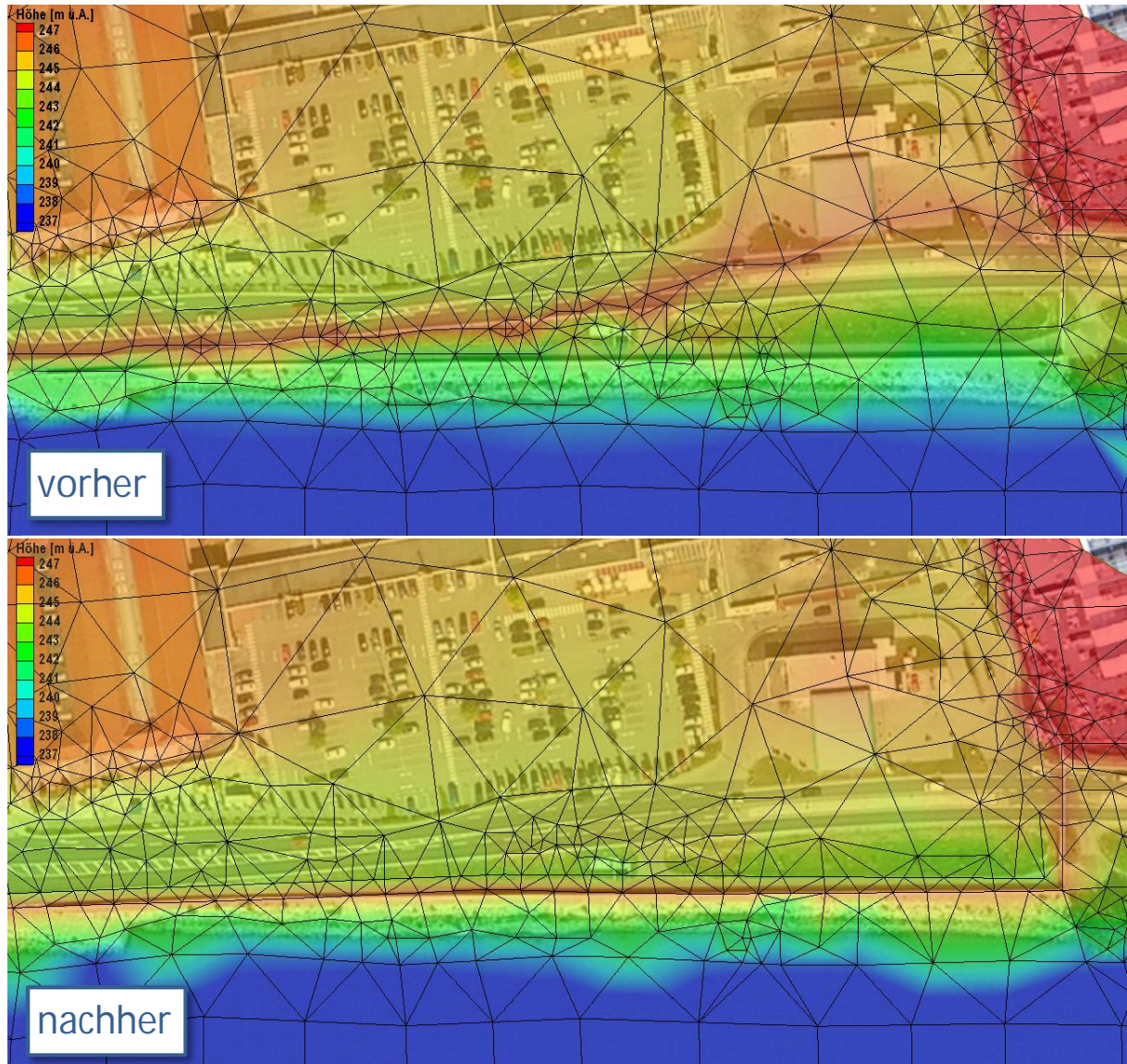
Die Dammkrone der neueingeschnittenen Netzbereiche wurde aus einem hochgenauen 2D-Modell, das von riocom im Auftrag der Machlanddamm-Betriebsgesellschaft erstellt worden ist⁵⁷, übernommen. In diesem Modell waren die bis dato genauesten Informationen über Lage und Höhe der HWS-Anlagen im Machland verarbeitet. Die Dammkronen wurden daraus extrahiert und gemeinsam mit entsprechend optimierten Netzbereichen in das Teilmodell M31-3 eingefügt. Die Übertragung erfolgte somit vollständig ohne Informationsverlust.

Im Zuge dieser Arbeiten konnte zugleich auch jener Bereich bei Staffling (Gemeinde Naarn a.d. Donau) korrigiert werden, bei dem bereits in Phase I maßgebliche, in der Realität nicht vorhandene Lücken im Machlanddamm aufgefallen waren (Abb. 4.10)⁵⁸.

⁵⁷ Die Übernahme der Modelldaten von riocom erfolgte am 23.09.2014. Das Modell von riocom wird u.a. zur Analyse von Dammbuchsenarien des Machlanddammes verwendet, weshalb darin auch Einzelobjekte detailgetreu abgebildet sind. Aufgrund der für diesen Detaillierungsgrad erforderlichen hohen Punktdichte, eignet sich dieses Modell jedoch weniger gut für die beauftragte großräumliche Modellierung der Donau und es wurden daher lediglich die wesentlichen Informationen (HWS-Anlagen) übernommen.

⁵⁸ Vergleiche dazu Abb. 3.23 im Endbericht zur Phase I.

Abb. 4.8 HWS-Mauthausen oben vor und unten nach der Netzkorrektur



Im ursprünglichen Modell (oberes Bild) war der mobile Hochwasserschutz von Mauthausen großteils sehr ungenau abgebildet und lag bis zu mehreren Metern zu weit landeinwärts. Im korrigierten Modell (unteres Bild) verläuft er nunmehr exakt entlang seiner tatsächlichen Lage.

Abb. 4.9 HWS-Machland: Detail zur Verbesserung der Netzstruktur (exemplarisch)

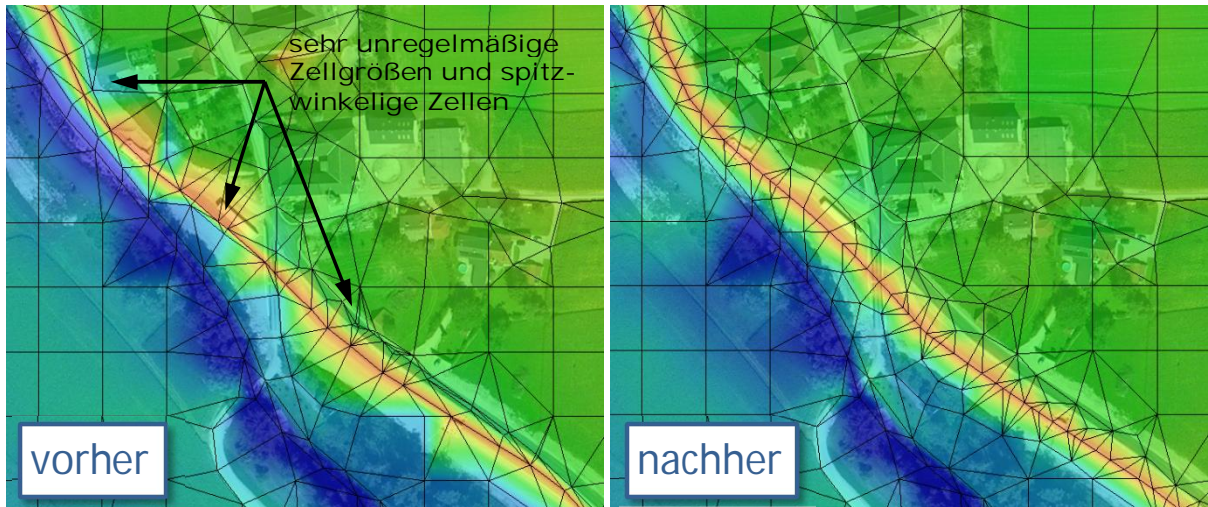
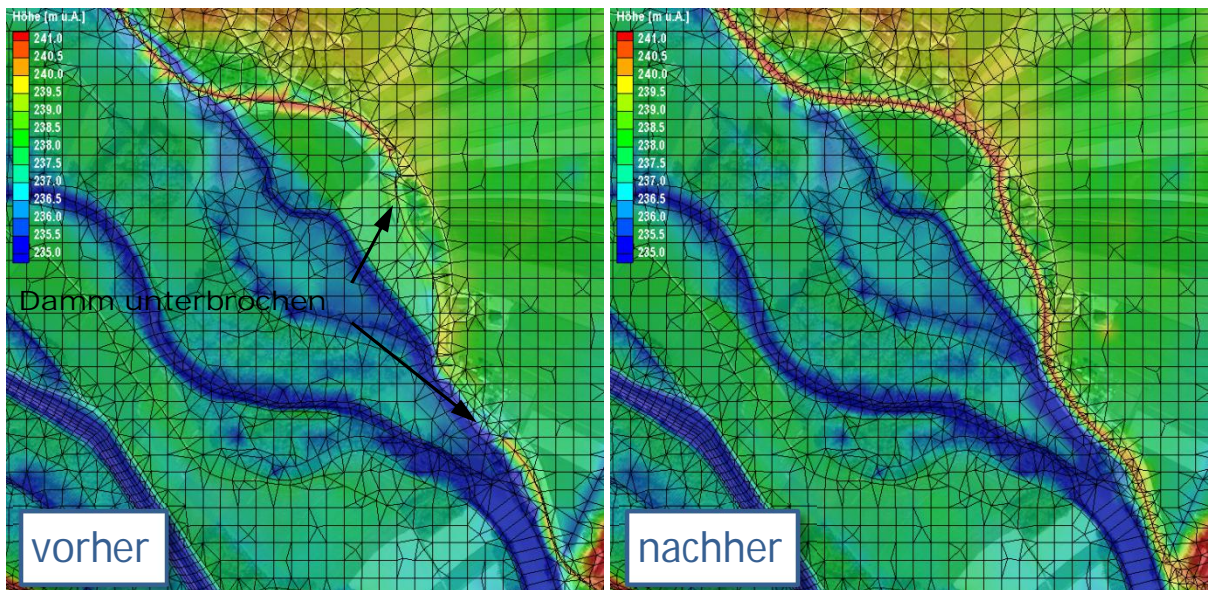


Abb. 4.10 HWS-Machland im Bereich Staffling links vor und rechts nach der Netzkorrektur



Im ursprünglichen Modell (linkes Bild) war der Machlanddamm stellenweise nicht vollständig „eingebaut“. Beim Einschneiden der berechtigten Dammstrukturen wurde zusätzlich die Netzgeometrie verbessert, d.h. die Zellengrößen und –anordnungen sind nunmehr optimiert (rechtes Bild).

Ohne die angeführten Korrekturen können sich in den Berechnungen Überflutungen hinter den HWS-Anlagen ergeben, die einzeln dahingehend überprüft werden müssten, ob sie auch tatsächlich auftreten würden. Nunmehr ergeben sich bei der Ausweisung von Anschlaglinien die korrekten Verläufe direkt aus der Simulation und sie müssen nicht aufwändig nachprozessiert werden.

Abschließend sind sämtliche überarbeiteten HWS-Anlagen angeführt:

- Alt-Urfahr West und Lentos (Linz)
- Steyregg und Steyregg Ost
- Mauthausen
- Machland BL02-BL04
- Wallsee
- Grein

4.2.2.4 Erweiterung des Modellbereichs

4.2.2.4.1 Erweiterung Hirschenau

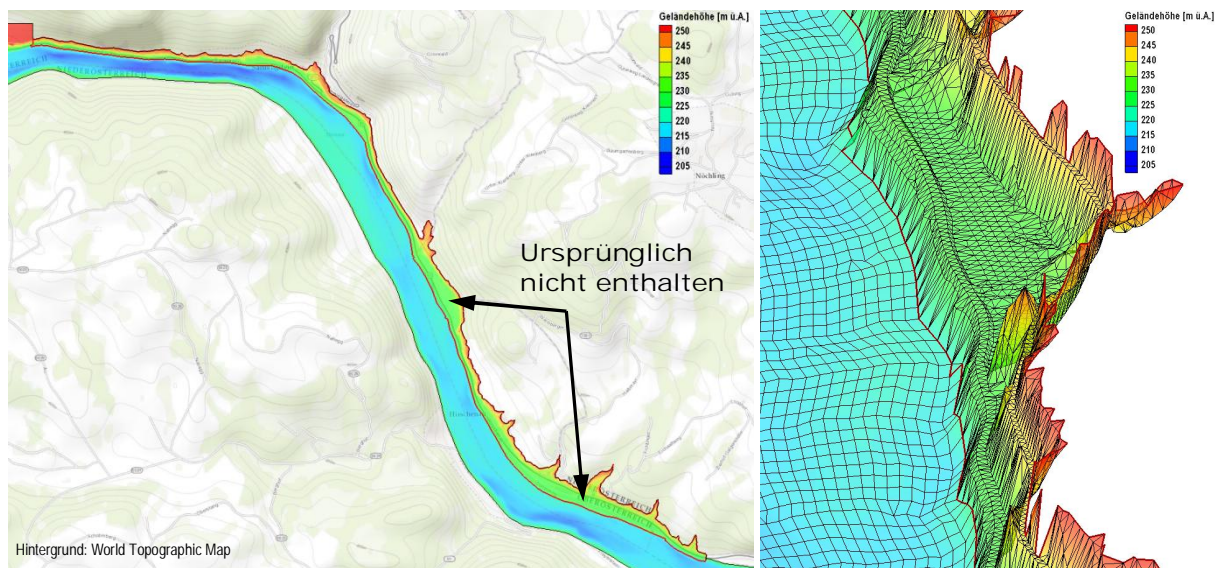
Im Auftrag des Landes OÖ wurden Modellerweiterungen in Hirschenau (Gemeinde St. Nikola a.d. Donau) durchgeführt, da in diesem Donauabschnitt die HQ₃₀₀-Abflussbereiche nicht vollständig im Modell enthalten waren. Vereinbarungsgemäß wurden dabei nur Gebiete die auf öö. Landesgebiet liegen berücksichtigt. Demzufolge wurden die südlich der Donau - d.h. auf nö. Seite - liegenden Bereiche nicht erweitert.

Zur Steigerung der Netzqualität wurden nicht nur die fehlenden Bereiche ergänzt, sondern auch die schon zuvor enthaltenen Vorlandbereiche neu generiert. Aus den vorhandenen ALS-Daten des Landes OÖ (vgl. Abb. 4.1) und ergänzenden ALS-Daten des Landes NÖ⁵⁹ wurden die entsprechenden Geländeinformationen extrahiert. Mittels Spezialsoftware⁶⁰ wurden die Bruchkanten aufbereitet und gemeinsam mit intelligent ausgedünnten Geländedaten zu einem effizienten Rechnernetz verarbeitet. Die neu aufbereiteten Modellbereiche wurden abschließend mit dem bestehenden Modell verschmolzen.

⁵⁹ Aufgrund seiner geographischen Lage, standen für einen schmalen Streifen am östlichen Ende von Hirschenau keine Daten aus der öö. Befliegung zur Verfügung. Daher wurden Daten aus NÖ verwendet, die dem Land OÖ zur Verfügung gestellt wurden.

⁶⁰ Strex und Breaklinefinder (Produkte des Instituts für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien.)

Abb. 4.11 Erweiterung bzw. Verbesserung des Rechnernetzes bei Hirschenau



Das linke Bild zeigt den gesamten neu generierten Bereich (rote Umrandung). Die eigentliche Erweiterung besteht in den hinzugekommenen Flächen bei Hirschenau, die im ursprünglichen Modell nicht enthalten waren. Im rechten Bild ist die effiziente Netzstruktur des neu generierten Bereichs beispielhaft für eine Stelle dargestellt.

4.2.2.4.2 Erweiterung voestalpine-Betriebsgelände

Bei einem parallel bearbeiteten Projekt der voestalpine Stahl GmbH (vgl. Pkt. 2.2) war es Teil des Auftrags, das gesamte Betriebsgelände detailgetreu im Modell zu implementieren. Zuvor war nur ein Teil des voestalpine-Areals im Modell verhältnismäßig ungenau abgebildet gewesen. Dafür wurden aus den vom Land OÖ zur Verfügung gestellten ALS-Daten⁶¹ mit Hilfe spezieller Software⁶² Bruchkanten extrahiert und ein ausgedünntes digitales Geländemodell (DGM) erstellt.

In Kombination mit von der voestalpine bereitgestellten Höheninformationen der wesentlichen Anlagengebäude und Dammstrukturen wurde daraus ein hocheffizientes und gleichzeitig detailgetreues Rechnernetz entwickelt. Aufgrund verschiedener Überlegungen bezüglich der Verwendbarkeit für diverse Visualisierungen wurde somit im Bereich des voestalpine-Areals bewusst abweichend zum sonstigen Modell ein digitales Höhenmodell (d.h. inkl. Gebäude) erstellt (Abb. 4.12). Abschließend wurde dieser Bereich ins bestehende Modell eingeschnitten.

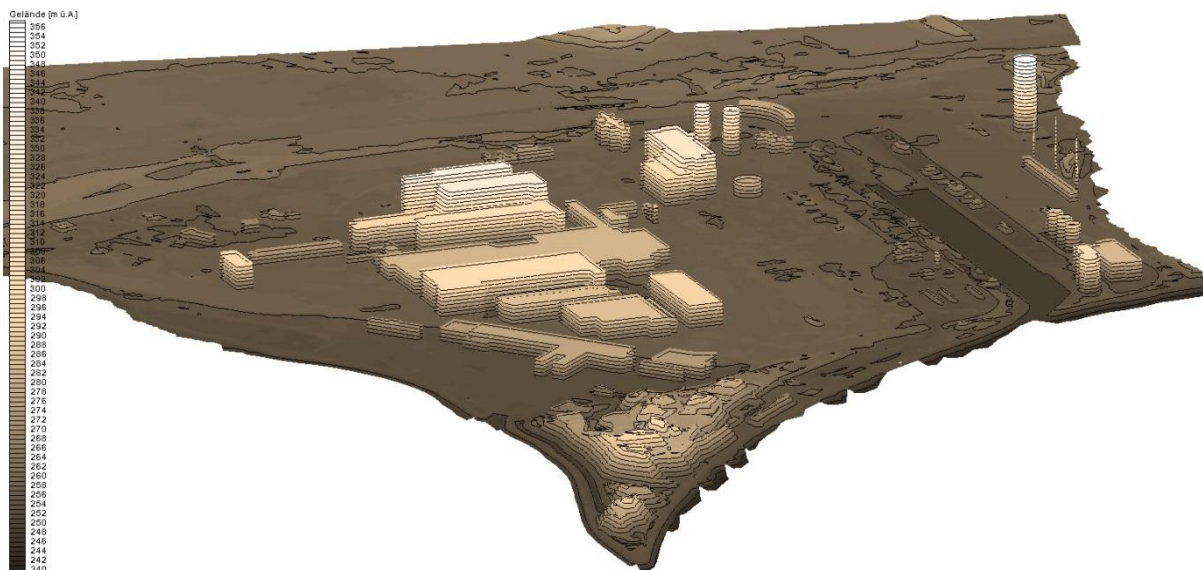
Dabei ist festzuhalten, dass sich durch die effiziente Aufbereitungsmethodik die Gesamtpunktezahl des Rechnernetzes trotz der Erweiterung gegenüber der ursprünglichen Modellversion sogar deutlich verringert (!) hat⁶³.

⁶¹ Vgl. Abb. 4.1. Die Nutzungsfreigabe erfolgte am 26.09.2014 per Email von Hrn. Greifenender (Abt. Geoinformation und Liegenschaft, Amt der Oö. Landesregierung).

⁶² Siehe Fußnote 60

⁶³ Dieser auf den ersten Blick paradoxe Umstand erklärt sich dadurch, dass der zuvor im Modell vorhandene Teilbereich des voestalpine-Areals aufgrund der ursprünglichen Aufbereitungsmethode mit Hilfe von extrem vielen Punkten abgebildet war. Dadurch dieser Teilbereich nunmehr wesentlich effizienter, d.h. auf die hydraulisch wesentlichen Geländekanten reduziert, abgebildet ist, war eine nennenswerte Reduktion der Punktzahl trotz der flächenmäßigen Erweiterung möglich.

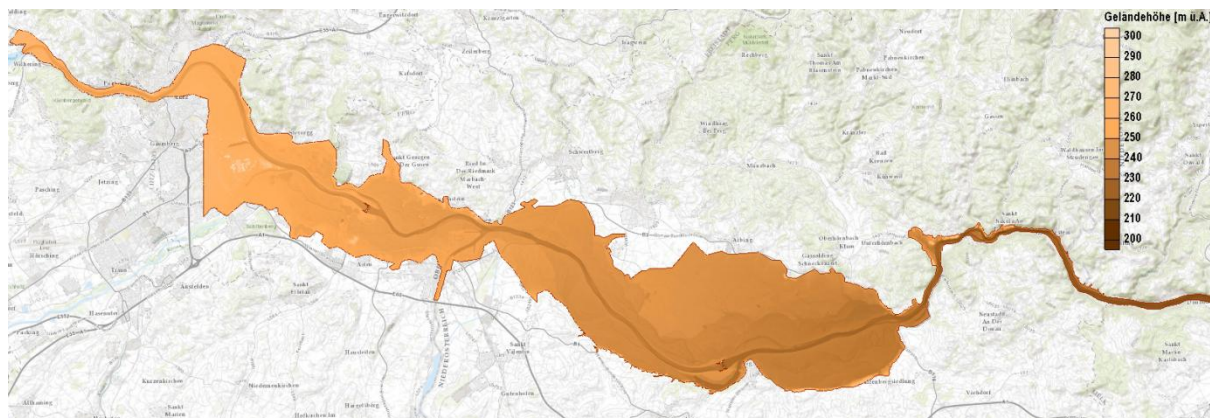
Abb. 4.12 Modellerweiterung des voestalpine-Areals (vor dem Verschmelzen mit dem Hauptmodell)



4.2.2.5 Veränderungen von Sohl- und Geländehöhen

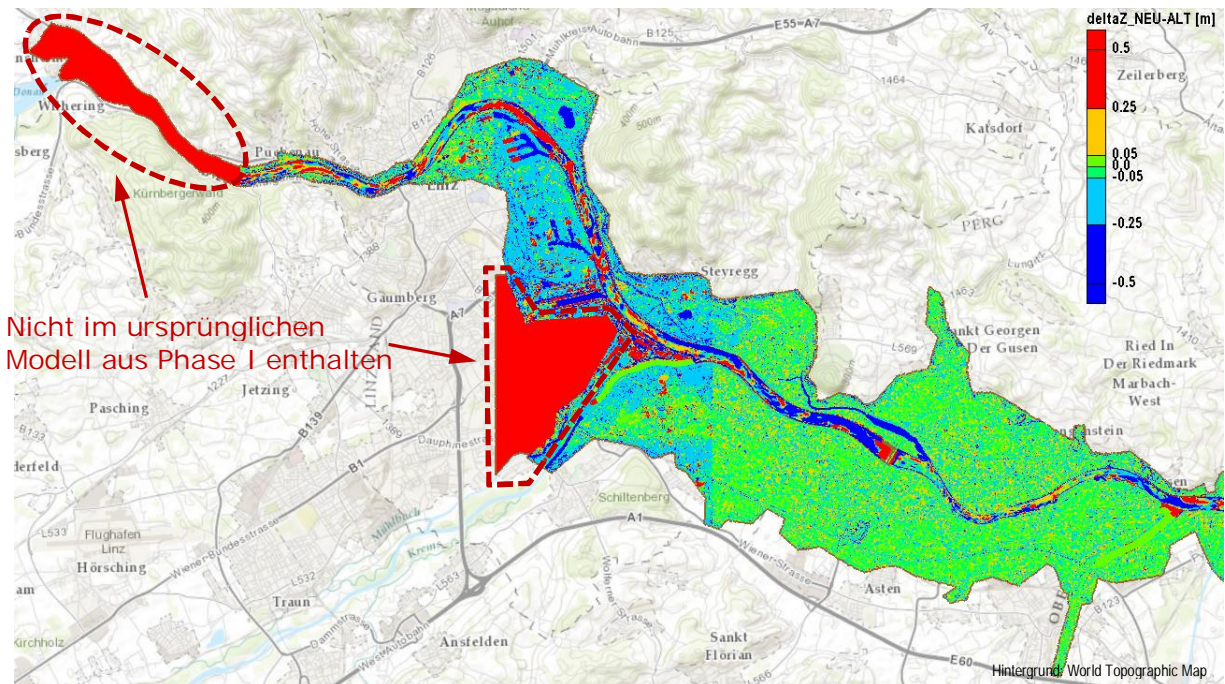
Die Geländehöhen im fertigen 2D-Modell nach Abschluss sämtlicher Aktualisierungs- und Verbesserungsarbeiten sind in Abb. 4.13 dargestellt. Um einen Überblick zu geben, wie stark sich durch die Aktualisierung die Vorland- und Sohl Daten verändert haben, wurde ein Differenzenplot erstellt. Dieser gibt den Höhenunterschied zwischen aktualisiertem und dem ursprünglichem Modell aus Phase I („neu minus alt“) wieder. Die Abbildungen Abb. 4.14 bis Abb. 4.16 zeigen das Delta der Höhenunterschiede vom aktualisierten und ursprünglichen Modell, wobei positive Werte bedeuten, dass nunmehr höhere Z-Werte vorliegen und vice versa. Erläuterungen zu den beobachteten Änderungen finden sich als Kommentare jeweils unterhalb der einzelnen Darstellungen.

Abb. 4.13 Geländehöhen von Teilmodell M31-3 nach der Überarbeitung



Hinweis: Diese Abbildung findet sich nochmals in vergrößerter Form in Anhang A.5.

Abb. 4.14 Differenzenplot Teilmodell M31-3 – Teil 1 (Linzer Feld)

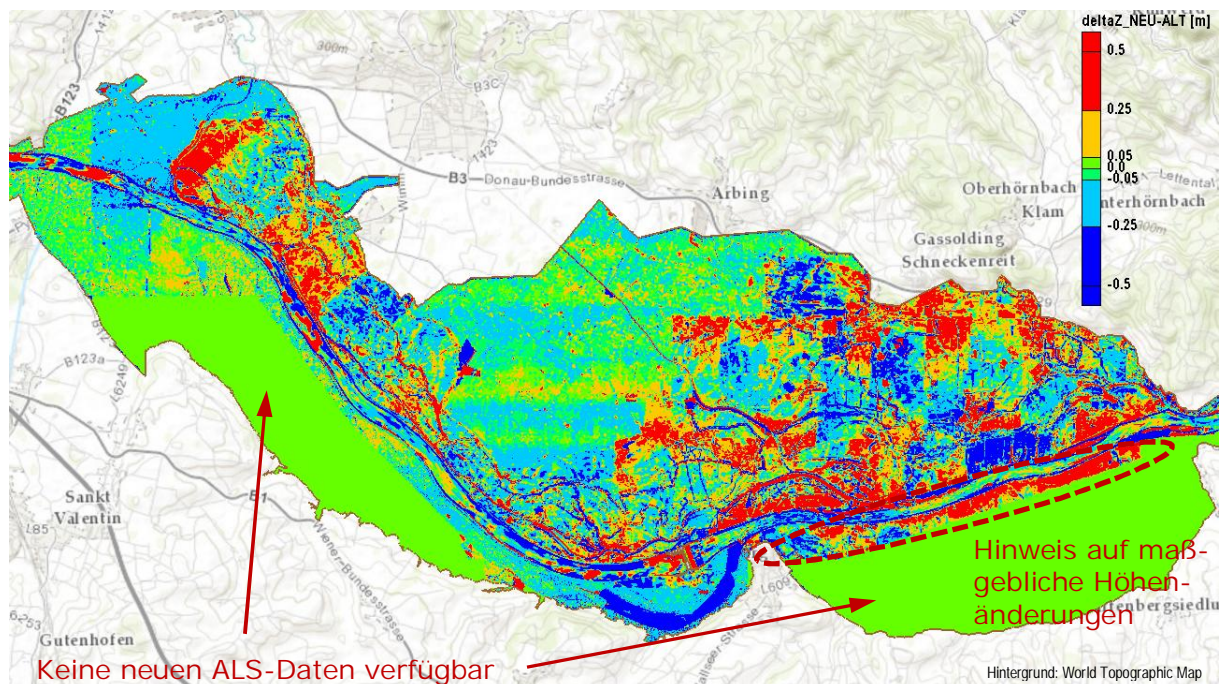


Im Bereich der Stadt Linz sind gegenüber den früheren Daten etwas niedrigere Werte vorhanden (rd. -10-20 cm), während im Großteil des Linzer Felds eher geringfügige Änderungen erkennbar sind.

Die Sohle des Stauraums Abwinden-Asten ist von stellenweise deutlichen Änderungen betroffen, wobei sowohl Eintiefungen von rd. 1-2 m im Oberwasser des Kraftwerks, als auch maßgebliche Anlandungen von rd. 0.5-1.5 m im Bereich der Flussbiegung in Linz auftreten.

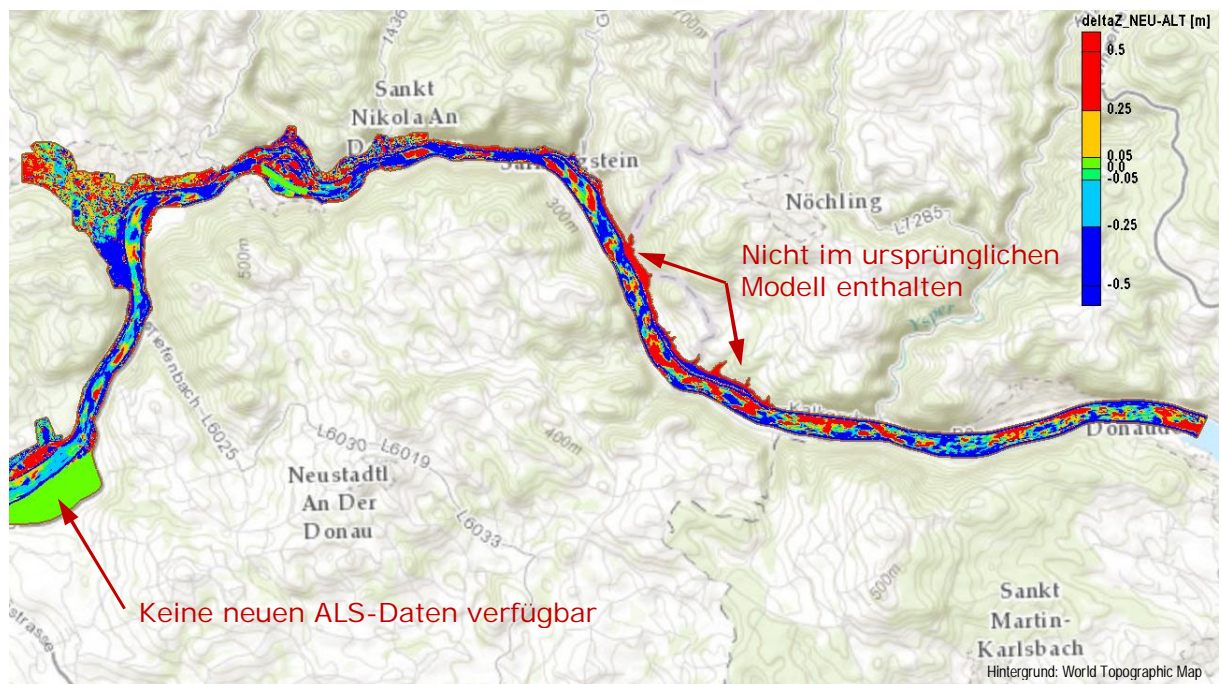
Der Flussabschnitt zu Beginn des Modells und der Bereich des voestalpine-Areals waren im Ausgangsmodell aus Phase I, welches eine bereits gekürzte Variante des ursprünglichen Modells M31 von rioicom darstellte, nicht vorhanden, weshalb dort keine gültigen Differenzen berechnet werden konnten.

Abb. 4.15 Differenzenplot Teilmodell M31-3 – Teil 2 (Machland)



Der Differenzenplot zeigt ausgeprägte Höhenänderungen im nördlichen Machland im Ausmaß von teils deutlich mehr als ± 0.5 m. Da im südlichen Machland größtenteils keine neueren ALS-Daten zur Verfügung standen, als jene, die ohnehin für das Ausgangsmodell verwendet wurden, sind dort keine Änderungen (gleichmäßig grüne Flächen) vorhanden. Jene schmale Streifen im südlichen Machland, welche noch durch neuere ALS-Daten aus OO abgedeckt sind, zeigen aber sehr deutlich, dass es v.a. auch im süd-östlichen Machland zu ausgeprägten Höhenänderungen gekommen ist. Die Änderungen in der Donausohle sind in diesem Donaubereich tendenziell eher gering. Stärkere Änderungen sind entweder kleinräumig oder befinden sich im Nahbereich des Kraftwerks Wallsee-Mitterkirchen. Hydraulisch relevant sind jedoch sicherlich die maßgeblichen Sohländerungen im Bereich der Überströmstrecke.

Abb. 4.16 Differenzenplot Teilmodell M31-3 – Teil 3 (Strudengau)



Der Modellabschnitt im Strudengau ist insgesamt von eher größeren Höhenänderungen gekennzeichnet, welche oftmals auch deutlich mehr als ± 0.5 m betragen. Die ausgeprägten Änderungen in der Donausohle deuten auf eine sehr dynamische Morphologie hin.

4.2.2.6 Kalibrierung – Änderung der Reibungsbeiwerte

Wie unter Pkt. 4.1.1 beschrieben wurde, erfolgte die Überarbeitung der Kalibrierung derart, dass mit dem Modell die Verhältnisse vom Hochwasserereignis 06/2013 bestmöglich nachgebildet wurden. Dabei lag auftragsbedingt der Fokus auf den Bereichen Linzer Feld und Strudengau. Da für das Machland keine Berechnungen von Anschlaglinien oder Wassertiefen gefordert waren⁶⁴, wurden demzufolge die dortigen Vorlandbereiche nur grob kalibriert. Der Flussschlauch selbst wurde jedoch durchgängig kalibriert.

Weiters gilt analog zum Eferdinger Becken, dass es kein ausdrückliches Ziel war, die beobachteten Wasserstände in jedem Punkt exakt zu treffen und dazu ggf. eine Variabilität in den Reibungsbeiwerten in Kauf zu nehmen. Stattdessen war es - ausgehend von den aktuellen Landnutzungsdaten und den gegebenen Beobachtungsdaten - das Ziel, eine bestmögliche, konsistente Kalibrierung durchzuführen.

Ebenso gilt für das Teilmodell M31-3, dass es der explizite Wunsch des Auftraggebers war, das Modell ausschließlich am aktuellsten Ereignis zu kalibrieren. Die oft übliche Durchführung einer Validierung an einem zweiten unabhängigen, d.h. für die Kalibrierung nicht verwendeten Datensatz, war wie schon beim Eferdinger Becken nicht vorgesehen.

Im Rahmen der Kalibrierung wurde auch die Sensitivität der Spiegellagen auf Änderungen der Reibungsbeiwerte betrachtet, wobei dazu keine expliziten Sensitivitätsanalysen durchgeführt wurden, sondern die Sensitivität anhand der Reaktion des Modells auf jeweils durchgeführte Änderungen beobachtet wurde. Zu jedem Kalibrierungsschritt wurden die neu ergebenden Differenzen zwischen berechneten und beobachteten Wasserständen an den zur Verfügung stehenden Messpunkten analysiert und daraus die notwendige Anpassung der Rauigkeitswerte abgeschätzt.

Die Reibungsbeiwerte, wie sie sich nach dem letzten Kalibrierungsschritt ergaben, sind für die 3 Teilabschnitte von M31-3 (Linzer Feld, Machland und Strudengau) überblicksmäßig in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt (Abb. 4.17 bis Abb. 4.19) bzw. nochmals in vergrößerter Darstellung im Anhang A.6. Detaildarstellungen für die Bereiche der Überströmstrecken finden sich in Abb. 4.20.

⁶⁴ Lediglich für die Simulation des HQ_{EXTREM} bzw. der Erstellung einer Animation des HW2013, die beide für ganz OÖ durchzuführen waren, war es erforderlich, das Machland mit zu simulieren.

Abb. 4.17 Übersicht der Rauigkeitsbeiwerte nach Strickler für M31-3 – Teil 1 (Linzer Feld)

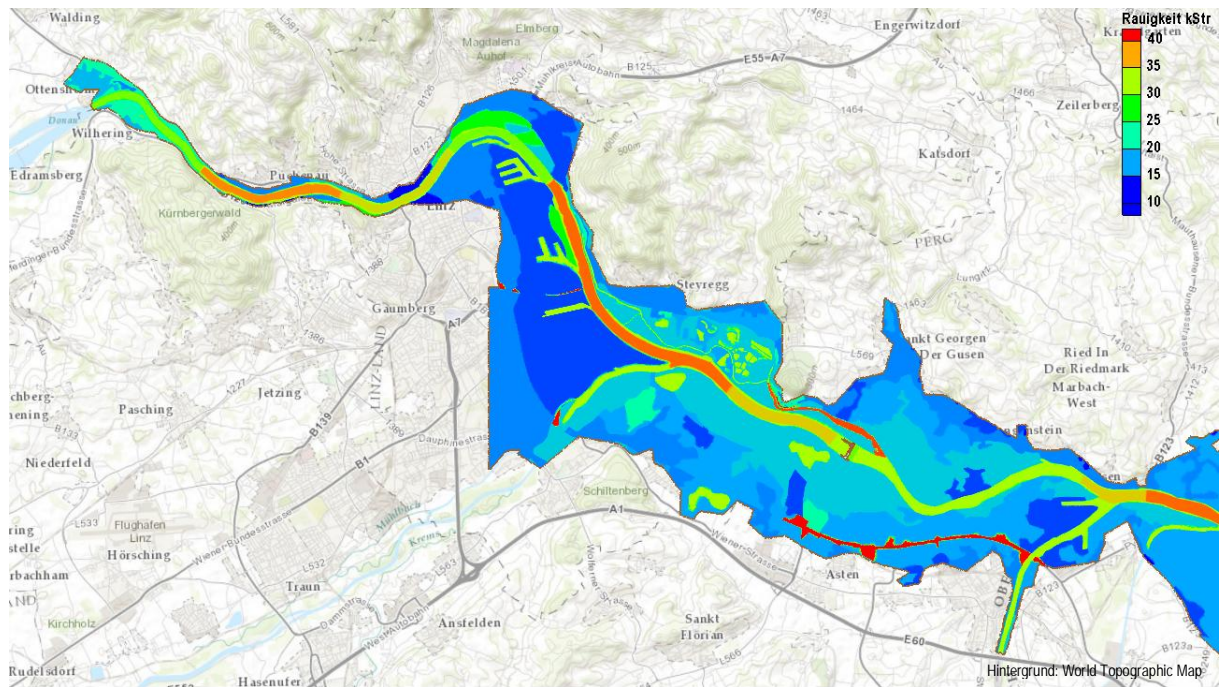


Abb. 4.18 Übersicht der Rauigkeitsbeiwerte nach Strickler für M31-3 – Teil 2 (Machland)

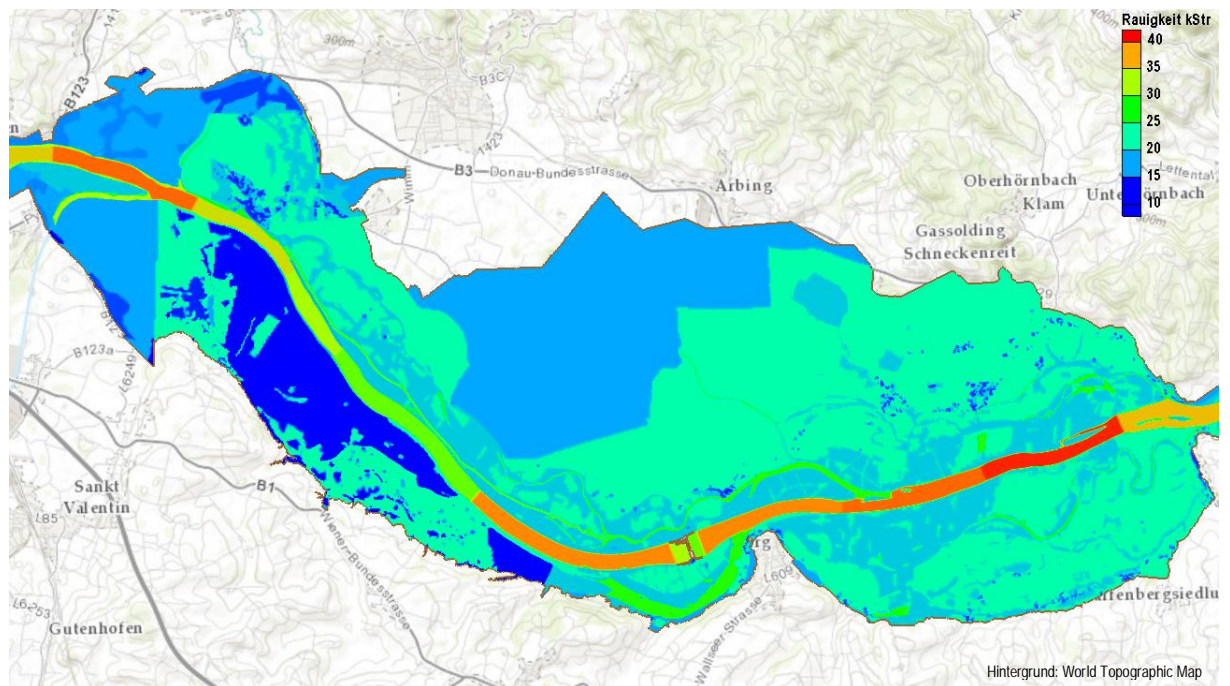


Abb. 4.19 Übersicht der Rauigkeitsbeiwerte nach Strickler für M31-3 – Teil 3 (Strudengau)

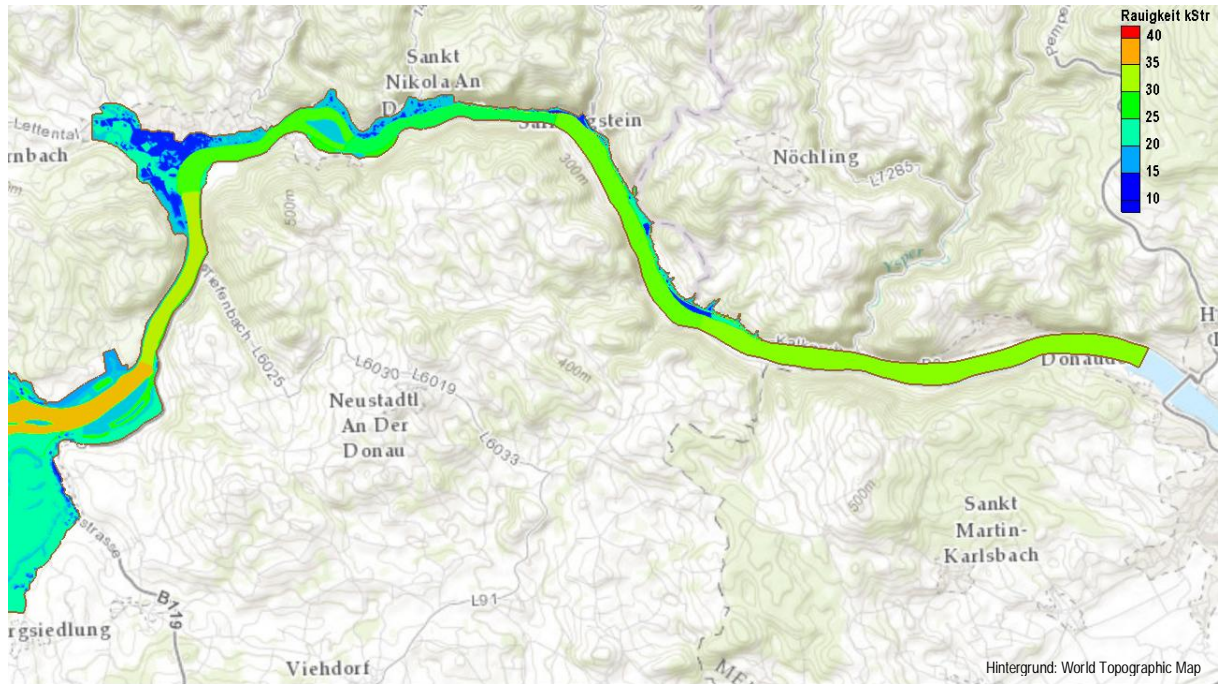
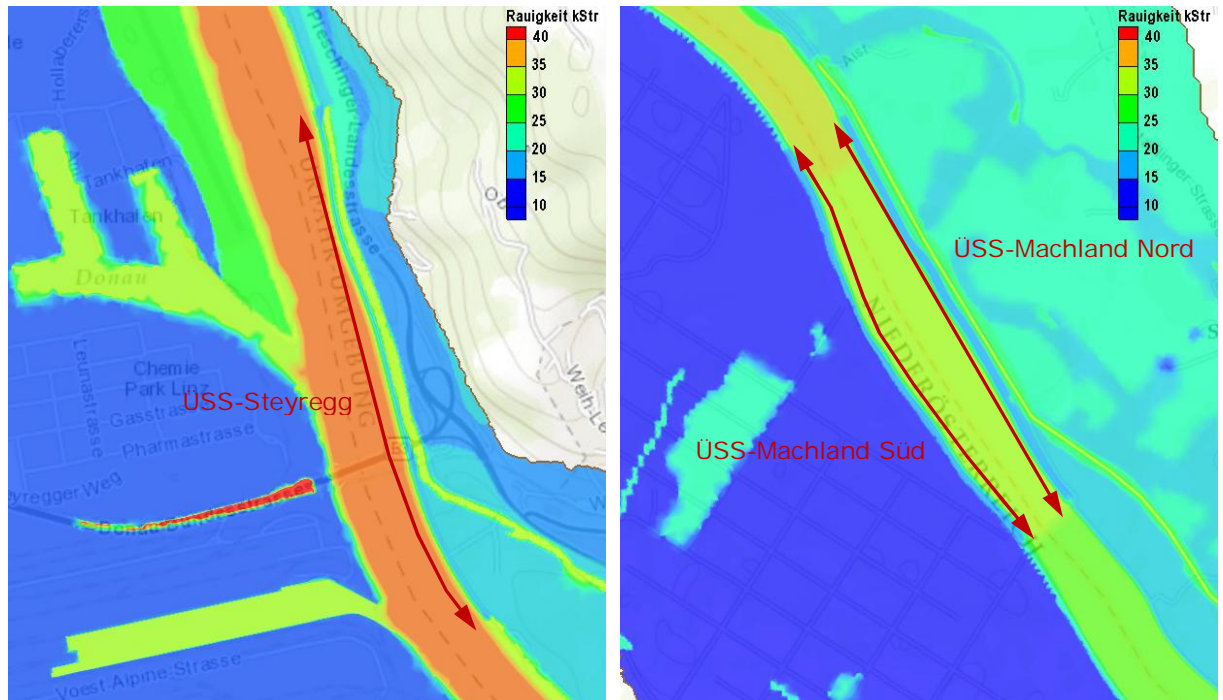


Abb. 4.20 Detail der Rauigkeitsbeiwerte nach Strickler im Bereich der ÜSS-Steyregg (links) und der beiden Überströmstrecken im Machland (rechts)



4.2.3 Ergebnisse der Nachrechnung des HW2013

Die Ergebnisse der Nachrechnung sind zum einen für die Darlegung der Modellkalibrierung (Güte der Übereinstimmung von Beobachtungsdaten und Rechenwerten) und zum anderen für Informationen über die zeitlichen und räumlichen Vorgänge beim Hochwasserereignis von 06/2013 von Bedeutung.

Die Darstellung der Ergebnisse der Nachrechnung gliedert sich demnach nach diesen beiden Gesichtspunkten: In den Punkten 4.2.3.1 bis 4.2.3.3 werden die Rechenergebnisse den Beobachtungswerten gegenübergestellt.

Die Ergebnisse der Nachbildung selbst, d.h. Anschlaglinien, Überflutungstiefen und Fließgeschwindigkeiten wurden auftragsgemäß nicht in Form von gedruckten Karten aufbereitet, sondern dem Amt der Oö. Landregierung digital als Shape-Files übergeben. Diese Übergabe erfolgte im November und Dezember 2014⁶⁵.

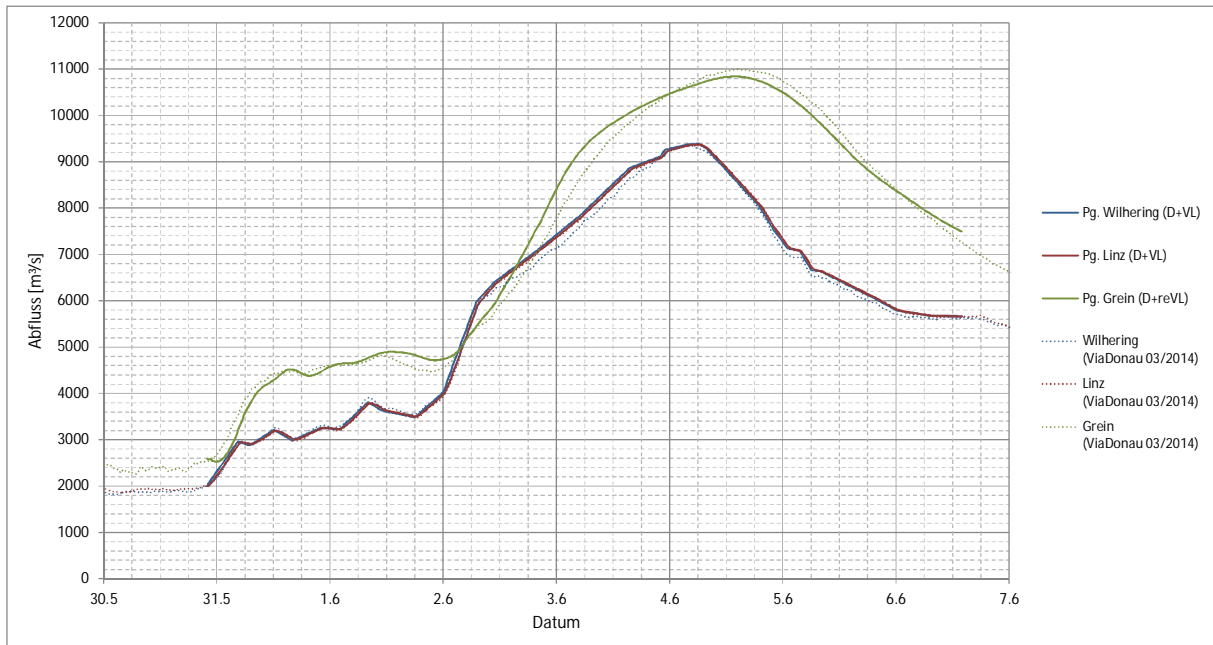
4.2.3.1 Zeitreihen

Grundsätzlich stehen in den nachfolgenden vergleichenden Darstellungen durchgezogene Linien für Simulationsergebnisse und punktierte Linien für Beobachtungswerte.

Bei der Auswertung der Zeitreihen der Durchflüsse und Wasserstände zeigt sich großteils eine sehr gute Übereinstimmung zwischen berechneten und beobachteten Werten. Bei den vereinzelt Messpunkten oder Bereichen mit größeren Abweichungen sind die jeweiligen Darstellungen mit entsprechenden Erläuterungen ergänzt.

⁶⁵ Beauftragt war die Aufbereitung der Anschlaglinie und Überflutungsflächen für die Bereiche Linzer Feld (Wilhering bis Mauthausen, übergeben am 17.12.2014) und Strudengau (übergeben am 17.11.1014). Das Machland war vom Auftraggeber explizit ausgenommen worden.

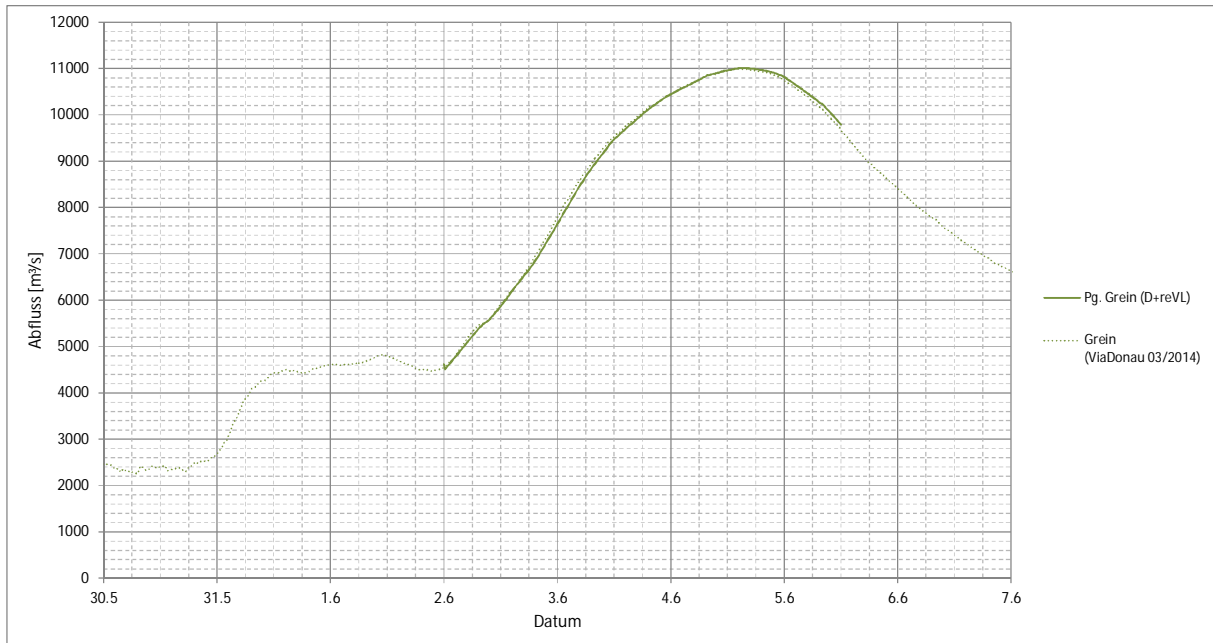
Abb. 4.21 Abflussganglinien an den Pegelstellen der Donau mit Abflussangaben



Die Abbildung zeigt die Durchflussganglinien an den Stellen, wo Beobachtungsdaten zur Verfügung standen. Der Zufluss am oberen Modellrand (blaue Linie) wurde von den Beobachtungsdaten des Pegels Linz abgeleitet, wodurch sich die Differenzen ergeben, weil das gesamte Zwischeneinzugsgebiet von Wilhering bis Linz bereits mitberücksichtigt ist.

Die Durchflussganglinie bei Grein (grüne Linie) beinhaltet die Abflüsse der Zubringer Traun und Enns, sowie den Einfluss der Retention im Linzer Feld und im Machland. Da die im Machland liegenden Zubringer (Aist, Naarn, etc.) nicht im Modell implementiert sind, wird der Scheitelabfluss unterschätzt. Das Retentionsverhalten im ansteigenden Ast (02.06. und 03.06) wird offenbar in der Modellrechnung ebenfalls unterschätzt.

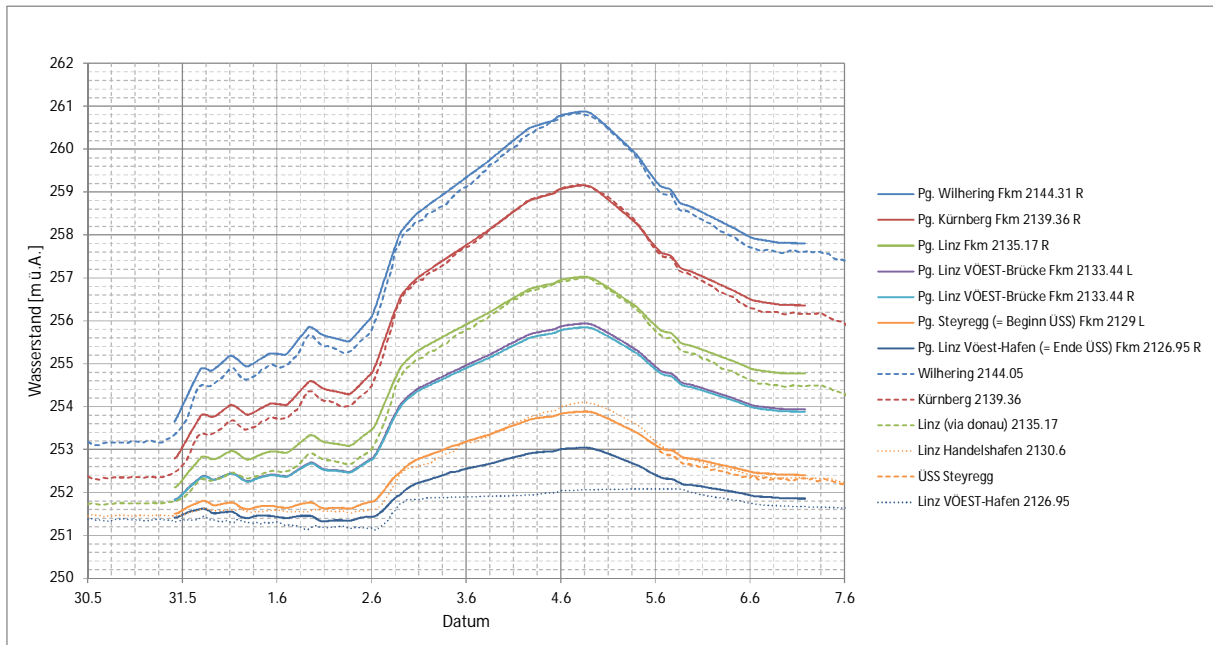
Abb. 4.22 Abflussganglinien am Pegel Grein bei verkürztem Modell



Um die in der vorigen Abbildung erläuterten Einflüsse bzw. Unschärfen im Bereich des Machlandes auszuschalten, wurde für die Kalibrierung des Strudengaus ein verkürztes Modell verwendet, das von knapp oberhalb der Dornacher Enge bis zum unteren Modellrand von M31-3 reicht. Damit die beobachteten Wasserstände auf die korrekten Durchflüsse bezogen kalibriert werden konnten, wurde die beobachtete Durchflussganglinie den Pegels Grein als Input angesetzt.

Für die Kalibrierung war ein verkürzter Zeitausschnitt, der nur den maßgeblichen Hochwasserscheitel nachbildet ausreichend.

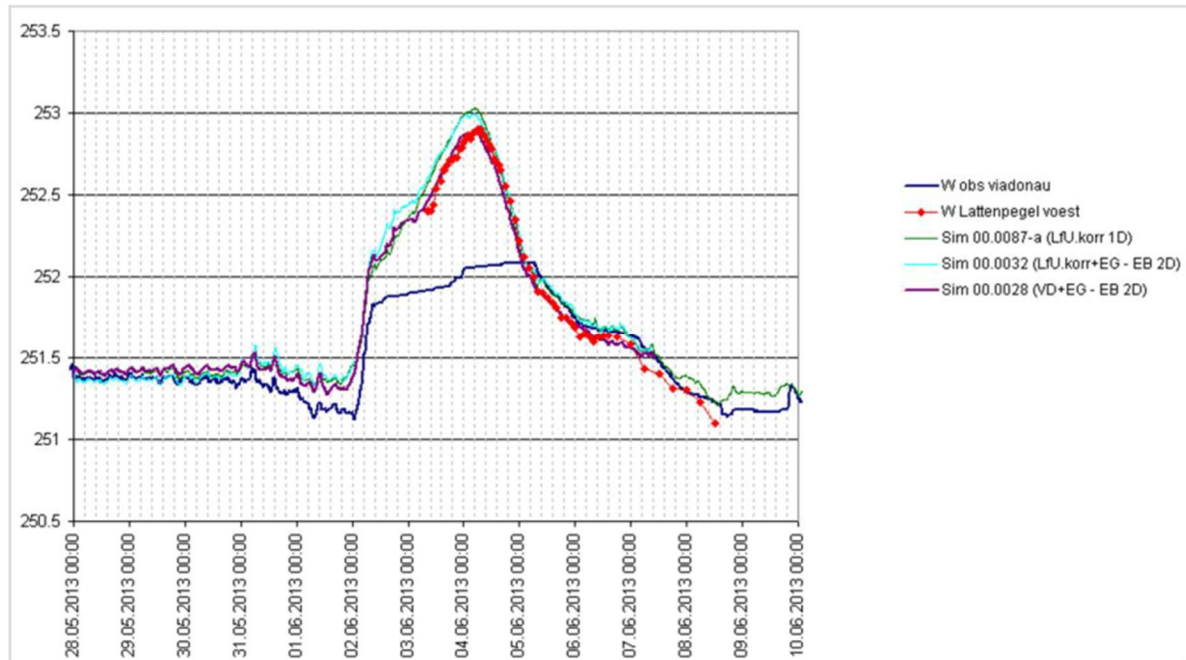
Abb. 4.23 Wasserstandsganglinien an ausgewählten Pegelstellen – Stauraum Abwinden-Asten



Die dargestellten Wasserstandsganglinien zeigen insgesamt eine sehr gute Übereinstimmung mit den Beobachtungsdaten. Davon ausgenommen sind jene Zeiträume, in denen verhältnismäßig geringe Abflüsse (2000 bis 4000 m³/s) vorherrschen. Dies kann zum einen mit Sohlumlagerungen während des Hochwasserereignisses zusammenhängen und zum anderen mit einem veränderten Rauigkeitseinfluss bei steigenden Wasserständen. Letzteres kann in der derzeitigen Version der Simulationssoftware (noch) nicht berücksichtigt werden (d.h. die Strickler-Beiwerte sind konstant vorzugeben). Da das Modell aber in erster Linie als Hochwassermodell eingesetzt werden soll, sind die größeren Ungenauigkeiten bei niedrigen Durchflüssen nicht so relevant.

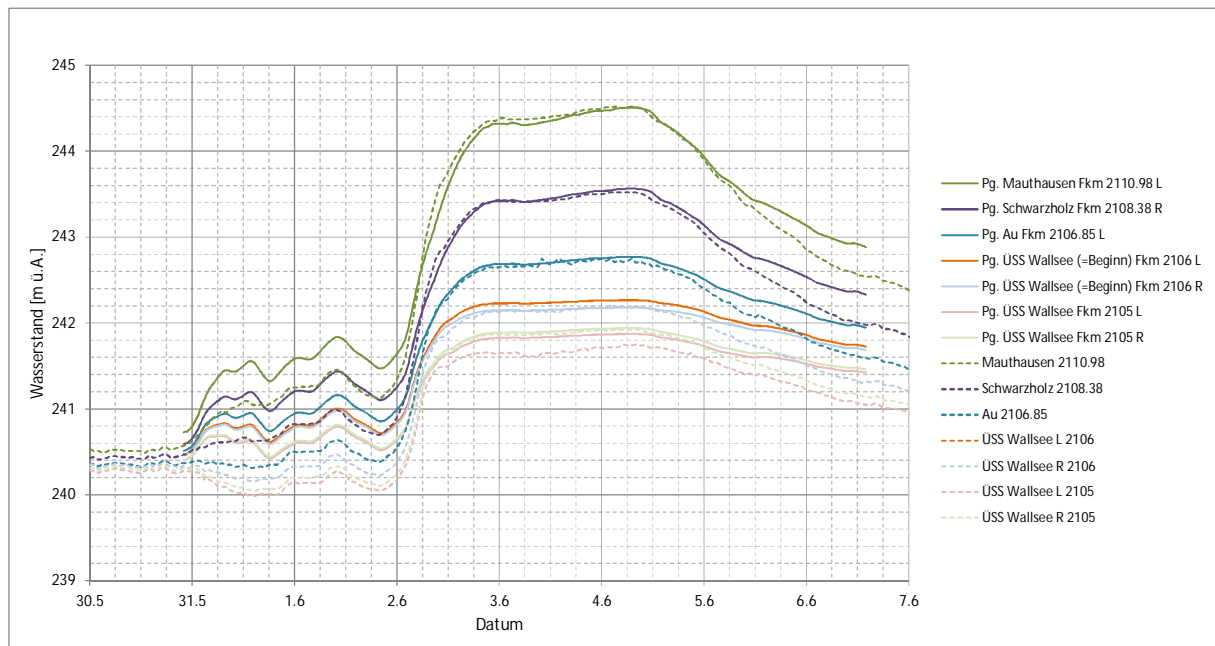
Eine weitere Ausnahme von den ansonsten guten Übereinstimmungen stellt der Pegel Linz VÖEST-Hafen dar. Dieser zeigt in den (automatischen) Beobachtungsdaten während der Hauptphase des Hochwassers durchwegs wesentlich geringere Wasserstände, mit einer Maximalabweichung von rd. 0.9 m gegenüber den Simulationswerten. Aus Recherchen im Zuge von Phase I ist jedoch bekannt, dass es beim HW2013 zu fehlerhaften Aufzeichnungen an diesem Pegel gekommen ist, die diesem Ausmaß entsprechen. Die von der voestalpine von Hand aufgezeichneten Wasserstände an dieser Stelle decken sich hingegen gut mit 2D-Simulationswerten (vgl. dazu Abb. 4.24, welche aus dem Endbericht zu Phase I entnommen ist).

Abb. 4.24 Vergleich der Handablesungen der voestalpine mit den automatisch erfassten Pegeldaten der via donau am Pegel Linz VÖEST-Hafen (aus Phase I übernommen)



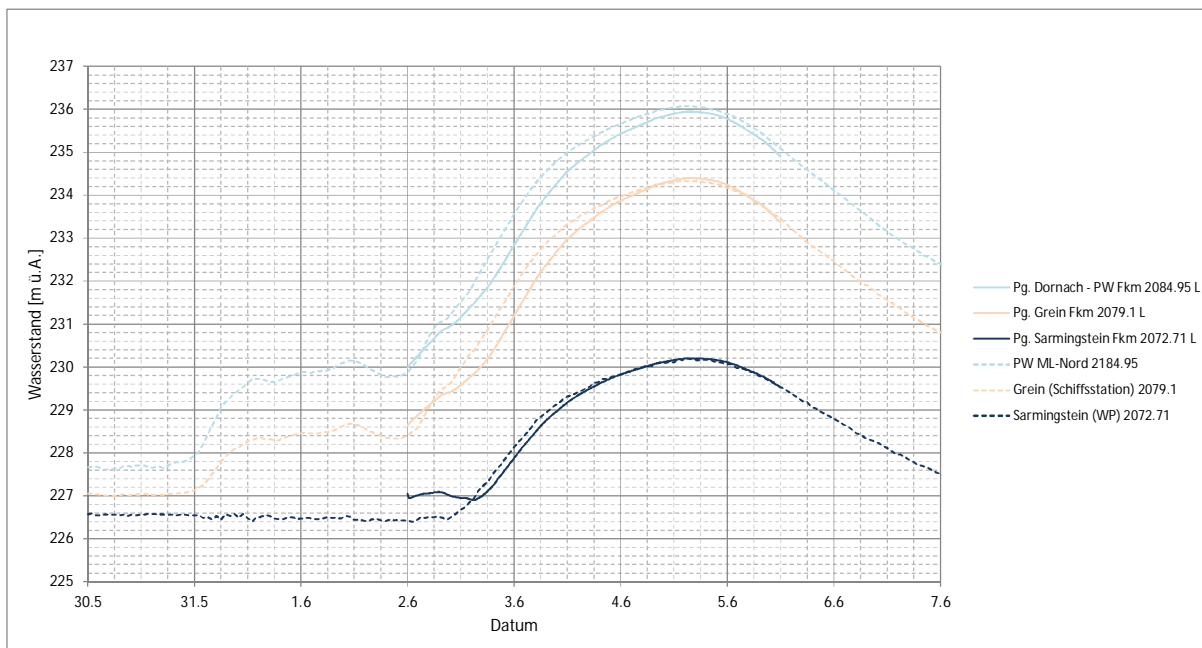
Die Abbildung zeigt als Messwerte die automatisch gemessene W-Ganglinie (dunkelblau) und rot punktiert die einzelnen Messungen von voestalpine. Daneben sind die Wasserstände aus drei 1D-Simulationen aus Phase I dargestellt. Es ist klar ersichtlich, dass die Abweichungen zwischen Handablesung und der offensichtlich von Störungen beeinflussten automatischen Wasserstandserfassung ebenso in etwa rd. 0.8 m betragen und dass damit die in Abb. 4.23 dargestellten Wasserstände aus der 2D-Simulation am Pegel Linz VÖEST-Hafen gut durch die Handablesungen gestützt werden.

Abb. 4.25 Wasserstandsganglinien an ausgewählten Pegelstellen – Stauraum Wallsee-Mitterkirchen



Für den Stauraum Wallsee-Mitterkirchen zeigen die Wasserstandsganglinien ebenfalls eine sehr gute Übereinstimmung mit den Beobachtungsdaten, dies ist insbesondere im Bereich der ÜSS von großer Wichtigkeit. Ausgenommen davon sind wiederum die Zeiträume mit verhältnismäßig geringen Abflüssen zwischen 3000 m³/s und 5000 m³/s, wobei die in der vorigen Abbildung getroffenen Erläuterungen hier ebenso gelten.

Abb. 4.26 Wasserstandsganglinien an ausgewählten Pegelstellen – Stauraum Ybbs-Persenbeug

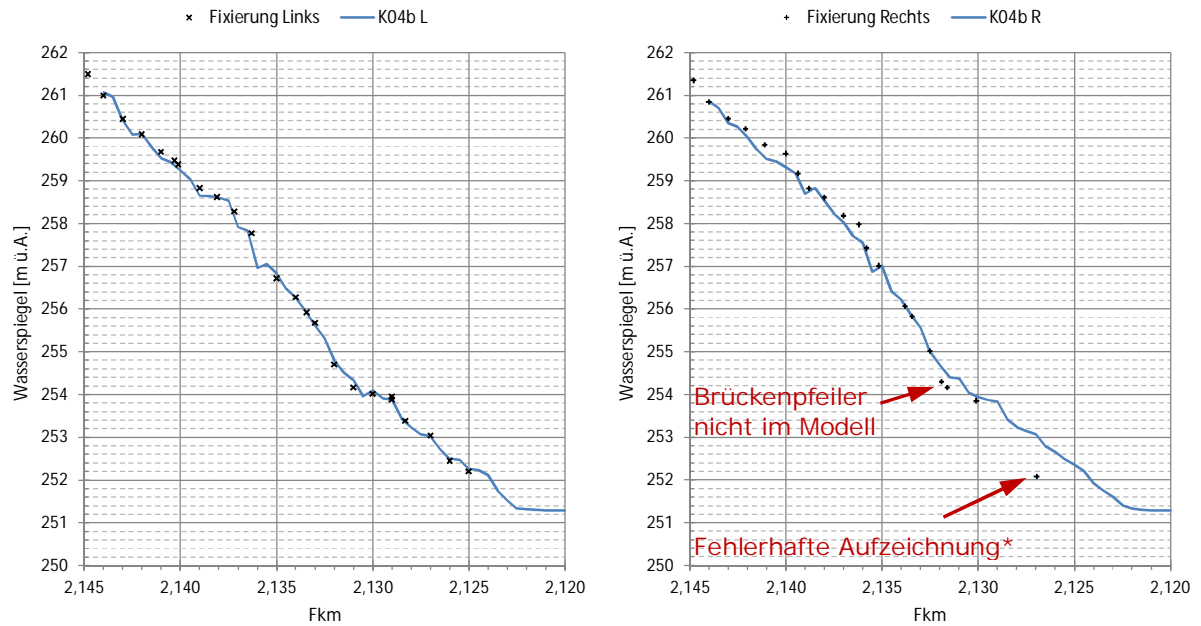


Auch im untersten der im Modell M31-3 enthaltenen Stauräume (Ybbs-Persenbeug) zeigen die Wasserstandsganglinien gute Übereinstimmungen mit den Beobachtungsdaten. V.a. die Scheitelwerte werden sehr gut wiedergegeben. Die bei den Pegelstellen Dornach-PW und Grein in der Realität teils deutlich höheren Wasserstände im ansteigenden Ast sind möglicherweise bedingt durch die starken Turbulenzeffekte in der engen Flusskrümmung bei Grein, die vom tiefengemittelten 2D-Modell nicht gleichermaßen wiedergegeben werden können.

4.2.3.2 Längenschnitte für Messpunkte an den Ufern der Donau

Die Auswertung der Längenschnitte für die maximalen Wasserspiegellagen entlang der beiden Donauufer zeigt praktisch durchgängig eine besonders gute Übereinstimmung zu den Aufnahmen der via donau. Bei den vereinzelt Messpunkten mit größeren Abweichungen zu den Berechnungsergebnissen liegen plausible Erklärungen vor, die bei den jeweiligen Darstellungen erläutert werden.

Abb. 4.27 Längenschnitte der maximalen Wasserstände für linkes und rechtes Donauufer im Stauraum Abwinden-Asten (BAA)



* Zur fehlerhaften Aufzeichnung am Pegel VÖEST-Hafen siehe Erläuterung zu Abb. 4.23

Abb. 4.28 Längenschnitte der maximalen Wasserstände für linkes und rechtes Donauufer im Stauraum Wallsee-Mitterkirchen (BWM)

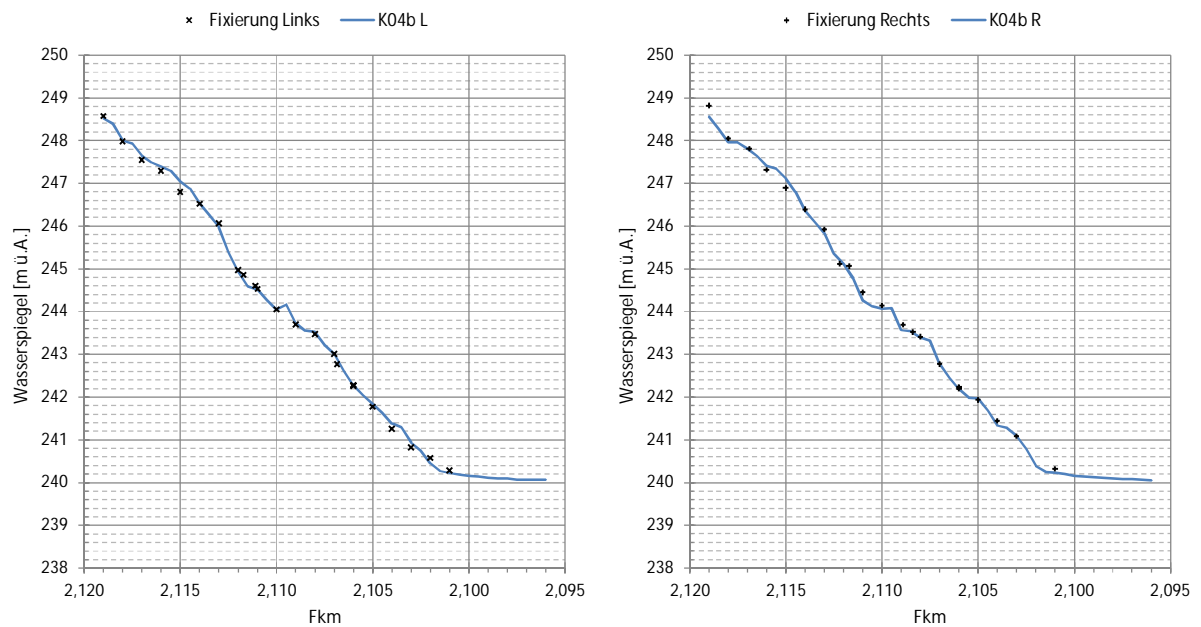
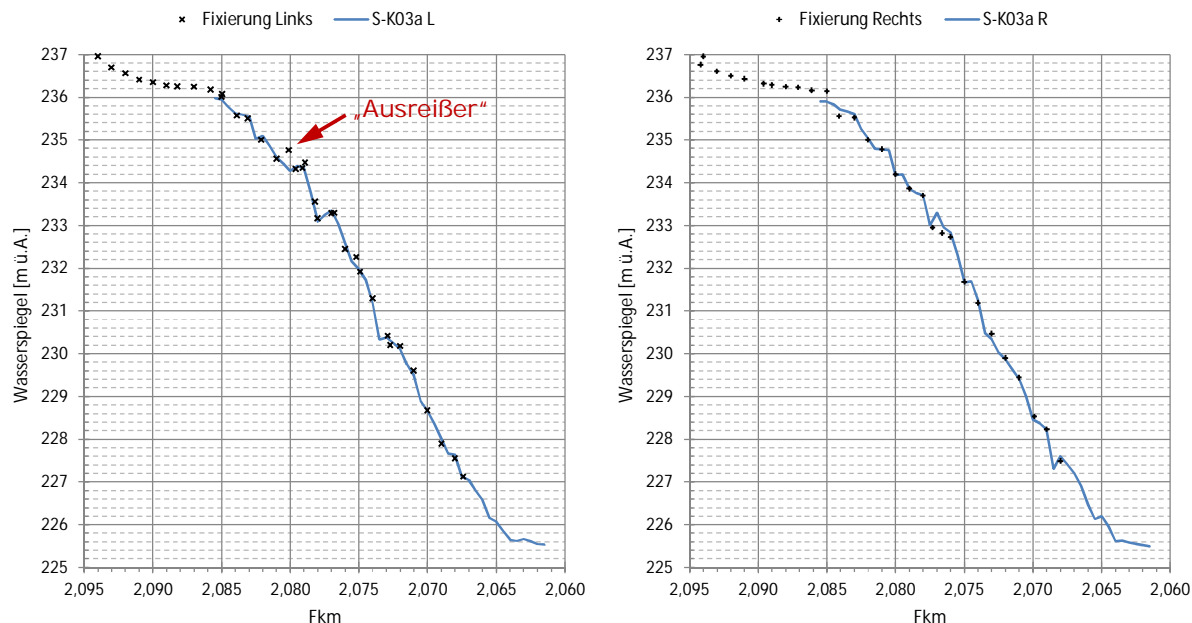


Abb. 4.29 Längenschnitte der maximalen Wasserstände für linkes und rechtes Donauufer im Stauraum Ybbs-Persenbeug (BYP)



Der als Ausreißer bezeichnete Messpunkt ist offensichtlich zu seinen Nachbarpunkten inkonsistent, was darauf hindeutet, dass der hohe Wasserstand vermutlich durch sehr lokale Strömungseffekte bedingt wurde.

4.2.3.3 Räumliche Auswertungen

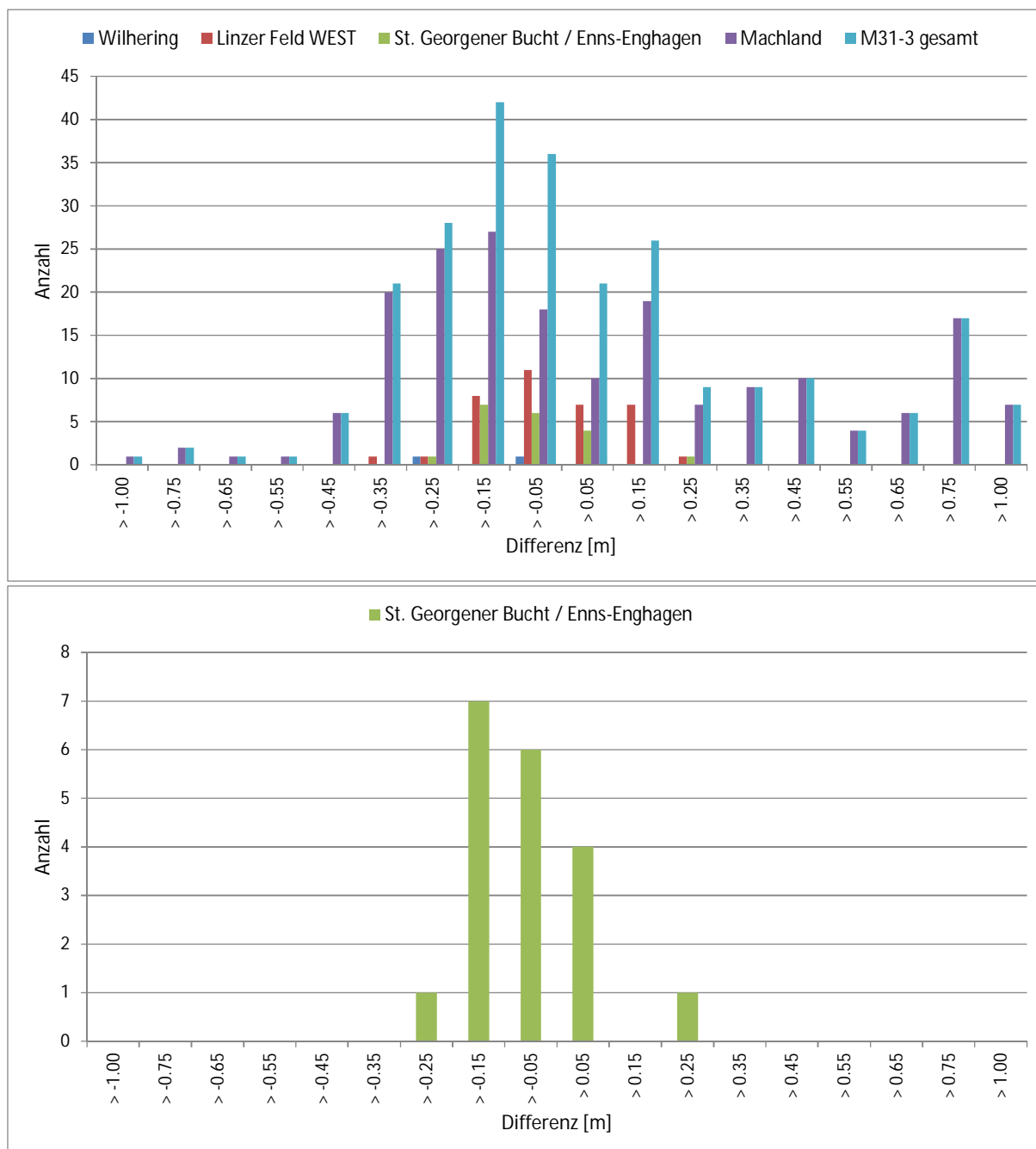
Da das Teilmodell M31-3 aus mehreren hydrologischen Abschnitten besteht und weil nicht alle diese Abschnitte für die beauftragten Berechnungen von gleicher Bedeutung sind, erfolgte die Kalibrierung der Vorländer mit unterschiedlichem Fokus. Für die Berechnungen im Auftrag des Landes OÖ war vor allem der Bereich St. Georgener Bucht / Enns-Engnagen von Bedeutung. Für die parallel durchgeführten Arbeiten im Auftrag der voestalpine Stahl GmbH (vgl. Pkt. 2.2) lag das Hauptaugenmerk dagegen auf den westlichen Bereich des Linzer Feldes (v.a. auf die Steyregger Au). Demzufolge wurde v.a. das Linzer Feld möglichst gut kalibriert, wogegen im Machland auftragsbedingt größere Abweichungen toleriert werden konnten.

Die statistische Auswertung der Anpassungsgüte erfolgte daher ebenfalls nicht nur für das gesamte Modell sondern zur Steigerung der Aussagekraft zusätzlich auch getrennt für die einzelnen Abschnitte. Die in Tab. 4.1 angeführten Ergebnisse der statistischen Auswertung zeigen die gute Anpassungsgüte v.a. im Linzer Feld (Linzer Feld West und St. Georgener Bucht / Enns-Engnagen). Die Häufigkeitsverteilungen für die einzelnen Abschnitte und das Gesamtmodell sind in Abb. 4.30 dargestellt.

Tab. 4.1 Statistische Auswertung der Vorlandkalibrierung von M31-3

Statistischer Parameter	Wilhering	Linzer Feld WEST	St. Georgener Bucht / Enns-Enghagen	Machland	M31-3 gesamt
Anzahl Beobachtungspunkte	2	36	19	190	247
Mittelwert [m]	-0.09	0.03	-0.01	0.13	0.10
Median [m]	-0.09	0.03	-0.04	0.00	0.01
Standardabweichung [m]	0.19	0.13	0.11	0.42	0.37
Quantil +-5cm	50%	31%	32%	9%	15%
Quantil +-10cm	50%	56%	68%	22%	30%

Abb. 4.30 Verteilung der Differenzen zwischen Modell- und Realwerten (oben Überblick über die einzelnen Abschnitte von M31-3 und das Gesamtmodell, unten nur für den Bereich St. Georgener Bucht / Enns-Enghagen)



Die lagemäßige Auswertung der wesentlichen Bereiche zeigt Folgendes:

- Linzer Feld West (Abb. 4.31):
Gute Anpassung mit relativ geringer Streuung, tendenziell etwas zu hohe Wasserstände führen zu mehr Sicherheit bei Berechnungsergebnissen.
- St. Georgener Bucht / Enns-Enghagen (Abb. 4.32):
Sehr gute Anpassung mit geringer Streuung, tendenziell etwas zu niedrige Wasserstände wurden in Kalibrierung bewusst angestrebt, um den fehlenden Zufluss der Gusen zu kompensieren.
- Machland (Abb. 4.33):
Da im Machland nur grob kalibriert wurde, ergeben sich im westlich Bereich tendenziell zu hohe Wasserstände und aufgrund der im Modell fehlenden Zuflüsse (v.a. Aist und Naarn) tendenziell zu niedrige Wasserstände im östlichen Machland.

Abb. 4.31 Differenzen zwischen beobachteten und berechneten Maximal-Wasserständen im Bereich des westlichen Linzer Feldes

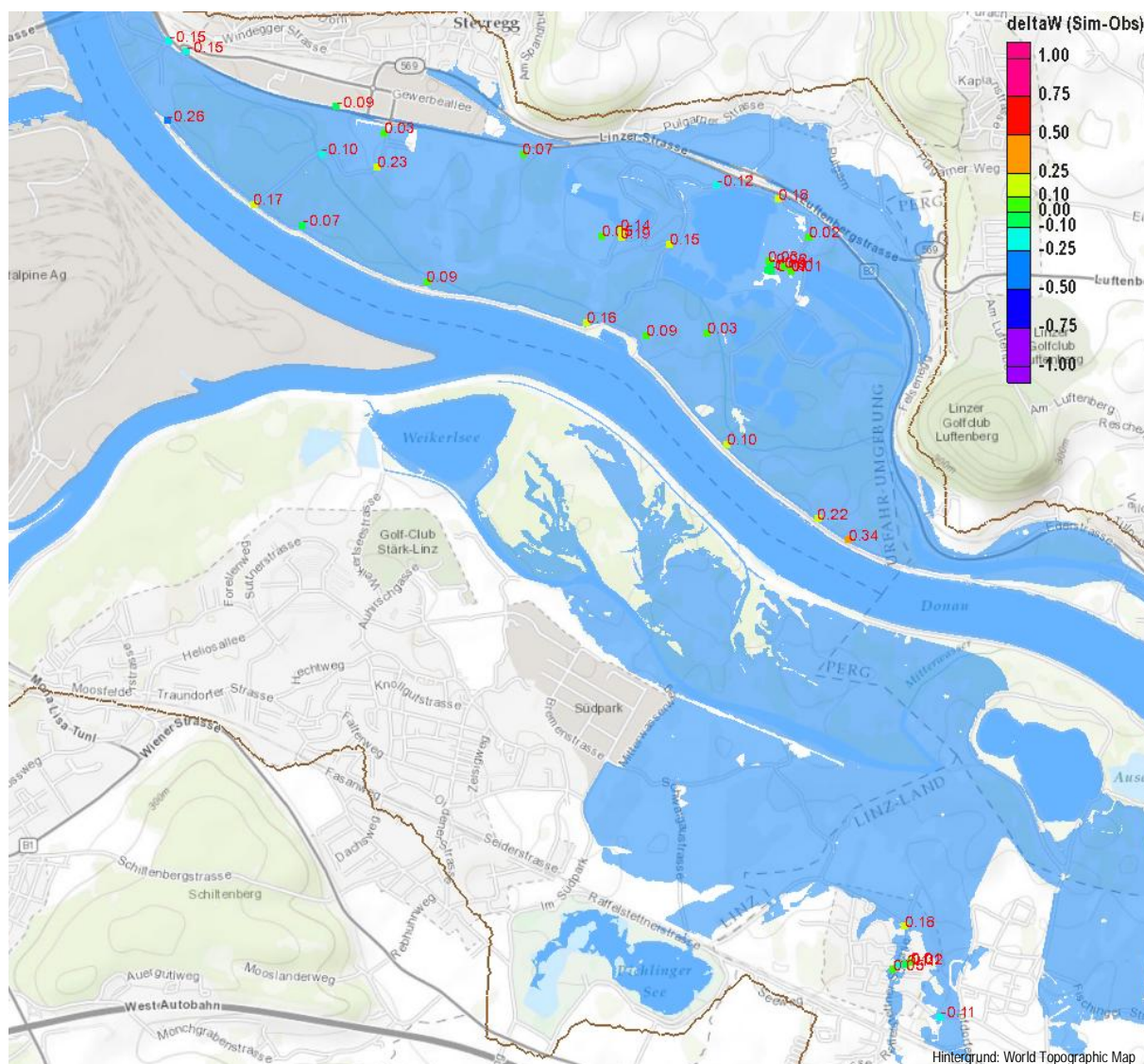


Abb. 4.32 Differenzen zwischen beobachteten und berechneten Maximal-Wasserständen im Bereich der St. Georgener Bucht und Enns-Engagen

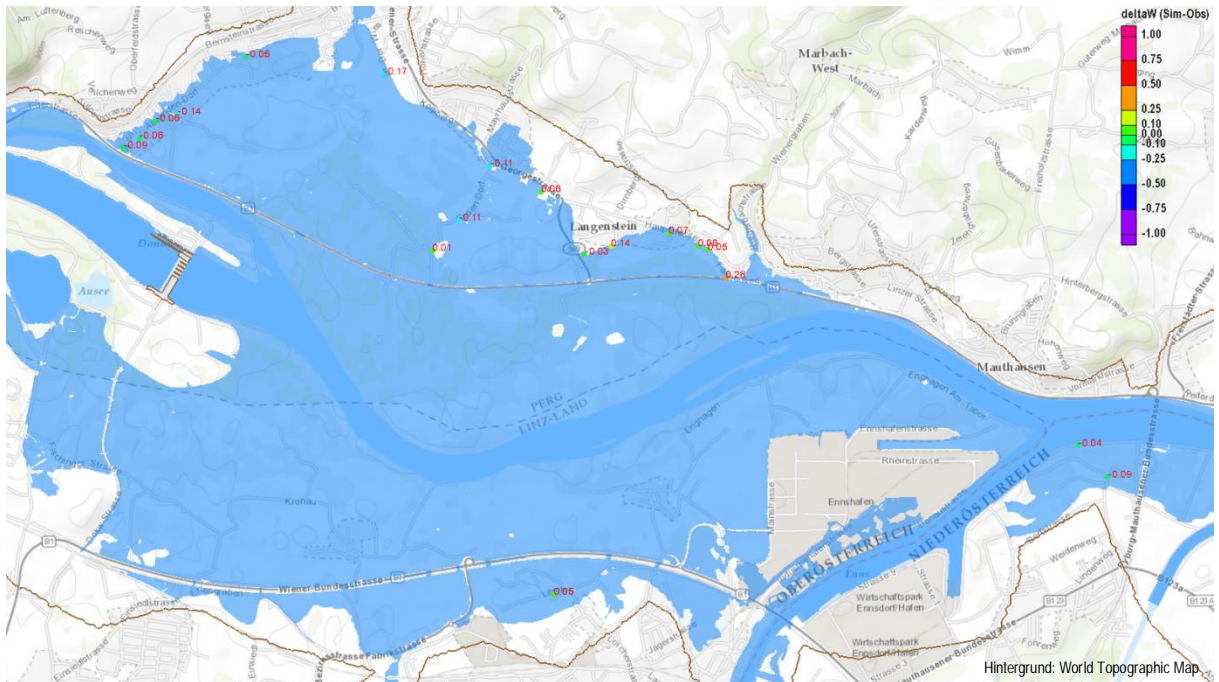
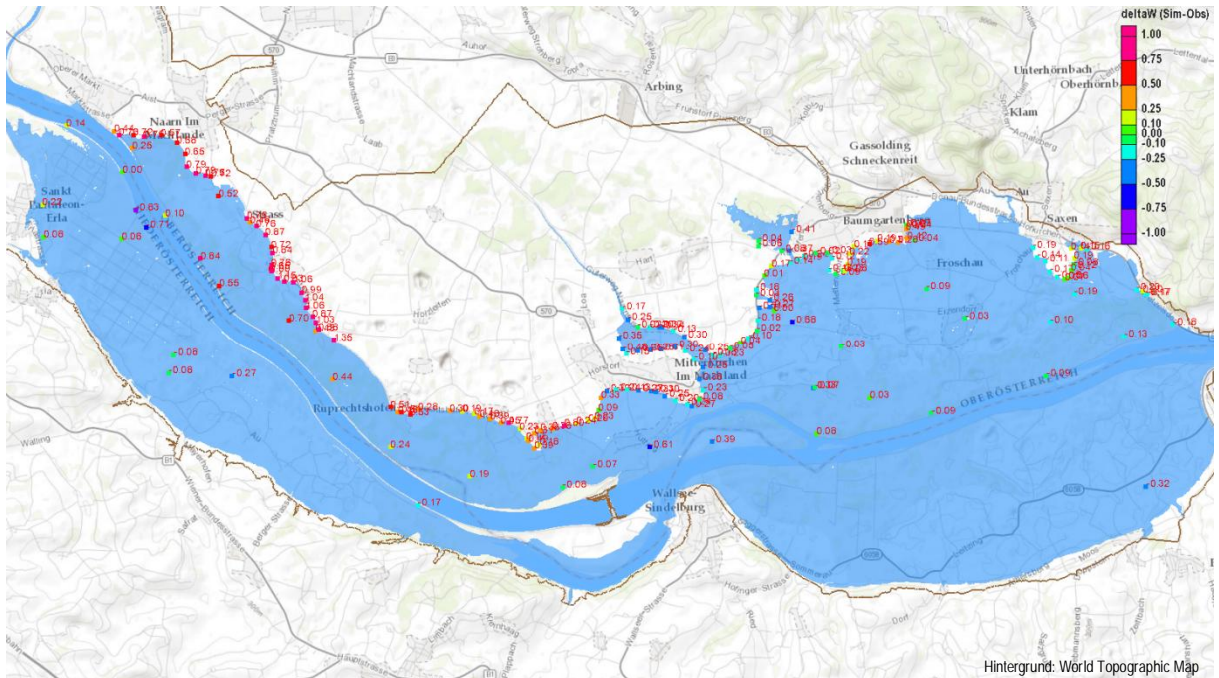


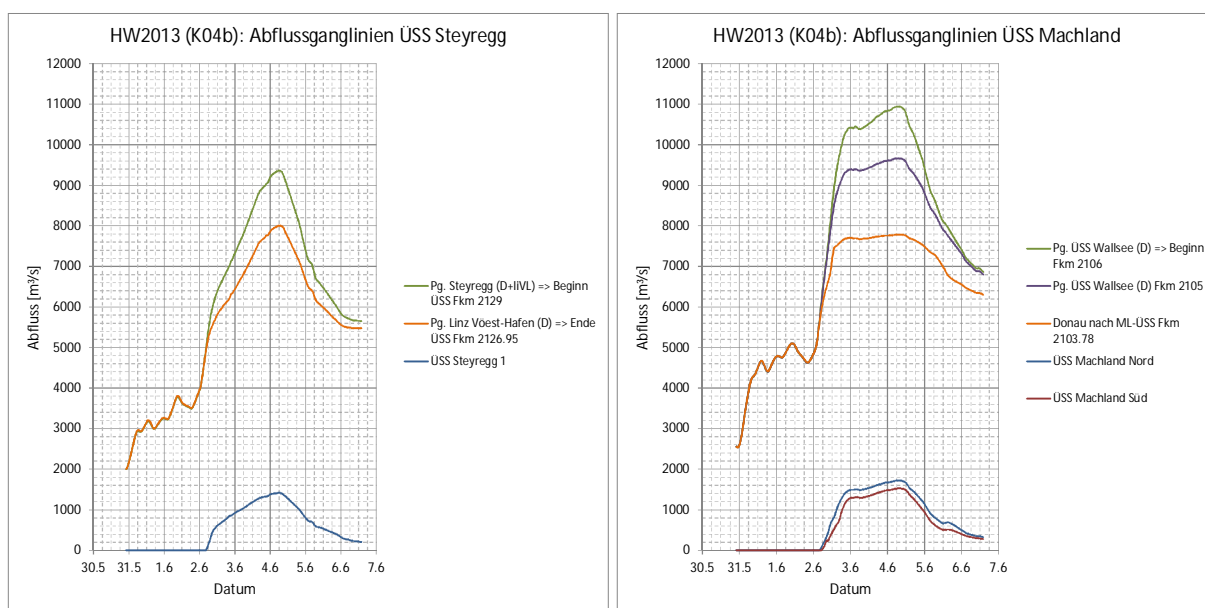
Abb. 4.33 Differenzen zwischen beobachteten und berechneten Maximal-Wasserständen im Machland



4.2.4 Weitere Erkenntnisse aus der Nachrechnung des HW2013

Auch für das Teilmodell M31-3 konnten zusätzlich zu den Aussagen über die Kalibrierungsgüte noch weitere Erkenntnisse zum Flutungsgeschehen während des Ereignisses von 06/2013 gewonnen werden. Diese umfassen zum einen wiederum Zeitreihen von Durchflüssen und Wasserständen an einflussreichen Stellen (Überströmstrecken, Hinterlandflutung, etc.), zu denen es keine Beobachtungsdaten gibt und die daher besonders aufschlussreich sind und zum anderen räumlich-zeitliche Erkenntnisse des Flutungsvorgangs. Während diese zusätzlichen Zeitreihen nachfolgend dargestellt sind, wurden die Flutungsvorgänge von Wilhering bis zur Landesgrenze mit Hilfe eines Animationsfilms visualisiert und dem Auftraggeber gesondert übergeben⁶⁶.

Abb. 4.34 Abflussverhältnisse an den Überströmstrecken Steyregg (links) und Machland Nord und Machland Süd (rechts)



⁶⁶ Die Übergabe an das Land OÖ erfolgte am 20.02.2015.

Abb. 4.35 Wasserstände entlang der Überströmstrecken Steyregg (links) und Machland Nord und Machland Süd (rechts)

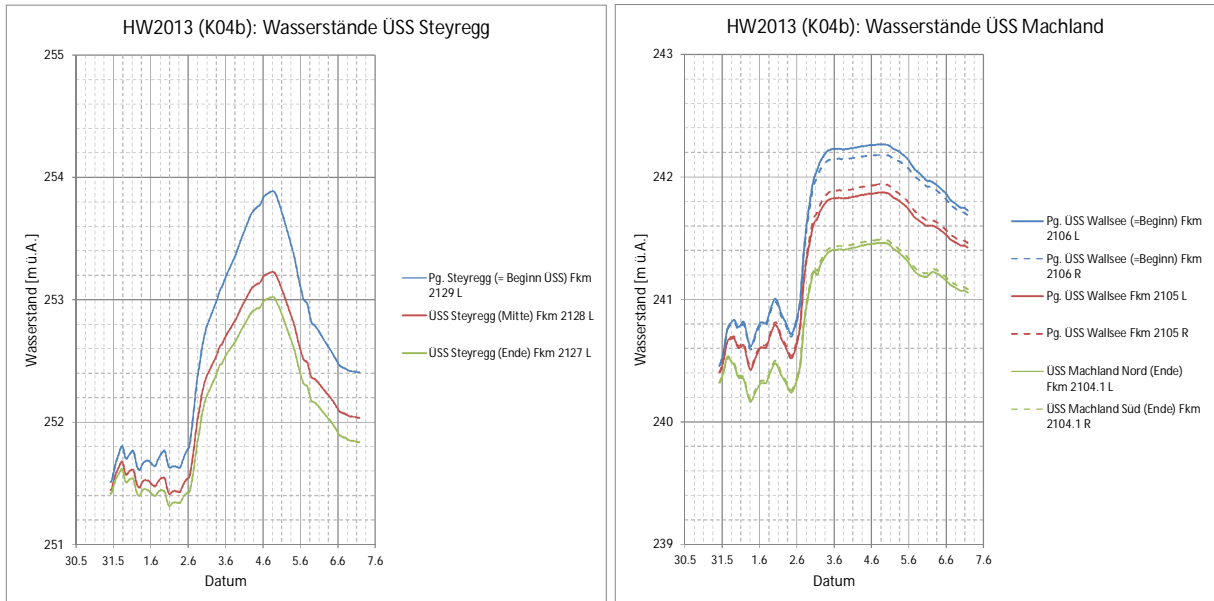


Abb. 4.36 Abfluss-Wasserstandsbeziehungen an der Überströmstrecke Steyregg

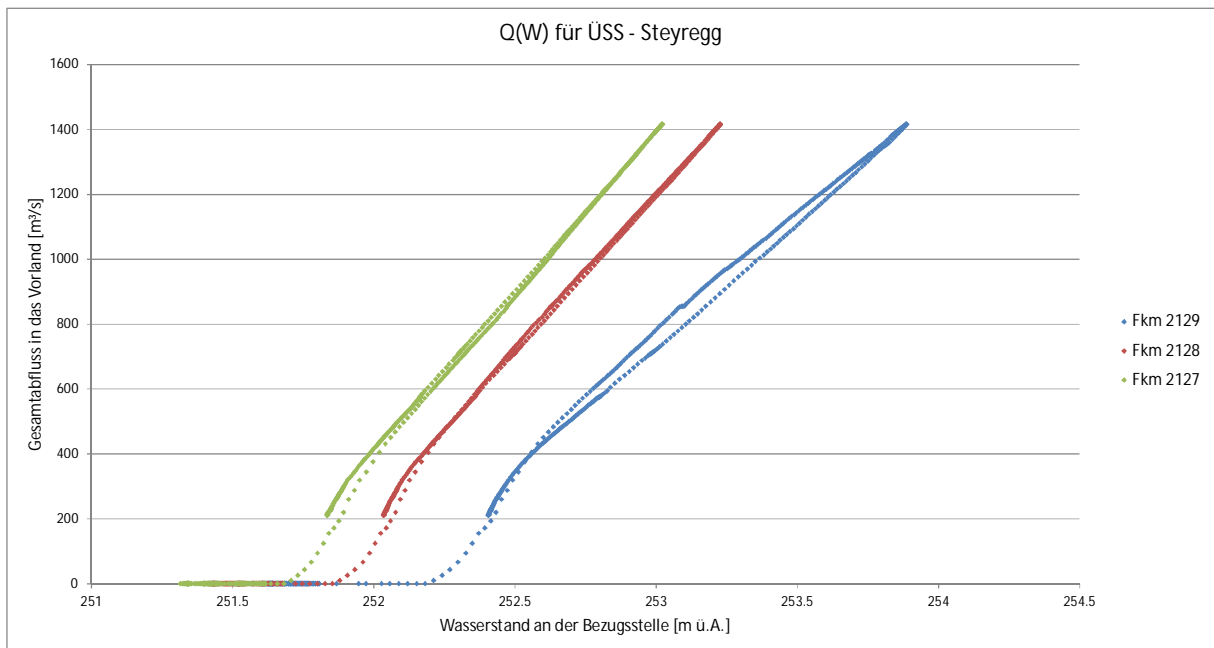


Abb. 4.37 Abfluss-Wasserstandsbeziehungen an den Überströmstrecken im Machland (oben Machland Nord, unten Machland Süd)

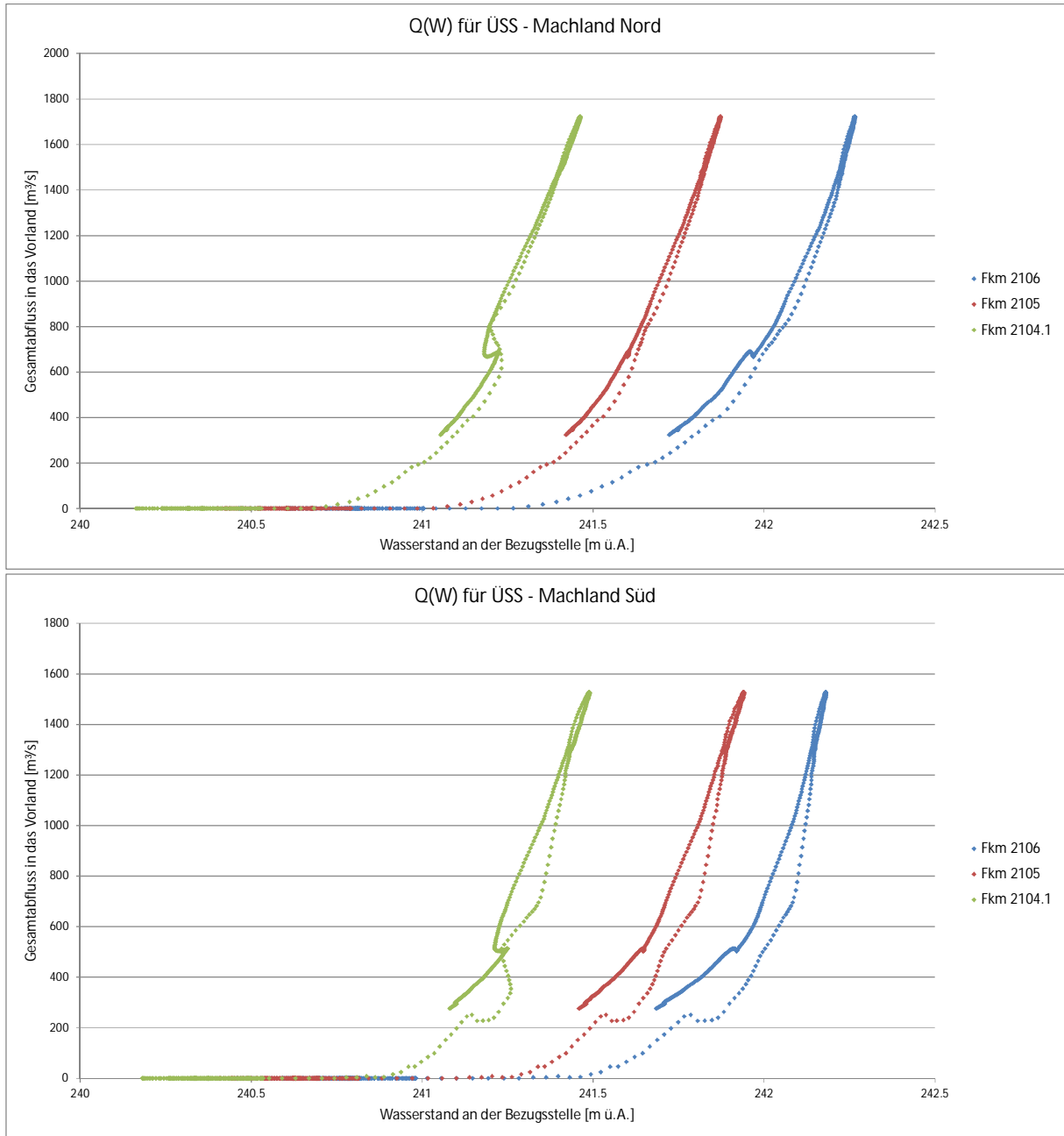
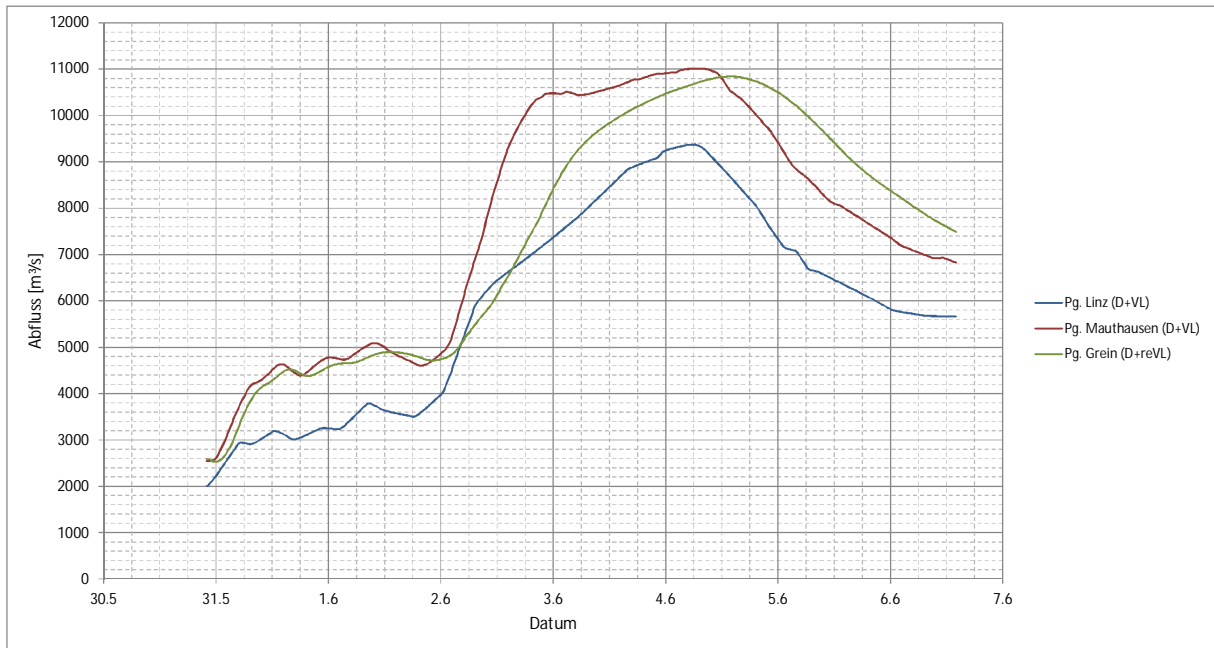
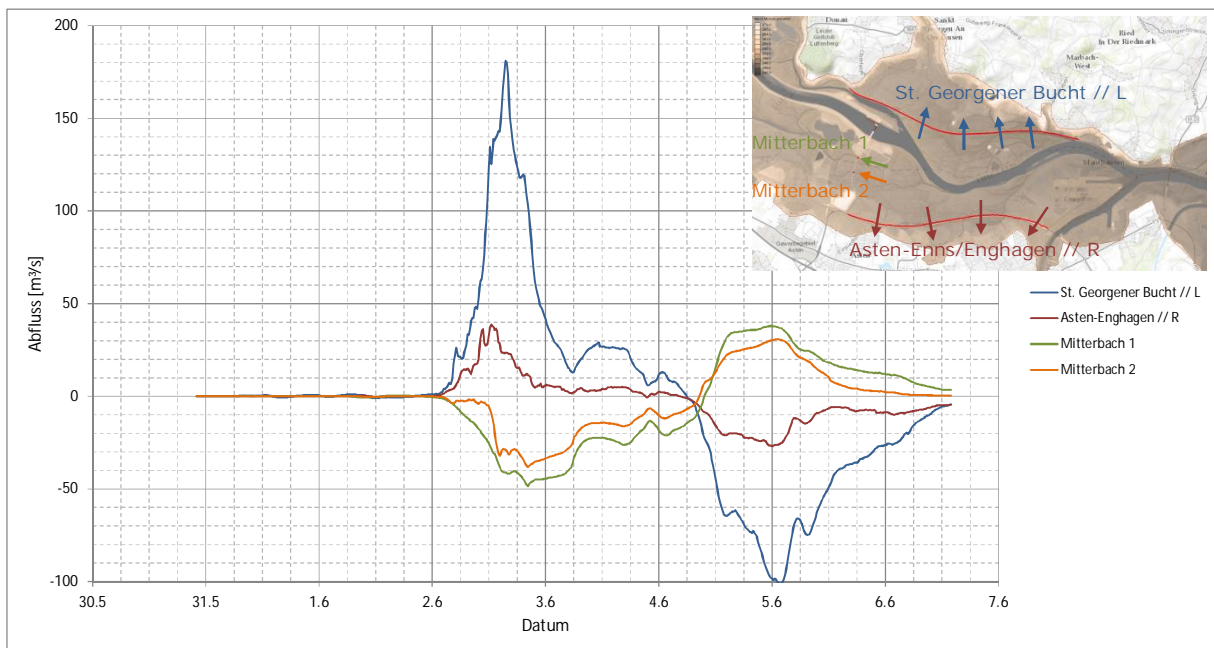


Abb. 4.38 Abflüsse am Pegel Mauthausen



Am Pegel Mauthausen wird der Gesamtabfluss aus Donau, Traun und Enns inklusive der Retentionswirkung des Linzer Feldes widergespiegelt. Die Abflussganglinie für Mauthausen ist daher für die Abflussverhältnisse im Machland von zentraler Bedeutung. Da es für den Pegel Mauthausen jedoch keine Beobachtungsdaten für den Durchfluss gibt, ist die Abflussganglinie, wie sie sich aus den Simulationen ergibt, besonders aufschlussreich (für Detailsimulationen des Machlandes sollten zusätzlich noch die im Machland liegenden Zubringer - v.a. Aist und Naarn - berücksichtigt werden). Zu Vergleichszwecken sind auch die simulierten Abflussganglinien der Pegelstellen Linz und Grein dargestellt.

Abb. 4.39 Abflüsse in die St. Georgener Bucht und in den Bereich südlich der Bahnstrecke zwischen Asten und Enns, sowie Rückstau in den Bereich westlich der Zufahrtsstraße des KW Abwinden-Asten



4.3 Berechnungen für HQ₃₀, HQ₁₀₀ und HQ₃₀₀

Für die Berechnungen für HQ₃₀, HQ₁₀₀ und HQ₃₀₀ gilt in Hinblick auf die Erarbeitung und den Status der Ergebnisse das gleiche, wie für die Berechnungen für das Eferdinger Becken: Die Shape-Files, welche als Ergebnisse vorliegen, sind direkt aus den Simulationsergebnissen abgeleitet und es hat keine Überprüfung oder Korrektur auf Basis von Vor-Ort-Begehungen gegeben.

Aus hydrologischer Sicht ist herauszustreichen, dass alle Berechnungen, d.h. auch die HQ₃₀₀-Berechnung, in Abstimmung mit dem Auftraggeber stationär durchgeführt wurden (vgl. Pkt. 2.5.2.2). Die bei den Berechnungen konkret angesetzten Durchflüsse sind in Tab. 4.2 ebenso wie die sich ergebenden Abflüsse über die Überströmstrecken angeführt.

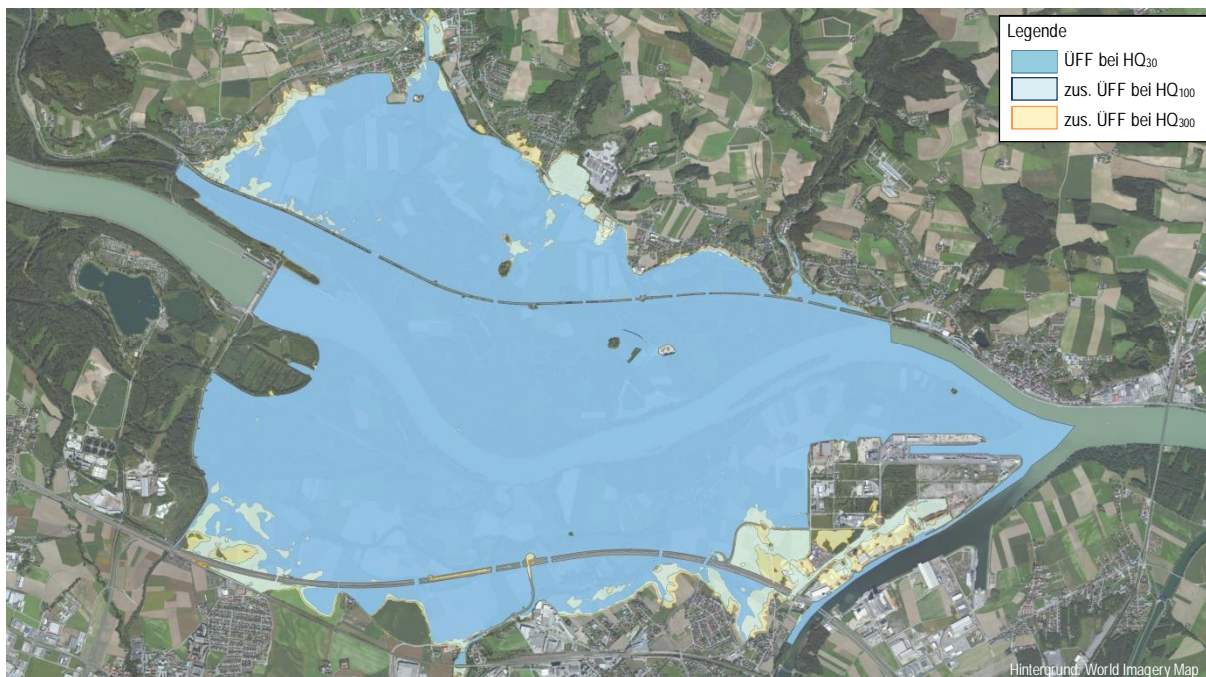
Tab. 4.2 Durchflussverhältnisse bei den Szenarien HQ₃₀, HQ₁₀₀ und HQ₃₀₀

Szenario	Donau	Traun	Enns	Gesamtabfluss	ÜSS Steyregg	ÜSS Machland Nord	ÜSS Machland Süd
HQ ₃₀	7360	1030	1610	10000	840	1500	1300
HQ ₁₀₀	8530	1030	1640	11200	1180	1970	1760
HQ ₃₀₀	9100	1200	1500	11800	1380	2180	1950

Analog zum Eferdinger Becken liegen auch für den Bereich unterhalb von Linz Shape-Files mit den Überflutungsflächen und der klassifizierten Fließgeschwindigkeiten und Wassertiefen vor. Festgehalten sei, dass dabei die Shape-Files gem. Beauftragung den Bereich St. Georgener Bucht / Enns-Enghagen, sowie den Strudengau abdecken⁶⁷. Alle anderen im Modell enthaltenen, aber nicht beauftragten Teilbereiche der Donau sind in den Shape-Files nicht enthalten. Die berechneten Überflutungsflächen (ÜFF) für den Bereich St. Georgener Bucht / Enns-Enghagen sind in Abb. 4.40 und jene für den Strudengau in Abb. 4.41 dargestellt.

⁶⁷ Die Übergabe an das Land OÖ für den Bereich St. Georgener Bucht / Enns-Enghagen erfolgte am 17.12.2014 und die Übergabe der Shape-Files für den Strudengau erfolgte am 17.11.1014.

Abb. 4.40 Überflutungsflächen bei HQ_{30} , HQ_{100} und HQ_{300} im Bereich St. Georgener Bucht / Enns-Enghagen



Hinweis: Diese Abbildung findet sich nochmals in vergrößerter Form in Anhang C.4 bzw. mit topographischer Karte als alternativem Hintergrund in Anhang C.3.

Abb. 4.41 Überflutungsflächen bei HQ_{30} , HQ_{100} und HQ_{300} im Strudengau



Hinweis: Diese Abbildung findet sich nochmals in vergrößerter Form in Anhang C.6 bzw. mit topographischer Karte als alternativem Hintergrund in Anhang C.5.

Als weitere zentrale hydraulische Eckdaten bzw. Ergebnisse sind die Durchflüsse und Wasserstände an den Überströmstrecken in den Abbildungen Abb. 4.42 bis Abb. 4.44 dargestellt.

Abb. 4.42 Wasserstände entlang der Überströmstrecken Steyregg (links) und Machland Nord und Machland Süd (rechts) beim Szenarium HQ₃₀

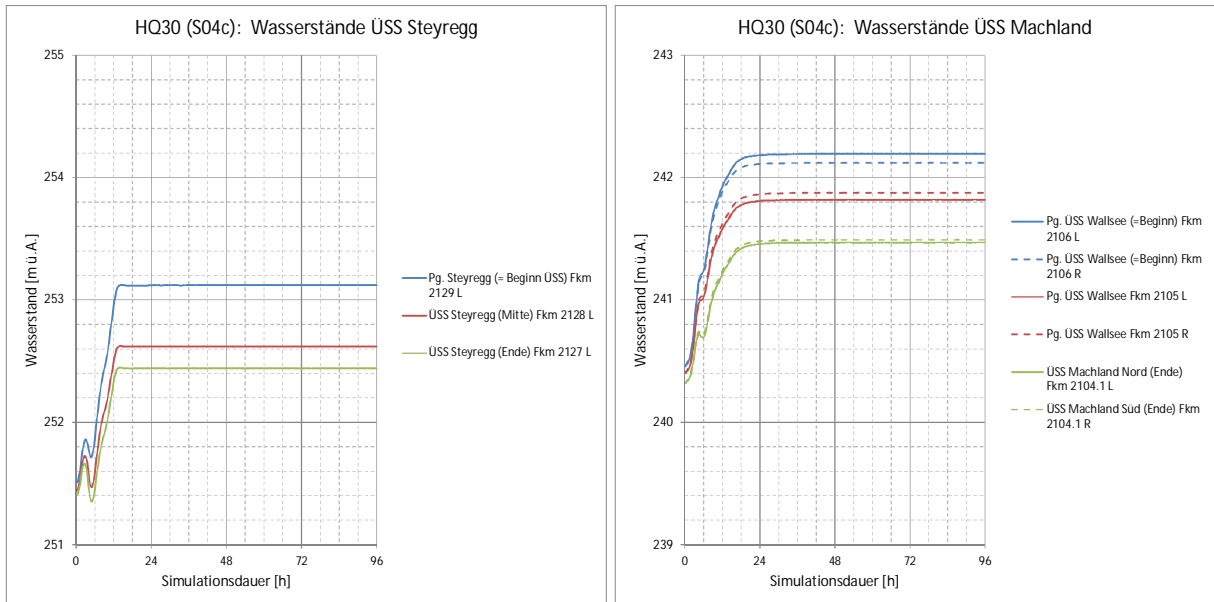


Abb. 4.43 Wasserstände entlang der Überströmstrecken Steyregg (links) und Machland Nord und Machland Süd (rechts) beim Szenarium HQ₁₀₀

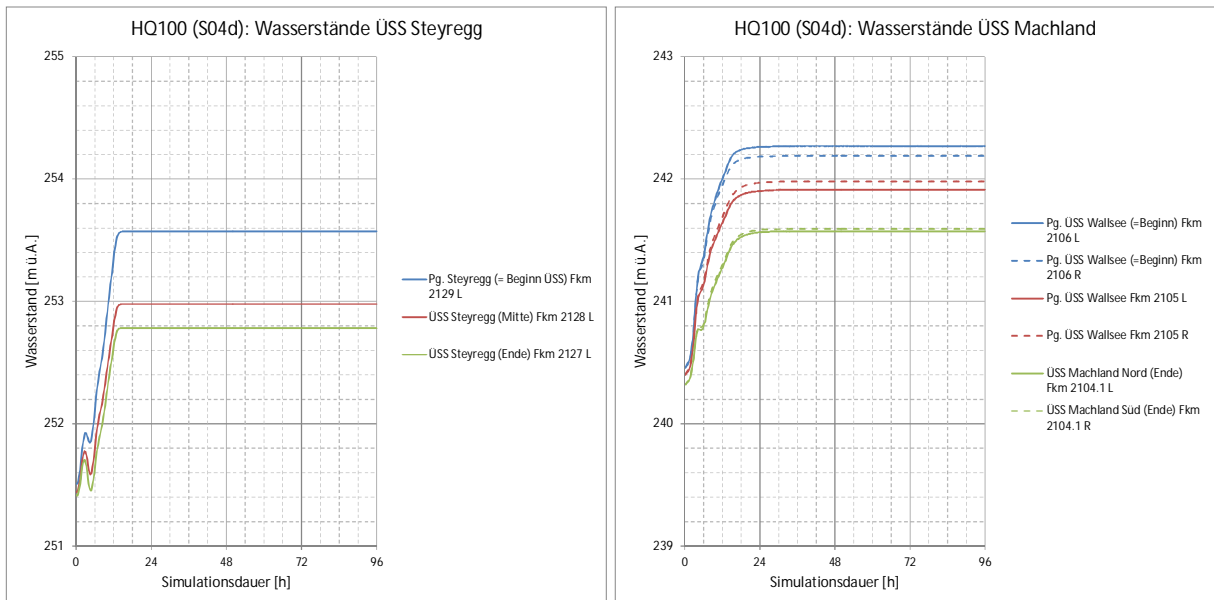
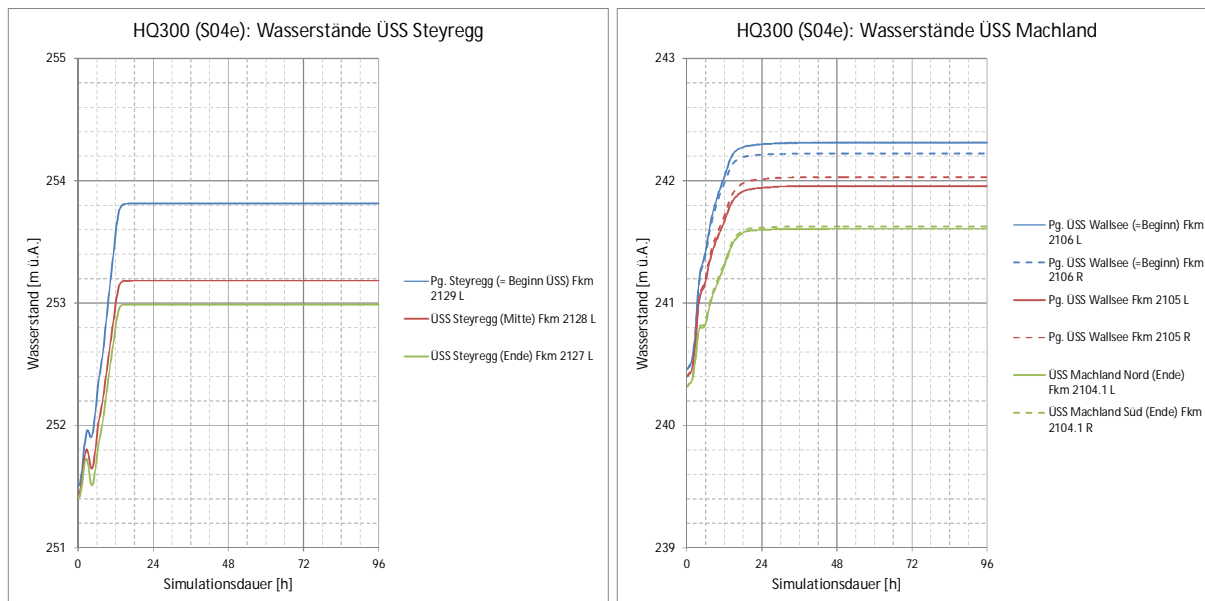


Abb. 4.44 Wasserstände entlang der Überströmstrecken Steyregg (links) und Machland Nord und Machland Süd (rechts) beim Szenarium HQ₃₀₀



4.4 Berechnungen von Lamellen für das Hochwasser-Management

Die Zielsetzung für die Berechnung der Lamellen für den Bereich St. Georgener Bucht / Enns-Enghagen deckt sich mit der Zielsetzung HQ für das Eferdinger Becken: Auch hier ist geplant, auf Basis der Durchflussprognosen des Hydrographischen Dienstes das zu erwartende Überflutungsbild zu kommunizieren.

Im Gegensatz zum Eferdinger Becken wurde für den Bereich St. Georgener Bucht / Enns-Enghagen aber festgelegt, auch die Lamellen stationär zu berechnen⁶⁸. Hintergrund dazu ist, dass es aufgrund der komplexen hydrologischen Verhältnisse (u.a. Einfluss durch den Rückstau von Traun und Enns) auf Basis von stationär berechneten Daten viel leichter ist, zu einer Durchflussprognose von Donau, Traun und Enns ein entsprechendes Überflutungsbild zu wählen. Wären hingegen auch die Lamellen instationär berechnet worden, würden die Überflutungsbilder instationäre Überlagerungseffekte enthalten, welche eine Verwendung im Sinne der o.a. Zielsetzung eher erschweren als erleichtern würde (vgl. dazu Pkt. 2.5.4.2).

Analog zum Eferdinger Becken liegen als Ergebnisse 11 Shape-Files der Überflutungsbilder in 500 m³/s-Stufen für 5.000 bis 10.000 m³/s bezogen auf den Pegel Linz vor, die dem Auftraggeber in digitaler Form übergeben wurden⁶⁹. Mit den getroffenen hydrologischen Annahmen entspricht dies Durchflüssen von 6.200 bis 13.200 m³/s am Pegel Mauthausen, wobei sich diese Werte aus dem offiziellen hydrologischen Längenschnitt der Donau ergeben (vgl. Abb. 2.32).

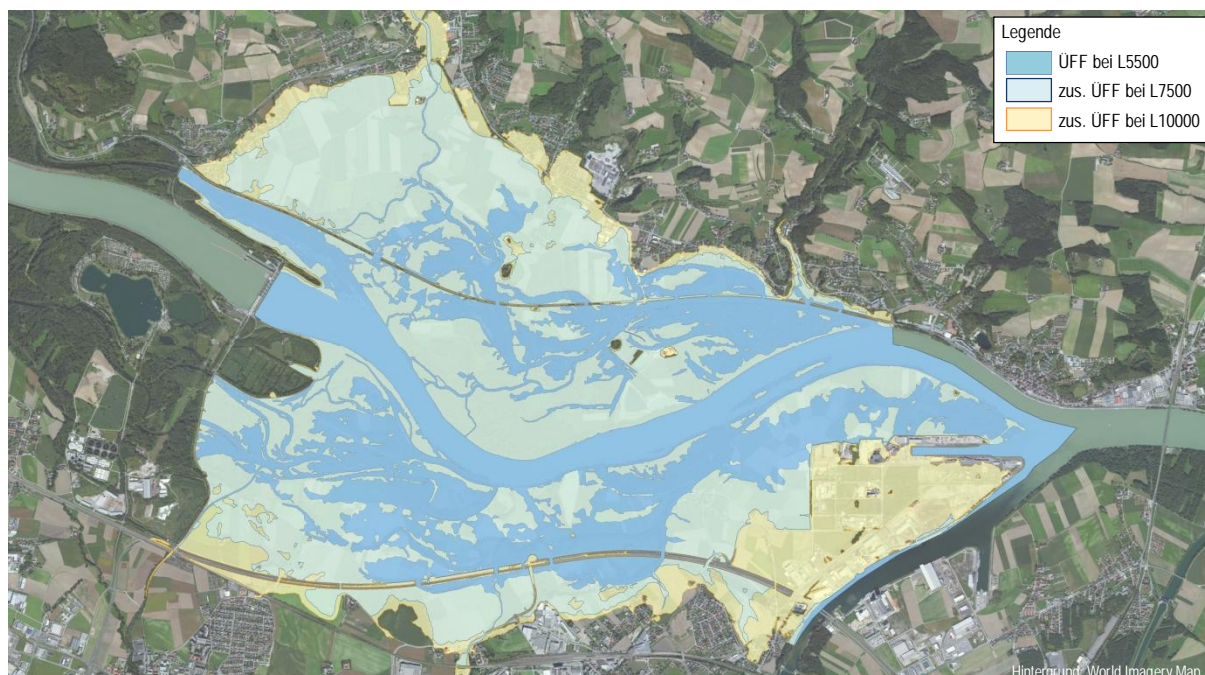
⁶⁸ Wie unter Pkt. 4.3 beschrieben, wurde neben den Berechnungen für HQ₃₀ und HQ₁₀₀ auch die Berechnung für HQ₃₀₀ stationär durchgeführt.

⁶⁹ Die Übergabe der Lamellen-Überflutungsflächen für den Bereich St. Georgener Bucht / Enns-Enghagen an das Land OÖ erfolgte am 17.12.2014.

Für die Verwendung der Lamellen sei festgehalten, dass die konkrete Auswahl unter Bedachtnahme der prognostizierten Durchflüsse für Donau (Pegel Linz), Traun und Enns erfolgen muss. Die Festlegung eines Algorithmus („Schlüssels“) für die Verwendung der Lamellen war nicht Teil des gegenständlichen Auftrages. Dennoch gab es dazu auf Wunsch des AG und auf Basis erster Vorerhebungen eine Besprechung mit Land OÖ und der via donau, wobei man jedoch zu dem Ergebnis kam, dass für diesen Donauabschnitt eine belastbare Festlegung nicht ohne vertiefende Analysen getroffen werden kann.

Beispielhaft sind in Abb. 4.45 die Überflutungsbilder von ausgewählten Lamellen dargestellt, die die jeweils betroffenen Überflutungsflächen (ÜFF) kennzeichnen.

Abb. 4.45 Überflutungsbilder unterschiedlicher Lamellen im Bereich St. Georgener Bucht / Enns-Enghagen (exemplarische Auswahl)



4.5 Berechnungen von vormaligen HQ₁₀₀-Abflussbereichen

Von den für die Berechnung der vormaligen HQ₁₀₀-Abflussbereiche vom Auftraggeber festgelegten Bereichen, liegen im Modell M31-3 die Hochwasserschutzanlagen Alt-Urfahr West, Steyregg und Steyregg Ost.

Die Berechnung erfolgte analog zu Modell M31-2, d.h. im fertig optimierten Modell wurden zur Berechnung der vormaligen HQ₁₀₀-Abflussbereiche die o.a. Hochwasserschutzanlagen entfernt. Mit dem so adaptierten Modell wurde eine Simulation mit exakt den gleichen Durchflüssen und Randbedingungen wie die unter Pkt. 4.3 beschriebenen HQ₁₀₀-Berechnungen durchgeführt. Aus den Berechnungsergebnissen wurden für die zusätzlich betroffenen Bereiche Shape-Files mit den Überflutungsflächen, sowie klassifizierten Fließgeschwindigkeiten und Überflutungstiefen abgeleitet und dem Auftraggeber in digitaler Form übergeben⁷⁰.

⁷⁰ Die Übergabe an das Land OÖ erfolgte am 28.05.2014.

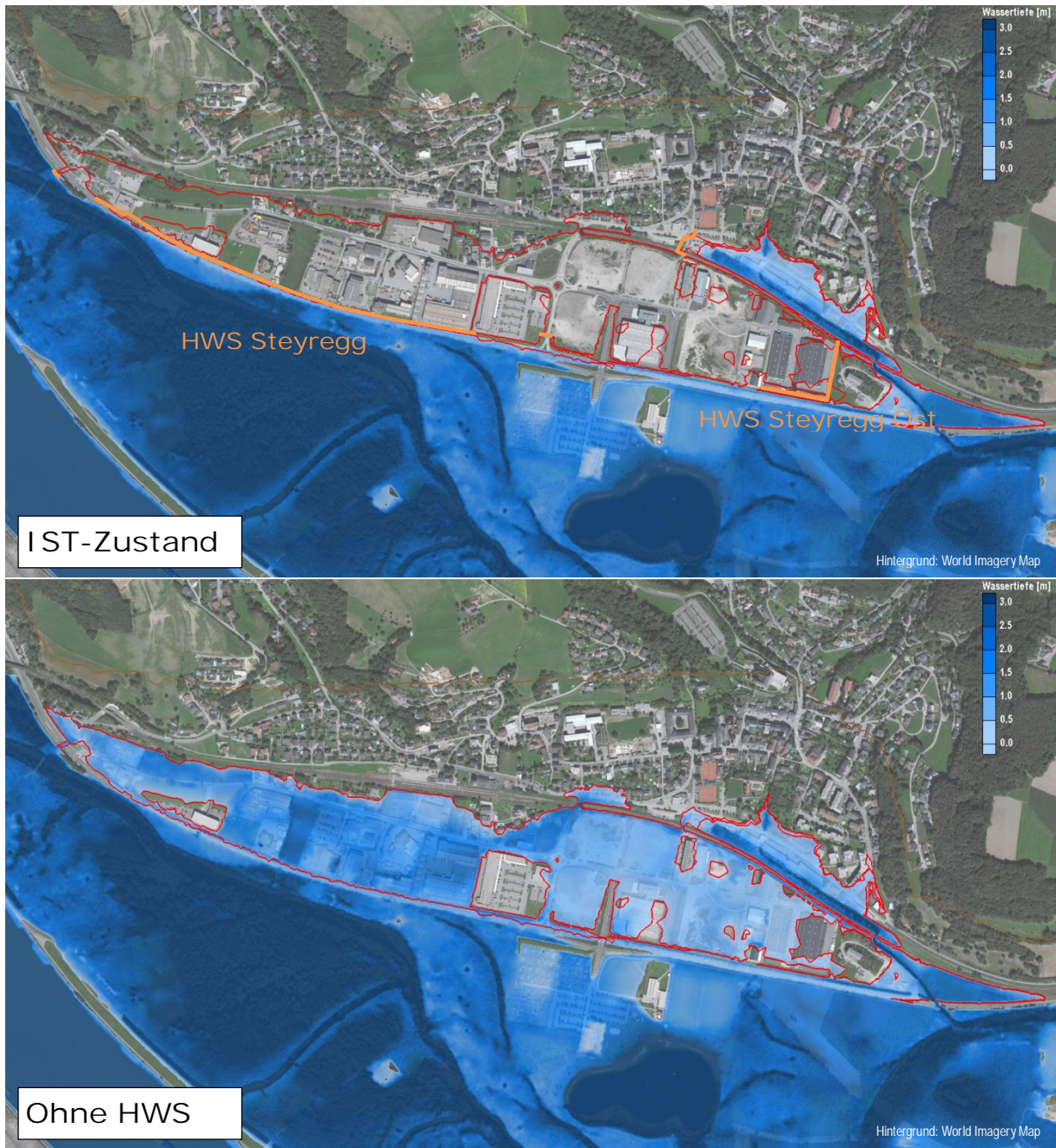
Eine Gegenüberstellung der Verhältnisse mit und ohne der o.a. Hochwasserschutzanlagen ist in den Abbildungen Abb. 4.46 und Abb. 4.47 gegeben. Bei Nichtvorhandensein dieser Anlagen, wären wesentliche Siedlungs- bzw. Gewerbebezonen in Linz als auch in Steyregg von Überflutungen betroffen.

Abb. 4.46 Gegenüberstellung der Wassertiefen für „HQ₁₀₀“ (oben) und „vormalige HQ₁₀₀-Abflussbereiche“ (unten) für den Bereich Alt-Urfahr West



Die Abbildung zeigt die durch die Hochwasserschutzanlage Alt-Urfahr West geschützten Bereiche bei einem HQ₁₀₀-Szenario. Die rot umrandeten Bereiche wären ohne den vorhandenen Hochwasserschutz von Überflutungen betroffen.

Abb. 4.47 Gegenüberstellung der Wassertiefen für „HQ₁₀₀“ (oben) und „vormalige HQ₁₀₀-Abflussbereiche“ (unten) für den Bereich Steyregg und Steyregg Ost



Die Abbildung zeigt die durch die Hochwasserschutzanlagen Steyregg und Steyregg Ost geschützten Bereiche bei einem HQ₁₀₀-Szenario. Die rot umrandeten Bereiche wären ohne den vorhandenen Hochwasserschutz von Überflutungen betroffen.

5 Berechnungen für das Obere Donautal (Modell M31-1)

Das Teilmodell M31-1 erstreckt sich von etwas flussauf des Pegels Achleiten nahe der Staatsgrenze zu Deutschland bis zum KW Aschach am Beginn des Eferdinger Beckens. Damit wird das gesamte Obere Donautal inklusive der Grenzgewässerstrecke Deutschland-Österreich abgedeckt. Weiters befinden sich im Teilmodell M31-1 die Stauräume der beiden Donaukraftwerke Jochenstein („BJO“) und Aschach („BAS“).

Aufgrund der geomorphologischen Verhältnisse (steiles Engtal) am unteren Modellrand, die eine seitliche Umströmung des Kraftwerkes verhindern, und dem großen Höhenunterschied zwischen Ober- und Unterwasserspiegel beim KW Aschach ergibt sich am Kraftwerk eine eindeutige hydraulische Schnittstelle. Daher ist an dieser Stelle keine Überlappungszone zum Unterliegermodell erforderlich und das Teilmodell endet unmittelbar im Unterwasser des KW Aschach.

Da es im Oberen Donautal keine für Donauhochwässer relevanten Zubringer gibt, wurden auch keine Zubringer im Modell ergänzt⁷¹.

5.1 Überblick

Mit dem Teilmodell M31-1 waren gegenüber den anderen beiden Teilmodellen wesentlich weniger umfangreiche Berechnungen durchzuführen und aufgrund der fehlenden Retentionsräume beschränkte sich die Kalibrierung im Wesentlichen nur auf den Flussschlauch selbst. Die Arbeiten lassen sich in die nachfolgenden Punkte gliedern:

(1) Grundsätzliche Anpassungen am Modell und Nachrechnung des HW2013

Die durchgeführten Anpassungen umfassen die Aufprägung aktueller Laserscan- und Stromgrunddaten. Mit dem aktualisierten Rechnetz wurde im Zuge einer Nachrechnung des HW2013 eine Re-Kalibrierung des Modells durchgeführt.

Hierbei sei hier nochmals festgehalten, dass im Rahmen des gegenständlichen Projektes - analog zu den beiden anderen Teilmodellen - a priori keine Kalibrierung des Modells vorgesehen war und das somit Kalibrierung und Nachrechnung des Ereignisses von 06/2013 *als ein Schritt zu sehen sind*.

Weiters diente die Nachrechnung des HW2013 in erster Linie für die Erstellung eines Animationsfilms, der den Ablauf der Flutungsvorgänge im Oberen Donautal visualisiert. Im Rahmen des Auftrags wurden für die gesamte öö. Donau solche Animationen erstellt.

(2) HQ_{EXTREM}

Die Berechnungen ermitteln das Überflutungsbild für ein Extremszenarium, welches auf Grund von hydrologischen Überlegungen definiert wurde.

Dieses Extremszenarium wurde für die gesamte öö. Donau ermittelt und konsistent festgelegt. Die Berechnungen für das Teilmodell M31-1 (Oberes Donautal) sind damit ein Teil der Gesamtberechnung für Oberösterreich und sind unter Pkt. 6 erläutert.

⁷¹ Im ursprünglichen Modell von riocom waren ebenfalls keine Zubringer in diesem Abschnitt berücksichtigt.

(3) Simulation unterschiedlicher Verlandungsszenarien im Stauraum Aschach
Die Berechnungen zeigen, wie sich unterschiedliche Verlandungsszenarien auf die Durchflussverhältnisse und Wasserstände im Stauraum des KW Aschach auswirken und ob es auch Einflüsse auf die Unterlieger im Eferdinger Becken gibt.

Die Szenarien für diese Untersuchung wurden seitens des Landes OÖ im Grundsatz definiert.

Die Untersuchungen sind gemeinsam mit den Verlandungsszenarien für den Stauraum Ottensheim-Wilhering unter Pkt. 7 angeführt.

5.2 Modellverbesserung, Kalibrierung und Nachrechnung HW2013

5.2.1 Datengrundlage für die Kalibrierung

Für die Kalibrierung des Oberen Donautals standen folgende Beobachtungs-Datengrundlagen zur Verfügung:

1. Durchflussganglinie am Pegel Engelhartzell von via donau (Stand: 03/2014)
2. Wasserstandsganglinien der via donau an folgenden Pegelstellen (unterteilt in die Stauräume):
 - BJO: Achleiten
 - BAS: Engelhartzell, Ronthal, Kager-Niederranna, Vornwald, Schlögen, Obermühl, Untermühl und Schmiedelsau
3. Maximale Wasserstände der Donau von via donau (linkes und rechtes Ufer)

5.2.2 Anpassungen am Modell

Nachdem in Phase I der Analysen die Festlegung der weiterzuverwendenden Modelle getroffen worden war (vgl. Pkt. 2.3.1), musste jener Modellbereich des Ausgangsmodells M31 von riocom, der nunmehr zu Teilmodell M31-1 deklariert wurde, entsprechend aufbereitet werden.

5.2.2.1 Festlegung der Randbedingungen: Zuflüsse, Kraftwerke und unterer Modellrand

Für Modell M31-1 („Oberes Donautal“) gilt sinngemäß das gleiche, wie für Modell M31-3 (vgl. Pkt. 4.2.2.1):

- § Es sind/waren keine spezifischen Anpassungen an den Modellrändern erforderlich.
- § Am oberen Modellrand wird der Zufluss durch einen Durchfluss an einer Pegelstelle, konkret durch den Pegel Achleiten⁷², definiert.
- § Den unteren Modellrand bildet ein Kraftwerk, nämlich das KW Aschach, wobei für die Berechnung von HQ_{EXTREM} ein ca. 200m langer Abschnitt des Unterwassers inkludiert wurde⁷³.
- § Im Modell M31-1 sind keine seitlichen Zubringer implementiert.

5.2.2.2 Aktualisierung der Höhenkoten und lokale Netzverbesserungen

5.2.2.2.1 Vorland und Gelände

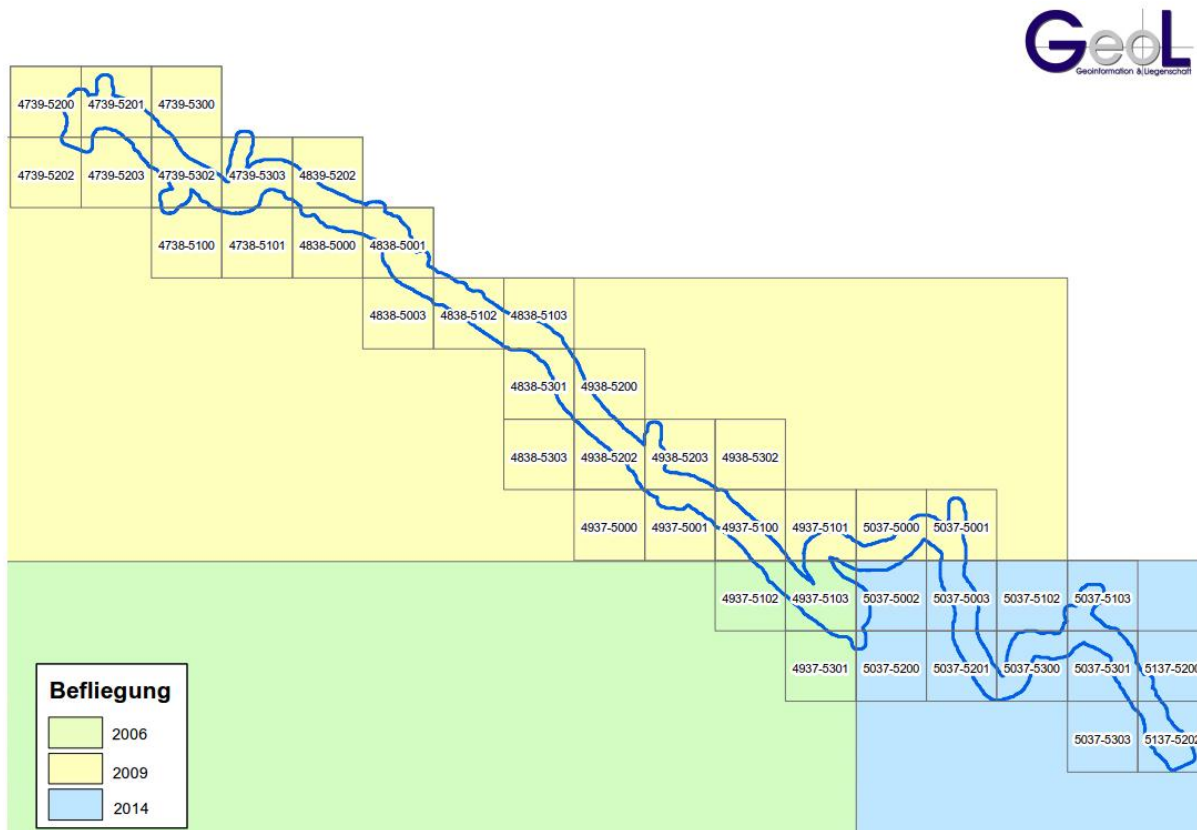
Analog zu den beiden anderen Teilmodellen erfolgte die Aktualisierung der Höhenkoten durch Aufprägung der aktuellsten (ALS) Laserscan-Daten (Abb. 5.1) auf das bestehende Berechnungsnetz. Eine Neuauswertung von Bruchkanten war damit nicht nötig, wobei die Unterschiede, welche sich zwischen den früheren und den aktuellen Höhenkoten ergeben, visuell überprüft wurden. Hinzu kommt, dass die zum Zeitpunkt der Bearbeitung verfügbaren zwischen 2006 und 2014 aufgenommenen ALS-Daten größtenteils ident sind mit den Daten, die bei der Modellerstellung von riocom verwendet wurden. Demzufolge waren außerhalb des Flussschlauchs Aktualisierungen nur in jenem relativ kleinen, südöstlich gelegenen Modellbereich überhaupt möglich, für den nunmehr Höhendaten aus der Befliegung von 2014 verfügbar waren.

An jenen Stellen, an denen neue Vorlanddaten aufgeprägt worden sind, wurde überprüft, ob sich mit den aufgeprägten Koten ein konsistentes Geländemodell ergibt. Sofern erforderlich, wurden an diesen Stellen lokale Verbesserungen des Rechnernetzes manuell durchgeführt.

⁷² Genau genommen beginnt das Modell ca. 500 m oberhalb des Pegels, sodass die Pegelstelle vollständig im Modell enthalten ist.

⁷³ Am Ende dieses UW-Abschnittes wurde als Abschluss ein Energieliniengefälle von 1‰ angesetzt. Durch diese Vorgehensweise ist sichergestellt, dass bei selbst so extremen Durchflüssen, bei welchen das KW Aschach über- oder umströmt würde, die Abflussvorgänge im Modell zumindest aus formaler Sicht korrekt abgebildet würden. Aus inhaltlicher Sicht wäre naturgemäß offen, welche Umlagerungen und/oder topografische Änderungen es bei derart extremen Verhältnissen geben würde.

Abb. 5.1 Aufnahmezeitpunkte von ALS-Daten für die Modellaktualisierung (Quelle: Land OÖ, Abt. GEOL)



5.2.2.2.2 Gewässersohlen

Für die Sohle der Donau wurden in Absprache mit dem Land OÖ die jeweils aktuellsten Stromgrunddaten übernommen. Folgende Datensätze, die allesamt den Zustand nach dem Ereignis von 06/2013 repräsentieren, wurden dabei zugrundegelegt:

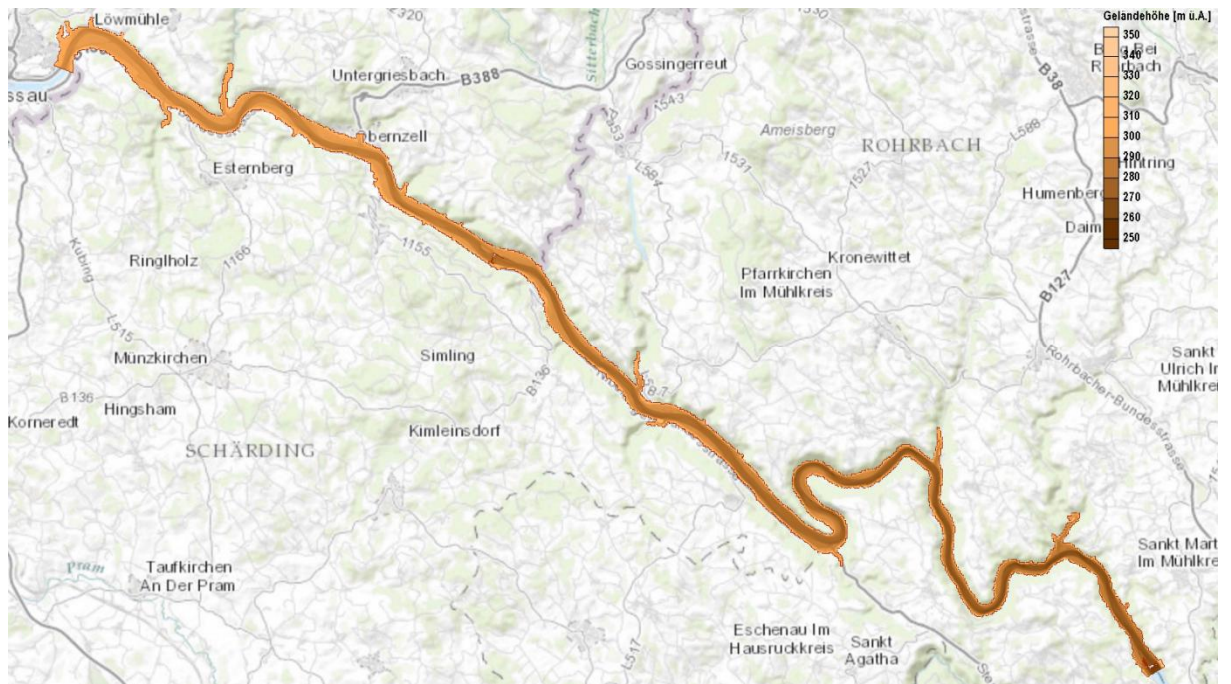
- Stauraum KW Jochenstein: via donau (Stand 01/2014)
- Stauraum KW Aschach: via donau (Stand 10/2013)

In jenen Sohlbereichen, in denen keine neuen Daten bereitgestellt wurden (z.B. Nebenarm bei Achleiten, Nahbereich der Kraftwerke, etc.), wurden entweder die ursprünglichen Sohlhöhen beibehalten oder sinnvolle Annahmen getroffen.

5.2.2.2.3 Veränderungen von Sohl- und Geländehöhen

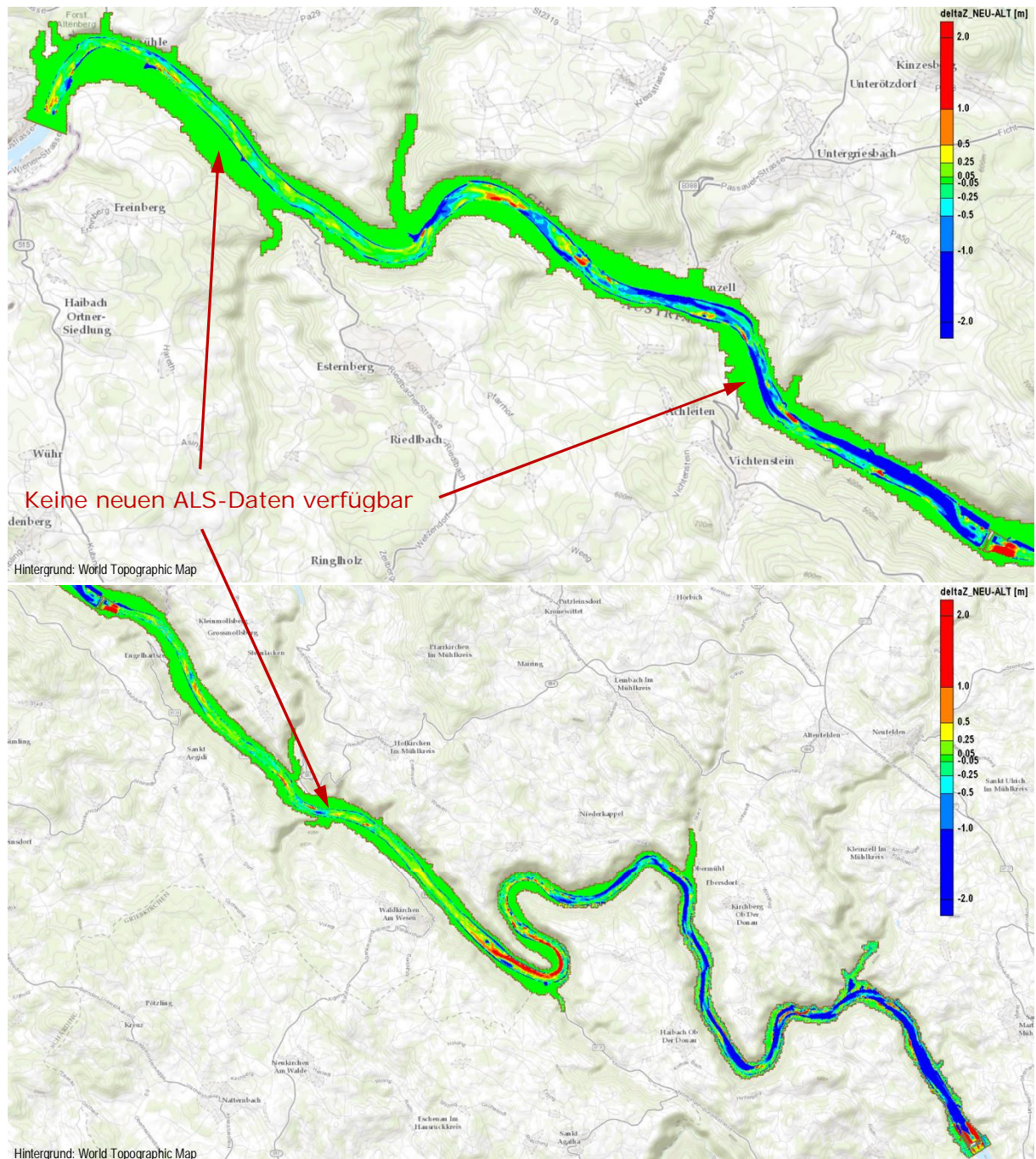
Die Geländehöhen im fertigen 2D-Modell nach Abschluss sämtlicher Aktualisierungs- und Verbesserungsarbeiten sind in Abb. 5.2 dargestellt. Um einen Überblick zu geben, wie stark sich durch die Aktualisierung die Geometriedaten verändert haben, wurde ein Differenzenplot erstellt (Abb. 5.3). Dieser gibt den Höhenunterschied zwischen aktualisiertem Modell und dem ursprünglichem Modell aus Phase I („neu minus alt“) wieder, wobei positive Werte bedeuten, dass nunmehr höhere Z-Werte vorliegen und vice versa.

Abb. 5.2 Geländehöhen von Teilmodell M31-1 nach der Überarbeitung



Hinweis: Diese Abbildung findet sich nochmals in vergrößerter Form in Anhang A.1.

Abb. 5.3 Differenzenplot Teilmodell M31-1 (oben BJO, unten BAS)



Die Bereiche, an denen keine neueren ALS-Daten zur Verfügung standen, als jene, die ohnehin für das Ausgangsmodell verwendet wurden und die demzufolge keine Änderungen aufweisen, sind in der Abbildung durch gleichmäßig grüne Flächen gekennzeichnet.

Die Änderungen der Sohle im Stauraum Jochenstein betreffen v.a. die „untere Hälfte“, wo es größtenteils zu deutlichen Eintiefungen gegenüber der Ausgangssohle gekommen ist, mit lokalen Maxima von bis zu rd. 6 m.

Die Sohle im Stauraum Aschach ist von 3 Abschnitten geprägt: Oberhalb der Schlögener Schlingen gibt es nur verhältnismäßig geringfügige Änderungen, der Bereich der Schlögener Schlingen selbst ist von massiven Auflandungen (bis zu rd. 4 m) v.a. an den Innenufern geprägt, während das letzte Teilstück bis zum Kraftwerk durch großflächige Eintiefungen (stellenweise bis zu rd. 4 m) gekennzeichnet ist.

5.2.2.3 Kalibrierung – Änderung der Reibungsbeiwerte

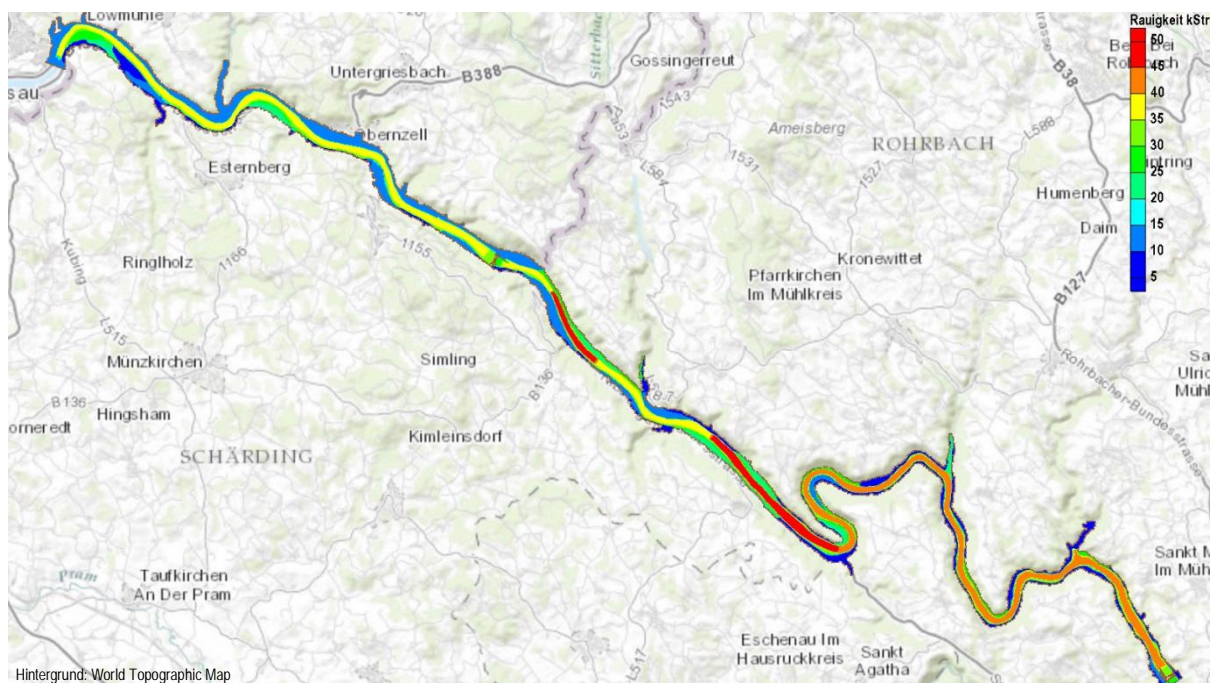
Wie unter Pkt. 5.1 beschrieben wurde, erfolgte die Überarbeitung der Kalibrierung derart, dass mit dem Modell die Verhältnisse vom Hochwasser 06/2013 bestmöglich nachgebildet wurden. Aufgrund fehlender Beobachtungsdaten in den Vorländern, bzw. v.a. auch weil durch die topographischen Verhältnisse des Oberen Donautals (Engtalstrecke) keine relevanten Retentionsräume vorhanden sind, lag der Fokus bei der Kalibrierung auf dem Flussschlauch⁷⁴. Dies ist beim Teilmodell M31-3 insofern ausreichend, weil die Wasserspiegel in der Donau auch die Wasserspiegel an den relativ schmalen Vorländern bestimmen.

Ebenso gilt wie schon bei den anderen Teilmodellen, dass es der explizite Wunsch des Auftraggebers war, das Modell ausschließlich am aktuellsten Ereignis zu kalibrieren. Die oft übliche Durchführung einer Validierung an einem zweiten unabhängigen, d.h. für die Kalibrierung nicht verwendeten Datensatz, war also nicht vorgesehen.

Gleichfalls wie bei den beiden anderen Teilmodellen wurde im Rahmen der Kalibrierung auch die Sensitivität der Spiegellagen auf Änderungen der Reibungsbeiwerte betrachtet, indem die Sensitivität anhand der Reaktion des Modells auf jeweils durchgeführte Änderungen beobachtet wurde. Zu jedem Kalibrierungsschritt wurden die neu ergebenden Differenzen zwischen berechneten und beobachteten Wasserständen an den zur Verfügung stehenden Messpunkten analysiert und daraus die notwendige Anpassung der Rauigkeitswerte abgeschätzt.

Die Reibungsbeiwerte, wie sie sich nach dem letzten Kalibrierungsschritt ergaben, sind in Abb. 5.4 überblicksmäßig dargestellt.

Abb. 5.4 Übersicht der Rauigkeitsbeiwerte nach Strickler für M31-1



Hinweis: Diese Abbildung findet sich nochmals in vergrößerter Form in Anhang A.2.

⁷⁴ Demzufolge wurden beim Teilmodell M31-1 die vorhandenen Materialzonen (d.h. die Bereiche gleicher Rauigkeit) wesentlich feiner unterteilt, als dies im Basismodell der Fall war, um somit eine bessere Übereinstimmung mit den Beobachtungsdaten zu ermöglichen.

5.2.3 Ergebnisse der Nachrechnung des HW2013

Auch für das Teilmodell M31-1 gilt, dass die Ergebnisse der Nachrechnung zum einen für die Darlegung der Modellkalibrierung dienen (Güte der Übereinstimmung von Beobachtungsdaten und Rechenwerten) und zum anderen für Informationen über die zeitlichen und räumlichen Vorgänge beim Hochwasserereignis von 06/2013 von Bedeutung sind.

Die Darstellung der Ergebnisse der Nachrechnung gliedert sich daher nach diesen beiden Gesichtspunkten: In den Punkten 5.2.3.1 und 5.2.3.2 werden die Rechenergebnisse den Beobachtungswerten gegenübergestellt.

Die Ergebnisse der Nachbildung selbst, d.h. Anschlaglinien, Überflutungstiefen und Fließgeschwindigkeiten wurden auftragsgemäß nicht in Form von gedruckten Karten aufbereitet, sondern dem Amt der Oö. Landregierung digital als Shape-Files . Diese Übergabe erfolgte im Februar 2015⁷⁵.

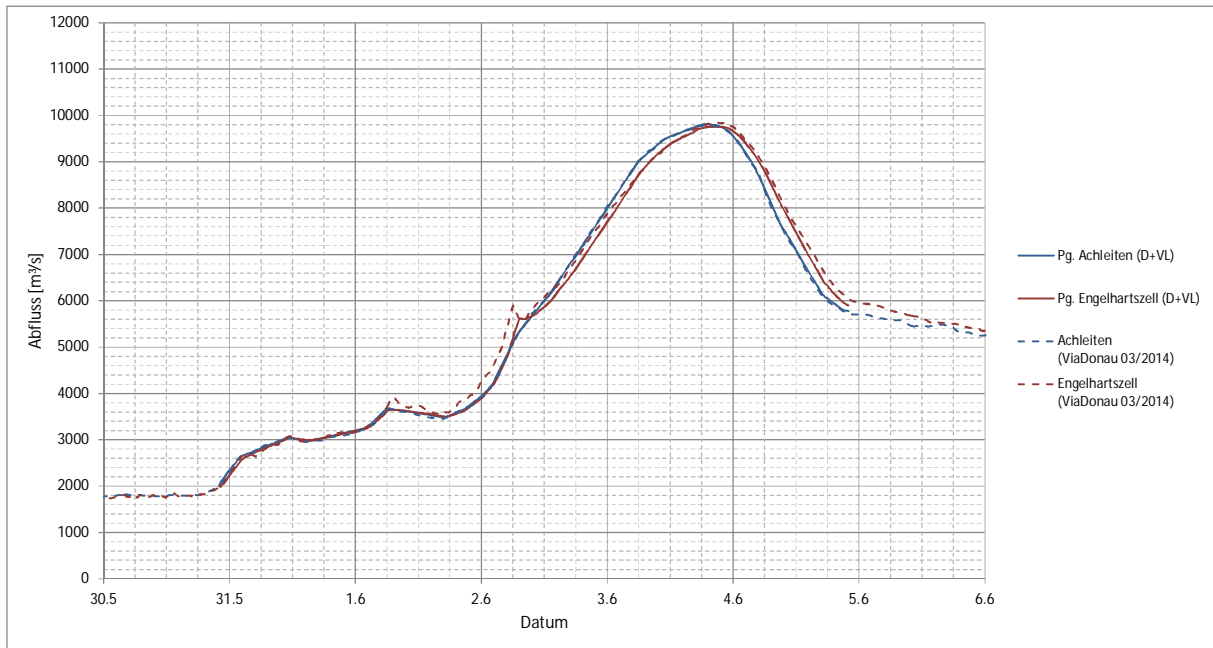
5.2.3.1 Zeitreihen

Grundsätzlich stehen in den nachfolgenden vergleichenden Darstellungen durchgezogene Linien für Simulationsergebnisse und strichlierte Linien für Beobachtungswerte.

Bei der Auswertung der Zeitreihen der Durchflüsse und Wasserstände zeigt sich großteils eine sehr gute Übereinstimmung zwischen berechneten und beobachteten Werten. Bei den vereinzelt Messpunkten oder Bereichen mit größeren Abweichungen sind die jeweiligen Darstellungen (Abb. 5.5 und Abb. 5.6) mit entsprechenden Erläuterungen ergänzt.

⁷⁵ Gem. Beauftragung wurden Shape-Files der Überflutungsflächen ausgearbeitet. Die Übergabe erfolgte am 20.02.2015.

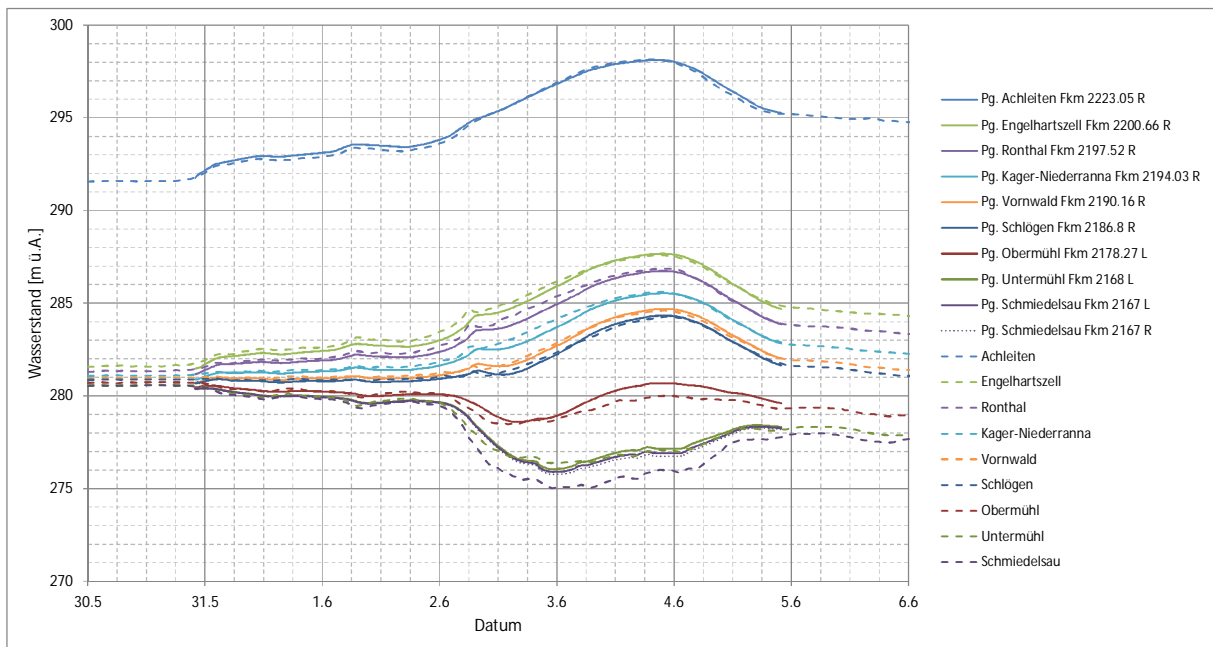
Abb. 5.5 Abflussganglinien an den Pegelstellen der Donau mit Abflussangaben



Die Abbildung zeigt die Durchflussganglinien an den Stellen, wo Beobachtungsdaten zur Verfügung standen. Der Zufluss am oberen Modellrand (blaue Linie) wurde von den Beobachtungsdaten des Pegels Achleiten abgeleitet und deckt sich dadurch praktisch vollständig mit diesem (abgesehen von kleineren Abweichungen, bedingt durch die erforderliche Glättung der Eingangsdaten).

Am Pegel Engelhartzell werden offensichtlich kleinere Abflussspitzen (01.06. ca. 7:00 Uhr bzw. 02.06. ca. 6:00 Uhr) nicht so gut wiedergegeben. Der Hochwasserscheitel und die Wellenbreite werden vom Modell tendenziell etwas unterschätzt, aber dennoch insgesamt zufriedenstellend gut getroffen.

Abb. 5.6 Wasserstandganglinien an Pegelstellen mit Beobachtungsdaten



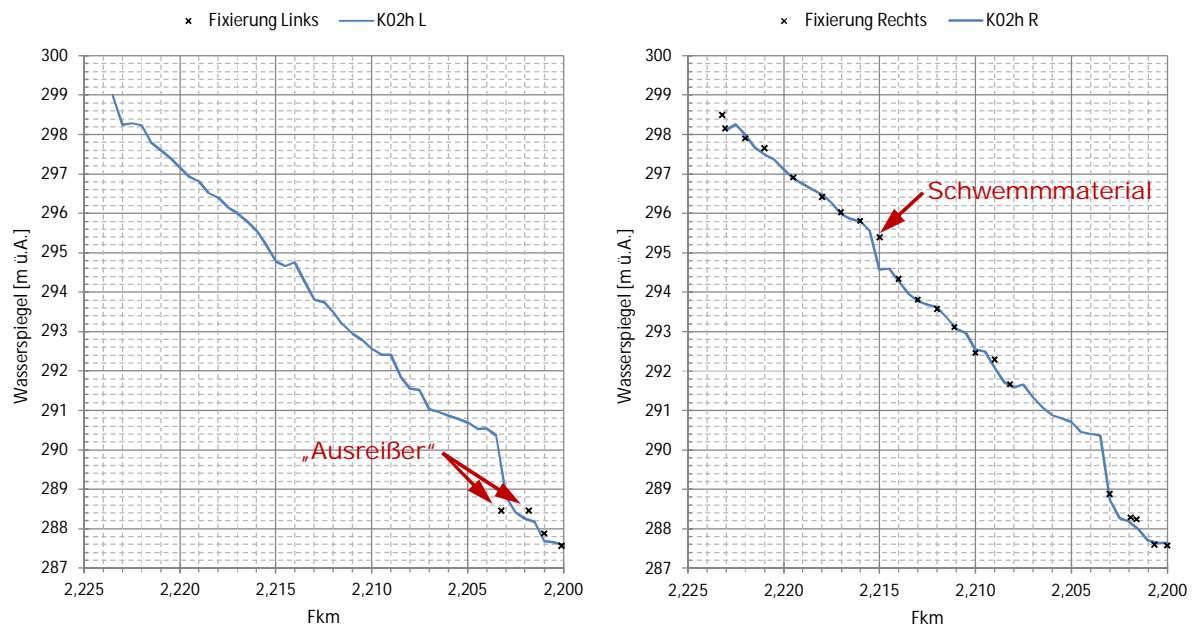
Die dargestellten Wasserstandganglinien zeigen größtenteils eine sehr gute Übereinstimmung mit den Beobachtungsdaten. Die etwas größeren Abweichungen zwischen 01.06. und 03.06. sind unter Berücksichtigung der tendenziell etwas zu geringen Abflüsse während dieses Zeitraums plausibel.

Größere Abweichungen auch während des Hochwasserscheitels gibt es beim Pegel Obermühl und mehr noch beim Pegel Schmiedelsau. Da diese beiden Pegelstellen aber bereits in dem Bereich knapp oberhalb des Kraftwerks Aschach liegen, der im Hochwasserfall aufgrund der Oberwasserabsenkung niedrigere Wasserspiegel als im gestauten Zustand aufweist, haben diese Abweichungen keinen (signifikanten) Einfluss auf die maximalen Spiegellagen.

5.2.3.2 Längenschnitte für Messpunkte an den Ufern der Donau

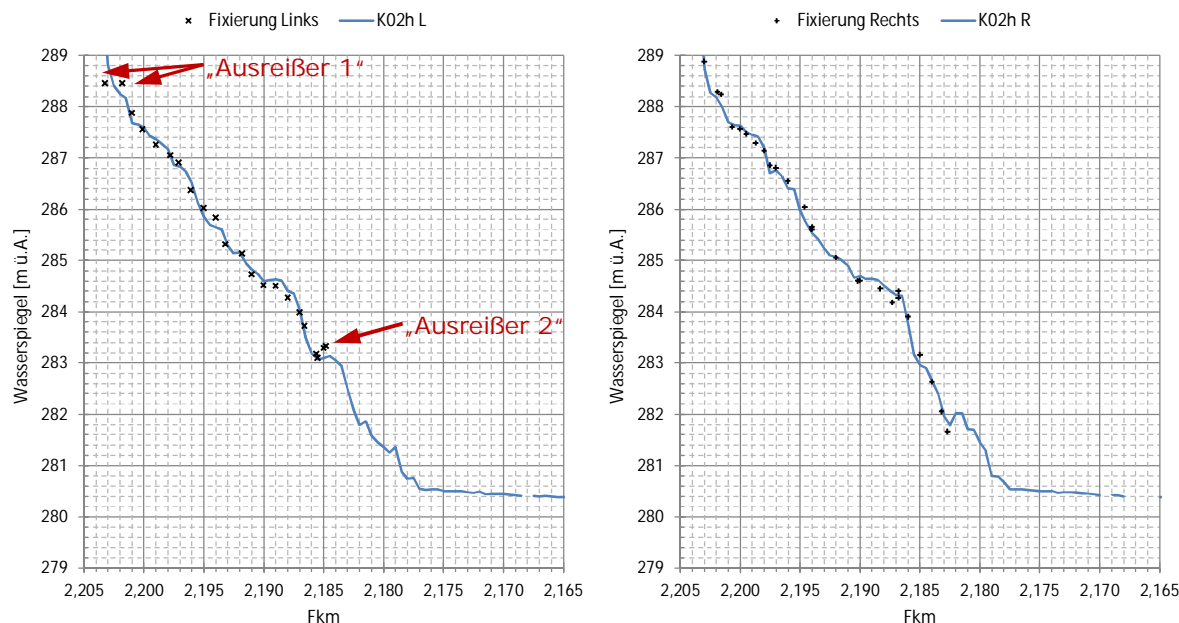
Die Auswertung der Längenschnitte für die maximalen Wasserspiegellagen entlang der beiden Donauufer zeigt praktisch durchgängig eine besonders gute Übereinstimmung zu den Aufnahmen der via donau. Allerdings standen auf deutschem Staatsgebiet, also linksufrig im Stauraum Jochenstein keine Beobachtungsdaten zur Verfügung. Bei den vereinzelt Messpunkten mit größeren Abweichungen zu den Berechnungsergebnissen liegen plausible Erklärungen vor, die bei den jeweiligen Darstellungen erläutert werden.

Abb. 5.7 Längenschnitte der maximalen Wasserstände für linkes und rechtes Donauufer im Stauraum Jochenstein (BJO)



Bei den beiden im Unterwasser des KW Jochenstein liegenden und als Ausreißer bezeichneten Messpunkten ist offensichtlich einer zu seinem Nachbarpunkt inkonsistent, was darauf hindeutet, dass der dortige Wasserstand vermutlich durch sehr lokale Strömungseffekte bedingt wurde. Da keine genaueren Ursachen eruiert werden konnten, wurde in der Kalibrierung versucht einen „mittleren“ Wasserspiegel nachzubilden, der beide Messpunkte so gut als möglich berücksichtigt.

Abb. 5.8 Längenschnitte der maximalen Wasserstände für linkes und rechtes Donauufer im Stauraum Aschach (BAS)



Bei den beiden als Ausreißer 1 bezeichneten Messpunkten handelt es sich um die bereits beschriebenen Stellen (siehe Erläuterungstext von Abb. 5.8.)

Die anderen beiden als Ausreißer 2 bezeichneten Messpunkte sind ebenfalls zu ihren Nachbarpunkten inkonsistent und es gilt die gleiche Vermutung, dass der dortige hohe Wasserstand durch sehr lokale Strömungseffekte bedingt wurde, die in der Modellierung nicht nachgebildet werden konnten.

5.2.4 Weitere Erkenntnisse aus der Nachrechnung des HW2013

Wie für die anderen Teilmodelle wurden auch für das Obere Donautal die Flutungsvorgänge mit Hilfe von Animationsfilmen visualisiert. Diese liefern zusätzliche räumlich-zeitliche Erkenntnisse zum Ablauf des Hochwassers von 06/2013. Die Animationsfilme wurden dem Auftraggeber gesondert übergeben⁷⁶.

⁷⁶ Die Übergabe an das Land OÖ erfolgte am 20.02.2015.

6 Berechnungen für HQ_{EXTREM} für die öö. Donau

6.1 Vorbemerkungen und Ausgangssituation

Die Berechnungen für „ HQ_{EXTREM} “ sollen dem Auftraggeber einen groben Überblick geben, über die denkbaren Verhältnisse bei Hochwässern, welche das Hochwasser von 06/2013 noch einmal deutlich übertreffen.

Die inhaltlichen Vorgaben zur Berechnung für HQ_{EXTREM} beschränken sich dabei auf folgende Festlegungen im Schlussbrief zum gegenständlichen Auftrag⁷⁷:

„Mit dem optimierten Modell ist ... auch ein Extremszenario für die oberösterreichische Donau zu betrachten und darzustellen. Es soll ein möglichst hoher HQ - Wert der noch vernünftige Ergebnisse liefert einem Berechnungslauf zugrunde gelegt werden. Wichtig ist für dieses Extremszenario eine kurze Darlegung von Einflussfaktoren die zur Entstehung eines derartigen Hochwasserereignisses führen können, bestmöglich unter Bezugnahme auf das Ereignis 2013“.

6.2 Hydrologische Festlegungen

Während in den ersten Überlegungen von PÖRY angedacht war, das Extrem-Szenarium auf Basis von hydrologischen Szenarien für Extrem-Niederschläge zu entwickeln, ergab sich durch ein im Juli 2014 von Amt der NÖ Landesregierung beauftragtes Projekt ein neuer Ansatz:

Bei dem Projekt „Überlegungen zu Extremst-Hochwässern an der Donau“ ist das Ziel, die Verhältnisse an der nö. Donau abzuschätzen, die sich bei einem Hochwasser ergeben, das zu einem Durchfluss von 14.000 m³/s in Wien führt (vgl. Pkt. 2.5.3).

Ausgehend von den Zwischenergebnissen, die bis ca. März 2015 zu diesem Projekt vorlagen, wurde in Anlehnung an die für NÖ verwendete Methode eine Ganglinie erstellt, die zu jenen Durchflüssen führt, welche ihrerseits zu den o.a. Durchflüssen von 14.000 m³/s in Wien führen.

Der Vorteil dieser Vorgehensweise ist, dass es – im Gegensatz zu einem neuen Ansatz über hydrologische Extrem-Szenarien – damit für die gesamte österreichische Donau eine vergleichbare und übergreifende Herangehensweise gibt.

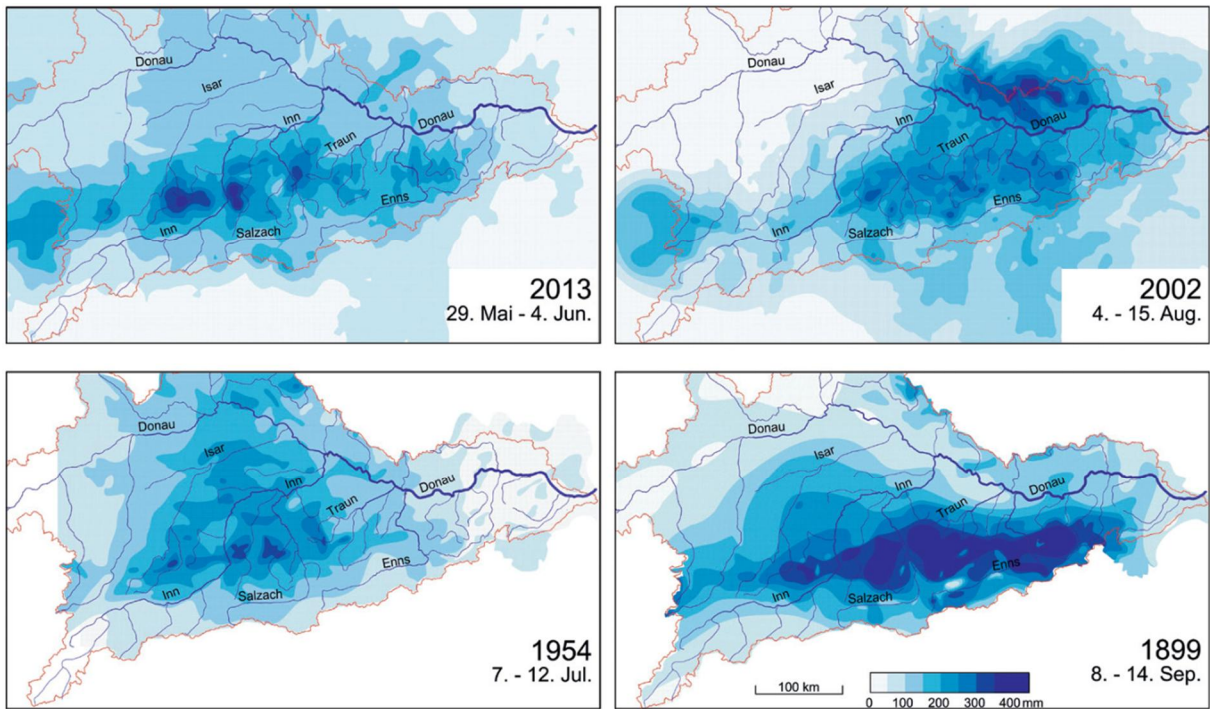
⁷⁷ Die Vorgaben beschränken sich deshalb auf die Festlegungen im Schlussbrief, weil Berechnungen zu HQ_{EXTREM} im Angebot von PÖRY vom 15.07.2013 nicht vorgesehen waren.

Festgehalten seien folgende Punkte:

- § Die für OÖ zu treffenden Festlegungen bauen auf Zwischenergebnissen aus dem Projekt für NÖ auf. Entsprechend können sich zwischen den jetzt für OÖ getroffenen Festlegungen und den endgültigen Ergebnissen für das Projekt aus NÖ Unterschiede ergeben.
- § Die Vorgehensweise hat den Fokus auf dem Extrem-Durchfluss von 14.000 m³/s in Wien. Die Vorgehensweise nimmt keinen Bezug auf die hydrologisch-meteorologischen Voraussetzungen, welche gegeben sein müssen, dass so extreme Durchflüsse entstehen.
- § Das angesetzte Extrem-Szenarium ist grundsätzlich ein „quasi willkürlich festgelegtes“ Szenarium, das – wie oben beschrieben – nicht aus hydrologischen Berechnungen abgeleitet ist.
Umgekehrt zeigen die im Rahmen des Projektes „Überlegungen zu Extremst-Hochwässern an der Donau“ durchgeführten Sensitivitätsanalysen, dass eine Erhöhung der 06/2013 gefallenen Niederschläge um ca. 50% an der Traun eine Erhöhung der Durchflüsse um ca. 60% und an der Enns von ca. ca. 65% (!) ergeben hätte. Das angesetzte Szenarium würde daher entstehen, wenn die Vorbefeuchtung ähnlich extrem hoch ist, wie im Frühjahr 2013 und wenn die Niederschläge in den relevanten Einzugsgebieten der Donau (d.h. primär Salzach, Inn, bayerische Donau) um ca. 40% höher wären, als sie 06/2013 gewesen sind. Betrachtet man die Gegenüberstellung der Niederschläge der größten vier Hochwässer der letzten 100 Jahre, sieht man, dass eine Erhöhung um ca. 40% ein durchaus denkbares meteorologisch-hydrologisches Szenarium darstellen (vgl. Abb. 6.1)
- § Mit der für den Pegel Achleiten definierten Durchflussganglinie, welche den Ausgangspunkt für die Berechnungen darstellt, ergibt sich in Linz ein Durchfluss von ca. 12.200 m³/s, was im Bereich von HQ₅₀₀₀ bis HQ₁₀₀₀₀ oder noch höher liegt⁷⁸.
Die Formulierung „HQ₅₀₀₀ bis HQ₁₀₀₀₀ oder noch höher“ wurde gewählt, weil es zum einen keine offiziellen Jährlichkeiten für derart extreme Durchflüsse in Linz gibt und weil zum anderen die statistischen Verfahren unter Berücksichtigung des Konfidenzintervalls eine große Bandbreite für die Jährlichkeiten liefern (vgl. Abb. 6.3). In diesem Sinne wurden die Angaben auch bewusst für Linz gemacht, weil es für den Pegel Achleiten, der ja den Ausgangspunkt für die Berechnungen darstellt, noch weniger Informationen gibt, welche eine Einordnung der Annahmen erlauben (vgl. Tab. 6.1).
- § Aufgrund der gewählten Methode zur Festlegung der Durchflussganglinie ergibt sich eine Fracht, die ca. um einen Faktor 4 über der Fracht vom HW2013 und ca. um einen Faktor 2.5 über der Fracht vom HW1954 liegt (vgl. Abb. 6.2).

⁷⁸ Der Wert 12.200m³/s ist bereits ein Ergebnis der Berechnungen. Er wurde - den weiteren Ausführungen vorgreifend - angeführt, um dem Leser ein Einordnen der gewählten Annahmen zu ermöglichen.

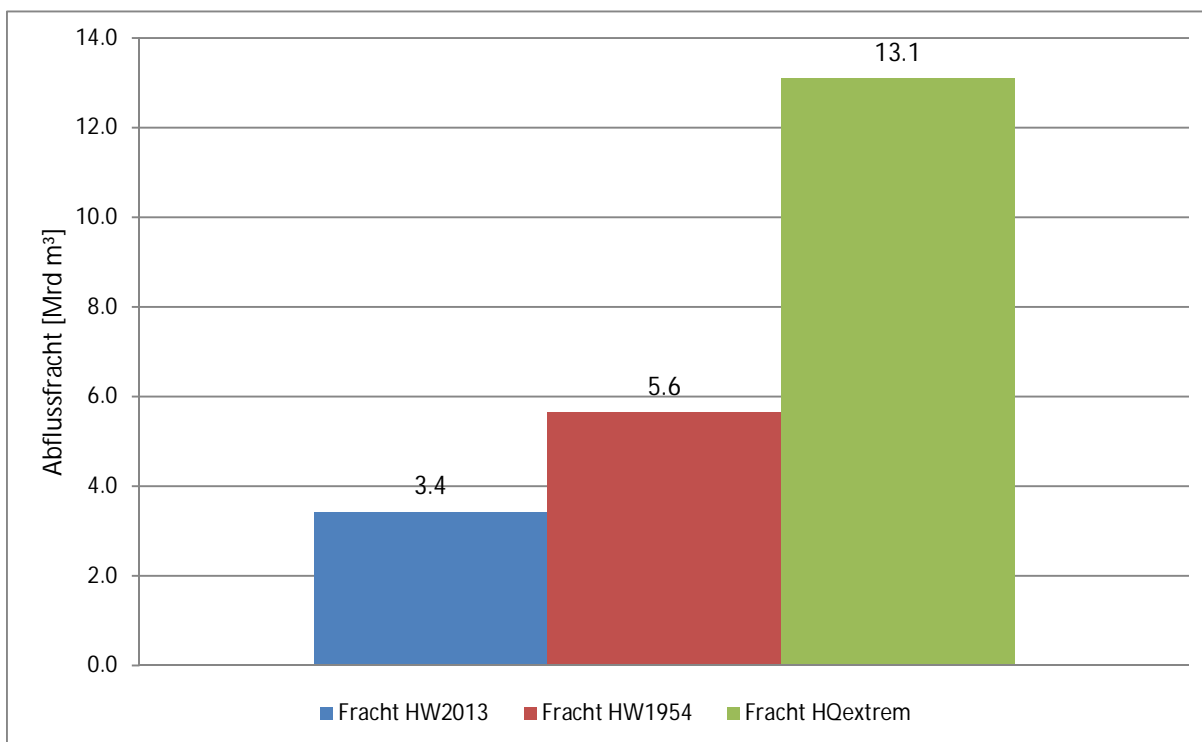
Abb. 6.1 Niederschläge 06/2013 im Vergleich mit den Ereignissen von 02/2002, 07/1954 und 09/1899



Quelle: Blöschl et al. (2013): Das Juni-Hochwasser 2013 – Analyse und Konsequenzen für das Hochwasserrisikomanagement.

Eine detaillierte Beschreibung der konkret angesetzten Durchflussganglinien sowie zur Entwicklung dieser Ganglinien für Donau (Pg. Achleiten), Traun und Enns findet sich unter Pkt. 2.5.3.

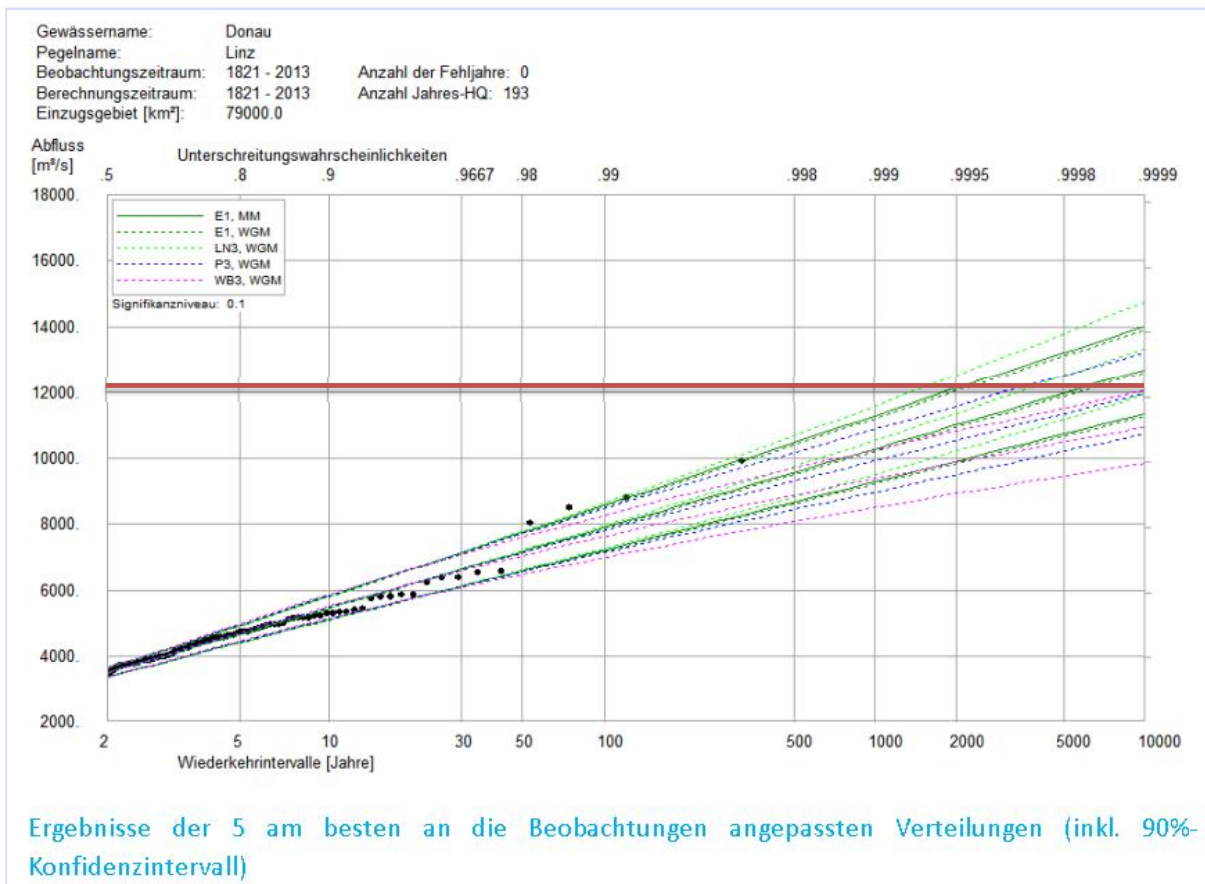
Abb. 6.2 Vergleich der Abflussfrachten ($Q > 4000 \text{ m}^3/\text{s}$) für verschiedene Hochwasserereignisse und HQ_{EXTREM} am Beginn der öö. Donau (Auswertung für die Zuflussdaten, d.h. für den Pg. Achleiten)



Tab. 6.1 Bemessungsabflüsse Donauegel und Abflussscheitel beim HW2013 (Werte in m^3/s)

Pegelstelle	HQ ₁₀₀	HQ ₃₀₀	HQ ₁₀₀₀	HW2013
Achleiten	8800	10000	11500	9800
Linz	8530	9100	10000	9400
Grein	11050	11600		11000
Kienstock	11300	11750	13100	11450

Abb. 6.3 Abschätzende Pegelstatistik für den Pegel Linz



Interne, provisorische Auswertung von PÖRY Energy GmbH. Die Abschätzung basiert auf der fast 200-jährigen Zeitreihe für den Pegel Linz (Zeitreihe 1821 bis 2013). Die Darstellung zeigt die Anpassung der fünf am besten passenden Extremwertverteilungen samt dazugehörigen Konfidenzintervallen. Als roter horizontaler Strich ist der Durchfluss für Linz eingezeichnet, der sich aus den Simulationen für HQ_{EXTREM} ergibt.

6.3 Modelltechnische Anpassungen

Für die Berechnung von HQ_{EXTREM} waren aus zwei Gründen keine spezifischen Anpassungen oder Erweiterungen am Modell nötig:

- § Die grundsätzliche Verwendbarkeit des Modells auch für extremste Durchflüsse wurde durch die unter Pkt. 2.5.5.2 beschriebene Anpassungen der W/Q-Beziehungen und der Vorgaben für die Kraftwerke („Implementierung WBO“) sichergestellt, wobei bei diesen Anpassungen die Verwendbarkeit für extremste Durchflüsse bereits als Ziel mitberücksichtigt wurde.
- § Eine räumliche Erweiterung des Modells, d.h. auf Bereiche, die im Modell nicht enthalten sind, die bei HQ_{EXTREM} aber betroffen sind, war aufgrund der Vorgespräche zu dem im Schlussbrief formulierten Punkt a priori nicht vorgesehen.

6.4 Berechnungen und Ergebnisse

Die Berechnung für HQ_{EXTREM} wurde abschnittsweise mit den Modellen M31-1, M31-2 und M31-3 durchgeführt. Dabei wurde jeweils das Ergebnis eines Modells als Input für das nachfolgende Modell angesetzt. Der Durchfluss in Achleiten wurde am oberen Rand von Teilmodell M31-1 angesetzt, die Durchflüsse in Traun und Enns wurden in Teilmodell M31-3 angesetzt.

Die Ergebnisse der Berechnungen werden in folgenden Darstellungen zusammengefasst:

- § Abb. 6.4 und Abb. 6.5 zeigen die Durchflüsse am unteren Modellrand, wie sie jeweils als Input für das nächste Teilmodell verwendet wurden. Die Abbildungen zeigen daher die Ganglinien für das KW Aschach (unterer Rand von M31-1 und zugleich oberer Rand von M31-2) und für den Bereich Wilhering (oberer Rand von M31-3).
- § Abb. 6.6 zeigt die Durchflussganglinien für sieben ausgewählte Pegel an der Donau.
- § Abb. 6.7 zeigt die Durchflüsse an allen Kraftwerken an der öö. Donau, wobei die Durchflüsse die errechneten Kraftwerksdurchflüsse sind und nicht die Durchflüsse im gesamten Querschnitt⁷⁹.
- § Abb. 6.8 bis Abb. 6.10 zeigen die Abflüsse und Wasserstände an allen Überströmstrecken an der öö. Donau.
- § In den Abbildungen Abb. 6.11 bis Abb. 6.13 sind exemplarisch die sich für HQ_{EXTREM} ergebenden Überflutungsflächen an ausgewählten Bereichen dargestellt. Die vollständigen Abbildungen für die gesamte öö. Donau finden sich in vergrößerter Darstellung im Anhang D.
Bei der Darstellung der Überflutungsflächen wurden je Ausschnitt drei Abbildungen erstellt, welche jeweils unterschiedliche Aspekte betonen: In einer Abbildung werden neben den Überflutungsflächen für HQ_{EXTREM} auch die Anschlaglinien vom Ereignis 06/2013 und die sich für HQ_{EXTREM} ergebenden Wassertiefen dargestellt (vgl. Abb. 6.11). In der zweiten Abbildung werden die Differenzen in den Wasserständen im Vergleich zum HW2013 dargestellt, wobei die bei HQ_{EXTREM} zusätzlich überfluteten Bereiche besonders herausgehoben sind (vgl. Abb. 6.12). In der dritten Abbildung werden noch einmal die in der zweiten Abbildung dargestellten Differenzen dargestellt (d.h. HQ_{EXTREM} versus HW2013), wobei die farbliche Differenzierung so gewählt ist, dass die Unterschiede auch quantitativ gut interpretierbar sind (vgl. Abb. 6.13).
- § Eine Übersicht über die Differenzen zwischen den Wasserständen bei HQ_{EXTREM} im Vergleich zu jenen vom HW2013 ist in Tab. 6.2 gegeben.

⁷⁹ Die Durchflüsse am KW Ottensheim sind daher deutlich geringer als die Durchflüsse am KW Aschach, da in Aschach der gesamte Durchfluss durch das Kraftwerk fließt, während im Eferdinger Becken nennenswerte Durchflussmengen über das Vorland und damit nicht durch das KW Ottensheim fließen.

Abb. 6.4 Mit Teilmodell M31-1 berechnete HQ_{EXTREM} -Abflussganglinie beim KW Aschach und zugleich oberer Zufluss für Teilmodell M31-2

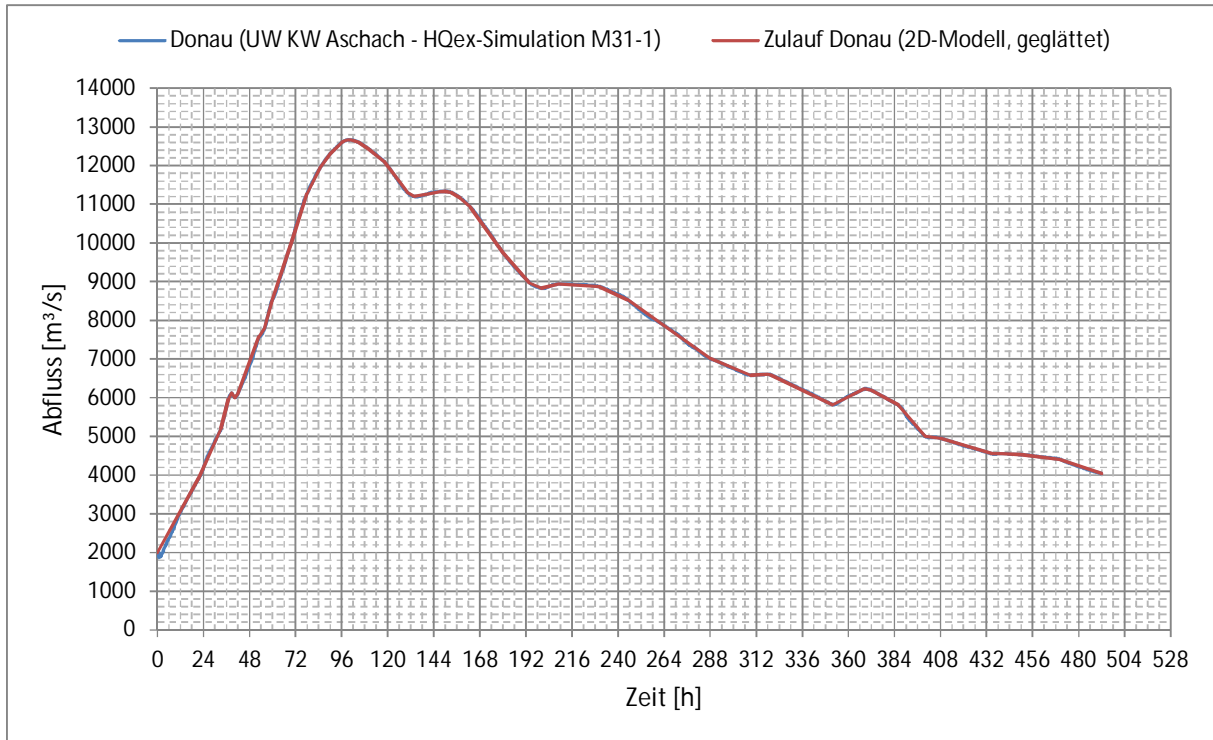


Abb. 6.5 Mit Teilmodell M31-2 berechnete HQ_{EXTREM} -Abflussganglinie beim Pegel Wilhering und zugleich oberer Zufluss für Teilmodell M31-3

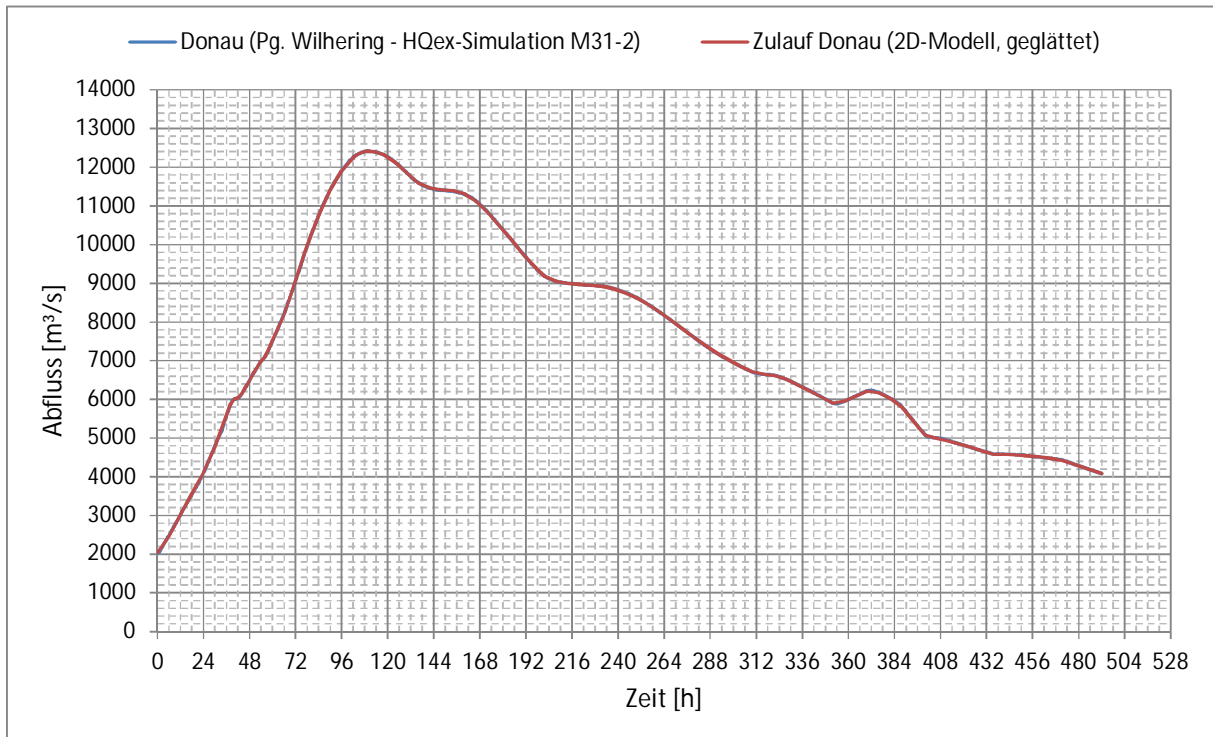


Abb. 6.6 Abflussganglinien bei HQ_{EXTREM} an ausgewählten Pegeln der öö. Donau

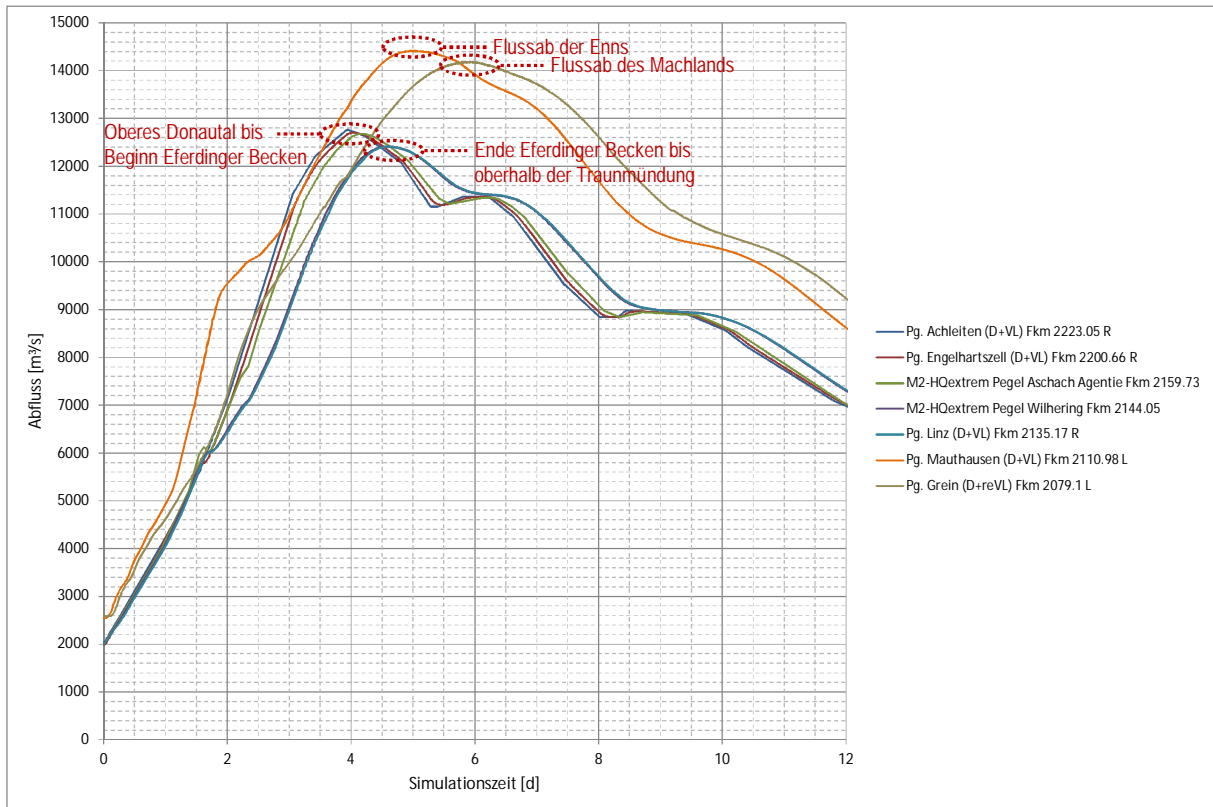
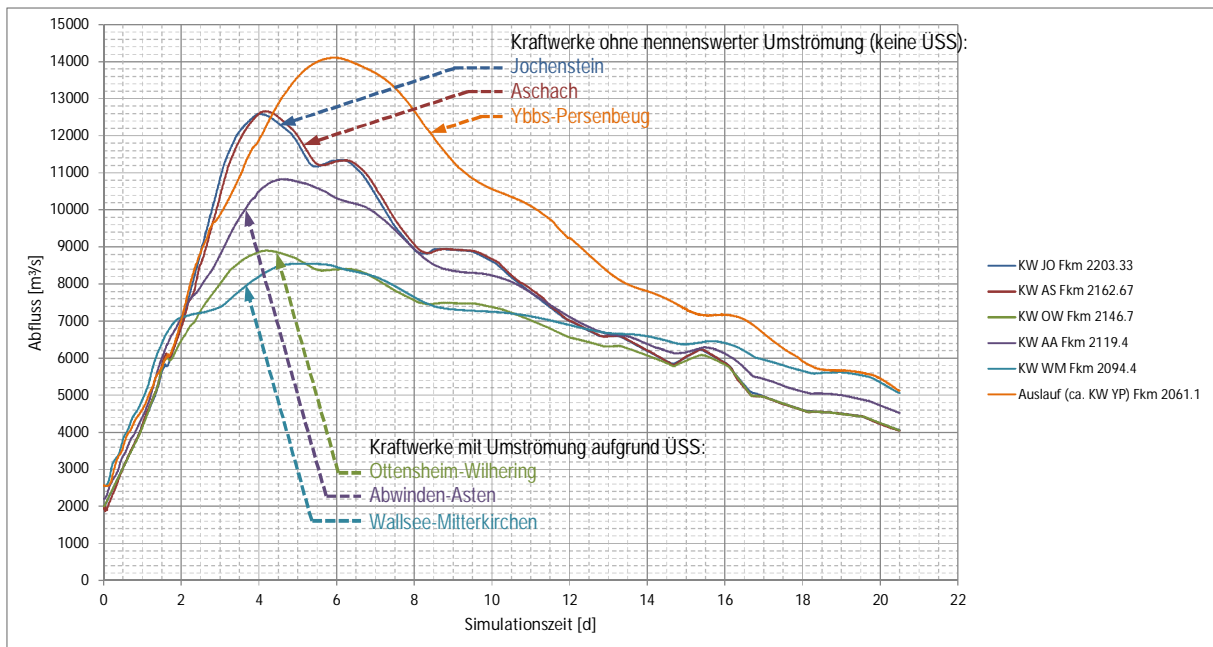
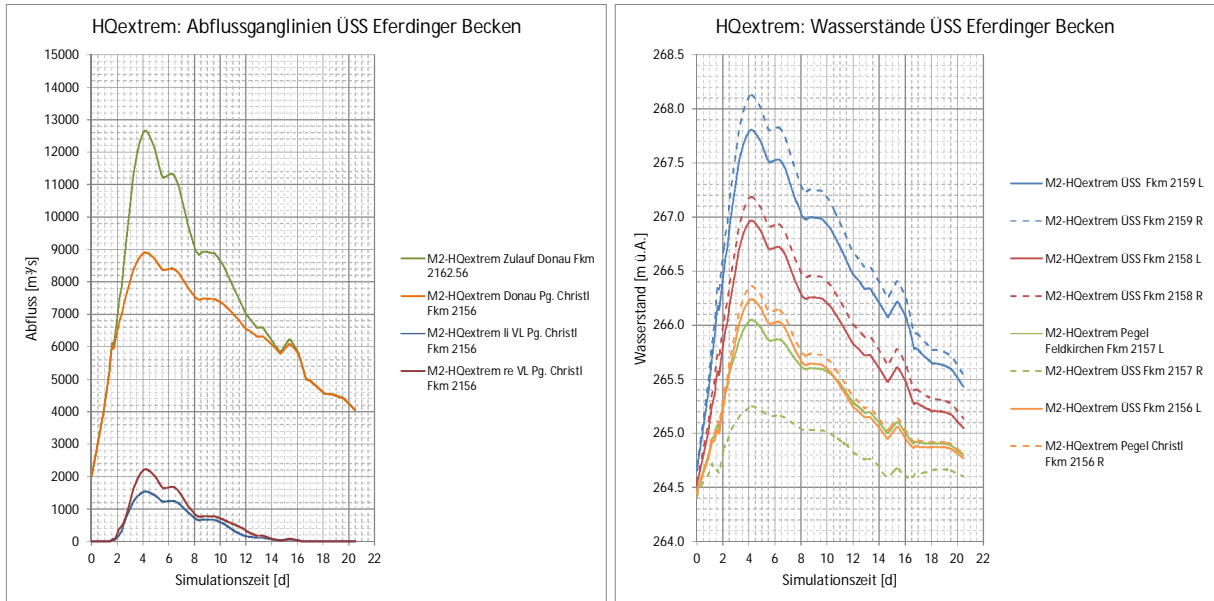


Abb. 6.7 Abflüsse an den Kraftwerken bei HQ_{EXTREM}



Dargestellt ist jeweils der Durchfluss über das Kraftwerk, d.h. ohne die Abflussanteile die z.B. aufgrund von Überströmstrecken über das Vorland seitlich am Kraftwerk vorbei fließen. Daher sind für die Kraftwerke Ottensheim-Wilhering, Abwinden-Asten und Wallsee-Mitterkirchen wesentlich niedrigere maximale Abflüsse vorhanden, als bei den anderen Kraftwerken, die aufgrund ihrer geomorphologischen Gegebenheiten nicht oder nur in sehr geringem Maße umströmt werden können. Der Grund für den geringfügig niedrigeren Durchflussscheitel am KW Jochenstein gegenüber dem KW Aschach liegt genau darin, dass es beim Extremszenario am KW Jochenstein im Modell zu einer geringfügigen Umströmung des Kraftwerks kommt, welche beim KW Aschach nicht auftritt.

Abb. 6.8 Abflüsse (links) und Wasserstände (rechts) entlang der Überströmstrecken im Eferdinger Becken bei HQ_{EXTREM}



Bezüglich der Wasserstände entlang der Überströmstrecken gilt es - wie bereits bei Abb. 3.21 erläutert - zu beachten, dass es aufgrund der örtlichen Gegebenheiten (Bucht mit anschließender Einschnürung des Donauquerschnitts) rechtsufrig bei Fkm2157 zu einer Beschleunigung des Abflusses kommt, der lokal zu einer signifikanten Absenkung des Wasserspiegels führt. Diese Absenkung ist so stark, dass bei Fkm2157 die Wasserspiegel deutlich unter jenen bei Fkm2156 liegen. Weiters wirkt sie sich bei großen Durchflüssen sogar bis zum gegenüber liegenden Ufer aus, wodurch dort ebenfalls etwas niedrigere Wasserspiegel als flussab bei Fkm2156 vorherrschen.

Abb. 6.9 Abflüsse (links) und Wasserstände (rechts) entlang der ÜSS Steyregg bei HQ_{EXTREM}

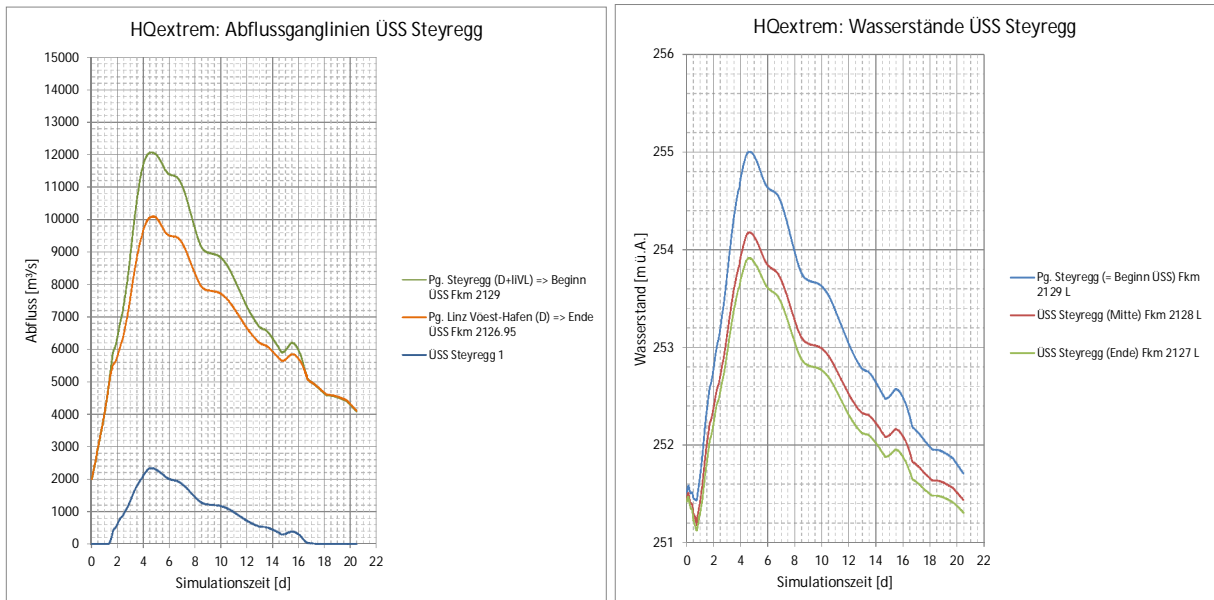


Abb. 6.10 Abflüsse (links) und Wasserstände (rechts) entlang der Überströmstrecken im Machland bei HQ_{EXTREM}

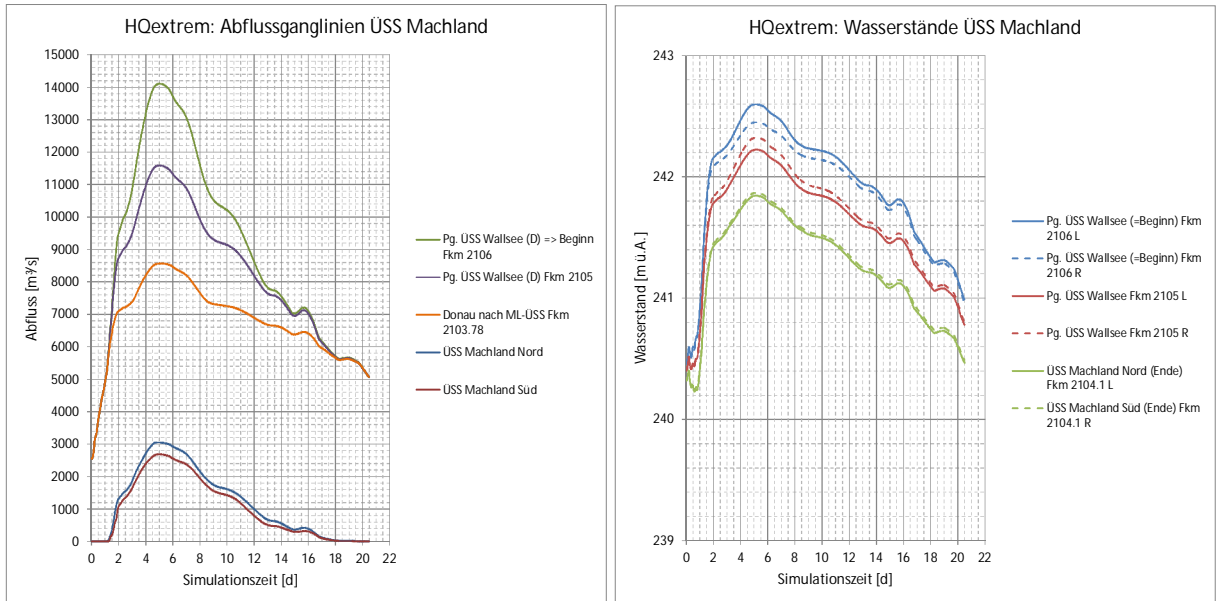
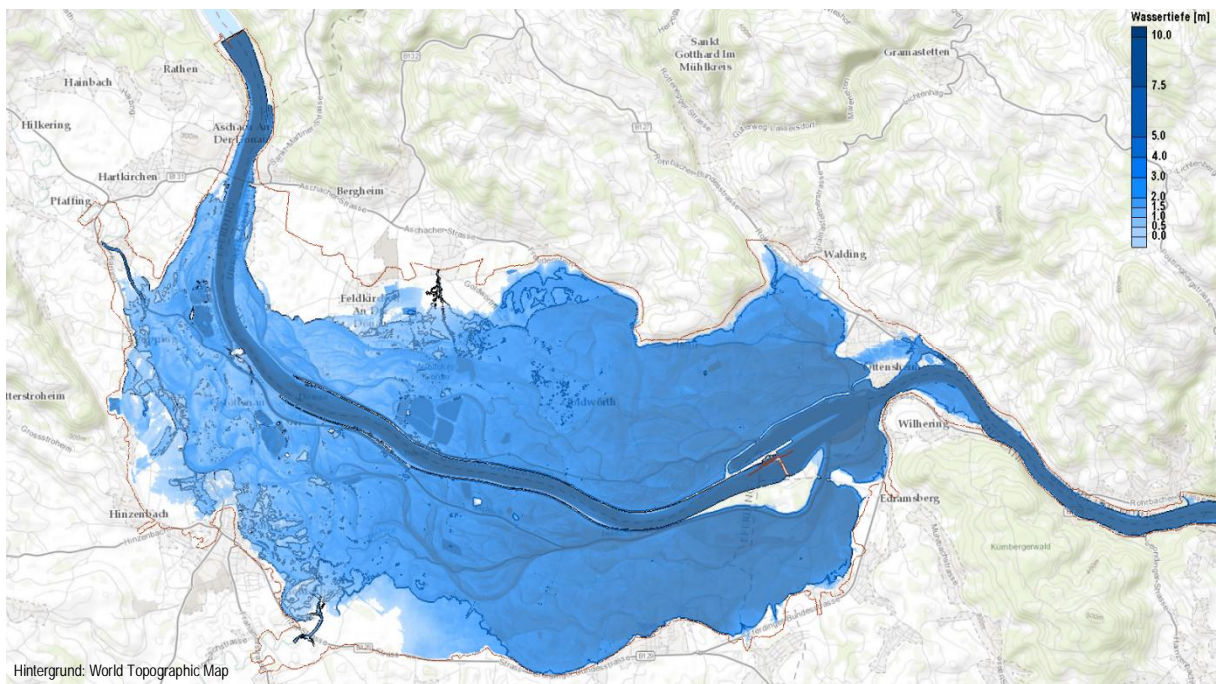
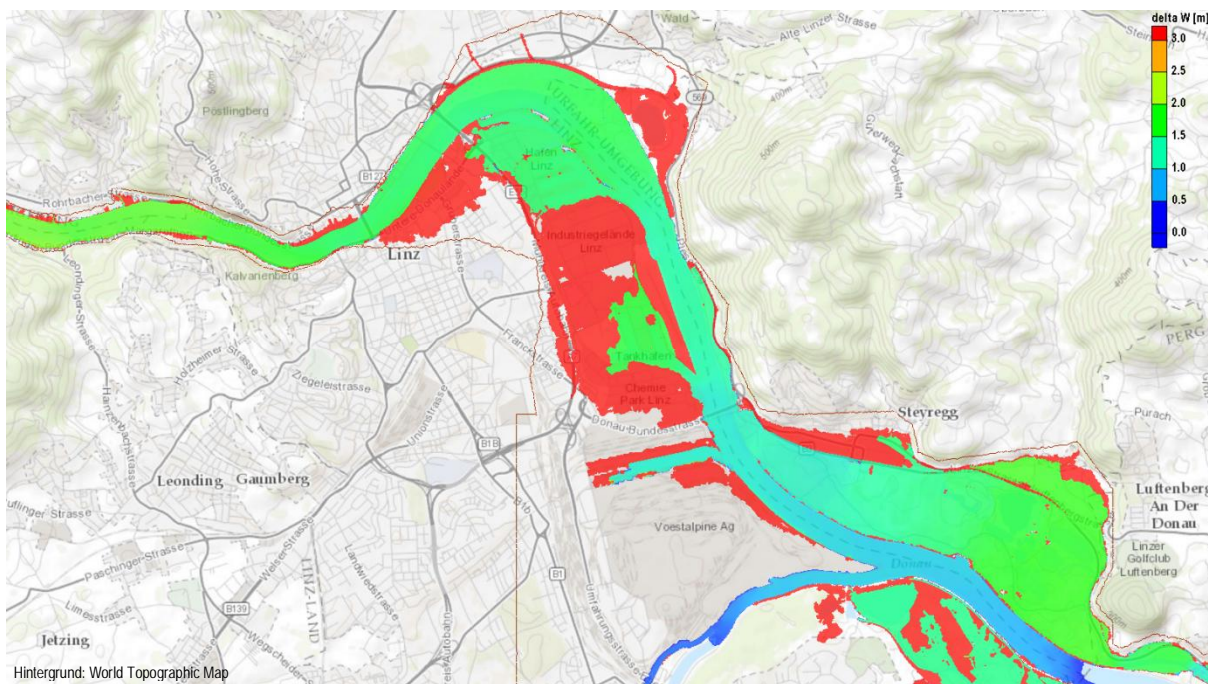


Abb. 6.11 Überflutungsflächen bei HQ_{EXTREM} – Darstellung I (exemplarisch für das Eferdinger Becken)



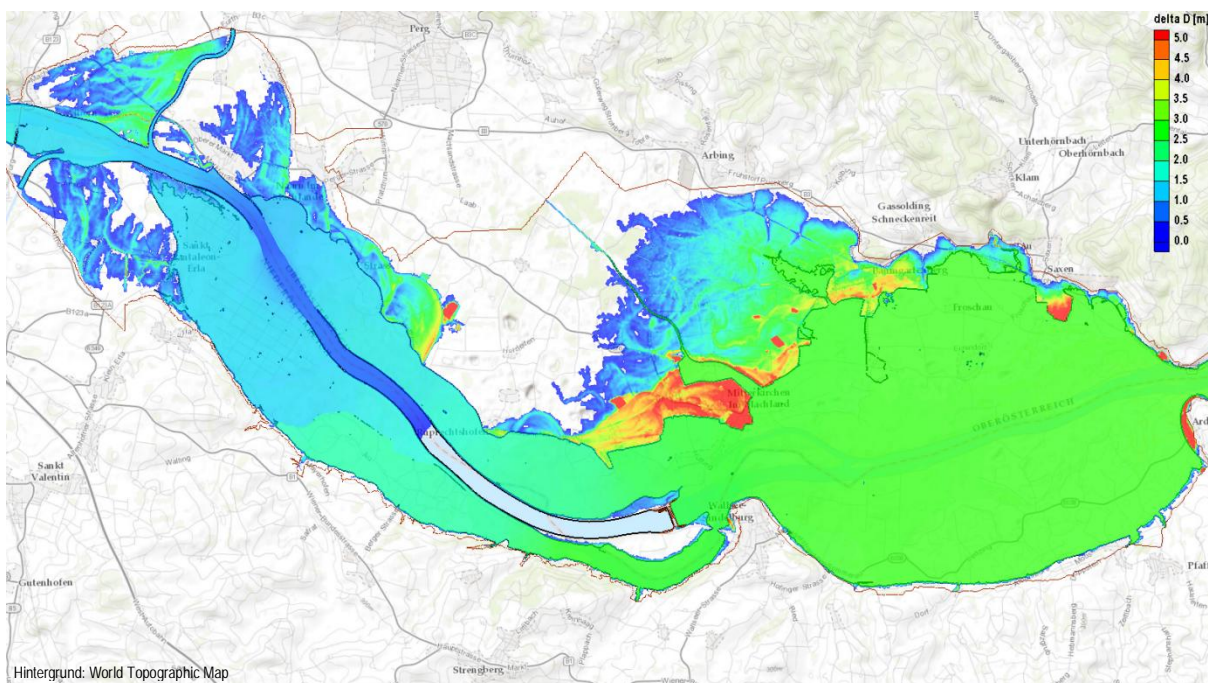
Die Darstellung zeigt die Wassertiefen bei HQ_{EXTREM} . Die durchgezogene blaue Linie zeigt zum Vergleich die Anschlaglinie beim HW2013.

Abb. 6.12 Überflutungsflächen bei HQ_{EXTREM} – Darstellung II (exemplarisch für den Bereich Linz)



Die roten Bereiche markieren jene Gebiete, die bei HQ_{EXTREM} gegenüber dem HW2013 zusätzlich überflutet werden (diese Flächen stehen daher in keinem Zusammenhang mit Wasserspiegeldifferenzen im Ausmaß von mehr als 3 m, welche - sofern sie auftreten würden - gem. der obigen Legende ebenfalls rot dargestellt wären).

Abb. 6.13 Überflutungsflächen bei HQ_{EXTREM} – Darstellung III (exemplarisch für das Machland)



Die Darstellung zeigt die Differenz der Wassertiefe bei HQ_{EXTREM} im Vergleich zum HW2013. Die durchgezogene blaue Linie markiert die Anschlaglinie beim HW2013.

Tab. 6.2 Differenzen zwischen den Wasserständen bei HQ_{EXTREM} und HW2013

Pegelstelle	Fkm	Ufer- seite	Modell	Maximaler Wasserspiegel [m ü.A.]			dW HQ_{EXTREM} - HW2013		
				HW2013 (Messung)	HW2013 (2D-Sim)	HQ_{EXTREM}			
Pg. Achleiten	2223.05	R	M31-1	298.14	via donau	298.11	299.95	1.83	
Pg. KW Jochenstein UW	2203.24	L					289.02	291.39	2.37
Pg. Engelhartzell	2200.66	R			287.60	via donau	287.66	289.89	2.23
Pg. Ronthal	2197.52	R			286.86	via donau	286.74	289.10	2.36
Pg. Kager-Niederranna	2194.03	R			285.60	via donau	285.53	287.86	2.33
Pg. Vornwald	2190.16	R			284.60	via donau	284.68	287.17	2.49
Pg. Schlögen	2186.80	R			284.27	via donau	284.33	286.89	2.57
Pg. Obermühl	2178.27	L			280.80	via donau	280.68	283.04	2.36
Pg. Untermühl	2168.00	L			280.63	via donau	280.41	280.56	0.15
Pg. Schmiedelsau	2167.00	L			280.59	via donau	280.40	280.55	0.15
Pg. Schmiedelsau	2167.00	R			280.59	via donau	280.39	280.54	0.15
Pg. KW Aschach UW	2161.96	L	M31-2	269.16	VHP	269.505	270.63	1.12	
Pg. Aschach Strbltg.	2161.27	R			268.73	via donau	268.862	269.76	0.90
Pg. Aschach Agentie	2159.73	R			267.88	via donau	268.13	268.88	0.75
Pg. Aschach Kachlet	2158.73	R					267.196	267.78	0.59
Pg. Brandstatt	2158.20	R			266.93	via donau	266.974	267.55	0.57
Pg. Feldkirchen	2157.00	L			265.63	via donau	265.725	266.05	0.32
Pg. Christl	2156.00	R			265.38	VHP	265.923	266.36	0.44
Pg. KW Ottensheim-Wilhering UW	2146.48	R			261.61	VHP	261.685	263.78	2.10
Pg. Wilhering	2144.05	R			260.84	via donau	260.836	262.68	1.85
Pg. Kürnberg	2139.36	R	M31-3	259.17	via donau	259.16	260.98	1.83	
Pg. Linz	2135.17	R			257.01	via donau	257.03	258.41	1.39
Pg. Linz VÖEST-Brücke	2133.44	L					255.94	257.19	1.25
Pg. Linz VÖEST-Brücke	2133.44	R					255.85	257.06	1.21
Pg. Steyregg	2129.00	L					253.89	255.00	1.12
Pg. Linz VÖEST-Hafen	2126.95	R			252.08	via donau**	253.05	253.95	0.90
Pg. KW Abwinden-Asten UW	2119.20	R					248.67	249.74	1.07
Pg. Mauthausen	2110.98	L			244.52	via donau	244.51	245.73	1.23
Pg. Schwarzhof	2108.38	R			243.52	via donau	243.56	244.53	0.97
Pg. Au	2106.85	L			242.75	via donau	242.77	243.40	0.63
Pg. ÜSS Wallsee	2106.00	L				via donau	242.27	242.60	0.33
Pg. ÜSS Wallsee	2106.00	R			242.20	via donau	242.18	242.45	0.27
Pg. ÜSS Wallsee	2105.00	L			241.75	via donau	241.87	242.22	0.35
Pg. ÜSS Wallsee	2105.00	R			241.93	via donau	241.94	242.32	0.38
Pg. KW Wallsee-Mitterkirchen UW	2094.21	R					236.66	239.00	2.34
Pg. Dornach - PW	2084.95	L			236.07	via donau	235.95	238.59	2.65
Pg. Grein	2079.10	L			234.36	via donau	234.40	236.92	2.52
Pg. Sarmingstein	2072.71	L		230.20	via donau	230.20	231.93	1.72	

**Bzgl. der Aufzeichnungsstörungen bei der automatischen Erfassung des Pegels Linz VÖEST-Hafen siehe die Erläuterungen zu Abb. 4.23 und Abb. 4.24.

6.5 Zusammenschau und abschließende Bemerkungen

Aus den Überflutungsbildern zu HQ_{EXTREM} sind zwei Aspekte herauszustrichen:

- § Zum einen ergeben sich zusätzlich zum Teil massive Überflutungen, wobei diese auch einige neuralgische Bereiche betreffen: Beispielhaft erwähnt seien die Überflutungen im Stadtgebiet von Linz, die zusätzlichen Flächen im Eferdinger Becken, die Überflutungen in Steyregg, im Industriegebiet von Enns sowie beim Hafen Enns und die großflächigen Überflutungen im nördlichen Machland.
- § Zum anderen ergeben sich in allen Bereichen, welche schon beim HW2013 betroffen waren, bei HQ_{EXTREM} noch einmal deutlich höhere Überflutungstiefen: Aufgrund der extremen Annahmen liegen die Durchflüsse entlang der öö. Donau noch einmal um etwa 3.000 m³/s höher wodurch auch die maximalen Wasserstände in der Regel um 2 bis 3 m, in zusätzlich gefluteten Bereichen bis zu 10 m höher liegen.

In Hinblick auf die angesetzten Durchflüsse sei herausgestrichen, dass für HQ_{EXTREM} Werte angesetzt wurden (und werden mussten), für die unsicher ist, ob sie sich aus hydrologischen und meteorologischen Überlegungen überhaupt gänzlich erklären lassen. Tatsache ist, dass der sich für Linz ergebende Durchfluss im Bereich von HQ_{5000} bis HQ_{10000} oder darüber (vgl. Pkt. 6.2) liegt.

Sofern derartige Werte überhaupt denkbar erscheinen, ist wichtig, dass bei den angenommenen apokalyptischen Verhältnissen große Teile Europas und damit Bayerns und Österreichs massivst von Überflutungen bis in alle Einzugsgebiete betroffen wären.

7 Verhandlungsszenarien – Auswirkungen auf das Eferdinger Becken

7.1 Vorbemerkungen und Untersuchungsszenarien

Die Berechnungen mit verschiedenen Verhandlungsszenarien sollen die Bandbreite des Einflusses der Donausohle auf die Auswirkungen eines großen bzw. seltenen Hochwassers - wie dem Ereignis von 06/2013 - aufzeigen. Es handelt sich demnach um eine Sensitivitätsanalyse mit dem Fokus auf die Auswirkungen im Eferdinger Becken.

Dazu wurde festgelegt, dass die beiden Stauräume der Kraftwerke Aschach („BAS“) und Ottensheim-Wilhering („BOW“) mit unterschiedlichen Sohllagen berechnet werden sollen. Eine Kopplung der beiden Stauräume ist jedoch nicht sinnvoll oder erforderlich, sondern es sollen explizit die Einflüsse eines jeden Stauraums für sich getrennt ermittelt werden.

Die zu untersuchenden Verhandlungsszenarien wurden vom AG wie folgt festgelegt:

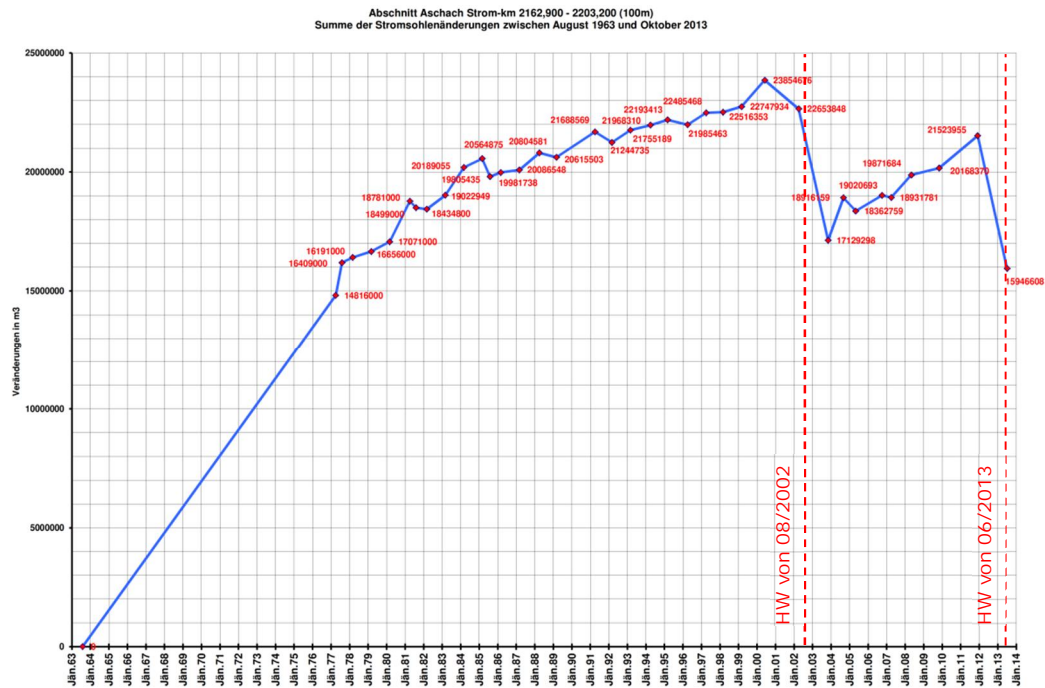
1. Stauraum völlig verlandungsfrei (Zustand bei Stauerrichtung): „S10a“
2. Stauraum im Zustand vor dem HW2013: „S10b“
3. Stauraum im Zustand nach dem HW2013 (Referenz): „S10c“

Aus dem zeitlichen Verlauf der von der via donau erstellten Massenbilanzen ist abzulesen, dass es sich bezogen auf den Stauraum Aschach bei dem Zustand vor dem HW2013 tendenziell um einen verhältnismäßig stark verlandeten Zustand handelt, wohingegen nach bzw. durch das Ereignis von 06/2013 eine weniger stark verlandete Situation der Donausohle vorliegt (Abb. 7.1). Genau umgekehrt verhält es sich im Stauraum Ottensheim-Wilhering, wo ein relativ starker Verlandungszustand unmittelbar nach dem HW2013 festgestellt werden konnte (Abb. 7.2).

Der Stauraum Aschach hat grundsätzlich lediglich im Hinblick auf mögliche Änderungen des Durchflusses Einfluss auf die zu erwartenden Verhältnisse im Eferdinger Becken. Die sich ergebenden Wasserspiegellagen im Stauraum Aschach sind dagegen für das Eferdinger Becken - zumindest unmittelbar⁸⁰ - nicht von Bedeutung. Insofern wurde gemeinsam mit den Auftraggeber entschieden, dass die Verhandlungsszenarien für den Stauraum Aschach mit Hilfe des 1D-Modells untersucht werden können und eine 2D-Modellierung nur für den Stauraum Ottensheim-Wilhering bzw. das Eferdinger Becken erforderlich ist.

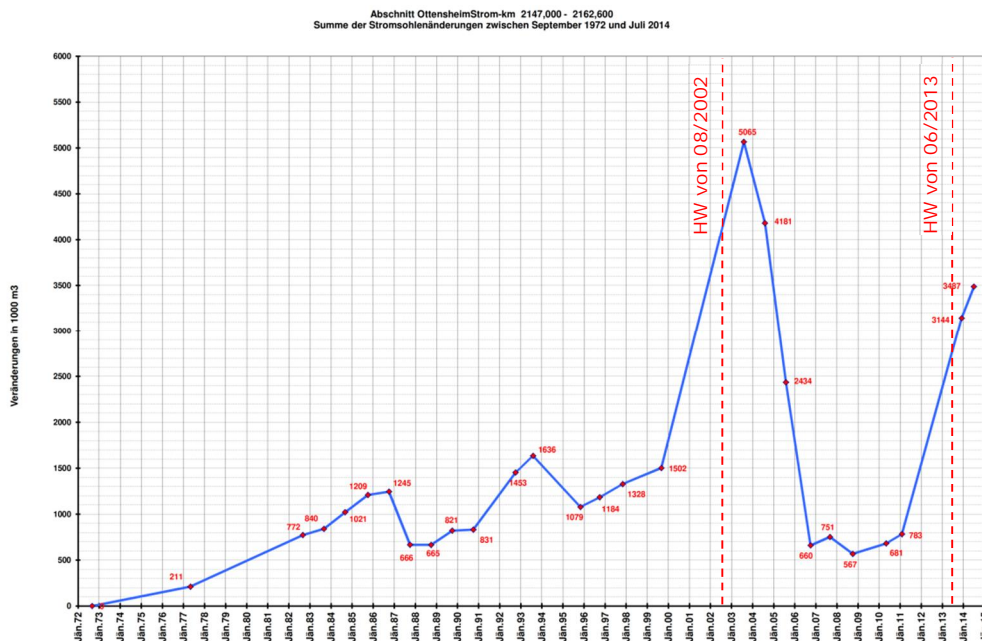
⁸⁰ Die Wasserspiegellagen im Stauraum Aschach haben jedoch insofern Einfluss auf das Eferdinger Becken, als bei Änderungen in der Sohllage auch Durchflussänderungen am Kraftwerk erforderlich sein können, um die behördlichen Vorgaben (WBO) einzuhalten.

Abb. 7.1 Massenbilanz des Stauraums Aschach (Quelle: via donau)



Aus dem zeitlichen Verlauf der Massenbilanz erkennt man, dass nach der Stauerichtung ab ca. 1963 eine nahezu stetige Zunahme der Verlandung des Stauraums Aschach stattgefunden hat. Erst beim bzw. nach dem großen Hochwasser von 2002 kam es zu einer maßgeblichen „Ausräumung“ des Stauraums, welche in der Folge jedoch wieder von einer Phase kontinuierlicher Verlandung geprägt war. Durch das HW2013 kam es dann neuerlich zu einer bedeutenden Reduktion der Geschiebeanlandungen.

Abb. 7.2 Massenbilanz des Stauraums Ottensheim-Wilhering (Quelle: via donau)



Aus dem zeitlichen Verlauf der Massenbilanz erkennt man, dass nach der Stauerichtung ab ca. 1973 ein moderater Trend zur Verlandung des Stauraums gegeben war, der jedoch - vermutlich infolge einzelner Hochwasserereignisse - Knicke nach unten aufweist. Erst beim bzw. nach dem großen Hochwasser von 2002 kam es zu einer stark erhöhten Verlandung, wahrscheinlich ausgelöst durch die „Ausräumung“ des Oberliegerstauraums (vgl. Abb. 7.1). In der Folge kam es jedoch wieder zu einer deutlichen Abnahme des Verlandungsgrades, welcher dann im Zuge des HW2013 neuerlich analog zum Ereignis von 2002 stark erhöht wurde.

7.2 Hydrologische Festlegungen

Gemeinsam mit dem Auftraggeber wurde festgelegt, dass für die Verlandungsszenarien jeweils das HW2013 als hydrologisches Szenario herangezogen wird. Dabei wurden sämtliche Zuflussdaten für die Donau und ihre Zubringer analog zur Nachrechnung des Ereignisses angesetzt. Insofern sei für den Stauraum Aschach auf den Bericht aus Phase I (vgl. Fußnote 3) verwiesen. Die angesetzten Werte für den Stauraum Ottensheim-Wilhering sind hingegen in Pkt. 2.5.1.1 umfassend beschrieben.

7.3 Modelltechnische Anpassungen und Umsetzung der WBO

7.3.1 Sohllagen und Modellgeometrie

Die Sohllagen für die Verlandungsszenarien stammen von folgenden Zeitpunkten, wobei sämtliche Daten von Verbund VHP zur Verfügung gestellt wurden:

- S10a: Stauraum BAS Profilaufnahme von 09/1965
Stauraum BOW Profilaufnahme von 04/1973
- S10b: Stauraum BAS Profilaufnahme von 06-08/2011
Stauraum BOW Profilaufnahme von 08-09/2011
- S10c: Stauraum BAS Profilaufnahme von 07/2013
Stauraum BOW Profilaufnahme von 08/2013

Sowohl in den 1D- als auch bei den 2D-Modellen wurden ausschließlich Stromgrunddaten entsprechend des jeweiligen Szenarios angepasst. Sämtliche über dem Wasserspiegel liegenden Geländehöhen wurden unverändert beibehalten und entsprechen damit dem jeweils aktuellsten Modellstatuts.

7.3.2 Berücksichtigung der behördlichen Vorgaben

Sowohl in den 1D- als auch in den 2D-Modellen sind die Wehrbetriebsordnungen in vereinfachter Form abgebildet. Das bedeutet, dass sämtliche Vorgaben *implizit* mittels einer eindeutigen W/Q-Beziehung für den OW-Pegel eines jeweiligen Kraftwerks umgesetzt werden⁸¹.

Diese im Modell hinterlegten W/Q-Beziehungen (vgl. Pkt. 2.5.5.2) wurden für bestimmte Verhältnisse im Stauraum ermittelt und sind auch nur innerhalb bestimmter Grenzen (d.h. Abweichungen von diesem Zustand) gültig. Da für die Verlandungsszenarien jedoch eine sehr große Varietät in Bezug auf die Stauraumverhältnisse bzw. Sohllagen untersucht wird, war es erforderlich, die Vorgaben der WBO vertiefend zu berücksichtigen.

⁸¹ Die Wehrbetriebsordnungen geben hingegen eine Abfolge von einzuhaltenden Wasserständen an unterschiedlichen Stellen im Stauraum (OW-Pegel, Wendepegel, etc.) vor, die üblicherweise nicht unmittelbar an bestimmte Durchflüsse geknüpft ist.

Auf Grund der unterschiedlichen softwaretechnischen Möglichkeiten bei den verwendeten 1D- bzw. 2D-Regelmodulen wurden daher folgende Methoden zur korrekten Umsetzung der WBO-Vorgaben angewendet⁸²:

- 1D-Simulation für BAS:
=> Explizite Umsetzung der WBO-Vorgaben durch entsprechend erweiterte Konfiguration des Reglers
- 2D-Simulation für BOW:
=> Iterative Korrektur der vereinfachten W/Q-Beziehung zur näherungsweisen Berücksichtigung der WBO-Vorgaben

7.4 Berechnungen und Ergebnisse

7.4.1 Verlandungsszenarien Stauraum Aschach (1D)

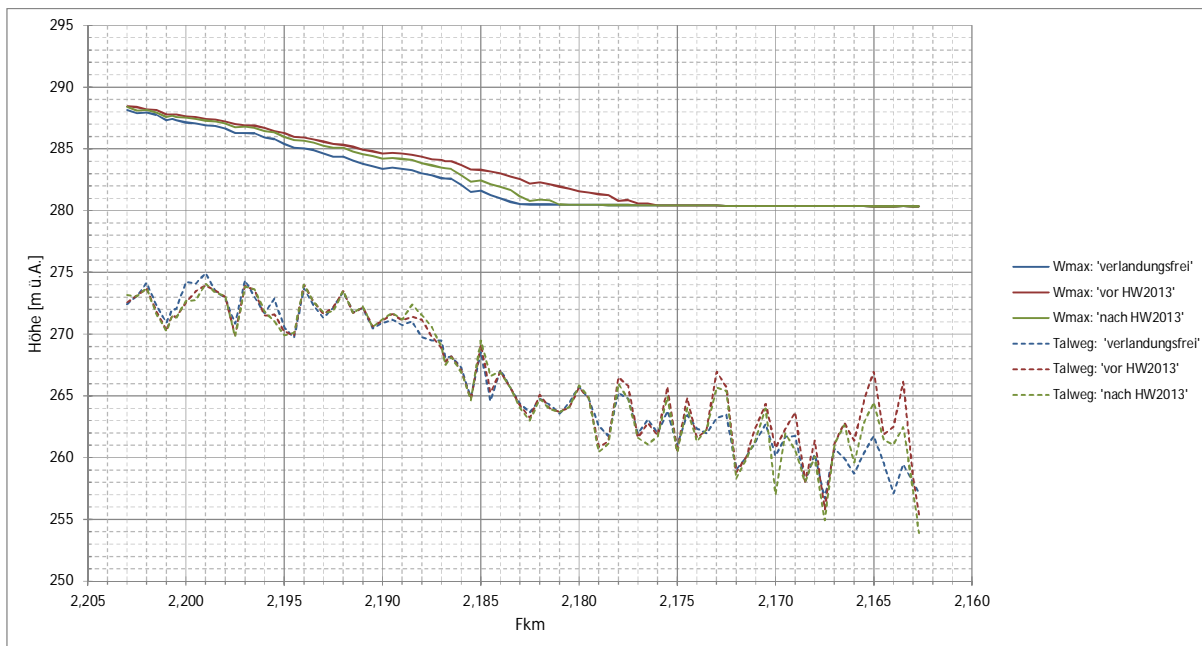
Die Berechnungen zeigen, dass die Sohlage zwar wesentlichen Einfluss auf die sich im Stauraum Aschach ergebenden Wasserspiegellagen haben, dass sich jedoch in Bezug auf Durchflussänderungen beim KW Aschach und damit für das Eferdinger Becken keine nennenswerten Auswirkungen resultieren.

In Abb. 7.3 sind die maximalen Wasserspiegellagen der untersuchten Verlandungsszenarien dargestellt. Dabei ist klar erkennbar, dass die Sohlage im Wesentlichen nur im Bereich flussauf von ca. Fkm 2180 Einfluss auf den Maximalwasserstand hat. Es zeigt auch klar den Zusammenhang von steigendem Verlandungsgrad und steigendem Wasserspiegel, da das Szenario „vor HW2013“ - dass die verhältnismäßig stärkste Verlandung aufweist - mit Abstand die höchsten Maximalwasserstände liefert. Die Wasserspiegellagen im unteren Abschnitt des Stauraums sind hingegen in erster Linie von der Absenkung beim KW Aschach abhängig und liegen im Hochwasserfall unterhalb des Stauziels.

Die Auswertung der Durchflussganglinien (Abb. 7.4) ergibt keine wesentlichen Änderungen von Durchflussmengen oder Dynamik infolge der unterschiedlichen Verlandungszustände. Die in Tab. 7.1 zusammengestellten Scheiteldurchflüsse belegen nochmals, dass sich aus unterschiedlichen Verlandungszuständen im Stauraum Aschach keine maßgeblichen Auswirkungen auf das Eferdinger Becken ergeben (Einfluss auf $Q_{\max} < 1\%$).

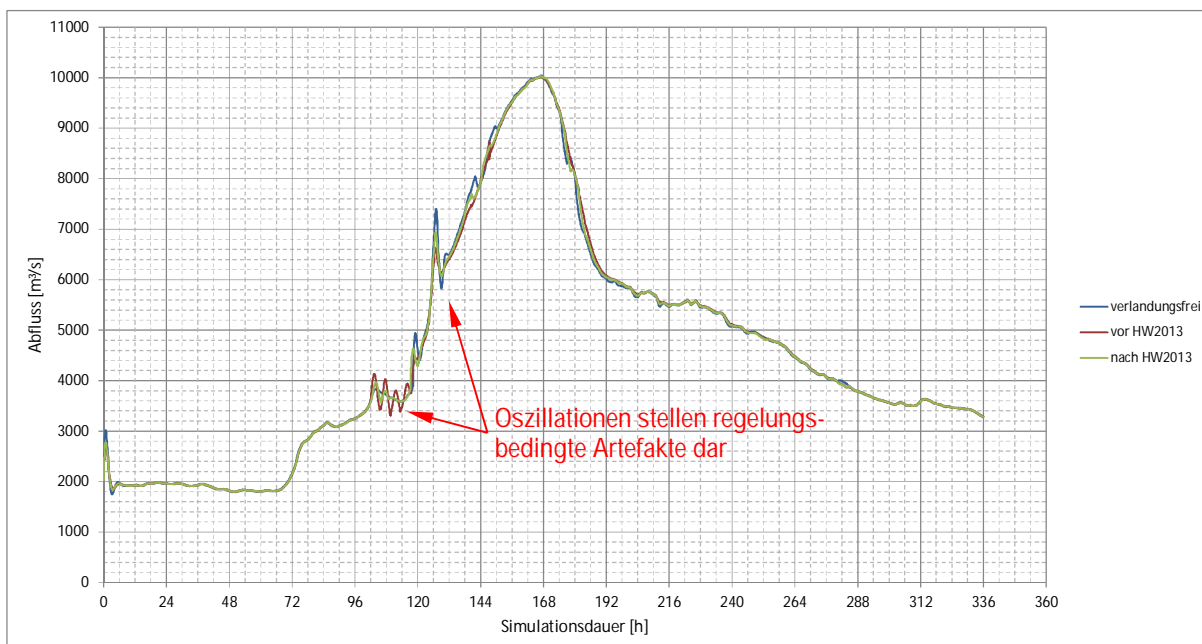
⁸² Es sei angemerkt, dass die korrekte Berücksichtigung der Wehrbetriebsordnung bei der Untersuchung der Verlandungsszenarien insofern nur von untergeordneter Bedeutung ist, weil aufgrund der Größe des zu Grunde gelegten hydrologischen Szenarios die letztlich maßgeblichen Auswirkungen ohnehin zu Phasen mit vollständiger OW-Absenkung am KW auftreten. Um dennoch auch die Auswirkungen während der Absenkphase möglichst exakt nachzubilden, wurden die angeführten Methoden zur korrekten Nachbildung der WBO angewendet.

Abb. 7.3 Längenschnitt von Wasserständen und Talweg im Stauraum Aschach bei unterschiedlichen Verlandungszuständen



Die Abbildung zeigt die beim simulierten Ereignis (HW2013) sich ergebenden maximalen Wasserstände für die Verlandungszustände „verlandungsfrei“ (blaue Linie), „vor HW2013“ (rote Linie) und „nach HW2013“ (grüne Linie). Gleichzeitig ist der Talweg des jeweiligen Szenarios mit den gleichen Farben, jedoch strichliert, dargestellt.

Abb. 7.4 Abflussganglinie beim KW Aschach bei unterschiedlichen Verlandungszuständen



Die Abbildung zeigt die beim simulierten Ereignis (HW2013) sich ergebenden Durchflüsse für die Verlandungszustände „verlandungsfrei“ (blaue Linie), „vor HW2013“ (rote Linie) und „nach HW2013“ (grüne Linie).

Die teilweise vorhandenen regelungsbedingten Artefakte in der Absenkphase ergeben sich aufgrund der nicht vollständig optimierten Parametrisierung der Regelung und haben keinen maßgeblichen Einfluss auf die Gesamtaussage.

Tab. 7.1 Maximalabflüsse beim KW Aschach bei unterschiedlichen Verlandungszuständen
 (Werte in m³/s)

Szenario	Abfluss Kraftwerk Aschach
verlandungsfrei	10040
vor HW2013	10020
nach HW2013	10030

Der mögliche Einfluss unterschiedlicher Verlandungszustände des Stauraums Aschach auf den Maximalabfluss im Eferdinger Becken liegt demzufolge rechnerisch bei nicht mehr als 1‰ (Änderung des Scheiteldurchflusses). Eine - in der Natur - merkbare Änderung des Maximaldurchflusses ist dadurch jedoch nicht gegeben.

7.4.2 Verlandungsszenarien Stauraum Ottensheim-Wilhering und Eferdinger Becken (2D)

Die Berechnungen zeigen, dass die Sohlage der Donau sehr großen Einfluss auf die Überflutungen im Eferdinger Becken hat. Höhere Sohlagen führen zu höheren Wasserspiegellagen entlang der Überströmstrecken und somit zu deutlich erhöhten Abflüssen ins Vorland. Diese wiederum ergeben in der Folge maßgebliche Erhöhungen der Wasserstände in den überfluteten Gebieten des Eferdinger Beckens.

In Abb. 7.5 sind die berechneten Abflussganglinien des Abwurfs über die ÜSS dargestellt. Bezogen auf den Zustand nach Stauerrichtung („verlandungsfrei“), ergeben sich bereits bei verhältnismäßig geringem Verlandungsgrad („vor HW2013“) deutlich erhöhte Abflüsse auf beiden Seiten. Für den verhältnismäßig stark verlandeten Zustand („nach HW2013“) sind diese Abflüsse ins Vorland nochmals wesentlich erhöht.

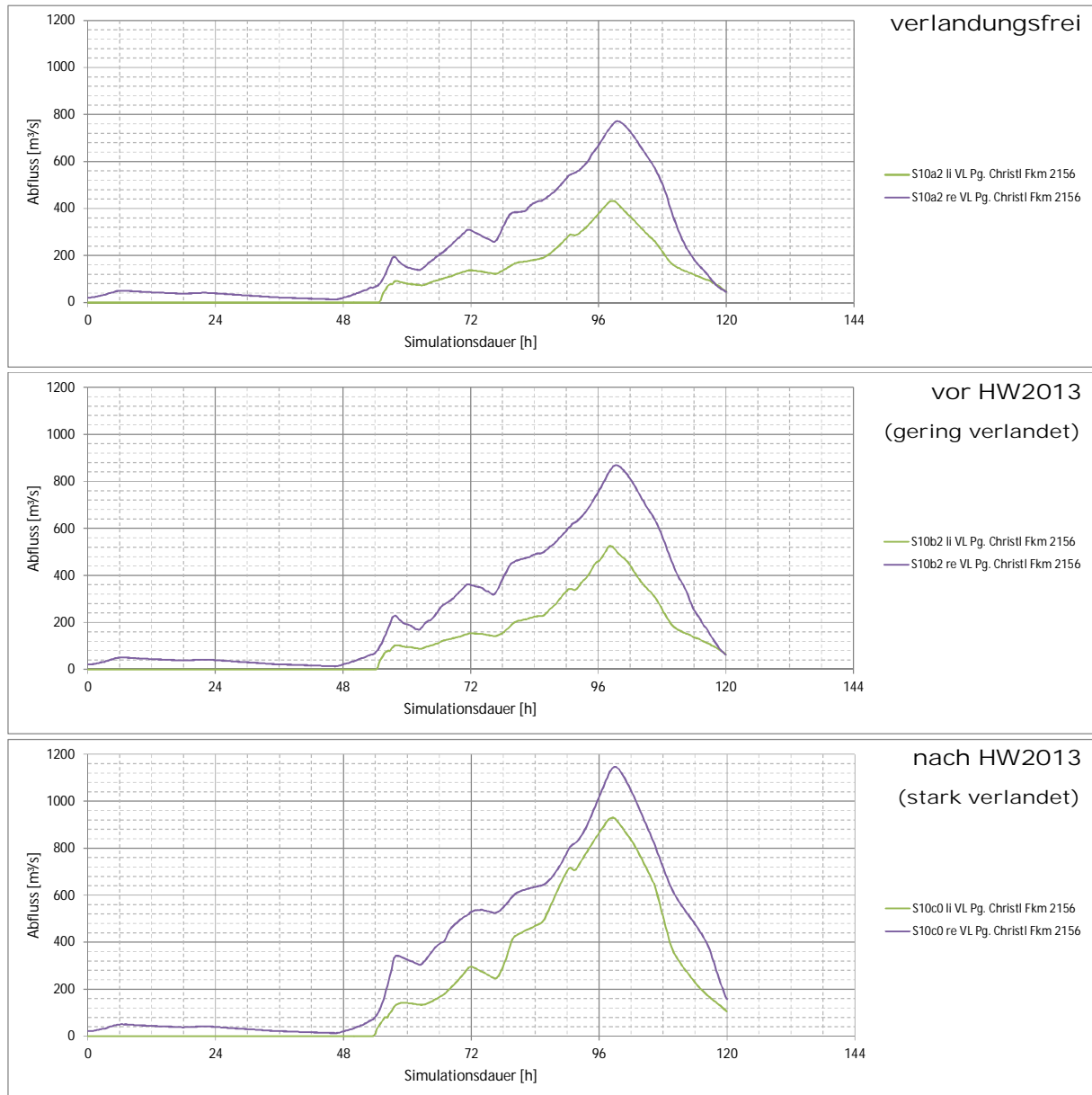
Für Donauabschnitte unterhalb des Stauraums Ottensheim-Wilhering ergeben sich dadurch aber bei sehr großen Hochwässern, wie dem untersuchten HW2013, kaum Veränderungen, wie am Beispiel des Pegels Wilhering gezeigt werden kann (Abb. 7.6). Demzufolge bleiben Dynamik und Maximalabflüsse in den unterhalb liegenden Donauabschnitten von den Ausströmungen ins Eferdinger Becken relativ unberührt und es ergibt sich infolge der Verlandung eine Verzögerung der Abflussspitze um ca. 2-3 Stunden nach hinten.

Einzig im ansteigenden Ast der Hochwasserwelle ergeben sich bei stärkerer Verlandung doch deutlich reduzierte Durchflüsse für die Unterlieger (ca. 200 m³/s) im Vergleich zu gering verlandeten Verhältnissen. Grund dafür ist der Effekt, dass das infolge der stärkeren Verlandung vermehrt ins Eferdinger Becken ausströmende Wasser erst verzögert wieder in die Donau zurückfließt und daher später flussab des Eferdinger Beckens ankommt, als wenn es (direkt) durch das Kraftwerk fließen würde.

Bei kleineren Hochwasserereignissen würde diese retendierende Wirkung des Eferdinger Beckens auch zu einer Dämpfung des Scheiteldurchflusses in den flussab gelegenen Bereichen führen.

Das zeigt, wie stark die Retentionswirkung des Eferdinger Beckens von der Charakteristik des jeweiligen Hochwasserereignisses abhängt. D.h. bei häufigen bzw. kleineren Ereignissen ist die Retentionswirkung wesentlich stärker ausgeprägt, als bei seltenen bzw. großen Ereignissen.

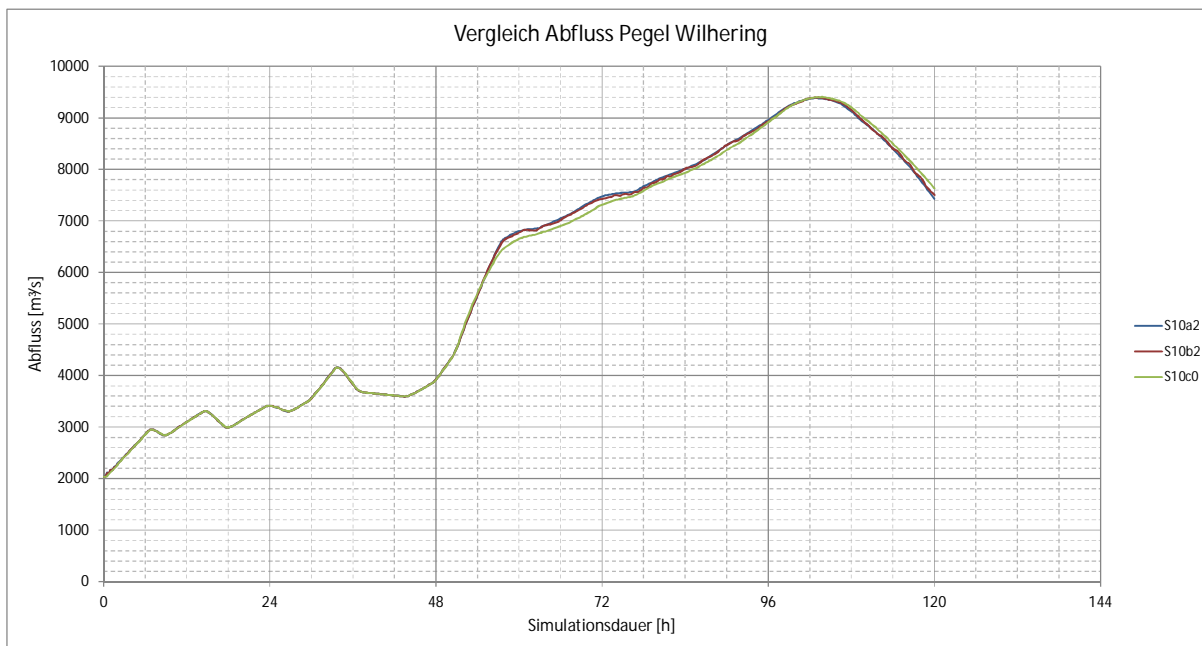
Abb. 7.5 Abfluss über die Überströmstrecken bei unterschiedlichen Verlandungszuständen



Die Abbildungen zeigen jeweils die Abflüsse über die ÜSS ins nördliche Eferdinger Becken (grüne Linie) bzw. ins südliche Eferdinger Becken (lila Linie).

Hinweis: Aus modelltechnischen Gründen, wird der Abfluss der ÜSS gemeinsam mit jenen Zubringerzuflüssen, welche flussauf der ÜSS liegen, erfasst. Daher zeigen die obigen Diagramme eigentlich die Summe aus $Q_{ÜSS}$ und $Q_{Zubringer}$. Da jedoch beim untersuchten Szenario relevante Beiträge der Zubringer bereits abgeflossen sind, bevor die ÜSS überhaupt „anspringen“, ergibt sich aus der kumulierten Darstellung keine nennenswerte Verzerrung der Ergebnisse. Es erklärt aber, weshalb v.a. bei der südlichen (rechtsufrigen) ÜSS bereits vor dem „Anspringen“ - d.h. der Bereich vor ca. Stunde 48 - nennenswerter Abfluss dargestellt ist. Es handelt sich dabei nämlich um den Beitrag der Aschach.

Abb. 7.6 Abfluss beim Pegel Wilhering bei unterschiedlichen Verlandungszuständen



Die Abbildung zeigt Durchflüsse am Pegel Wilhering für die Verlandungszustände „verlandungsfrei“ (blaue Linie), „vor HW2013“ (rote Linie) und „nach HW2013“ (grüne Linie).

Die berechneten Spitzenabflüsse für die ÜSS und den für Unterlieger relevanten Pegel Wilhering sind in der nachfolgenden Tabelle vergleichend zusammengestellt (Tab. 7.2). Darin ist der beschriebene Einfluss auf die Abflüsse in das Vorland quantifiziert.

Tab. 7.2 Maximalabflüsse an maßgeblichen Stellen im Eferdinger Becken bei unterschiedlichen Verlandungszuständen (Werte in m³/s)

Szenario	ÜSS Eferdinger Becken Nord	ÜSS Eferdinger Becken Süd	Pegel Wilhering
verlandungsfrei	430	770	9390
vor HW2013	530	870	9400
nach HW2013	930	1150	9400

Die Auswirkungen auf die Wasserstände in den überfluteten Bereichen ist in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt (Abb. 7.7 bis Abb. 7.9). Dabei ist jeweils der Unterschied zwischen zwei Verlandungszuständen in Bezug auf die berechneten Wasserspiegellagen bzw. Wassertiefen, sowie der Ausdehnung der Überflutungen dargestellt⁸³.

Beim Vergleich der beiden Szenarien „verlandungsfrei“ und „vor HW2013“ (= gering verlandet) ergeben sich Wasserspiegeldifferenzen im Bereich von rd. +5 cm (Goldwörth, Walding, Ottensheim, Alkoven und Wilhering) bis +30 cm (Feldkirchen).

Der Vergleich der Szenarien „verlandungsfrei“ und „nach HW2013“ (= stark verlandet) ergeben sich wesentlich größere Wasserspiegeldifferenzen im Bereich von rd. +25 cm (Walding, Ottensheim, Alkoven und Wilhering) bis rd. +85 cm (Feldkirchen).

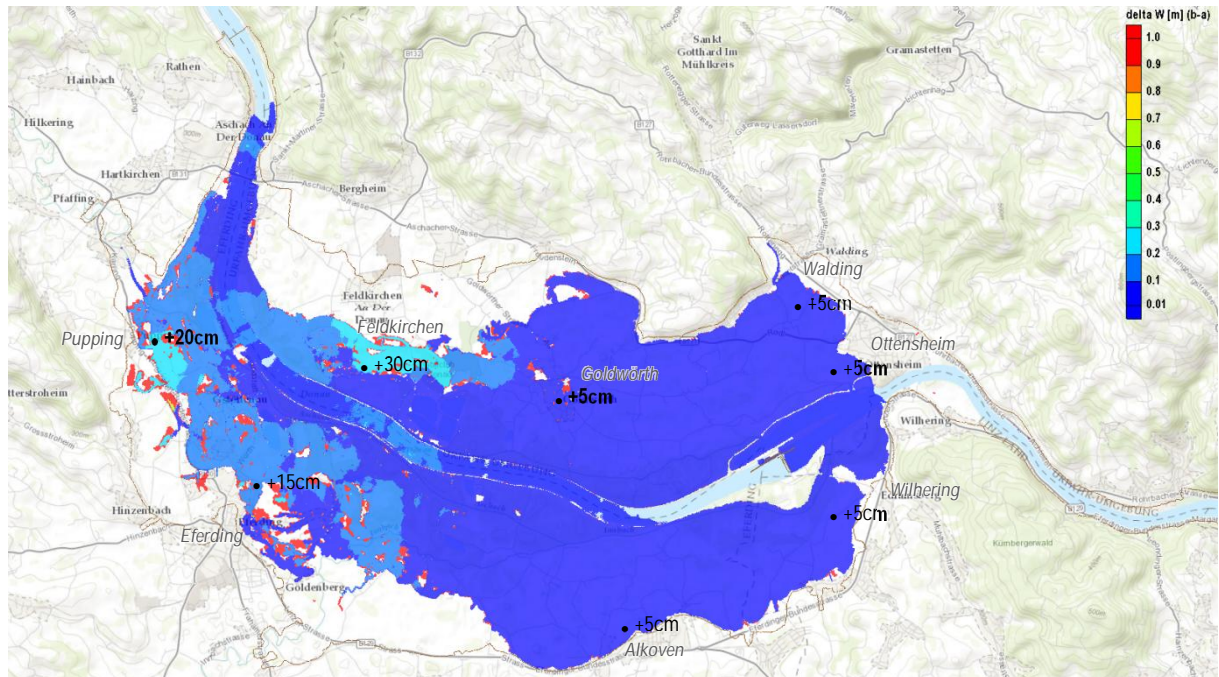
Demzufolge ergeben sich alleine aufgrund der aufgetretenen Sohländerungen infolge des Ereignisses von 06/2013 („vor HW2013“ vs. „nach HW2013“) Änderungen der Vorlandwasserspiegel im Ausmaß von rd. +20 cm (Walding, Ottensheim, Eferding, Alkoven und Wilhering) bis rd. +55 cm (Feldkirchen), wobei diese mit entsprechend erhöhter Retentionswirkung einhergehen.

Insgesamt zeigt sich, dass die Überflutungshöhen besonders in den Ortsgebieten von Feldkirchen, Goldwörth, Popping und auch Eferding sensibel auf Änderungen der Sohlage reagieren. Dies ist insofern gut nachvollziehbar, da diese im westlichen Bereich des Eferdinger Beckens gelegenen Gemeinden den Überströmstrecken am nächsten liegen und somit von erhöhtem Abwurf an den ÜSS am unmittelbarsten betroffen werden.

Bei den östlichen Bereichen des Eferdinger Beckens ist die Überflutung hingegen größtenteils vom Rückstau der Donau an der Engstelle bei Wilhering geprägt, welcher von der Sohlage des Stauraums Ottensheim-Wilhering völlig unbeeinflusst bleibt.

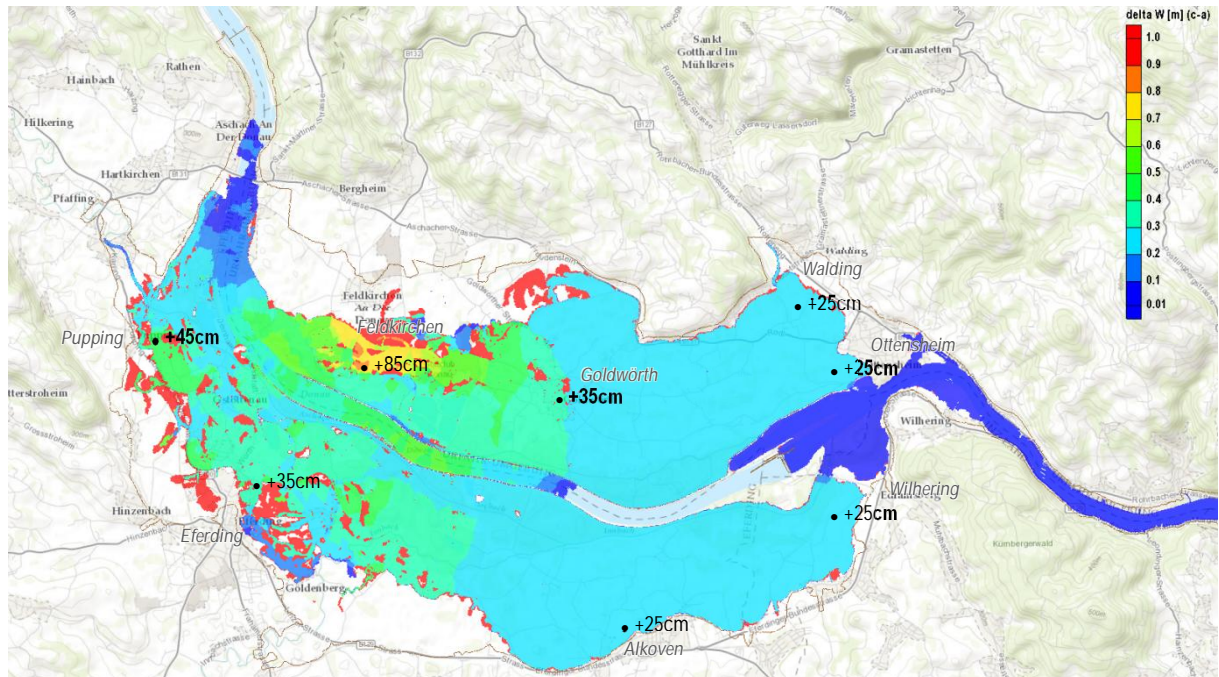
⁸³ Vergrößerte Darstellungen der Abbildungen finden sich im Anhang E.

Abb. 7.7 Differenz der maximalen Wasserspiegellagen ($Q = HW2013$):
Donausohle vor HW2013 vs. Donausohle bei Stauerrichtung



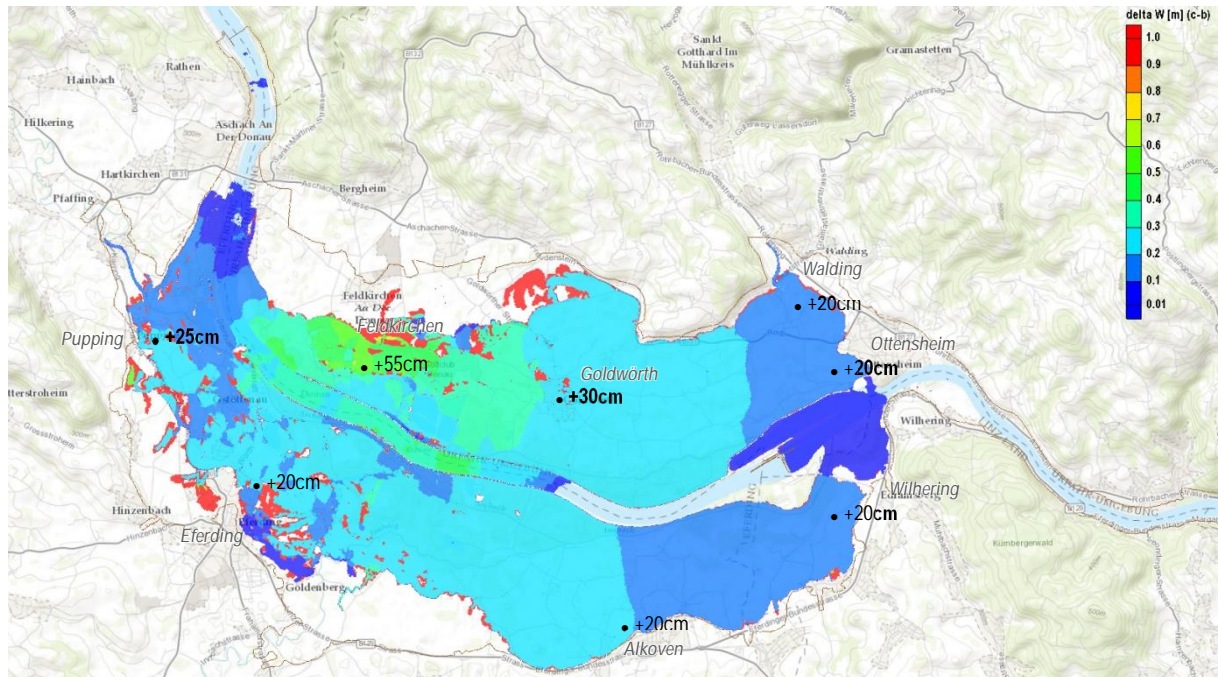
Die angeführten Werte sind gerundet und stellen repräsentative Werte für die jeweilige Gemeinde dar. Rote Flächen zeigen Bereiche auf, welche beim „verlandungsfreien“ Szenario nicht überflutet werden (diese Flächen stehen daher in keinem Zusammenhang mit Wasserspiegeldifferenzen im Ausmaß von mehr als 1 m, welche - sofern sie auftreten würden - gem. der obigen Legende ebenfalls rot dargestellt wären).

Abb. 7.8 Differenz der maximalen Wasserspiegellagen ($Q = HW2013$):
Donausohle nach HW2013 vs. Donausohle bei Stauerrichtung



Die angeführten Werte sind gerundet und stellen repräsentative Werte für die jeweilige Gemeinde dar. Rote Flächen zeigen Bereiche auf, welche beim „verlandungsfreien“ Szenario nicht überflutet werden (diese Flächen stehen daher in keinem Zusammenhang mit Wasserspiegeldifferenzen im Ausmaß von mehr als 1 m, welche - sofern sie auftreten würden - gem. der obigen Legende ebenfalls rot dargestellt wären).

Abb. 7.9 Differenz der maximalen Wasserspiegellagen ($Q = HW2013$):
Donausohle nach HW2013 vs. Donausohle vor HW2013



Die angeführten Werte sind gerundet und stellen repräsentative Werte für die jeweilige Gemeinde dar. Rote Flächen zeigen Bereiche auf, welche beim Szenario „vor HW2013“ nicht überflutet werden (diese Flächen stehen daher in keinem Zusammenhang mit Wasserspiegeldifferenzen im Ausmaß von mehr als 1 m, welche - sofern sie auftreten würden - gem. der obigen Legende ebenfalls rot dargestellt wären).

7.5 Zusammenschau

Aus den untersuchten Verlandungsszenarien können zusammenfassend folgende Aussagen getroffen werden, welche in erster Linie für besonders große bzw. seltene HW-Ereignisse gelten:

- Der Verlandungsgrad des Stauraums Aschach hat:
 - keinen maßgeblichen Einfluss auf die zu erwartenden Überflutungen im Eferdinger Becken
 - großen Einfluss auf die zu erwartenden Maximalwasserstände im eigenen Stauraum (abgesehen vom unteren Abschnitt vor dem KW Aschach)
- Der Verlandungsgrad des Stauraums Ottensheim-Wilhering hat:
 - sehr großen Einfluss auf die Abflüsse über die ÜSS
 - und somit großen Einfluss auf die Überflutungswassertiefen v.a. in den an die ÜSS angrenzenden Gemeinden (Feldkirchen, Goldwörth, Popping und auch Eferding)
 - bei großen bzw. seltenen HW-Ereignissen nur geringen Einfluss auf den Maximalabfluss der Unterlieger des Eferdinger Beckens (Retentionswirkung nur während des HW-Anstiegs, jedoch nicht mehr beim Maximalabfluss)
 - bei kleineren bzw. häufigen HW-Ereignissen deutlichen Einfluss auf den zeitlichen Verlauf und Maximalabfluss der Unterlieger des Eferdinger Beckens (d.h. stärkere Verlandung führt zu erhöhter Retentionswirkung)

8 Zusammenfassung

8.1 Beauftragung und Eckpunkte zum Projekt

Im Juli 2013 wurde PÖRY Energy GmbH vom Amt der Oö. Landesregierung mit einer hydraulischen Analyse des Hochwassers an der Donau vom Juni 2013 beauftragt. Bei dieser Beauftragung gab es enge Überschneidungen mit einem inhaltlich ähnlichen Auftrag des Amtes der NÖ Landesregierung, wobei sich der Auftrag von Niederösterreich auf die Grob-Analyse und Modellierung des Ereignisses beschränkte, während der oö. Auftrag zusätzlich die Optimierung der bestehenden Modelle und in der Folge deren Anwendung zum Inhalt hatte.

Für den ersten Teil des Projektes, der aus oö. Sicht als Phase I bezeichnet ist und der die oben angeführte Überschneidung zum Land Niederösterreich hat, wurde im Mai 2014 der abschließende Bericht erstellt (aus Sicht des Landes OÖ Endbericht zu Phase I). Entsprechend werden mit dem vorliegenden Endbericht die Arbeiten zur Phase II (Modelloptimierung) und Phase III (Neuberechnungen) dokumentiert.

8.2 Arbeitsschwerpunkte von Phase II und III des Projektes

Als Kerninhalte für Phase II und III sind die Optimierung der 2D-Modelle und deren Verwendung für unterschiedlichste Neuberechnungen zu sehen:

Modelloptimierung

Zur Optimierung der Modelle war vereinbart, dass auf die bestehenden Modelle (Modelle der Firmen SCIETEC/DonauConsult und riocom) aufgebaut wird.

Die wesentlichen Verbesserungen an diesen Modellen betreffen die Übernahme von aktuellen Vorlanddaten aus Laserscan-Daten (ALS) sowie die Aufprägung der aktuellen Stromgrunddaten der Donau. Zusätzlich wurden lokal Verbesserungen an der Netzgeometrie (Mesh) durchgeführt, wobei tendenziell durch Aufprägen der aktuellen Daten die ursprüngliche Netzgeometrie unverändert beibehalten wurde. Die Verbesserung der Netzgeometrie betraf daher jene Stellen, in welchen leichte Defizite erkannt wurden oder in denen eine besondere Genauigkeit an die Berechnungen gestellt wird. Entsprechend betreffen die Anpassungen primär Überströmstrecken, Hochwasserschutzanlagen, Durchlässe und Zubringer.

Berechnungen und Darstellungen

Die Berechnungen mit den optimierten Modellen lassen sich in folgende Teilaufgaben gliedern:

- § Nachrechnung des HW2013
- § Neuberechnung von HQ_{30} , HQ_{100} und HQ_{300} für das Eferdinger Becken und den Bereich St. Georgener Bucht / Enns-Enghagen, sowie für den Strudengau
- § Lamellenberechnungen für das Eferdinger Becken und den Bereich St. Georgener Bucht / Enns-Enghagen
- § Berechnungen für die vormaligen HQ_{100} -Abflussbereiche für fünf vom Land OÖ explizit definierte Hochwasserschutzanlagen
- § Berechnung für ein HQ_{EXTREM} für die gesamte öö. Donau
- § Berechnungen für Verhandlungsszenarien mit Auswirkungen auf das Eferdinger Becken

Für die Nachrechnung wurden als Input die offiziellen Daten der hydrographischen Dienste verwendet. Im Rahmen des gegenständlichen Projektes wurden keine ergänzenden Korrekturen oder Rückrechnungen von Inputdaten durchgeführt. Dies ergibt sich daraus, als im Jänner 2014 die Rohdaten für konsolidierte Durchflusszeitreihen vorgelegen sind und daraus von der via donau - in ihrer Rolle als hydrographische Stelle für die Donau - Durchflussdaten für alle maßgeblichen Pegeln erstellt und in der Folge zur Verfügung gestellt wurden. Für das Eferdinger Becken sind diese maßgeblichen Durchflussdaten die Durchflusszeitreihen des Pegels Aschach Agentie. Die Details und Begründungen zu diesen Daten finden sich unter Pkt. 2.5.1.1.1.

Die Neuberechnung von HQ_{30} , HQ_{100} und HQ_{300} für das Eferdinger Becken und für den Bereich St. Georgener Bucht / Enns-Enghagen, sowie für den Strudengau erfolgte mit den Durchflussdaten, wie sie sich aus dem hydrologischen Längenschnitt der Donau⁸⁴ ergeben. Die Berechnungen für das Eferdinger Becken erfolgten dabei für HQ_{30} und HQ_{100} stationär und für HQ_{300} instationär. Für den Bereich St. Georgener Bucht / Enns-Enghagen erfolgten gemäß Abstimmung mit dem Auftraggeber alle Berechnungen stationär, um eine bessere Interpretierbarkeit der Ergebnisse zu erzielen. Für den Strudengau wurden die Berechnungen von HQ_{30} , HQ_{100} und HQ_{300} ebenso stationär durchgeführt, weil es in diesem Donauabschnitt keine relevanten Retentionsräume gibt die eine instationäre Berechnung begründen könnten.

Für HQ_{EXTREM} wurden in Anlehnung an ein vom Land NÖ beauftragtes, inhaltlich verwandtes Projekt die Zuflussganglinien für die Donau (Pg. Achleiten) sowie für Traun und Enns festgelegt. Mit diesen Durchflussdaten, welche für Linz einen Abfluss von HQ_{5000} bis HQ_{10000} oder noch höher bedeuten, wurden die Berechnungen für die gesamte öö. Donau durchgeführt. Die Berechnung erfolgte in drei Teilschritten, wobei die Ergebnisse von Schritt 1 (Teilmodell M31-1) der Input für das nächste Teilmodell (M31-2) und dessen Ergebnisse wiederum der Input für das letzte Modell (M31-3) waren.

⁸⁴ Quelle: via donau

Bei den Verlandungsszenarien wurden für die Stauräume Aschach und Ottensheim-Wilhering die Zustände „verlandungsfrei“ (d.h. Sohle nach Stauerrichtung), „vor HW2013“ und „nach HW2013“ untersucht, wobei mit den gleichen Zuflüssen wie bei der Nachrechnung des Ereignisses von 06/2013 gerechnet wurde.

Als Ergebnisse wurden für alle Berechnungen außer HQ_{EXTREM} und die Verlandungsszenarien die Überflutungsflächen erstellt und zum Teil klassifizierte Datensätze der Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten aufbereitet. Alle Unterlagen wurden dem Land OÖ in digitaler Form für die Integration in deren GIS-System (DORIS) übergeben. Die Ergebnisse wurden vereinbarungsgemäß nicht als gedruckte Pläne bzw. Karten ausgefertigt.

Für HQ_{EXTREM} wurden die Überflutungsflächen und die Änderungen im Vergleich zum HW2013 in Abbildungen dargestellt. Diese sind in Anhang D enthalten.

Bei den Verlandungsszenarien wurden Auswertungen zu den sich ergebenden Differenzen der Überflutungswasserspiegel im Eferdinger Becken bei unterschiedlichen Verlandungszuständen durchgeführt. Diese sind in Anhang E enthalten.