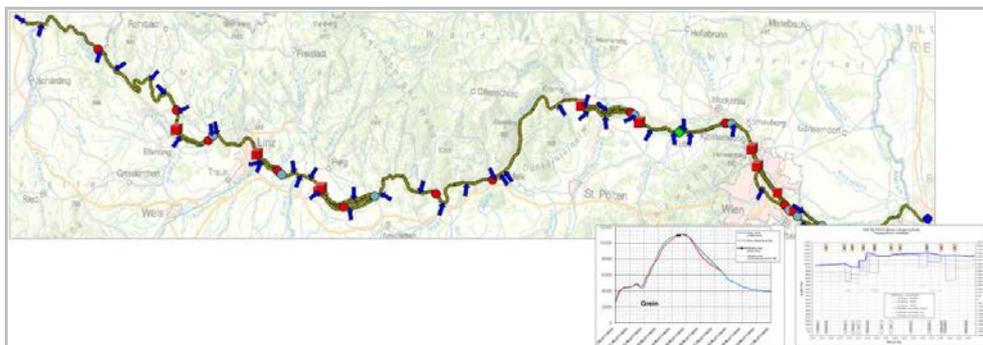


Hochwasser 2013

Grob-Analyse und Modellierung

Endbericht

Version 02₀₀₃ – 16.06.2014



im Auftrag von:

Amt der
OÖ Landesregierung



Amt der
NÖ Landesregierung



Linz/Wien, im Juni 2014

PÖYRY Energy GmbH

Kontakt

DI Günther Reichel

Freistädterstraße 3

A-4040 Linz

Austria

Tel. +43 (0)732 713120 - 20

Fax +43 (0) 732 713120 - 4

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

Pöyry Energy GmbH

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	<i>Ausgangssituation und Zielsetzung</i>	6
1.2	<i>Vorgehensweise und Chronologie – Abweichungen zu ursprünglichen Zielen</i>	7
1.3	<i>Ziele und grundsätzliche Überlegungen zum vorliegenden Bericht</i>	8
1.4	<i>Gliederung des Berichtes</i>	9
2	Datengrundlage	11
2.1	<i>Daten und Datenquellen</i>	11
2.2	<i>(Neu-)Visualisierung der Ausgangsdaten</i>	12
2.2.1	Überblick	12
2.2.2	Beispiele	14
3	Anmerkungen zu den verfügbaren numerischen Modellen	20
3.1	<i>Hydrodynamisches 1D-Modell der Donau</i>	20
3.1.1	Überblick	20
3.1.2	Zubringer im 1D-Modell	22
3.1.3	Abbildung der Abflüsse in das Vorland	24
3.1.4	Querprofile im 1D-Modell	25
3.1.5	Preissmann-Schlitze bei Vorlandprofilen.....	26
3.1.6	Abbildung des Betriebs der Kraftwerke an der Donau.....	27
3.2	<i>2D-Modell der Donau</i>	29
3.2.1	Überblick	29
3.2.2	Zubringer im 2D-Modell	30
3.2.3	Abbildung der Abflüsse in das Vorland	33
3.2.4	Datengrundlage: Laser-Scan und Stromgrunddaten.....	34
3.2.5	Abbildung des Betriebs der Kraftwerke an der Donau.....	36
3.2.6	Weitere Anpassungen an den Modellen.....	38
3.2.6.1	Umfassende Definition von Mess- und Kontrollpunkten	38
3.2.6.2	Anpassung der Überströmstrecke und der WBO für das KW Wallsee-Mitterkirchen.....	39
3.2.6.3	Anpassung im Unterwasser aller Kraftwerke um numerische Schwingungen zu unterbinden	40
3.2.6.4	Anpassung von Reibungsbeiwerten im Machland (Modell M31 ab Linz).....	41
4	Simulationen, Berechnungen, Analysen	46
4.1	<i>Vorbemerkungen und Überblick</i>	46
4.2	<i>Hydrologische und Hydro-meteorologische Analysen</i>	46
4.2.1	Abschätzung der Niederschläge im Umfeld des Eferdinger Becken.....	46
4.2.2	Abschätzung der Durchflussganglinien für nicht beobachtete Zubringer und Teileinzugsgebiete	47
4.2.3	Abschätzung der Fließzeiten zwischen Pegel und Mündung in die Donau.....	50
4.3	<i>1D-Simulationen</i>	51
4.3.1	Simulationen für die gesamte Donau oder für große Abschnitte	51
4.3.1.1	Überblick über die Simulationen	51
4.3.1.2	Darstellung und Auswertung.....	53
4.3.1.3	Korrektur der W-Zeitreihen.....	55
4.3.1.4	Ergänzende Überprüfung der Wasserstände	58
4.3.2	Simulation zu ausgewählten Detailbereichen und Detailfragen.....	64
4.3.2.1	Abschätzung der Unsicherheiten bei der Abflussberechnung für das KW Jochenstein	64

4.3.2.2	Überprüfung eines allfälligen Einflusses von Jochenstein auf den Pegel Achleiten.....	67
4.3.2.3	Abschätzung möglicher Unsicherheiten durch die OW-Daten des KW Aschach	70
4.3.2.4	Detailanalyse zu den Durchflüssen im Bereich Aschach	72
4.3.2.5	Analyse des Einflusses der Überströmstrecken im Eferdinger Becken auf die Durchflussganglinien.....	74
4.3.2.6	Analyse des Einflusses der Überströmstrecken beim KW Wallsee-Mitterkirchen.....	75
4.3.2.7	Analysen für den Bereich Korneuburg	76
4.4	<i>2D-Simulationen</i>	78
4.4.1	Allgemeines	78
4.4.2	Eferdinger Becken (Modell SCIETEC).....	78
4.4.3	Machland (Modell riocom - M31 ab Linz).....	89
4.4.3.1	Simulationen mit dem Original-Modell sowie mit Modellverbesserungen.....	90
4.4.3.2	Anlandungsszenarien	97
4.4.4	Tullnerfeld (M34-2).....	101
4.5	<i>Auswertungen von via donau und VHP zu den Stromgrunddaten</i>	107
4.5.1	Wichtige Vorbemerkung	107
4.5.2	Überblick und Zusammenfassung zu den durchgeführten Auswertungen	107
4.6	<i>Bilanzierung, ergänzende Auswertungen und Zusammenschau von Berechnungen und Beobachtungen</i>	112
4.6.1	Vorbemerkungen.....	112
4.6.2	Frachten und Doppelsummenanalysen.....	113
5	Maßgebliche Ergebnisse.....	116
5.1	<i>Festlegen der konsolidierten Maximal-Durchflüsse</i>	116
5.1.1	Vorgehensweise.....	116
5.1.2	Ergebnis.....	116
5.2	<i>Durchflussganglinien</i>	118
6	Zusammenfassende Aussagen zur Frageliste von Land NÖ	121
6.1	<i>Vorbemerkungen</i>	121
6.2	<i>Überprüfung der Zubringer aus Bayern (Inn, Donau)</i>	122
6.3	<i>Durchflussrelation Kienstock – Korneuburg – Wildungsmauer</i>	123
6.4	<i>Kraftwerkssteuerungen – Soll-Ist-Vergleich</i>	125
6.5	<i>Verifizierung der Pegelschlüssel und Extrapolation bis HQ300</i>	126
6.6	<i>Wehrbetriebsordnung der MA45 - Berücksichtigung der aktuellen Situation im Wiener Entlastungsgerinne</i>	128
6.7	<i>Überprüfung der hydraulischen Situation beim Zusammenfluss March / Donau unter Bedachtnahme auf den Pegelschlüssel Thebnerstrassl</i>	129
6.8	<i>Auswirkungen der umgesetzten HWS-Maßnahmen an der Donau</i>	132
6.9	<i>Auswirkung der Bewirtschaftung (Wald) im Nationalpark</i>	138
6.10	<i>Auswirkungen von HW-relevanten Bauten in der Slowakei auf HW-Spiegel</i>	141
6.10.1	Rechtsufriger Hochwasserschutz für Bratislava und Autobahn D2.....	141
6.10.2	Linksufriger Hochwasserschutz.....	143
6.10.3	Hochwasserschutz in Devin:	144
6.10.4	Resümee.....	146
6.11	<i>Ermittlung Auflandemengen – Einfluss auf Abflusssituation und HW-Spiegel</i>	147

6.12	<i>Überprüfung neue und bestehende HWS-Maßnahmen (Freibord)</i>	<i>148</i>
6.13	<i>Sedimentsituation im VHP-Bereich (Stauräume, Unterwasser)</i>	<i>152</i>
6.14	<i>Geänderte Flussmorphologie -u.a. verursacht durch Hochwasserschutzbauten und Überlaufstrecken im Machland.....</i>	<i>153</i>
6.15	<i>HQ100 Neuberechnung mit neuen Sohlaufnahmen.....</i>	<i>154</i>
7	<i>Zusammenfassung und Schlussfolgerungen</i>	<i>156</i>
7.1	<i>Ausgangssituation und Zielsetzung.....</i>	<i>156</i>
7.2	<i>Zusammenfassung der durchgeführten Arbeiten.....</i>	<i>156</i>
7.3	<i>Zentrale Ergebnisse und Erkenntnisse.....</i>	<i>158</i>

Anhang

- Anhang A:* *Datengrundlagen - Rohdaten*
- Anhang A.1:* *Durchflüsse und Wasserstände an der Donau (Ganglinien)*
- (A 1.1) Durchflüsse an der Donau (Ganglinien)
- (A 1.2) Wasserstände an der Donau (Ganglinien)
- (A 1.3) Maximale Wasserstände an der Donau
- (A 1.4) Maximale Wasserstände an der Donau im zeitlichen Verlauf
- Anhang A.2:* *Durchflüsse an den Donauzubringern und Durchflüsse/Wasserstände der bayerischen Zubringer*
- (A 2.1) Daten von Inn und Donau (Bayern)
- (A 2.2) Durchflüsse der Donauzubringer - OÖ
- (A 2.3) Durchflüsse der Donauzubringer - NÖ
- Anhang A.3:* *Kraftwerksbezogene Daten der VHP*
- (A 3.1) Daten aus den Wehrberichten der VHP (Überblick)
- (A 3.2) Daten aus den Wehrberichten der VHP (Detailliert)
- (A 3.3) Nachrechnungen und Variantenstudien der VHP
- Anhang A4:* *Pegelschlüssel und bisherige W-Q-Beziehungen*
- (A 4.1) Pegelschlüssel und W-Q-Beziehungen (Status vor HW-Analyse)
- Anhang B:* *Simulationsergebnisse 1D-Modell*
- (B.1) Simulationsergebnisse - Ganglinien
- (B.2) Pegelschlüssel und W-Q-Beziehungen
- Anhang C:* *Simulationsergebnisse und Auswertungen 2D-Modell*
- (C.1) Eferdinger Becken (Modell SCIETEC)
- (C.2) Machland (Modell riocom - M31 ab Linz)
- (C.3) Tullnerfeld (Modell riocom - M34-2)
- Anhang D:* *Auswertungen von Stromgrundaufnahmen von via donau*
- (D.1) Stromsohlenvergleiche je Querprofil
- (D.2) Stromgrundvergleiche je km
- (D.3) Massenbilanzen (zeitlicher Verlauf)
- Anhang E:* *Zentrale Ergebnisse*
- (E.1) Hydrologischer Längenschnitt
- (E.2) Durchflussganglinien

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Unmittelbar nach dem Hochwasser vom Juni 2013 wurde PÖYRY 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, ergibt sich sowohl inhaltlich als auch von der Zielsetzung eine so enge Überschneidung, dass vereinbart wurde, die bisherigen Arbeiten zur Analyse und Rekonstruktion des Hochwassers in einem gemeinsamen Bericht zusammenzufassen.

Eine weitere Überschneidung ergibt sich mit dem Auftrag des Amtes der OÖ Landesregierung zur Klärung „Prioritärer Fragen zu den Überflutungen im Eferdinger Becken“² sowie zum Projekt „HW-Schadensbildprognose – Ergänzung der Datengrundlage“³, wobei mit diesen Projekten Synergien durch das wechselseitige Profitieren von Erkenntnissen und den Nutzen durch für alle Projekte wichtige Berechnungen gegeben sind.

Zu den o.a. Aufträgen zur *hydrologischen Analyse des Hochwassers an der Donau vom Juni 2013* ist festzuhalten, dass der Auftrag der NÖ Landesregierung als bewusster erster, rascher Schritt die Ziele hatte, (a) jene Fragen zu klären, die (relativ) rasch behandelt werden konnten und (b) jene Fragen festzuhalten und zu schärfen, die kurzfristig nicht lösbar sind. Entsprechend wurde die Beauftragung unter dem Titel „*Hydrologische Grob-Analyse*“ und *Schaffung von Grundlagen als Basis für weitere Schritte und Entscheidungen*“ durchgeführt.

Der Auftrag der OÖ Landesregierung umfasste demgegenüber neben der Analyse und Rekonstruktion des Ereignisses (Phase I) bereits auch die Verbesserung des 2D-Modells für das ganz Oberösterreich ausgenommen dem Machland (Phase II) sowie die Neuberechnung von Spiegellagen, Überflutungsflächen und Wassertiefen (Phase III).

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 Land OÖ: Auftrag OGW-090000/9-2013/Wef/Skw vom 26.07.2013

³ Land NÖ/BMVIT; Auftrag Land NÖ: WA2-A-277/015-2012

Der vorliegende Bericht deckt demnach zum Auftrag des Landes NÖ die gesamten beauftragten Leistungen ab, während zum Auftrag des Landes OÖ noch Teile der Phase II sowie die gesamte Phase III offen sind.

Aus den Auftragsschreiben lassen sich folgende Arbeitspakete zusammenfassen, die bisher bearbeitet und nachfolgend beschrieben werden:

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

1.2 Vorgehensweise und Chronologie – Abweichungen zu ursprünglichen Zielen

Wie unter Pkt.1 beschrieben, waren die Analyse und Modellierung des Hochwasserereignisses vom Juni 2013 zunächst als rasche Grob-Analyse konzipiert.

Im Angebot für das Land NÖ war dazu von einem Zeitrahmen von 6-10 Wochen und von folgenden Überlegungen ausgegangen worden:

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 1 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 einen Ergänzungsauftrag von via donau⁴ gab es auch budgetär die Möglichkeit, bei der Analyse des Ereignisses weiter zu gehen, als es ursprünglich vorgesehen war.
- (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 hydrologischen Diensten, VHP und div. Zivilingenieuren haben sich wiederholt neue Daten, Erkenntnisse und Ausgangssituationen ergeben, die auch in das gegenständliche Projekt eingeflossen sind.

In diesem Sinne gehen die Analysen und Berechnungen in vielen Punkten deutlich über die ursprünglich angestrebte Bearbeitungstiefe hinaus. Zum einen werden 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 die Präsentation in NÖ am 07.10.2013 und 20.12.2013 (St. Pölten) sowie die Unterstützung von Pressekonferenzen in OÖ 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.

1.3 Ziele und grundsätzliche Überlegungen zum vorliegenden Bericht

Das wesentliche Ziel des vorliegenden Berichtes ist, die zentralen Ergebnisse zur Analyse und Modellierung zusammenfassend darzustellen und die Grundlagen zu ermitteln und Absicherung zu beschreiben.

Zusätzlich soll die Darstellung von unterschiedlichen Berechnungen und Analysen darstellen, wie die Ergebnisse von getroffenen Annahmen und von gegebenen Unsicherheiten abhängen (Sensitivitätsanalyse).

Auf die Beschreibung der Genese der Erkenntnisse sowie der Chronologie der Bearbeitungsschritte wird verzichtet.

In Hinblick auf die Tatsache, dass im Rahmen des Projektes immer neue und zusätzliche Daten und Informationen zur Verfügung gestellt wurden, sei festgehalten, dass viele Bearbeitungs- und Berechnungsschritte iterativ erfolgten und dass nicht alle Berechnungen und Auswertungen jeweils immer mit den aktuellsten Erkenntnissen nachgeführt wurden. Insofern ergibt sich, dass

⁴ Auftragsschreiben/Schlussbrief vom 18.12.2013

- (a) zwischen den Berechnungen zu einzelnen Themen im Detail leichte Unterschiede in Annahmen und Randbedingungen bestehen können (z.B. Sensitivitätsanalysen mit unterschiedlichen Durchflüssen und Modellvarianten)
- (b) einzelne Auswertungen eine leicht heterogene Datenbasis haben können (z.B. Bilanzierungen für die Vergleiche/Bewertungen von Szenarien)

In Hinblick darauf, dass im Bericht die Chronologie der Bearbeitung aber nicht dargestellt wird (siehe oben), wird im Folgenden auf diese Aspekte und ihre detaillierten Hintergründe nicht weiter eingegangen.

Festgehalten sei aber, dass die Heterogenität in den Berechnungen und Auswertungen in keinem Fall einen negativen Einfluss auf Aussagen oder Erkenntnisse hat: Überall, wo die Gefahr eines negativen Einflusses gegeben war, sind die Auswertungen mit dem Letztstand der Daten aktualisiert worden.

1.4 Gliederung des Berichtes

Der vorliegende Bericht ist bewusst als Ergebnisbericht konzipiert. Im Sinne einer leichteren Lesbarkeit werden im Berichtsteil viele Aspekte zusammenfassend beschrieben. Details (z.B. zu durchgeführten Simulationen) und vollständige Darstellungen (z.B. von Eingangsdaten und Ergebnissen) werden in eigenen Anhängen zusammengefasst.

Der vorliegende Bericht gliedert sich in folgende weitere Abschnitte:

- *Datengrundlage*
Beschreibt welche Daten zum Hochwasserereignis grundsätzlich verfügbar waren und wie sie genutzt wurden.
- *Anmerkungen zu den verfügbaren numerischen Modellen*
Fasst wichtige Aspekte zu den Berechnungen mit den numerischen Modellen zusammen.
Insbesondere wird dabei auch darauf eingegangen, welche Anpassungen an Modellen durchgeführt wurden und wie sich modell-technische Aspekte auf Berechnungen und Aussagen auswirken bzw. auswirken können.
- *Simulationen, Berechnungen und Analysen*
Fasst zu den durchgeführten Berechnungen die wichtigsten Aspekte zusammen. Beschrieben werden Ziele, Annahmen, Randbedingungen und Besonderheiten der Berechnungen sowie die zentralen Ergebnisse.
Dort, wo es zum Verständnis einer einzelnen Berechnung oder einer Gruppe von Berechnungen wichtig ist, werden die Ergebnisse der einzelnen Simulationen, Berechnungen und Analysen auch interpretiert und es werden Querverweise zu anderen Berechnungen gegeben. Eine übergreifende Interpretation aller Berechnungen und Analysen erfolgt im letzten Unterkapitel des Abschnittes.
- *Maßgebliche Ergebnisse*
Dieser Punkt umfasst die Darstellung des hydrologischen Längenschnittes sowie der Durchflussganglinien am zentralen Pegeln der Donau

- *Zusammenfassende Aussagen zum Fragenkatalog von Land NÖ*
Dieser Abschnitt enthält die Ausführungen zu allen Punkte des Fragenkataloges des Landes NÖ.
- *Zusammenfassung und Schlussfolgerungen*
Enthält eine Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse und Empfehlungen

2 Datengrundlage

2.1 Daten und Datenquellen

Die Daten, welche für die Analyse und Modellierung des Hochwasserereignisses vom Juni 2013 zur Verfügung standen, lassen sich in drei Gruppen unterteilen:

(1) *Ereignisbezogene hydrographische Daten von Hydrographischen Diensten/Abteilungen und von VHP*

Dieser Gruppe werden all jene Daten zugeordnet, welche das Ereignis direkt beschreiben oder die mit dem Ereignis direkt in Verbindung stehen. Bei all diesen Daten handelt es sich um Massendaten, die sich auf das gesamte Ereignis und die ganze Donau beziehen.

Beispiele:

Q- und W-Zeitreihen
Betriebsdaten der Kraftwerke
Querprofilaufnahmen und deren Auswertungen

(2) *Allgemeine wasserwirtschaftlich-hydrographische Daten von Hydrographischen Diensten/Abteilungen und von VHP*

Dieser Gruppe werden alle Grundlagendaten zugeordnet. Sie haben keinen direkten Bezug zum Ereignis, sind aber als Grundlage für die Analyse von besonderer Bedeutung.

Beispiele:

Wehrbetriebsordnungen
Angaben/Berechnungen zu Überströmstrecken

(3) *Ergänzende Daten Dritter*

Diese Gruppe umfasst Beobachtungen und Messwerte, welche von Dritten i.d.R. mit lokal eingeschränktem Bezug gemacht wurden. Diese Daten beziehen sich z.B. auf Beobachtungen im Rahmen der Einrichtung oder Umsetzung von Hochwasserschutzmaßnahmen sowie auf Beobachtungen von Bürgern und Gemeinden im Rahmen von Beweissicherung und Ereignis-Dokumentation.

Beispiele:

Beobachtungen von Feuerwehr und Gemeinden an mobilen Hochwasserschutzwänden
Beobachtungen von Bürgern zu maximal aufgetretenen Wasserständen oder zum zeitlichen Verlauf des Hochwassers
Aufnahmen der W-Scheitelwerte durch die Büros Thürriedl & Mayr, Humer
Vermessungsaufnahmen Land OÖ Abt. GOL

Für die Analyse und Modellierung selbst wurden zusätzlich wasserwirtschaftliche, hydrologische und meteorologische Daten aus Quellen wie z.B. dem Digitalen Hydrologischen Atlas (digHAO) oder Grundlagendaten zu den Österreichischen Donaukraftwerken verwendet.

Diese Daten werden im Sinne des gegenständlichen Projektes aber nicht als *spezifische* Daten gesehen. Sie werden daher nicht gesondert dokumentiert oder angeführt.

2.2 (Neu-)Visualisierung der Ausgangsdaten

2.2.1 Überblick

Ziel der (Neu-)Visualisierung ist eine gemeinsame, einheitliche Darstellung der wesentlichen Ausgangsdaten/Rohdaten.

Als Ergebnis der (Neu-)Visualisierung der Daten stehen alle Abbildungen in PDF-Files zur Verfügung (siehe Daten-DVD, Anhang 1). Eine Übersicht über die verfügbaren Inhalte und über deren Gruppierung gibt Tab.2.1.

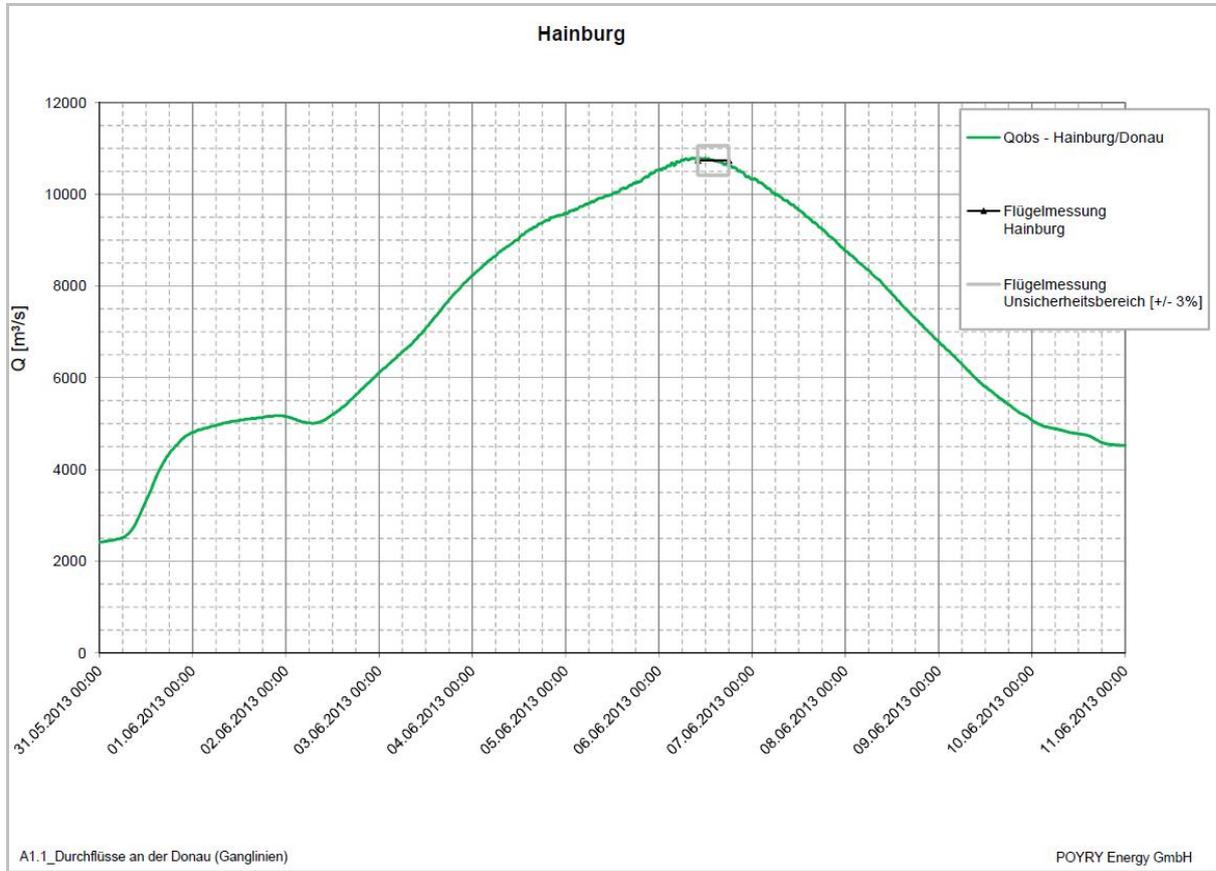
Tab. 2.1 Daten und deren Gruppierung bei der (Neu-)Visualisierung

Bezeichnung	Inhalt/Kurzbeschreibung	Quelle	Status
<i>A.1 - Durchflüsse und Wasserstände an der Donau (Ganglinien)</i>			
A1.1_Durchflüsse an der Donau (Ganglinien)	Q(t) für 8 Pegelstellen Ergebnis der Flügelmessungen samt Darstellung der Messzeit und eines 3%-Unsicherheitsbereiches	via donau	Rohdaten
A1.2_Wasserstände an der Donau und March (Ganglinien)	W(t) für 65 Pegelstellen an der Donau und 4 Pegelstellen an der March	via donau	Rohdaten
A1.3_Maximale Wasserstände an der Donau	Maximale Wasserstände aus Fixierungen und Pegelablesungen Darstellung für die gesamte Donau unterteilt in 4 Abschnitte	via donau	Erste Auswertung der Rohdaten
A1.4_Maximale Wasserstände an der Donau im zeitlichen Verlauf	Aufgetretene W-Höchststände und deren zeitlicher Verlauf	via donau	Erste Auswertung der Rohdaten
<i>A.2 - Durchflüsse an den Donauzubringern und Durchflüsse - Wasserstände der bayerischen Zubringer</i>			
A2.1_Daten von Inn und Donau (Bayern)	W(t) und Q(t) für Inn und Donau	LfU	Rohdaten
A2.2_Durchflüsse der Donauzubringer - OÖ	Q(t) für 12 Pegel an OÖ Donauzubringer	HD OÖ	Rohdaten
A2.3_Durchflüsse der Donauzubringer - NÖ	Q(t) für 17 Pegel NÖ Donauzubringer	HD NÖ	Rohdaten
<i>A.3 - Kraftwerksbezogene Daten der VHP</i>			
A3.1_Daten aus den Wehrberichten der VHP (Überblick)	Q(t) und W(t) bezogen auf die Kraftwerke an der Donau Jeweils angegeben sind: Q _{SUM} , W _{OW} , W _{WICHTIGE PEGEL}	VHP	Rohdaten
A3.2_Daten aus den Wehrberichten der VHP	Q(t) und W(t) bezogen auf	VHP	Rohdaten

Bezeichnung	Inhalt/Kurzbeschreibung	Quelle	Status
(Detailliert)	die Kraftwerke an der Donau Angegeben sind jeweils die Daten aus Beobachtungen und mehreren Berechnungen		Modell- ergebnisse
A3.3_Nachrechnungen und Variantenstudien der VHP	Q(t) und W(t) bezogen auf die Kraftwerke an der Donau Die Daten decken sich zu einem großen Teil mit den Daten von A3.2. Sie umfassen aber zusätzliche Ergebnisse aus Variantenstudien der VHP für unterschiedliche Betriebsstrategien	VHP	Rohdaten Modell- ergebnisse
<i>A.4 - Pegelschlüssel und bisherige W-Q-Beziehungen</i>			
A4.1_Pegelschlüssel und W-Q-Beziehungen (Status vor HW-Analyse)	Die Abbildungen umfassen die detaillierten Auswertungen aus der Konsolidierung der Daten der Hochwasserereignisse von 03/2002 und 08/2002. Ergänzend sind in den Abbildungen jeweils jene Pegelschlüsse enthalten, wie sie von via donau bei der Ermittlung der Rohdaten zum Ereignis von 06/2013 verwendet wurden.	div.	Abgestimmte Daten aus div. hydro-graphischen Bearbeitungen <u>vor</u> dem Hochwasser 06/2013

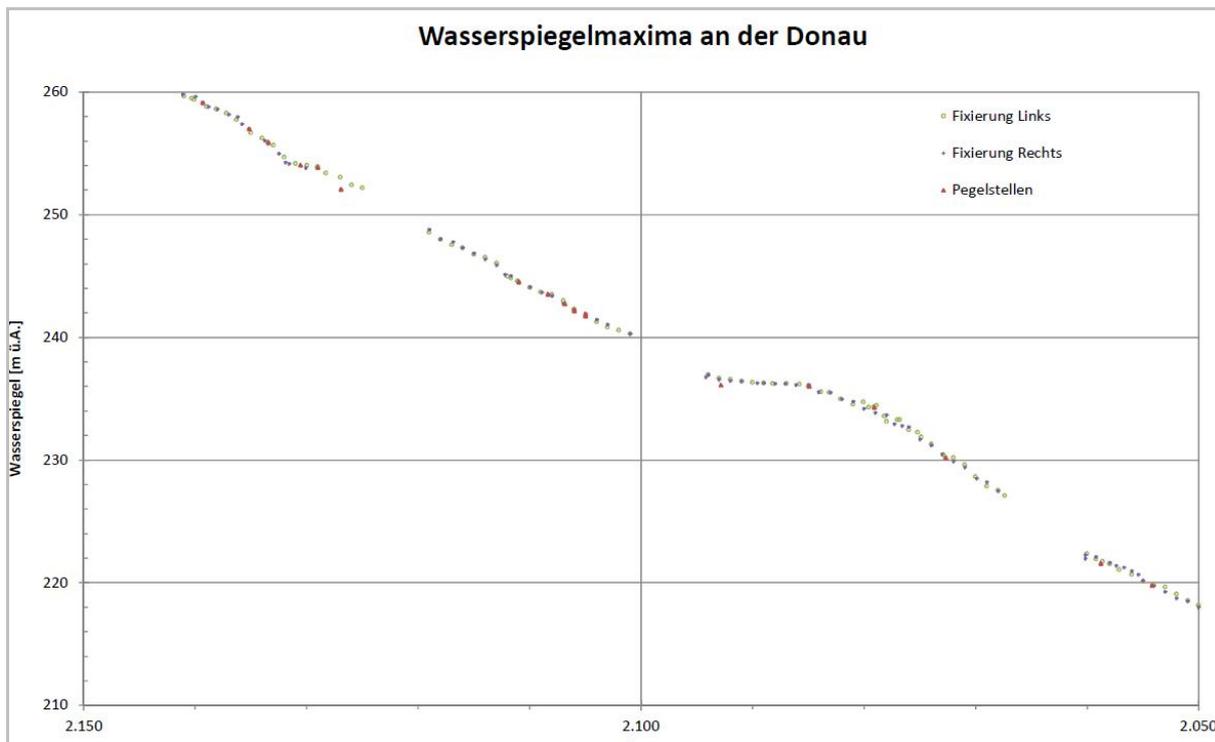
2.2.2 Beispiele

Abb. 2.1 Durchflüsse an der Donau (Anhang A1.1)



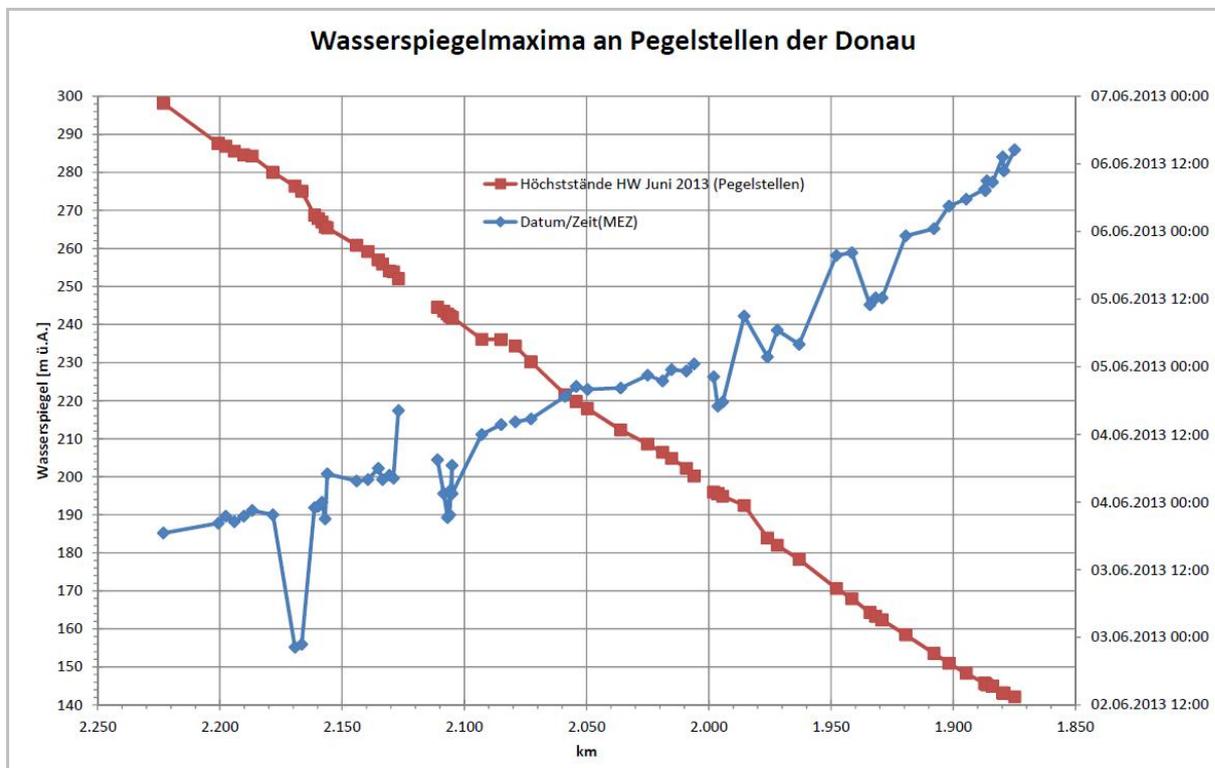
Die Abbildungen zeigen die aus gemessenen Wasserständen per Pegelschlüssel von via donau umgerechneten Durchflüsse (grüne Linie). Zusätzlich dargestellt sind die Ergebnisse von Flügelmessungen, wobei der schwarze horizontale Strich in Y-Richtung den gemessenen Durchfluss und in X-Richtung die Zeitspanne, in welcher die Messung stattfand, darstellt. Der graue Rahmen zeigt die Durchflussbandbreite von $\pm 3\%$ bezogen auf den gemessenen Durchfluss.

Abb. 2.2 Maximale Wasserstände an der Donau (Anhang A1.3)



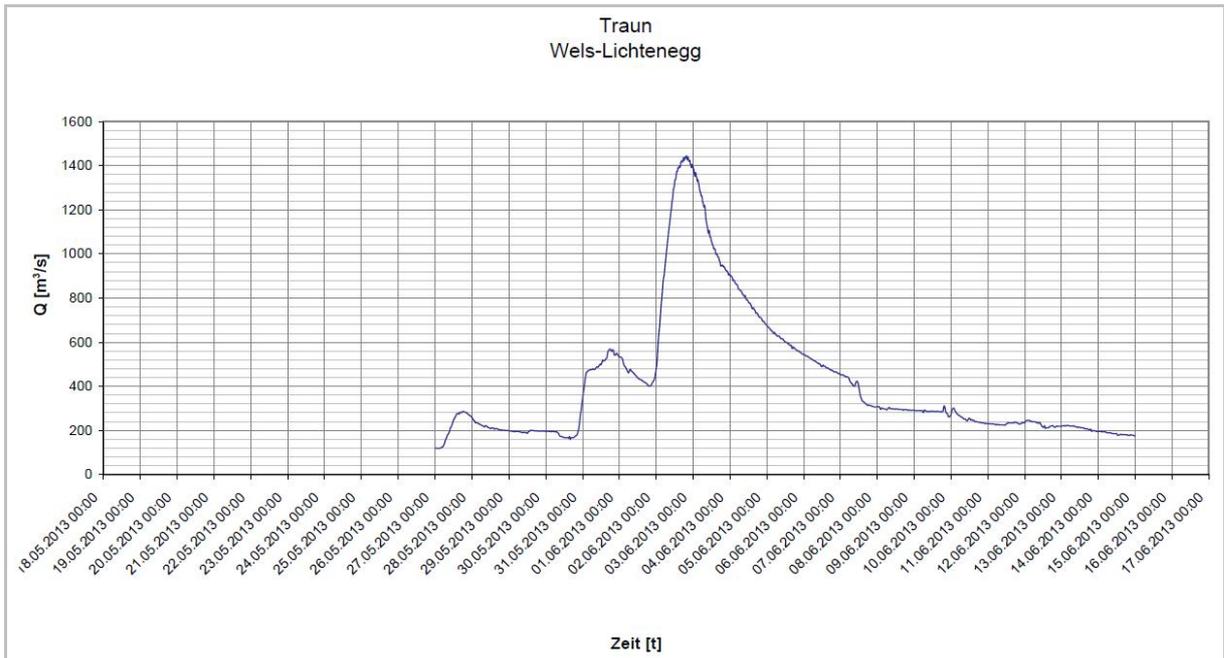
Die Abbildungen fassen alle beobachteten maximalen Wasserstände entlang der Donau zusammen, wobei in der Darstellung zwischen linkem und rechtem Ufer (links: grüne Kreise, rechts: blaue Kreuze) und den aus W-Zeitreihen an Pegeln ermittelten Werten (rote Dreiecke) unterschieden wird.

Abb. 2.3 Maximale Wasserstände an der Donau im zeitlichen Verlauf (Anhang A1.4)



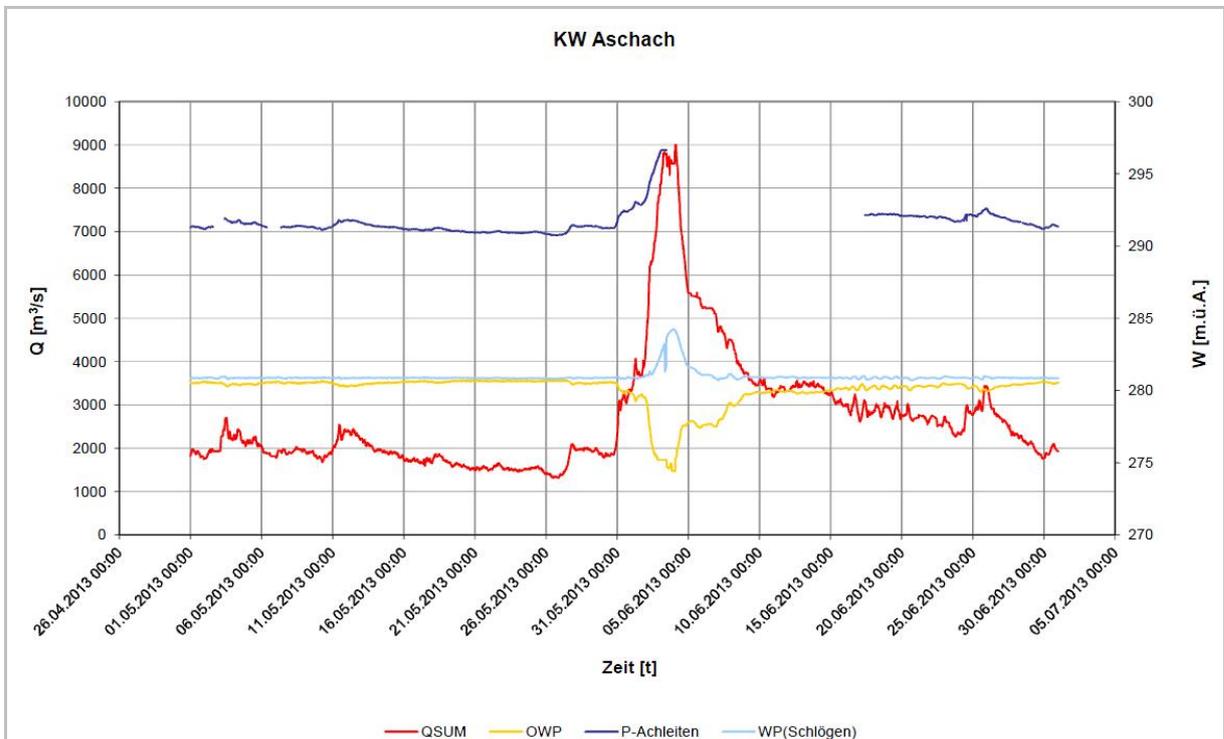
Die von via donau erstellte Grafik zeigt im Längenschnitt die W-Höchststände an allen Donau-Pegeln (rote Linie/Symbole) sowie den Zeitpunkt, wann die Höchststände an den Pegeln aufgetreten sind (blau Linie/Symbole und rechte Y-Achse).

Abb. 2.4 Durchflüsse der Donauzubringer (Anhang A2.1 bis A2.3)



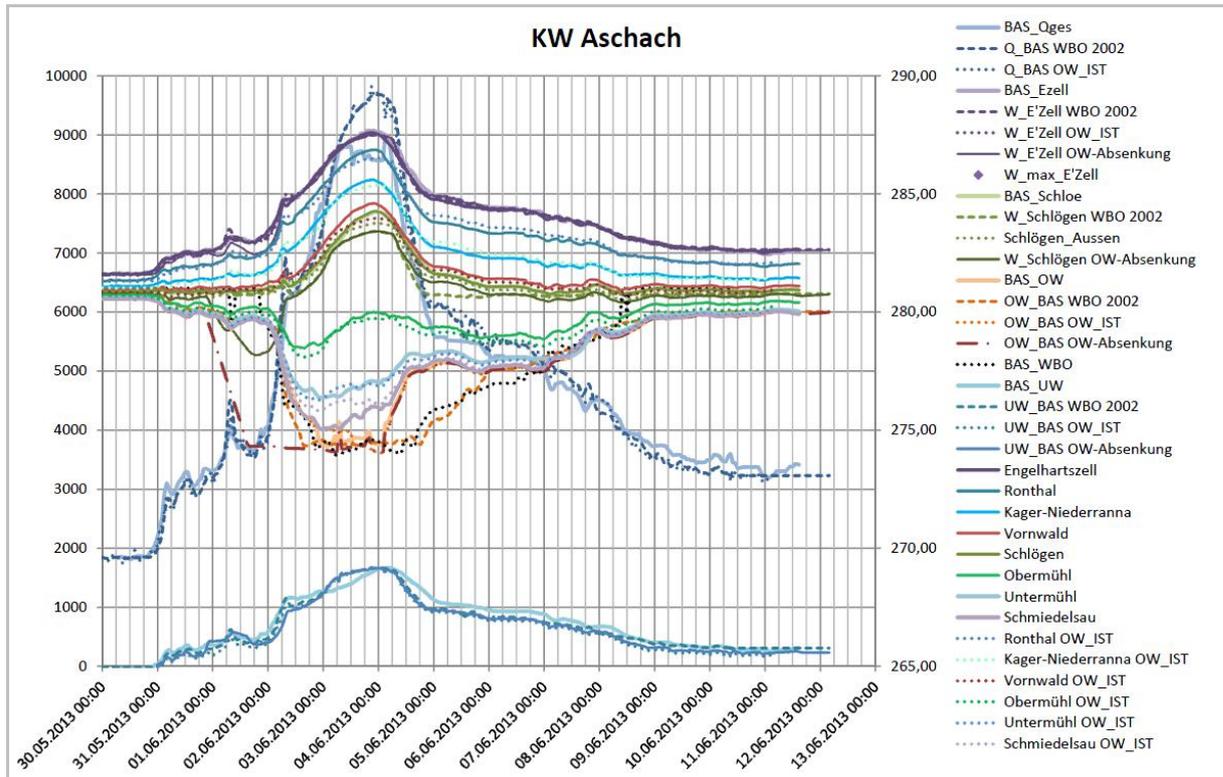
Die Abbildungen zeigen je Zubringer die Durchflussdaten, wie sie vom LfU, von HD OÖ und vom HD NÖ zur Verfügung gestellt wurden. Dargestellt werden Rohdaten jeweils in der Zeitspanne 18.05.-16.06.2013.

Abb. 2.5 Daten aus den Wehrberichten der VHP - Überblick (Anhang A.3.1)



Dargestellt werden jeweils $Q(t)$ und $W(t)$ für alle österreichischen Donaukraftwerke. Als Durchfluss wird jeweils der Gesamtdurchfluss dargestellt, wie er von VHP ermittelt wurde. Neben den Wasserständen beim Kraftwerk (OW und UW) werden z.T. auch die Wasserstände an Pegeln dargestellt, welche für den Betrieb der jeweiligen Kraftwerke sowie zur Grob-prüfung der Kraftwerksdaten verwendet werden.

Abb. 2.6 Nachrechnungen und Variantenstudien der VHP (Anhang A.3.3)

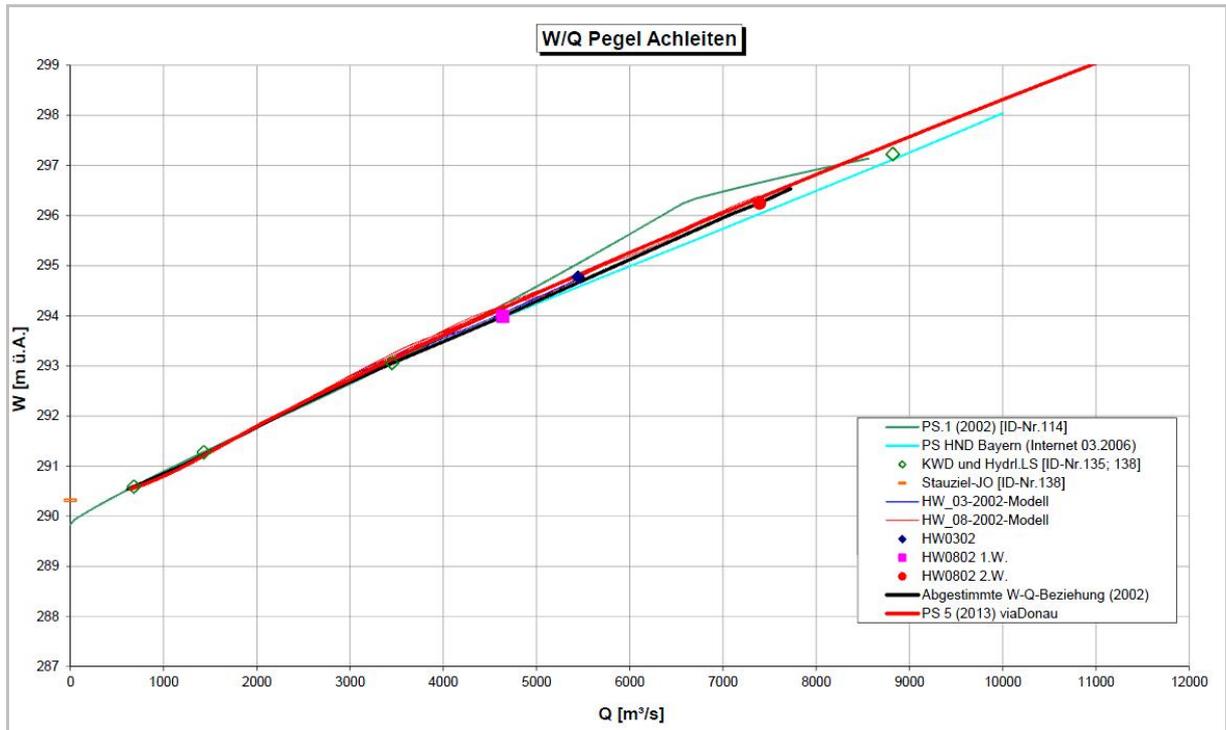


Die Abbildungen umfassen komplexe Zusammenstellungen von Messwerten und Simulationsergebnissen, wobei die Grafiken Durchflüsse und Wasserstände kombinieren. Die Abbildungen wurden von VHP erstellt und sind im vorliegenden Bericht als synoptische Datenbasis zu sehen.

In den Abbildungen wurde folgendes Bezeichnungs- und Linienschema verwendet:

- + Durchgezogene Linien zeigen Messwerte.
- + Punktierte Linien zeigen die erste Nachrechnung des Ereignisses durch VHP wobei bei den Kraftwerken jeweils die beobachteten OW-Pegel vorgegeben wurden (Parameter sind mit *_OW_IST bezeichnet).
- + Strichlierte Linien zeigen Ergebnisse für die Simulation, bei welchem der Wehrbetrieb so modelliert wird, wie er sich aus den im Jahre 2002 gültigen Wehrbetriebsordnungen ergeben hätte (Parameter bezeichnet mit *_WBO2002).

Abb. 2.7 Pegelschlüssel und W-Q-Beziehungen – Status vor HW-Analyse (Anhang A.4.1)

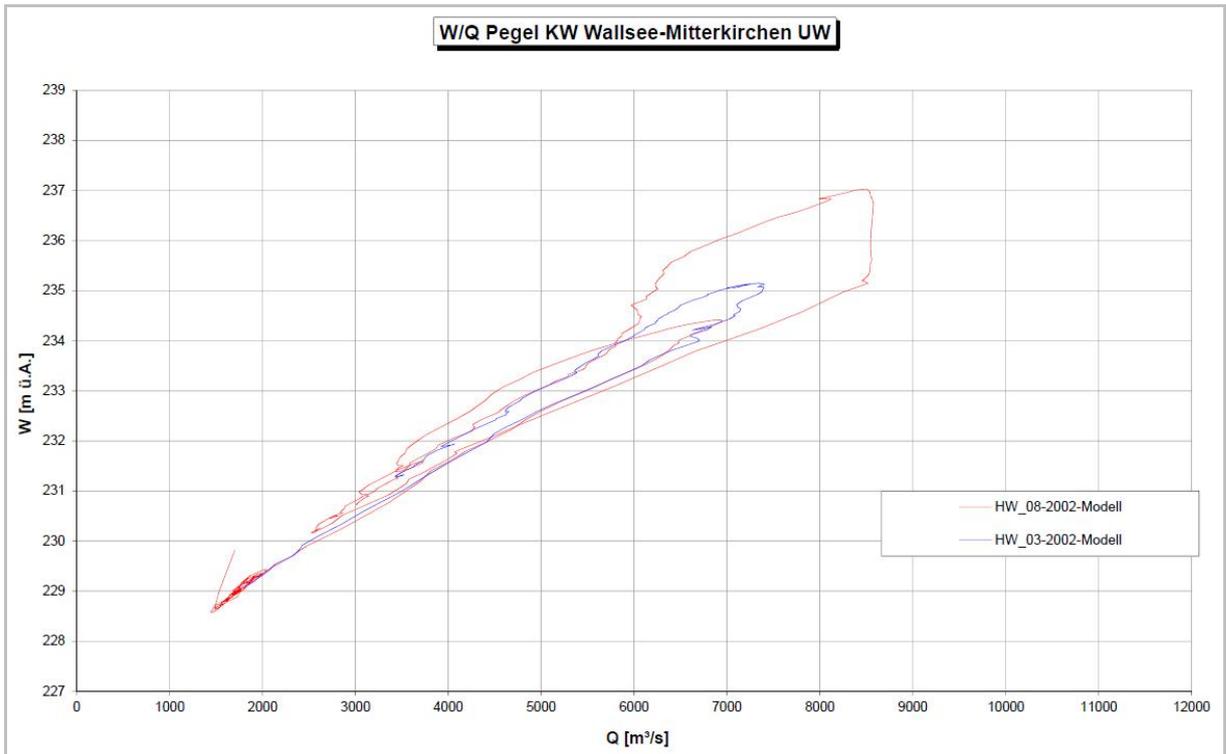


Die Abbildungen fassen Pegelschlüssel und W-Q-Beziehungen zusammen, wie sie als Ausgangsbasis für die Analyse und Modellierung zur Verfügung standen. Als Ausgangsbasis wurden für die Abbildungen die Abbildungen von der Konsolidierung der Daten der Hochwässer von 03/2002 und 08/2002 verwendet. Diese Abbildungen enthielten folgende Informationen:

- + Werte-Paare für W und Q zu den o.a. Hochwasserereignissen
- + entsprechende Werte-Paare aus KWD und aus hydrologischen Längenschnitten
- + Pegelschlüssel, z.T. in unterschiedlichen Varianten
- + W-Q-Beziehungen aus der Nachrechnung der o.a. Ereignisse
- + jene W-Q-Beziehung, die nach der Konsolidierung der Ereignisse von 03 und 08/2002 als „abgestimmte W-Q-Beziehung“ galt

Ergänzt wurden die Darstellungen primär um jenen Pegelschlüssel, der von via donau für das Ereignis 06/2013 für die Umsetzung der beobachteten Wasserstände in Durchflüsse im Juli 2013 verwendet worden war.

Abb. 2.8 Pegelschlüssel und W-Q-Beziehungen – Status vor HW-Analyse (Anhang A.4.1)



In Ergänzung zu den unter Abb.2.7 beschriebenen Pegelbeziehungen und Pegelschlüssel enthält Anhang A4.1 auch W-Q-Beziehungen aus den Nachrechnungen der Hochwasserereignisse 03/2002 und 08/2002. Diese W-Q-Beziehungen sind wichtige Indikatoren für das Ausmaß von Hystereseeffekten sowie über mögliche Einflüsse durch den Kraftwerksbetrieb und den Rückstau von seitlichen Zubringern.

3 Anmerkungen zu den verfügbaren numerischen Modellen

3.1 Hydrodynamisches 1D-Modell der Donau

3.1.1 Überblick

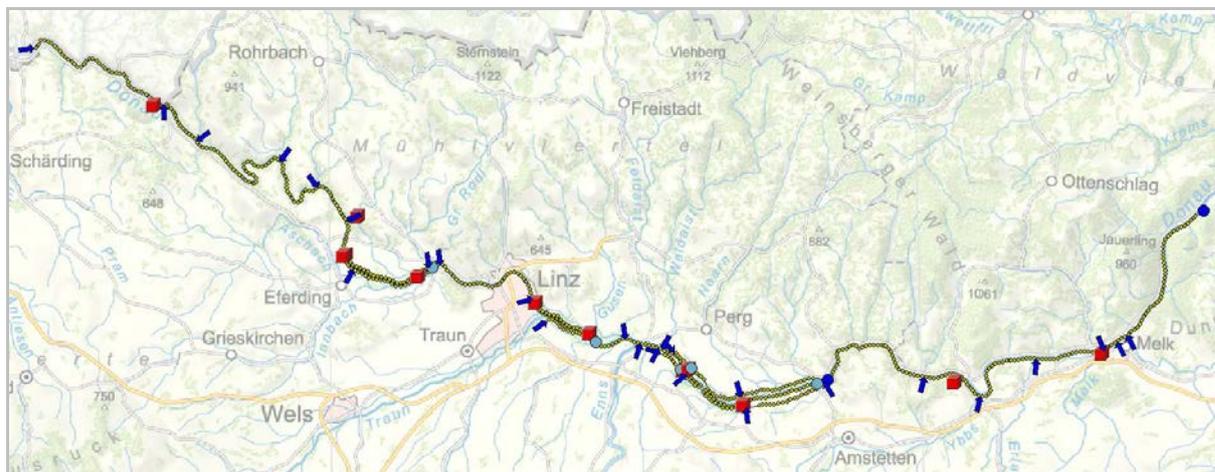
Bei der Konzeption und Beauftragung der Grob-Analyse und Modellierung war festgelegt worden, dass die instationären Berechnungen für die gesamte Donau mit dem existierenden 1D-Modell der Donau, welches im Auftrag von Land OÖ und Land NÖ von SCIETEC Consulting & Engineering GmbH für die Hochwasserprognose an der österreichischen Donau entwickelt wurde, verwendet werden sollte.

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 Prognose⁵ ist das Modell in 3 Teilmodelle (TM) unterteilt:

- TM1 deckt den Abschnitt etwa vom Donaukraftwerk Kachlet (Bayern, Donau km 2234, d.h. etwa 5 km oberhalb von Passau) bis zum KW Jochenstein (km 2203.36) ab. Es dient im Prognosefall die Berechnung der Werte für den Pegel Achleiten (km 2223.07).
- TM2 reicht vom Pegel Achleiten (km 2223.07) bis zum Pegel Kienstock (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).

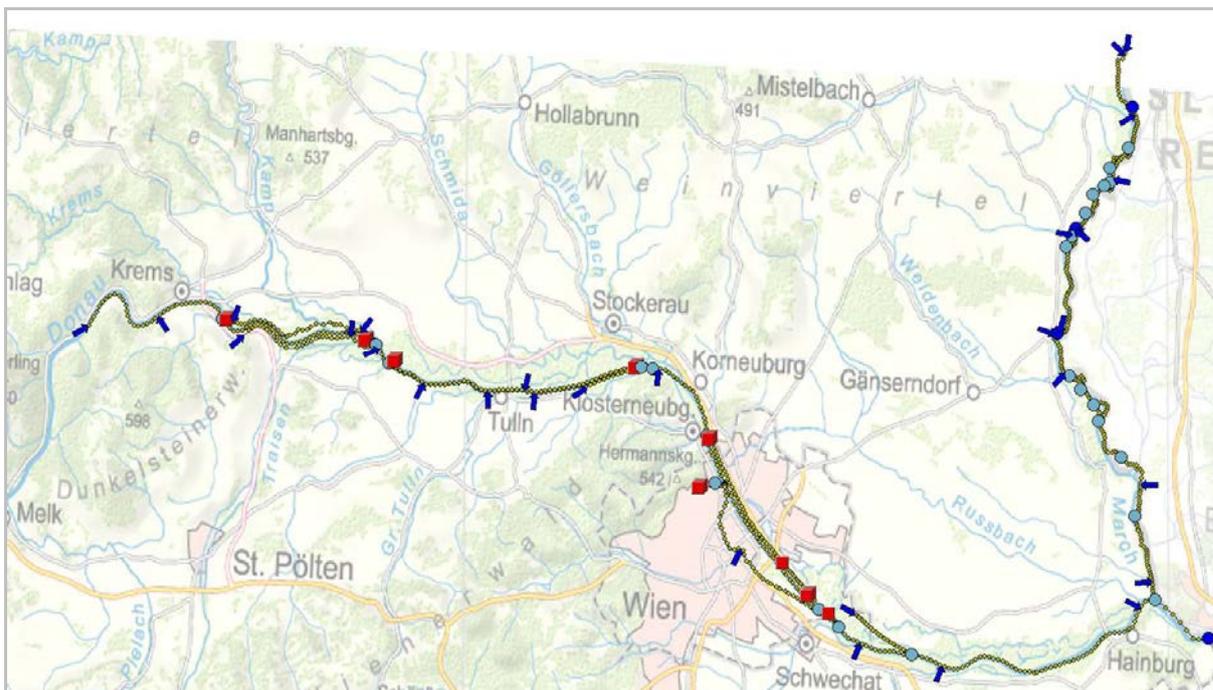
Für die Analyse und Modellierung des Hochwasserereignisses wurden TM2 und TM3 verwendet (Abb.3.1), da der Ausgangspunkt für die Berechnungen an der österreichischen Donau der Pegel Achleiten war und die Verwendung von TM1 damit keine zusätzlichen Informationen gebracht hätte.

Abb. 3.1 Hydrodynamisches Modell der Donau – TM2: Pg Achleiten – Pg Kienstock



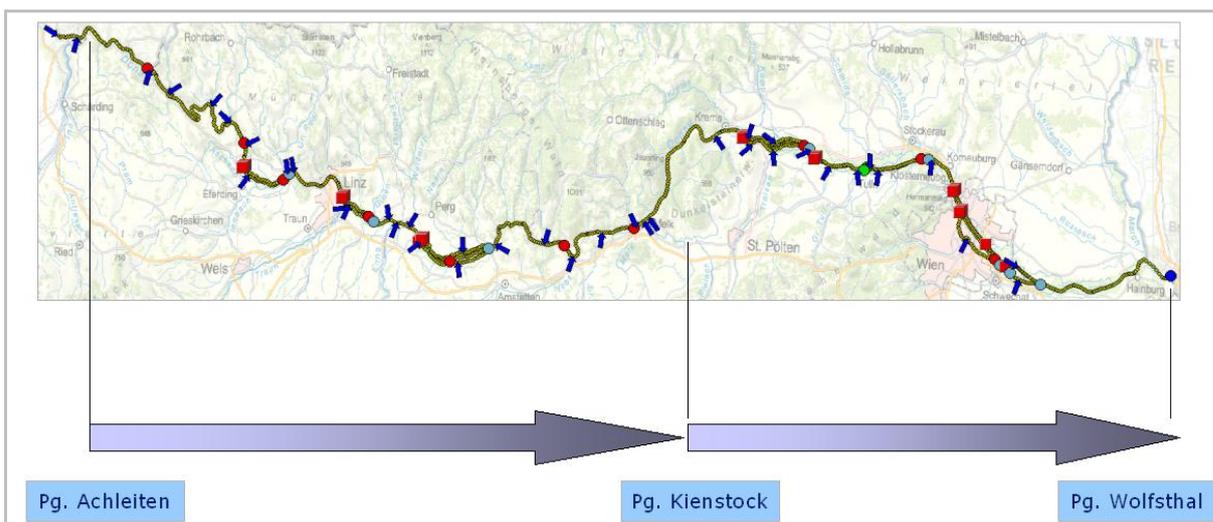
⁵ Einbindung von Messwerten bei den Pegeln Achleiten und Kienstock

Abb. 3.2 Hydrodynamisches Modell der Donau – TM3: Pg Kienstock – Pg Wolfsthal



Bei allen Betrachtungen für die gesamte Donau wurden die Berechnungen jeweils mit den beiden Teilmodellen so durchgeführt, wie die Modelle aktuell verfügbar waren. Zur Verbindung von TM2 und TM3 wurde jeweils die Durchflussganglinie, die mit TM2 für den Pegel Kienstock errechnet wurde als Input für TM3 verwendet (Abb.3.3).

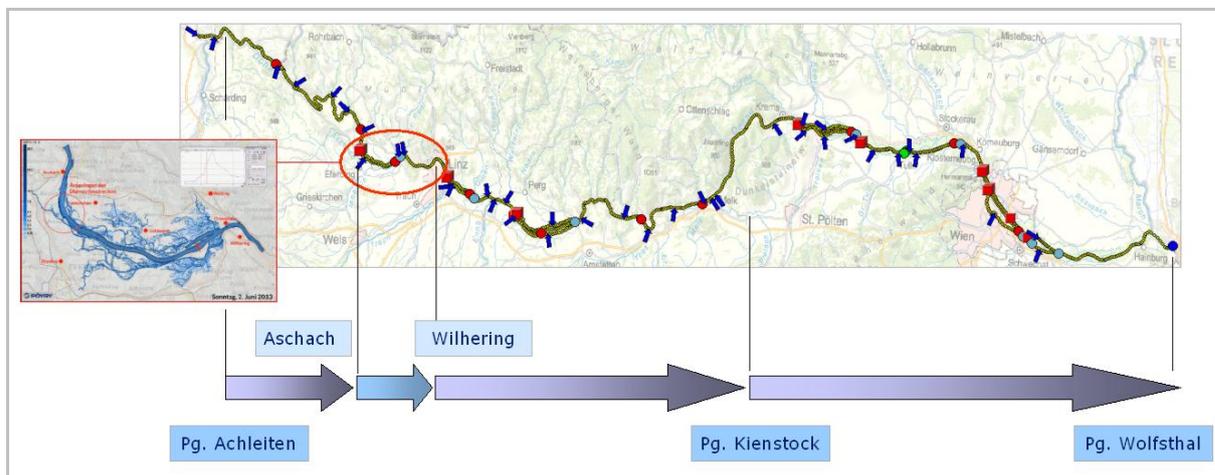
Abb. 3.3 Abschnittsweise Berechnung und Verbindung von TM2 und TM3



In Ergänzung zu diesen 1D-Berechnungen wurden in der Folge die Vorgänge im Eferdinger Becken mit einem 2D-Modell berechnet (vgl.4.4.2) 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 und 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.3.4).

Abb. 3.4 Abschnitte und Schnittstellen bei der Kombination von 1D- und 2D-Berechnungen



3.1.2 Zubringer im 1D-Modell

Im 1D-Modell sind entlang der Donau 37 Zuflüsse definiert. Von diesen repräsentieren 28 Zuflüsse Donauzubringer (z.B. Inn, Aschach, Traun, Enns, ...; vgl Tab.3.1).

9 Zuflüsse repräsentieren jeweils die diffusen Zuflüsse entlang der Donau samt den darin enthaltenen sehr kleinen Zubringern (z.B. Klambach, Kreuznerbach, Greinerbach im Bereich des KW Wallsee). Die Abbildung der diffusen Zuflüsse ist nach den 9 Donaukraftwerken gruppiert, wobei der zusammenfassende Zufluss jeweils im Unterwasser der Kraftwerke angeordnet ist.

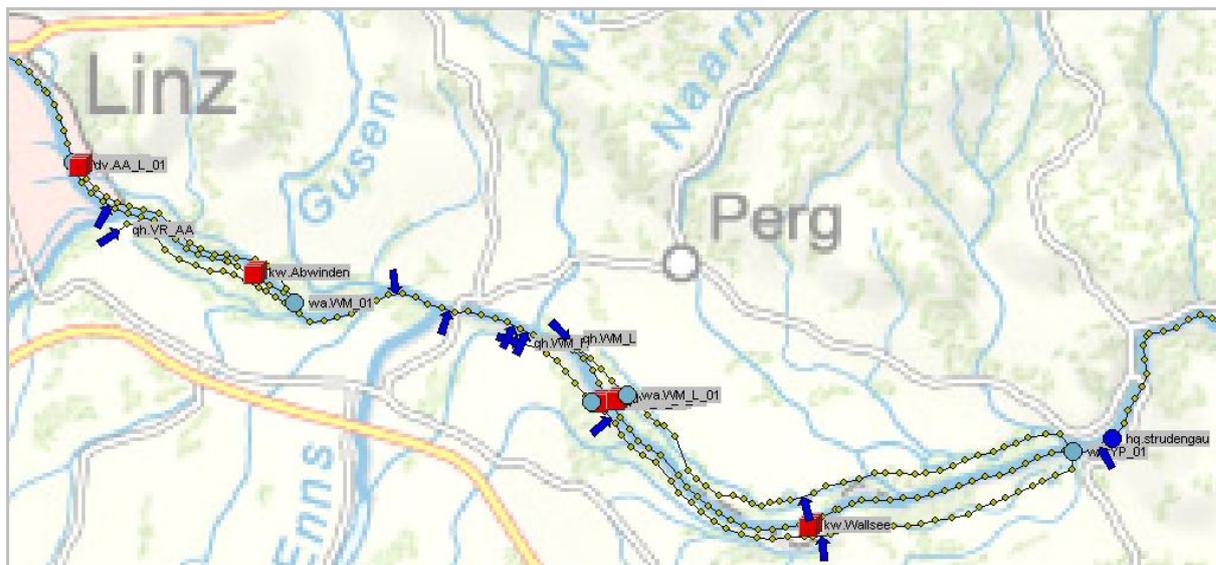
Die Festlegung der Zubringer und Zuflüsse wurde bereits bei der Entwicklung des Hochwasserprognosemodells für die Donau im Jahr 2006 getroffen. Die oben angeführten Zuflüsse sind jeweils jene Schnittstellen, an welchen im Prognosesystem die Daten von der N/A-Modellierung an das hydrodynamische Modell der Donau übergeben werden.

Für die Verwendung des hydrodynamischen Modells ist dazu wichtig, dass die Parametrierung des Reglers, welcher zur Abbildung von Wehrbetriebsordnungen verwendet wird, auf diese Zuflüsse abgestimmt ist. Im Sinne der bestmöglichen Nutzung des vorhandenen Modells wurden die definierten Zuflussschnittstellen für die Analyse und Modellierung des Hochwasserereignisses vom Juni 2013 so beibehalten, wie sie oben beschrieben ist und seit Jahren verwendet wird (Tab.3.1).

Tab. 3.1 Zuflüsse im 1D-Modell

Nr.	Zubringer	Dateiname	Einmündung	Fluss-KM (DO)
1	Donau	Q_Zufluss_Donau.dat	DO	2230
2	Inn	Q_Zufluss_Inn.dat	DO	r 2225.2
3	OOEdiff_JO	Q_Zufluss_OOEdiff_JO.dat	DO	r 2202.5
4	Ranna	Q_Zufluss_Ranna.dat	DO	l 2196.0
5	Kleine_Muehl	Q_Zufluss_Kleine_Muehl.dat	DO	l 2177.8
6	Grosse_Muehl	Q_Zufluss_Grosse_Muehl.dat	DO	l 2168.2
7	OOEdiff_OW	Q_Zufluss_OOEdiff_OW.dat	DO	l 2162.0
8	Aschach	Q_Zufluss_Aschach.dat	VL	r 2157.3
9	Grosse_Rodl	Q_Zufluss_Grosse_Rodl.dat	VL	l 2145.2
10	OOEdiff_AA	Q_Zufluss_OOEdiff_AA.dat	DO	l 2143.5
11	Traun	Q_Zufluss_Traun.dat	DO	r 2125.2
12	Gusen	Q_Zufluss_Gusen.dat	DO	l 2113.6
13	Enns	Q_Zufluss_Enns.dat	DO	r 2111.8
14	Aist	Q_Zufluss_Aist.dat	DO	l 2108.5
15	Erlabach	Q_Zufluss_Erlabach.dat	VL	r 2104.5
16	NOEdiff_YP	Q_Zufluss_NOEdiff_YP.dat	DO	r 2092.5
17	Naarn	Q_Zufluss_Naarn.dat	DO	l 2090.5
18	OOEdiff_YP	Q_Zufluss_OOEdiff_YP.dat	DO	l 2082.5
19	Isper	Q_Zufluss_Isper.dat	DO	l 2065.8
20	Ybbs	Q_Zufluss_Ybbs.dat	DO	r 2057.3
21	Erlauf	Q_Zufluss_Erlauf.dat	DO	r 2046.3
22	NOEdiff_AW01	Q_Zufluss_NOEdiff_AW01.dat	DO	l 2037.5
23	Melk	Q_Zufluss_Melk.dat	DO	r 2035.7
24	Pielach	Q_Zufluss_Pielach.dat	DO	r 2034.3
25	NOEdiff_AW02	Q_Zufluss_NOEdiff_AW02.dat	DO	r 2004.5
26	Krems	Q_Zufluss_Krems.dat	VL	l 1995.5
27	Kamp	Q_Zufluss_Kamp.dat	VL	l 1987.5
28	Traisen	Q_Zufluss_Traisen.dat	VL	r 1988.0
29	NOEdiff_GR	Q_Zufluss_NOEdiff_GR.dat	DO	r 1978.0
30	Perschling	Q_Zufluss_Perschling.dat	DO	r 1972.2
31	Grosse_Tulln	Q_Zufluss_Grosse_Tulln.dat	DO	r 1965.2
32	Schmida	Q_Zufluss_Schmida.dat	VL	l 1962.0
33	Kleine_Tulln	Q_Zufluss_Kleine_Tulln.dat	DO	r 1960.0
34	NOEdiff_FR	Q_Zufluss_NOEdiff_FR.dat	DO	r 1946.5
35	Wien	Q_Zufluss_Wien.dat	DK	
36	Schwechat	Q_Zufluss_Schwechat.dat	DO	r 1913.7
(37)	March		DO	l 1880.2

Abb. 3.5 Zuflüsse im 1D-Modell (exemplarisch für den Abschnitt Linz bis Ardagger)



3.1.3 Abbildung der Abflüsse in das Vorland

Die Abbildung der Abflüsse in das Vorland erfolgt im 1D-Modell grundsätzlich über Q-Q-Beziehungen, welche den Abfluss in das Vorland als Funktion des Durchflusses in der Donau definieren.

Hintergrund dazu ist, dass im 1D-Modell z.B. die komplexen Strömungsvorgänge an Überströmstrecken nicht direkt abgebildet werden und dass daher auf detaillierte Aussagen von Projekten, welche z.B. die Durchflussaufteilung zwischen Stromschlauch und Donau zum Inhalt hatten (z.B. Hydraulische Modellversuche der Donaukraftwerke oder Detailanalysen von VHP).

Diese Methodik hat den Nachteil, dass Einflüsse auf den Wasserstand - wie z.B. die Variation der Daten für den Wehrbetrieb – sich nicht in einer Änderung der Abflüsse in das Vorland widerspiegeln. Überall, wo derartige Punkte im Vordergrund stehen, müssen die aktuellen Q-Q-Beziehungen in korrespondierende Q-W-Beziehungen umformuliert werden (d.h. $Q_{\text{VORLAND}} = f(W_{\text{DONAU}})$).

Umgekehrt hat die Methode aber den Vorteil, dass im 1D-Modell trotz der vereinfachten Abbildung der Verhältnisse bei z.B. Überströmstrecken die Erkenntnisse aus komplexeren, tiefgehenden Detailanalysen und Methoden direkt und zuverlässig umgesetzt werden können.

Festgehalten sei, dass die Menge der Abflüsse in das Vorland, welche in den oben beschriebenen Q-Q-Beziehungen definiert sind (d.h. $Q_{\text{VORLAND}} = f(Q_{\text{DONAU}})$) aus den hydraulischen Modellversuchen der Donaukraftwerke AG und aus Detailberechnungen der Donaukraft und VHP stammen. Wichtig ist, dass diesen Modellversuchen und Berechnungen jeweils Querprofilaufnahmen zugrunde gelegt sind bzw. wurden, welche sich von den heutigen Querprofilen unterscheiden.

Entsprechend ist davon auszugehen, dass die im 1D-Modell angesetzten Abflüsse in das Vorland sich etwas von den beim Ereignis aufgetretenen Durchflüssen unterscheiden.

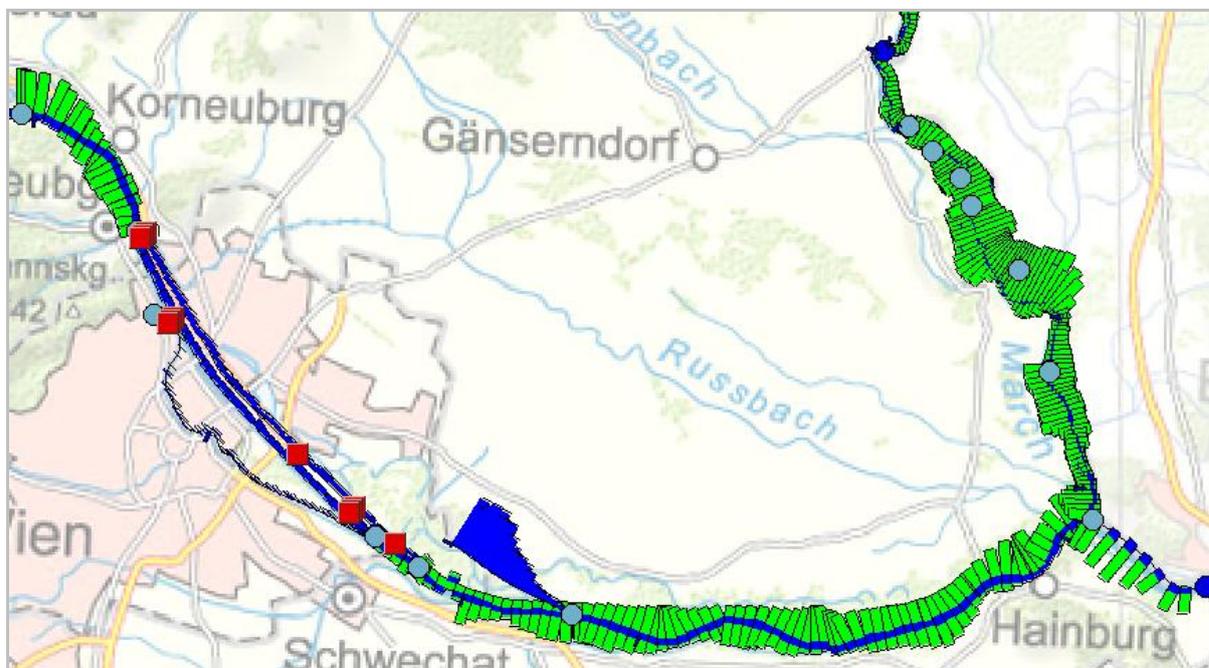
Dies umso mehr, als bei einigen Pegeln (z.B. Pegel Christl), die beim Ereignis aufgetretenen Wasserstände sich von den auf Basis von früheren Modellversuchen und Berechnungen erwarteten unterscheiden: Beim Pegel Christl z.B. war der aufgetretene Wasserstand etwa um 40cm niedriger als der erwartete. Entsprechend ist z.B. beim Eferdinger Becken davon auszugehen, dass auch die Abflüsse in das Vorland etwas geringer waren, als sie laut Modellversuchen und früheren Berechnungen zu erwarten waren.

Umgekehrt ist aber wichtig, dass die Ergebnisse der Grobanalyse auf die Abhängigkeit von Annahmen und möglichen Unsicherheiten geprüft wurden. Den späteren Ausführungen vorgehend sei festgehalten, dass die Art der Abbildung der Vorlandabflüsse keinen negativen Einfluss *auf die grundsätzlichen Aussagen und Ergebnisse* hat. Für Detailbereiche (z.B. Eferdinger Becken, Machland) werden zu den dort bestehenden spezifischen Fragen aber ergänzende Untersuchungen vorgeschlagen, wobei diese z.B. im Eferdinger Becken bereits für Phase II und III des Projektes vorgesehen sind.

3.1.4 Querprofile im 1D-Modell

Das 1D-Modell der Donau umfasst insgesamt etwa 1500 Querprofile, wobei die Donau mit einem mittleren Querprofilabstand von 500 m, die March von 250 m abgebildet ist⁶. Überall, wo die Fließvorgänge im Vorland von den Vorgängen in der Donau entkoppelt sind, wird das Gelände durch eigene Flussäste und eigene Querprofile abgebildet (z.B. zwischen der Überströmstrecke zur Dotation des Vorlandes und dem Rückfluss aus dem Vorland im Unterwasser von Kraftwerken).

Abb. 3.6 Anordnung der Querprofile im 1D-Modell (exemplarisch)



⁶ Der geringere Abstand der Querprofile an der March ergibt sich dadurch, dass für die detaillierte, stabile Abbildung der Fließ- und Überflutungsvorgänge an der March ein entsprechend kleiner Querprofilabstand erforderlich ist.

Die Abbildung zeigt exemplarisch Querprofile des 1D-Modells. Deutlich erkennbar sind in grün die Bereiche, welche als Vorland definiert sind sowie die getrennte Abbildung von Donau, Donaukanal und Neuer Donau im Bereich von Wien.

Die Querprofile im 1D-Modell weisen einen heterogenen Stand auf, der sich daraus ergibt, dass das Modell im Laufe der letzten zehn Jahre abschnittsweise und anlassbezogen aktualisiert wurde. Anlässe für die Aktualisierung von Querprofildaten waren z.B. Modellupdates nach Hochwasserereignissen, Querprofiländerungen für spezifische Berechnungen oder Aktualisierungen explizit zur Nachführung von z.B. Baggerprojekten.

3.1.5 Preissmann-Schlitz bei Vorlandprofilen

Als Besonderheit des Prognosemodells sind die in den meisten Vorlandprofile angeordneten Preissmann-Schlitz zu sehen: Preissmann-Schlitz sind schmale, tiefe Schlitz, welche die Aufgabe haben, dass in einem Profil immer ein Teil benetzt ist, so dass das Profil aus numerischer Sicht auch dann benetzt ist, wenn es in der Realität trocken ist.

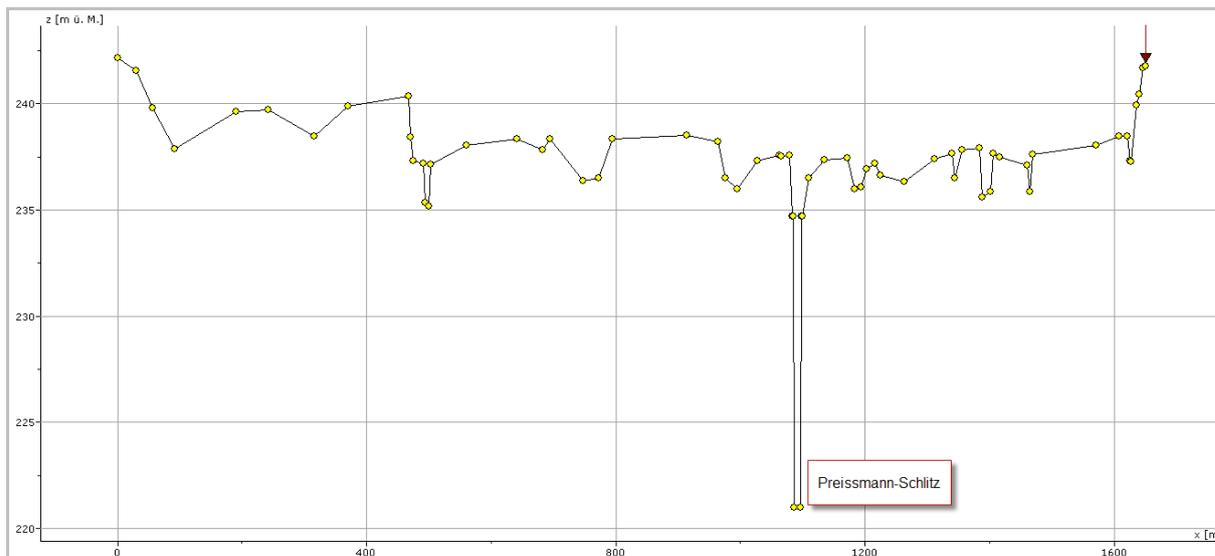
Dieses Verfahren wird angewendet, um auch bei in der Realität trockenen Vorlandprofilen mit dem Preissmann-Schema⁷ rechnen zu können. Dieses Schema hat den Vorteil, dass es sehr rasch rechnet und Querprofilabstände und Zeitschrittlängen unterstützt. Demgegenüber unterstützt z.B. das Finite-Volumina-Schema das Rechnen in trockenes Gelände. Es setzt aber in Hinblick auf Querprofilabstände wesentlich höhere Anforderungen an die Datenaufbereitung und hat im Vergleich zum Preissmann-Schema etwa um einen Faktor 10-50 längere Rechenzeiten⁸.

Die Verwendung von Preissmann-Schlitz ist grundsätzlich Stand der Wissenschaft und Technik. In einigen Programmen werden Preissmann-Schlitz automatisch bei der Berechnung von Programmen angenommen und angeordnet. Bei der Verwendung mit FLUX/FORIS müssen Preissmann-Schlitz vom Anwender explizit angeordnet werden. Das Ziel dieser, von der ETH Zürich gewählten Vorgehensweise ist, dass damit der Anwender eine vollständige Kontrolle und Information über die Änderung der Querprofilgeometrie hat.

⁷ Das Preissmann-Schema ist eines der aktuell als Stand der Technik angesehenen und in FLORIS implementierten numerischen Schemen.

⁸ Während beim Preissmann-Schema auch im Vorland Querprofilabstände von ca. 500 m möglich sind, würde die Verwendung des Finite-Volumina-Schemas Abstände von max. 50-100 m erfordern. Die Zeitschrittlänge kann beim Preissmann-Schema explizit vorgegeben werden und betrug bei den meisten Berechnungen für die Analyse 0.1 Stunden (d.h. 6 min). Bei der Verwendung des Finite-Volumina-Schemas wählt das Programm die Zeitschrittlänge selber, wobei Zeitschrittlängen von weniger als 0.01 Stunden zu erwarten wären.

Abb. 3.7 Anordnung von Preissmann-Schlitten in Vorlandprofilen (exemplarisch)



Als Nachteil ist zu den Preissmann-Schlitten festzuhalten, dass diese eine „entwässernde“ Wirkung haben können. Entsprechend werden Retentionsvorgänge in Vorländern oder auch das besonders lange Verweilen von Wasser in Vorländern, die mit dem Hauptfluss z.B. nur über enge Mulden verbunden sind, etwas schlechter abgebildet. Festzuhalten ist aber, dass die Vorteile in Hinblick auf Rechenzeit und Stabilität auch beim gegenständlichen Projekt überwiegen und dass eine Verwendung des Modells bzw. der Querprofile wie sie derzeit vorhanden sind, mit dem Finite-Volumina-Schema gar nicht möglich wäre.

3.1.6 Abbildung des Betriebs der Kraftwerke an der Donau

Für die Abbildung sind zwei grundsätzlich unterschiedliche Fragestellungen zu unterscheiden:

- (1) Bei der genauen Nachrechnung von Hochwasserereignissen im Allgemeinen und dem Ereignis vom Juni 2013 im Besonderen wird im Modell der beobachtete Wasserstand vorgegeben und nachgefahren. Mit dieser Herangehensweise wird der Durchfluss am Kraftwerk vom Modell (bzw. von dem im Modell integrierten Regelungsmodul) automatisch ermittelt, wobei das Ziel ist, den vorgegebenen Wasserstand bestmöglich nachzubilden.
- (2) Bei generellen Untersuchungen werden im Modell die gleichen Regeln formuliert und vorgegeben, wie sie sich in den Wehrbetriebsordnungen finden. Diese definieren typischerweise – und auch bei allen Donaukraftwerken – den Wasserstand im Oberwasser als Funktion des Wasserstandes an maßgeblichen Pegeln (OW-Pegel und Wendepegel).

Zu dem aktuell verwendeten Modell sei festgehalten, dass die Formulierung der Wehrbetriebsordnungen in einer leicht vereinfachten Form implementiert ist:

Zum einen sind alle Vorgaben auf den Durchfluss bezogen, d.h. $OW_{SOLL} = f(Q_{DONAU})$, da dies im Vergleich zur Formulierung von $OW_{SOLL} = f(W_{DONAU})$ mehr Stabilität und Sicherheit, insbesondere bei besonders großen Durchflussgradienten und starker

Regelungstätigkeit bringt.

Zum anderen sind alle Vorgaben von Sollwasserstände auf einen Durchflussspunkt bezogen und der Bezugswechsel, wie er z.B. beim Wechsel des Fokus vom OW-Pegel auf den Wendepiegel ergibt, wurde durch entsprechende Vorberechnungen implizit abgebildet⁹. Auch hier steht im Vordergrund, dass die Berechnungen stabiler sind und dass die Ergebnisse sich enger an den realen Betrieb der Kraftwerke anlehnen.

Ergänzend sei festgehalten, dass die oben beschriebenen Formulierungen der Betriebsvorgaben auf die aktuell im Modell verwendeten Querprofile abgestimmt sind. Wenn Berechnungen mit veränderten Stromgrunddaten durchgeführt werden bzw. wenn die Änderung der Stromgrunddaten einen Einfluss auf die Spiegellagen erwarten lässt, ist die Wechselwirkung mit den Betriebsvorgaben und in weiterer Folge auch mit den Vorlandabflüssen zu berücksichtigen. In diesem Fall müssen entweder die Vorgaben $OW_{SOLL} = f(Q)$ angepasst oder auf $OW_{SOLL} = f(W)$ umgestellt werden¹⁰.

⁹ Details siehe: Hochwasserprognosesystem Donau - 1D-Modell Donau – Endbericht (SCIETEC, 2006)

¹⁰ Die Umstellung erfolgt programmtechnisch in einer einzigen Datei, von welcher auch Versionen aus früheren Projekten verfügbar sind. Diese Datei (*ctr1_in*) kann mit den aktuellen Modelldaten mit geringfügigen Anpassungen verwendet werden.

3.2 2D-Modell der Donau

3.2.1 Überblick

Für die Analyse und Modellierung und als Basis für weitere Arbeiten sind folgende 2D-Modelle zu unterscheiden:

- (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 Lands OÖ erstellt.
Dieses Modell umfasst die Abschnitte km 2162.3 bis 2141.0 (Eferdinger Becken) und 2129.0 bis 2106.85 (Linzer Feld).
- (B) *Modell riocom: Gesamte österreichische Donau*
Das Modell wurde im Zeitraum 2010 bis 2012 von riocom im Rahmen des Projektes Danube Flood Risk erstellt.
Das Modell ist in vier Teilmodelle unterteilt und umfasst die gesamte österreichische Donau zwischen km 2223.5 (Pegel Achleiten) und 1872.7 (Staatsgrenze).

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 HW₃₀/HW₁₀₀-Überflutungsflächen ausgelegt und dazu auch kleinräumig sehr detailliert ausgearbeitet und überprüft.
- *Modell B* (riocom) wurde insbesondere für sehr hohe Durchflüsse (HQ₃₀₀/HQ₁₀₀₀) 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.

Sämtliche verwendete Modelle wurden vor den Analysen adaptiert bzw. im Laufe der Analysen weiterentwickelt (siehe 3.2.2, 3.2.5 und 3.2.6).

Abb. 3.8 2D-Modelle von SCIETEC: Eferdinger Becken (links) und Linzer Feld (rechts)

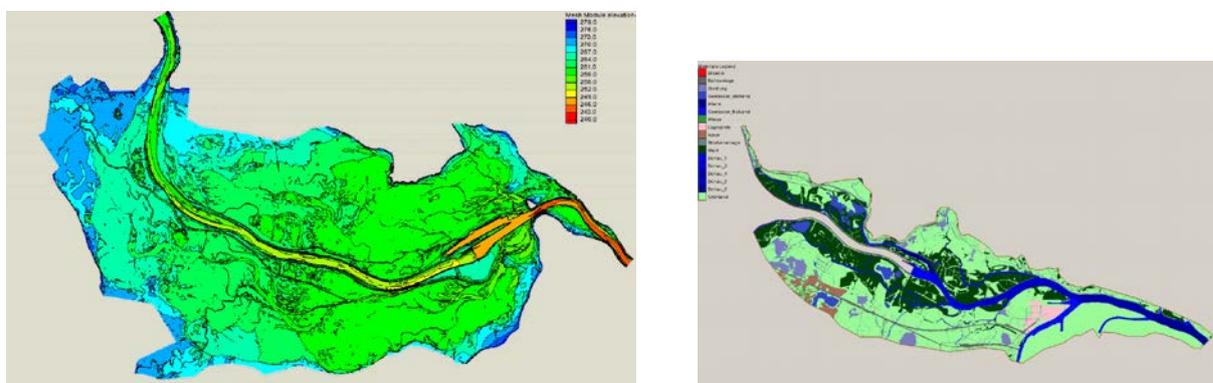
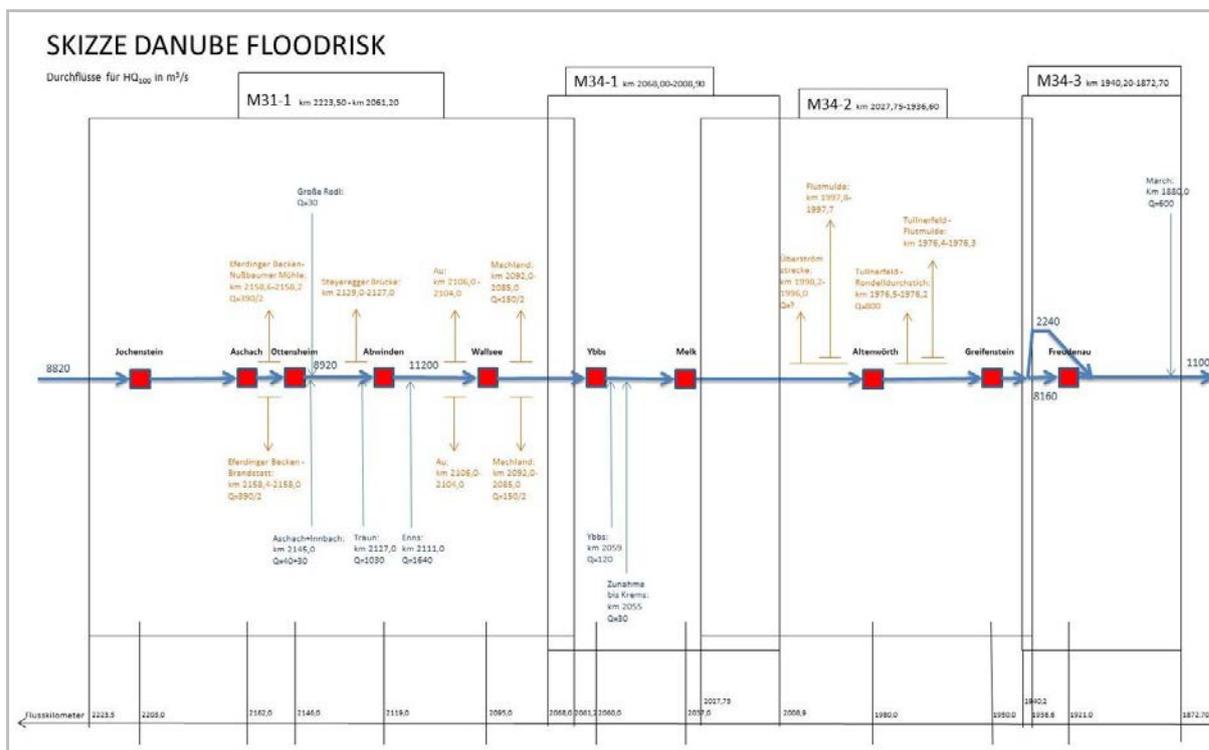


Abb. 3.9 2D-Modelle von riocom: 4 Teilmodelle für die gesamte Donau



3.2.2 Zubringer im 2D-Modell

Zu den Zubringern sind bei den 2D-Modellen im Vergleich zum 1D-Modell folgende Punkte wichtig:

- In den 2D-Modellen waren deutlich weniger Zubringer angesetzt, als im 1D-Modell. Für viele Zubringer, deren Mündungsbereiche im Modell geometrisch abgebildet waren, waren in den Ausgangsmodellen noch keine Randbedingungen (Durchflussganglinien) gesetzt. Für die Verwendung im gegenständlichen Projekt wurden aber zusätzliche Zubringer definiert. Die nunmehr implementierten Zubringer sind in Tab.3.2 angeführt.
- Nachdem bei der Entwicklung aller Modelle die Überflutung durch die Donau im Vordergrund gestanden ist, wurde auf die Abbildung der Zubringer nur geringes Gewicht gelegt. Entsprechend sind die geometrischen Verhältnisse bei den meisten Zubringern nur aus dem Laser-Scan abgeleitet. Eine detaillierte Modellierung von Bachbett und Gewässersohle erfolgte kaum bzw. nur dort, wie es im Zusammenhang mit den jeweils bestehenden Aufgaben oder auch als Teil der Modellanpassung/Modellkalibrierung erforderlich war (Traun, Enns und March).
- In Hinblick auf die Abbildung von Bachbett und Gewässersohle ist die modelltechnische Abbildung der Zubringer im Nahbereich der Donau meist etwas detaillierter als in den von der Donau weiter weg liegenden Bereichen. In den Modellen von riocom ist dabei eine zusätzliche Heterogenität dadurch

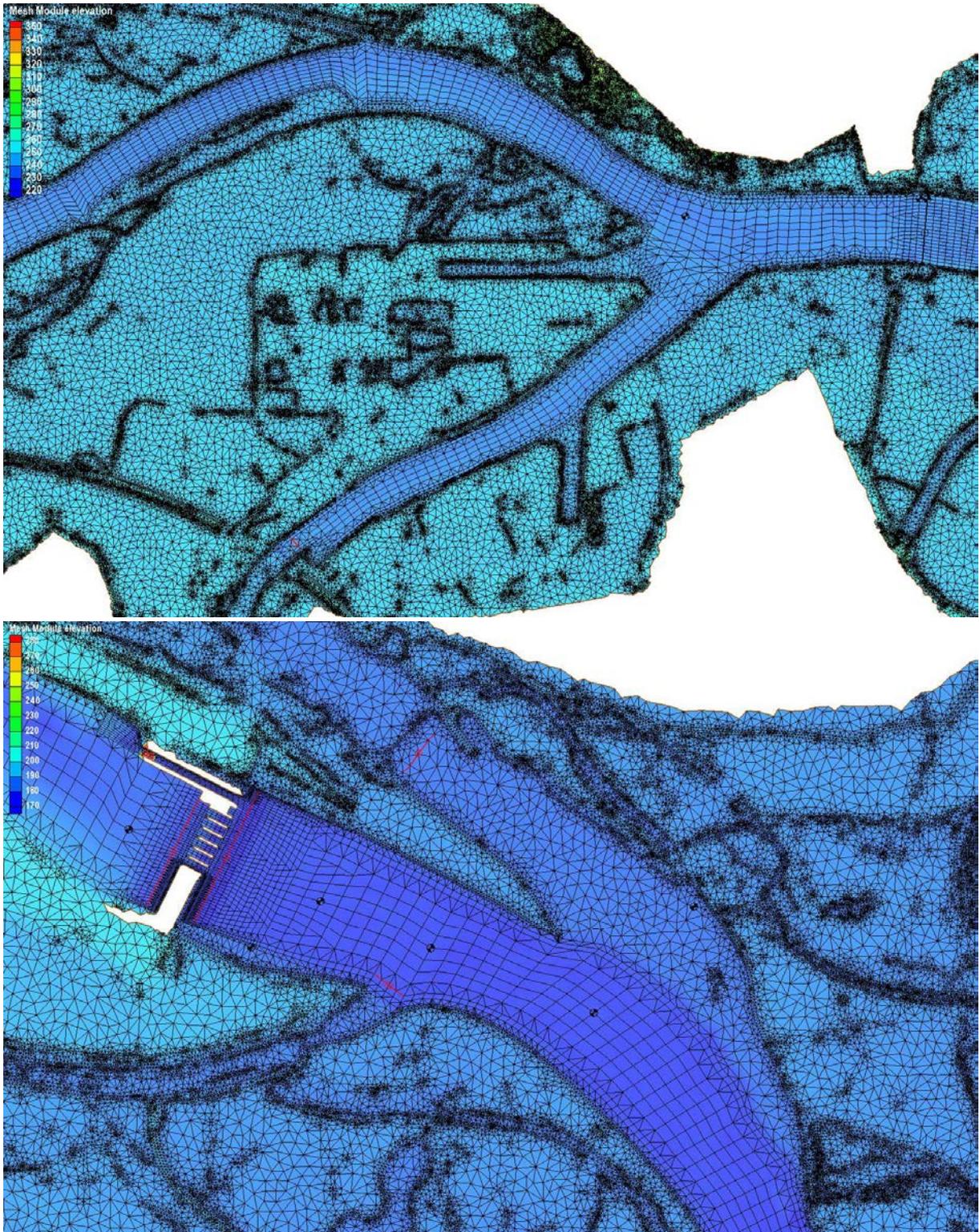
gegeben, als bei der Modellentwicklung zum Teil auf bestehende 2D-Modelle zurückgegriffen wurde.

- Für viele Zubringer gilt, dass sie im Wesentlichen nur die in der Donau liegenden untersten Mündungsbereiche geometrisch ausgeformt sind und dass der Teil der Zubringer, der im Modell abgebildet ist, relativ kurz ist. Entsprechend werden auch Retentions- und Speichereffekte, wie sie im Extremen bei der March, im abgeminderten Umfang aber auch Traun, Traisen, etc. zu beobachten sind, in den Modellen nur bedingt abgebildet.

Tab. 3.2 Zubringer in den 2D-Modellen bei der gegenständlichen Analyse

Bezeichnung	Bereich	Fkm Anfang	Fkm Ende	Zubringer
SCT.EB	Eferdinger Becken	2162,3 (UW KW Aschach)	2141	Aschach & Innbach (rechtsufrig), Pesenbach & Gr. Rodl (linksufrig), alle auf ALS-Basis abgebildet
M31 ab Linz	Donau OÖ ab Linz	2139.3	2061,2 (OW KW Ybbs)	Traun & Enns (rechtsufrig) inkl. geometrischer Abbildung des untersten Abschnitts
M34-1	Donau NÖ (Ybbs - Wachau)	2068 (Stauraum Ybbs)	2008.9	Ybbs, Erlauf & Pielach (rechtsufrig) alle auf ALS-Basis abgebildet, Zuläufe unmittelbar in Donauhauptschlauch
M34-2	Donau NÖ (Wachau - Wien)	2026,75 (Aggsbach)	1936.6	Traisen, Perschling & Gr. Tulln (rechtsufrig), Kamp inkl. Krems (linksufrig) alle auf ALS-Basis abgebildet, Zuläufe unmittelbar in Donauhauptschlauch (außer Kamp)
M34-3	Donau NÖ (Wien - Staatsgrenze)	1940,2 (Korneuburg)	1872.7	March (linksufrig) geometrische Abbildung bis Angern

Abb. 3.10 Zuflüsse/Mündungsbereiche im 2D-Modell (exemplarisch: oben Enns, unten Kamp und Traisen)



3.2.3 Abbildung der Abflüsse in das Vorland

Die Abbildung der Abflüsse in das Vorland erfolgt im 2D-Modell grundsätzlich über die Nachbildung der geometrischen Verhältnisse in den Ausuferungsbereichen.

Dies gilt insbesondere auch für die Abflüsse über die Überströmstrecken, wobei der Abfluss über die Überströmstrecke naturgemäß auch stark von den Reibungsbeiwerten im Bereich der Überströmstrecken und im Vorland abhängig ist. Dabei zeigt die stichprobenartige Analyse der Modelle, dass im Bereich der Überströmstrecken oft sehr heterogene Reibungsbeiwerte definiert wurden und dass die Festlegungen mitunter im Widerspruch zu Vegetation und Landnutzung stehen. Die Festlegung der Reibungsbeiwerte ist dabei offensichtlich lokal zu kleinräumigen Kalibrierung eingesetzt worden, wobei es keine Übersicht gibt, wie weit die Kalibrierung auf beobachtete Wasserstände oder auf angestrebte Durchflussaufteilungen abzielt.

Abb. 3.11 Reibungsbeiwerte und Landnutzung im Bereich der Überströmstrecke im Eferdinger Becken (exemplarisch: links Reibungsbeiwerte, rechts Landnutzung/Luftbild)

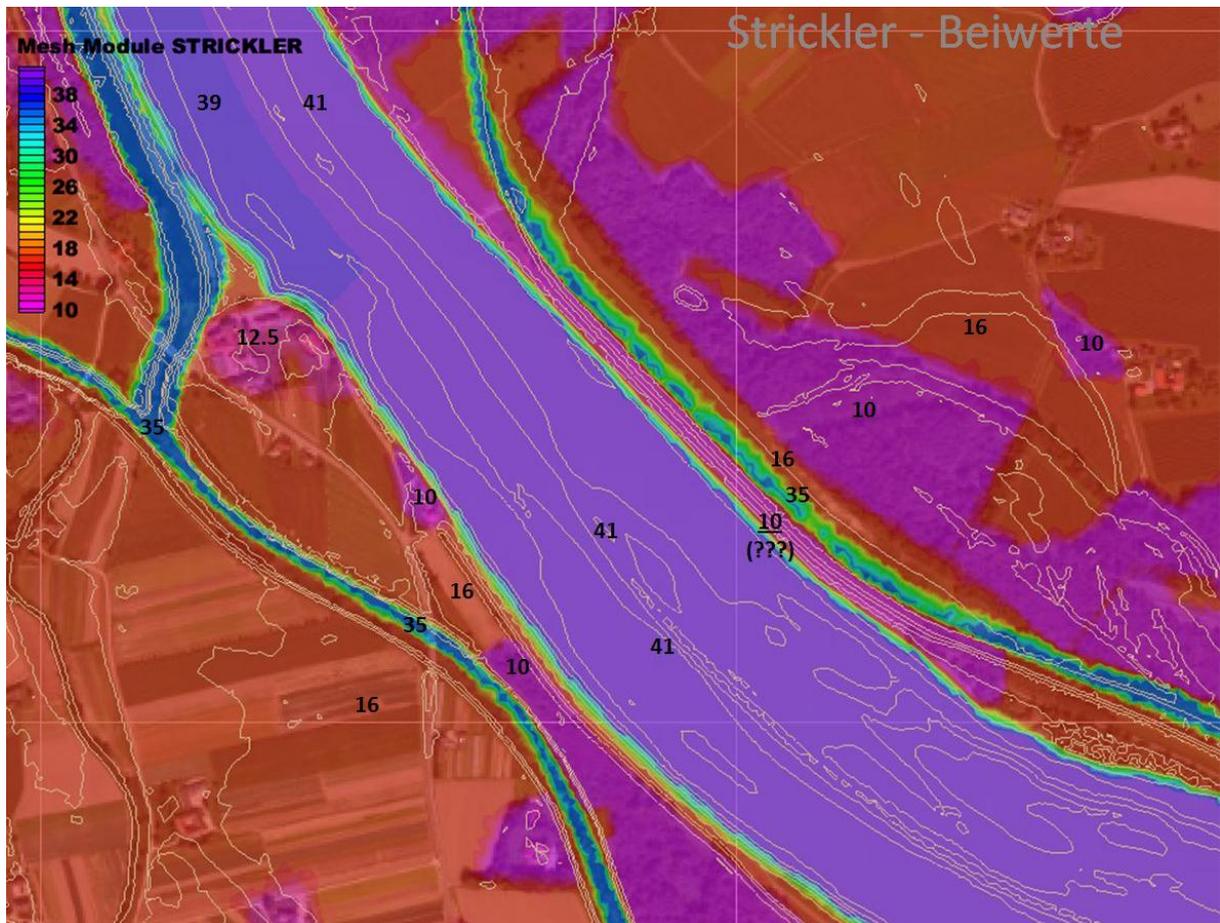
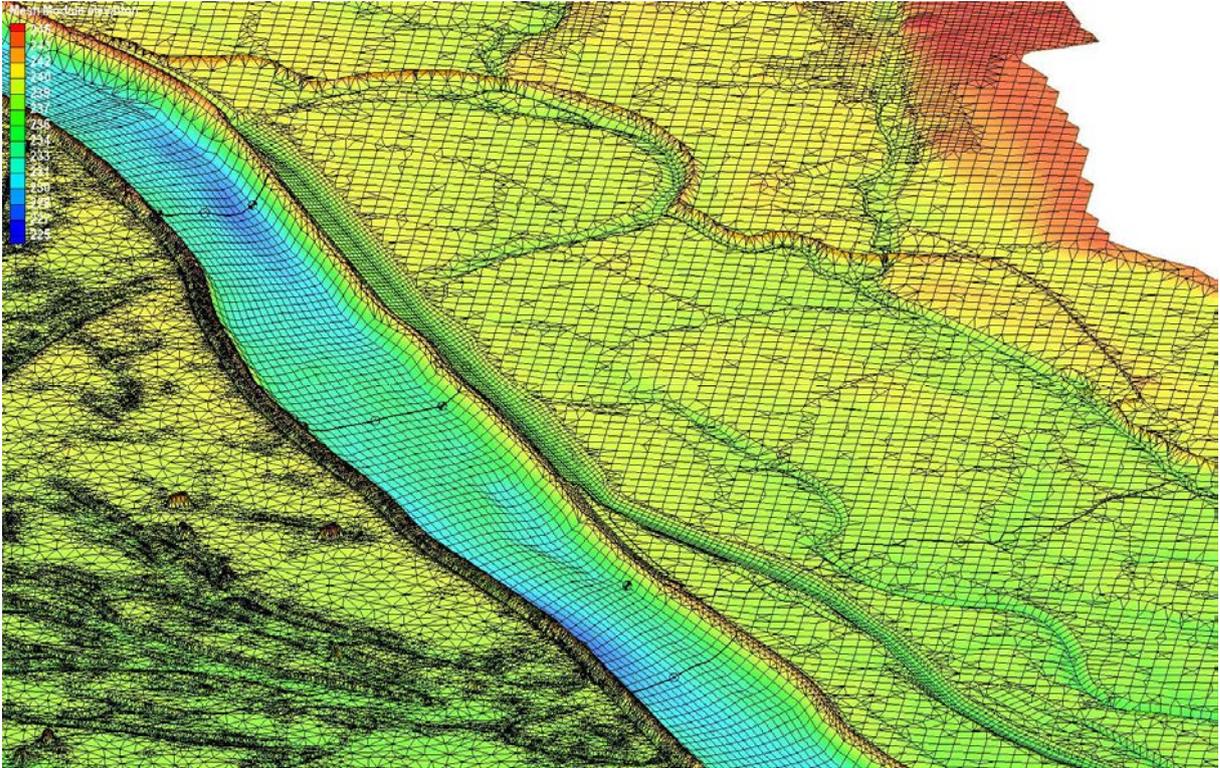


Abb. 3.12 Geometrische Abbildung von Überströmstrecke (exemplarisch Machland)



3.2.4 Datengrundlage: Laser-Scan und Stromgrunddaten

Die 2D-Modelle haben in Hinblick auf Laser-Scan-Daten und Stromgrundaufnahmen auf eine heterogene Datenbasis (vgl. Tab.3.3):

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

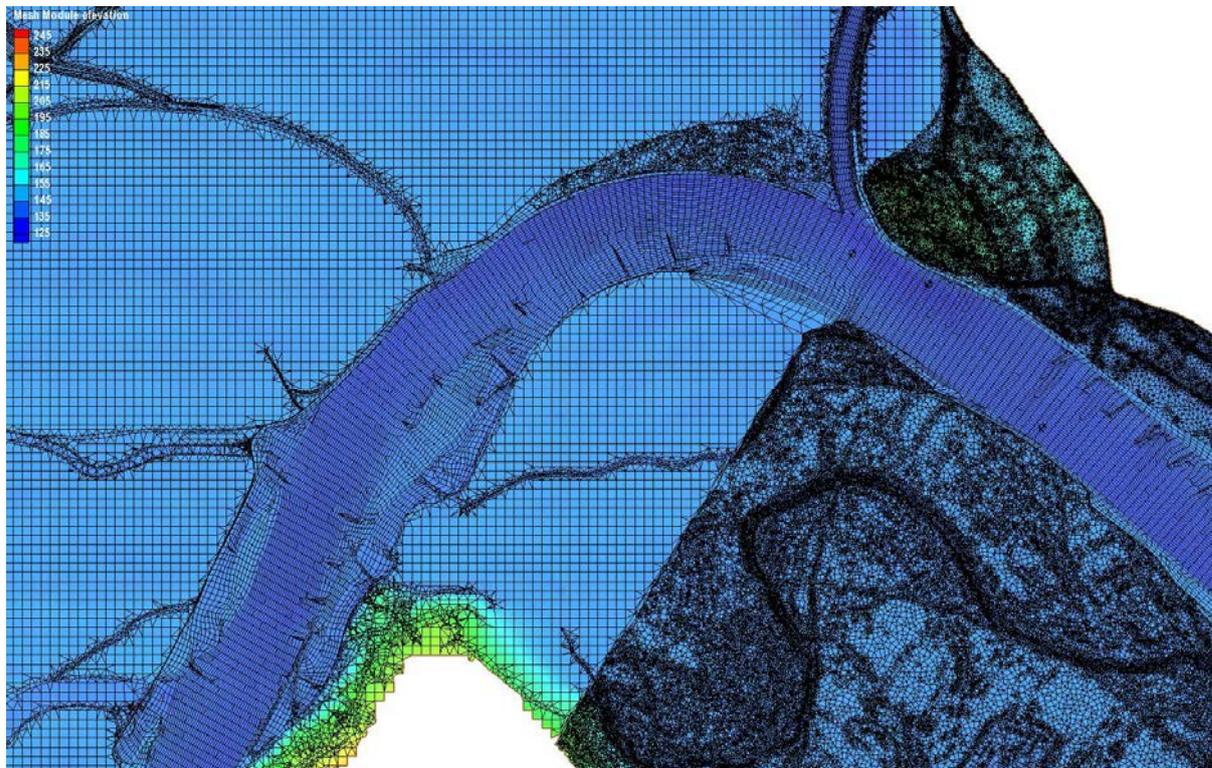
Die Aufbereitung der Laserdaten erfolgte in unterschiedlichen Projekten und daher mit teils unterschiedlichen Methoden. Große Teile wurden mit LASER_AS-2D bearbeitet, andere Abschnitte dagegen mit gesonderter Bruchkantenermittlung in Kombination mit rasterförmiger Ausdünnung flacher Geländebereiche.

Tab. 3.3 Geometriedaten in den 2D-Modellen

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
M34-1	Donau NÖ (Ybbs - Wachau)	2068 (Stauraum Ybbs)	2008.9	2007, 2008 & 2009	Stauraum Ybbs 2009, Stauraum Melk 2008, Wachau 2010
M34-2	Donau NÖ (Wachau - Wien)	2026,75 (Aggsbach)	1936.6	2006, 2007, 2008 & 2009	2010 (außer Teilbereich Stauraum Altenwörth -> 2009)
M34-3	Donau NÖ (Wien - Staatsgrenze)	1940,2 (Korneuburg)	1872.7	2006, 2007 & 2008	2010

In Hinblick auf die Netzentwicklung sind zwischen und innerhalb der Modelle große Heterogenitäten gegeben: Während die von SCIETEC erstellten Modelle fast durchgängig ein sehr feines Netz aufweisen, ist innerhalb der Modelle von riocom eine große Streuung in der Größe und Form der Rechenelemente gegeben. 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.

Abb. 3.13 Netzstruktur exemplarisch im Bereich der Marchmündung (unterschiedlicher Detaillierungsgrad der verwendeten Basismodelle)



3.2.5 Abbildung des Betriebs der Kraftwerke an der Donau

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

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.

In den SCIETEC-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.

Im Rahmen des gegenständlichen Projektes wurden alle Modelle für die Verwendung des von PÖYRY Energy im Auftrag von via donau entwickelten Regelungsmoduls¹¹ erweitert.

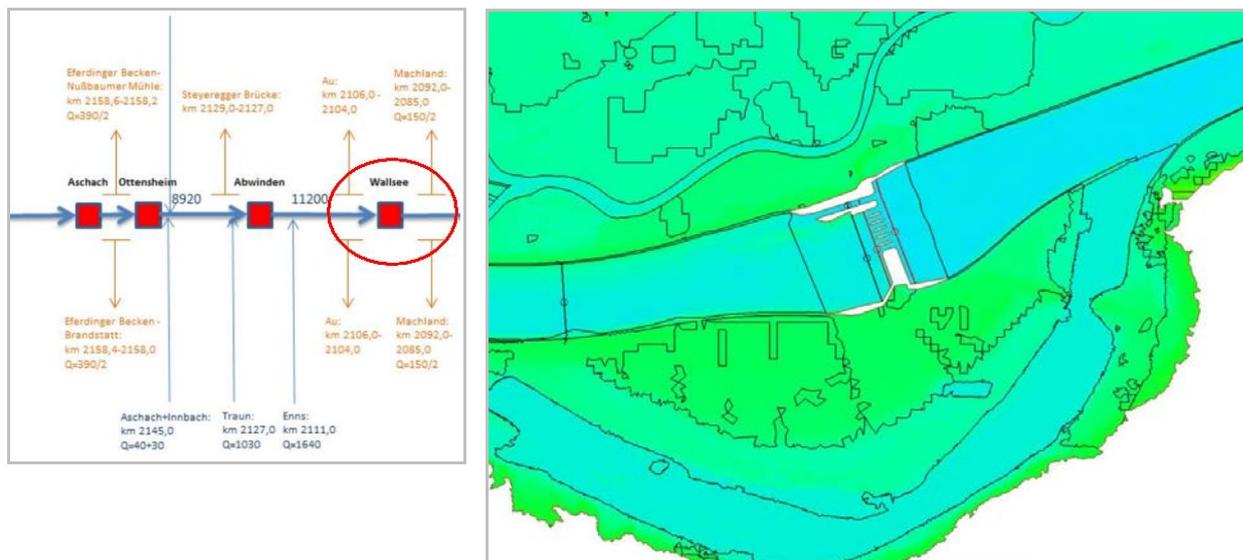
¹¹ Details siehe: Danube Flood Risk: Ausweisung der Anschlaglinien und Überflutungshöhen für HQ₃₀, HQ₁₀₀ und HQ₃₀₀ sowie 2D-Modellierung der Wehrssteuerungen an der österreichischen Donau – Endbericht (PÖYRY, 2012)

Dieses Regelungsmodul erlaubt analog zum Regelungsmodell im 1D-Modell u.a. die Formulierung von $W_{OW} = f(Q)$ bzw. $W_{OW} = f(W)$ im Sinne der Wehrbetriebsordnungen bzw. von $W_{OW} = f(t)$ zum Nachrechnen von Ereignissen, bei welchen im Modell ein beobachteter Oberwasserstand nachgebildet werden soll.

Für die Verwendung des Regelungsmoduls werden an Rechennetzen der Modelle oder an den geometrischen Daten z.B. von Wehrfeldern keine Änderungen durchgeführt. Die „einzige“ Änderung liegt darin, dass direkt vor und nach einem zu regelnden Knoten ein Nodestring eingeführt wird, welcher die gesamte Abflussbreite umfasst. Vom Regelungsmodul wird dann, in Abhängigkeit von den aktuell berechneten Wasserständen im Modell und den vorgegebenen Sollwerten (siehe oben) jeweils der Durchfluss durch den geregelten Knoten ermittelt und als Abfluss durch die neu angeordneten Nodestrings vorgegeben.

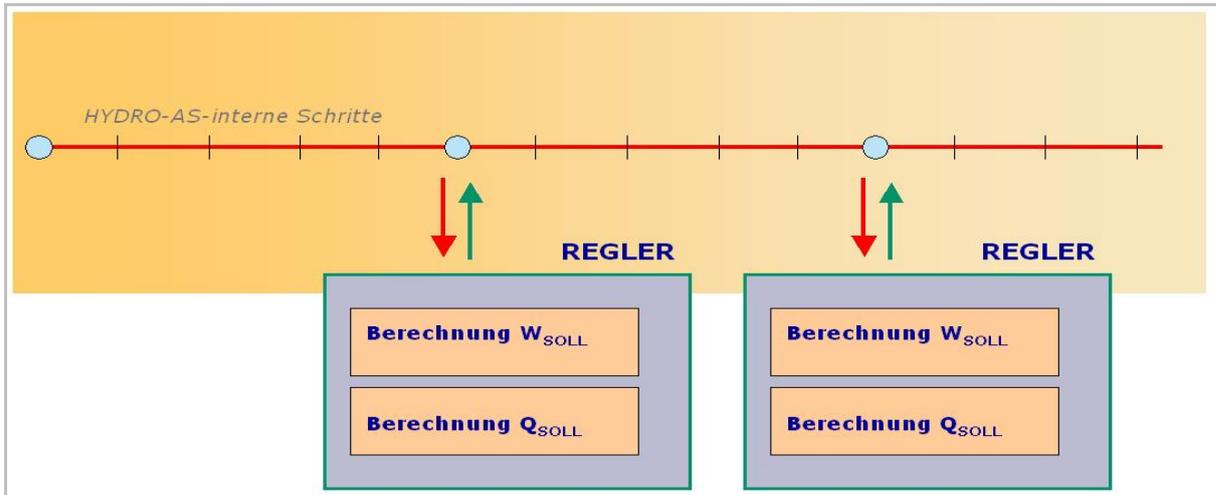
Um die dabei nötige Dynamik umsetzen zu können, werden die Berechnungen mit HYDRO-AS automatisch in Abschnitte von 15 Minuten¹² unterteilt.

Abb. 3.14 Anpassung der 2D-Modelle zur Abbildung des Kraftwerksbetriebes (exemplarisch)



¹² Die Größe der zeitlichen Abschnitte ist beliebig wählbar, der Wert von 15 Minuten hat sich für Berechnungen an der Donau bewährt.

Abb. 3.15 Zeitliche Unterteilung einer Simulation mit HYDRO_AS-2D bei Verwendung des von PÖYRY entwickelten Regelungsmodul



3.2.6 Weitere Anpassungen an den Modellen

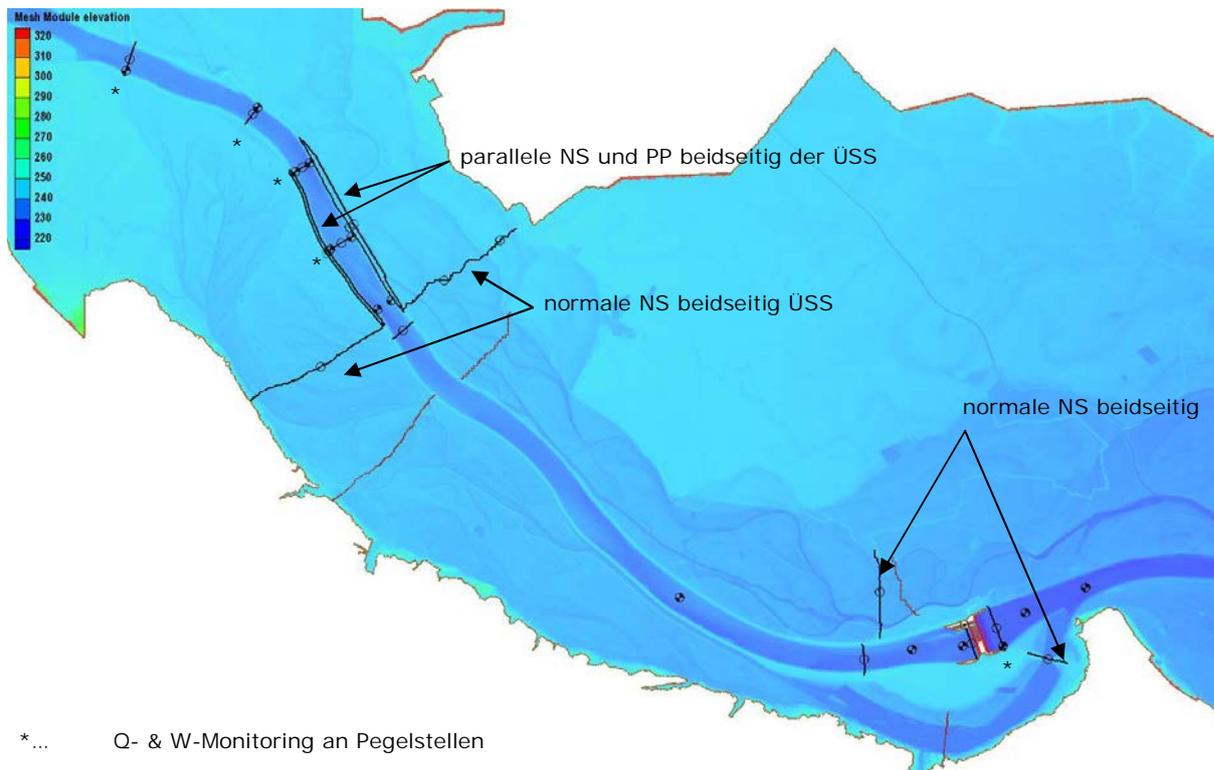
Im Rahmen der bzw. als Basis für die Verwendung im gegenständlichen Modell wurden neben den unter Pkt.3.2.2 (Zubringer) und Pkt. 3.2.5 (Abbildung Kraftwerksbetrieb) an den 2D-Modellen folgende Änderungen durchgeführt:

3.2.6.1 Umfassende Definition von Mess- und Kontrollpunkten

Insbesondere in den Modellen von riocom waren nur wenige Pegelpunkte und Nodestrings definiert, die einen guten Vergleich von Beobachtungs- und Rechenwerten erlauben.

Aus diesem Grund wurden im Modell an allen Donauegeln, bei allen Kraftwerken und an allen Überströmstrecken Messpunkte definiert, um eine umfassende Auswertung von Wasserständen und Durchflüssen zu ermöglichen (Abb.3.16).

Abb. 3.16 Definition von Pegelpunkten und Nodestrings zur Verbesserung der Monitoringoptionen (exemplarisch im Bereich ÜSS Machland)



3.2.6.2 Anpassung der Überströmstrecke und der WBO für das KW Wallsee-Mitterkirchen

Im Jahr 2007 wurden im Zusammenhang mit der Änderung der Wehrbetriebsordnungen für das KW Wallsee-Mitterkirchen auf beiden Seiten der Donau die Überströmstrecken adaptiert.

Die Adaptierung umfasst die Errichtung einer etwa 1 km langen und 1 m hohen Mauer im jeweils westlichen Bereich der Überströmstrecken. Durch die Mauer soll das Ausströmen von Wasser in die Vorländer reduziert werden, da mit der o.a. Änderung der WBO eine Anhebung des Wasserstandes auch im Bereich der Überströmstrecke verbunden sein sollte.

Auf Grund der von VHP durchgeführten Berechnungen war man davon ausgegangen, dass die Adaptierung der Überströmstrecken die Auswirkungen durch den geänderten Kraftwerksbetrieb kompensieren¹³.

¹³ Details siehe: Kraftwerk Wallsee – Mitterkirchen, Hydraulische Berechnungen zur Änderung der Wehrbetriebsordnung (VHP, 2007)

Abb. 3.17 Lage der Überströmstrecken im Stauraum Wallsee-Mitterkirchen

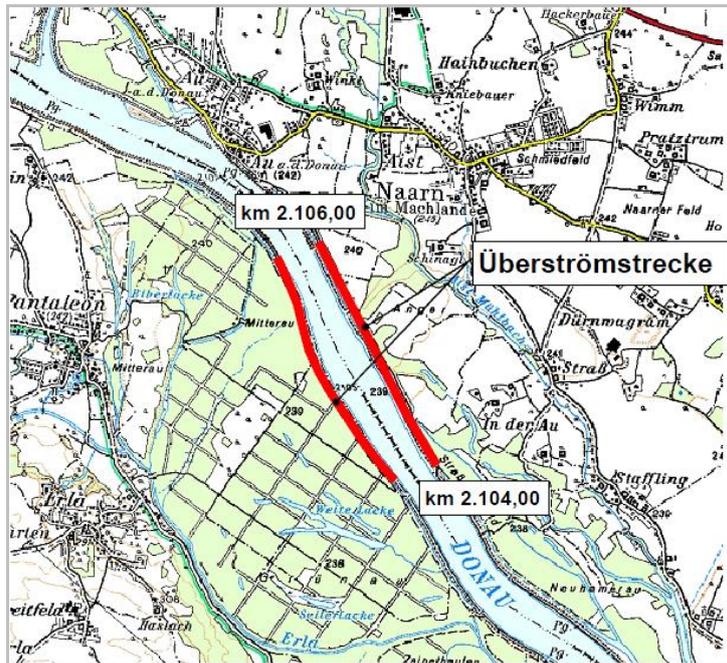
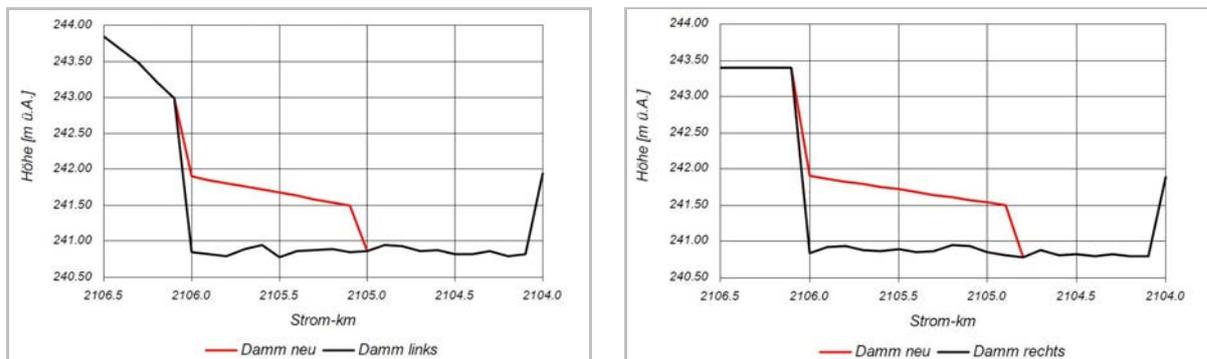


Abb. 3.18 Änderung der Koten an den Überströmstrecken (links- und rechtsufrige ÜSS)



Die ebenfalls durchgeführten Anpassungen der WBO für das KW Wallsee-Mitterkirchen beschränkten sich auf die Anpassung der Vorgaben für das Oberwasser, welche als $W_{OW}=f(Q)$ formuliert sind: Anstelle der Vorgaben in der früher gültigen WBO, welche den OW-Verlauf sehr stark in Abhängigkeit von den verfügbaren bzw. zu nutzenden Abflussorganen formuliert, wird nunmehr bei $Q_{DONAU}=7000 \text{ m}^3/\text{s}$ abgesenkt und das Absenkziel auch bei weiter steigenden Durchflüssen gehalten.

3.2.6.3 Anpassung im Unterwasser aller Kraftwerke um numerische Schwingungen zu unterbinden

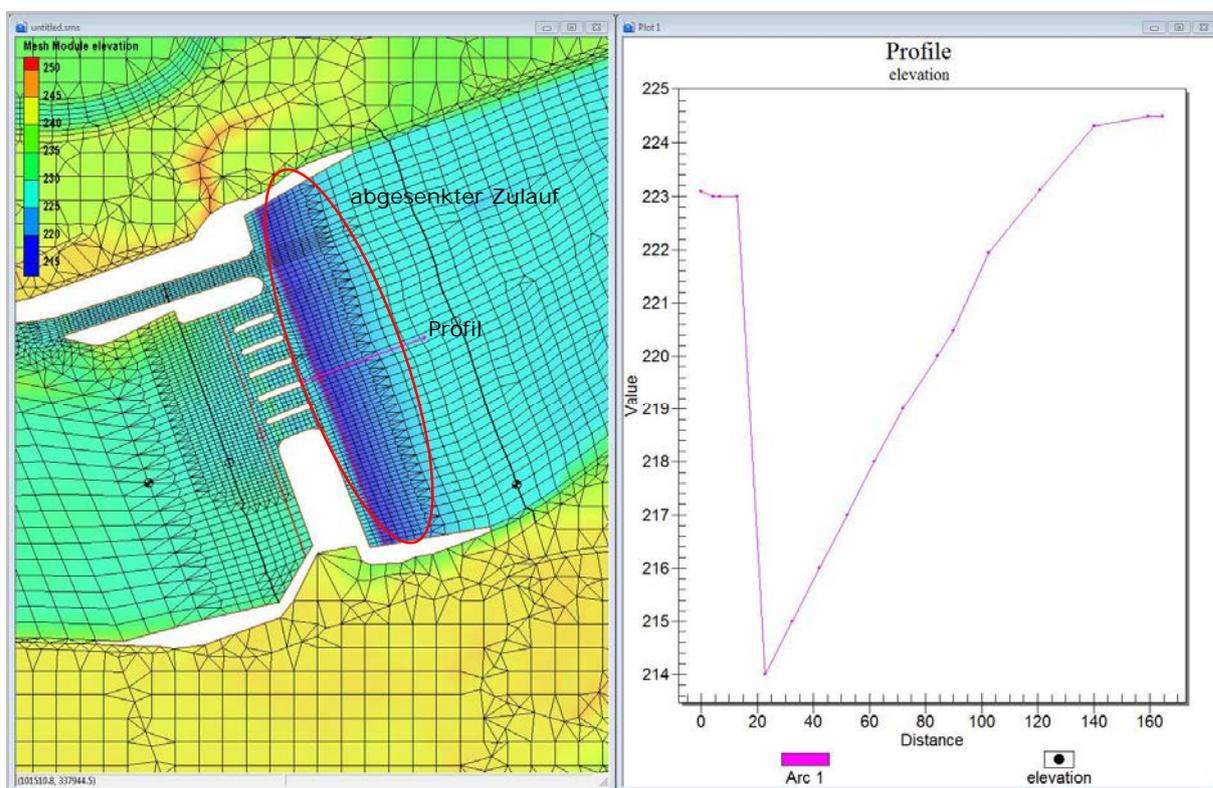
Von den Berechnungen mit HYDRO_AS ist grundsätzlich bekannt, dass es bei Zuflüssen, welche über einen breiten Rand mit vergleichsweise geringen Wassertiefen angesetzt sind (z.B. ein Donau-Querprofil), zu Schwingungen neigt.

Wenngleich sich diese Schwingungen mit zunehmender Entfernung vom Rand abbauen, sind sie für Untersuchungen störend und insbesondere bei geregelten Modellen ungünstig, da sich die Schwingungen durch die Regelung auch verstärken können.

Eine Abhilfe kann dadurch geschaffen werden, dass die Querprofile, in welchen Zugaben erfolgen, abgesenkt werden und dass der Zuflussrand insgesamt als Rampe ausgeführt wird.

Dieses Anrampen wurde in allen Modellen jeweils im Unterwasser der Kraftwerke durchgeführt. Dazu wurden i.d.R. die jeweils ersten 3-9 Zellreihen um bis zu 9 m abgesenkt und die Rampe zur Originalkote auf einer Länge von ca. 50-80 m ausgeführt.

Abb. 3.19 Absenkung der Unterwasserprofile und Ausprägung einer Rampe zur Verbesserung der numerischen Stabilität (exemplarisch UW KW Wallsee-Mitterkirchen)



3.2.6.4 Anpassung von Reibungsbeiwerten im Machland (Modell M31 ab Linz)

Nachdem bei den ersten Berechnungen mit dem Modell „M31 ab Linz“ von riocom erkannt worden war, dass im Machland trotz Aktualisierung der OK entlang der ÜSS (siehe 3.2.6.2) die berechneten Wasserspiegel von den beobachteten deutlich mehr abwichen, als bei den anderen Modellen, wurden die Reibungsbeiwerte in diesem Bereich verändert.

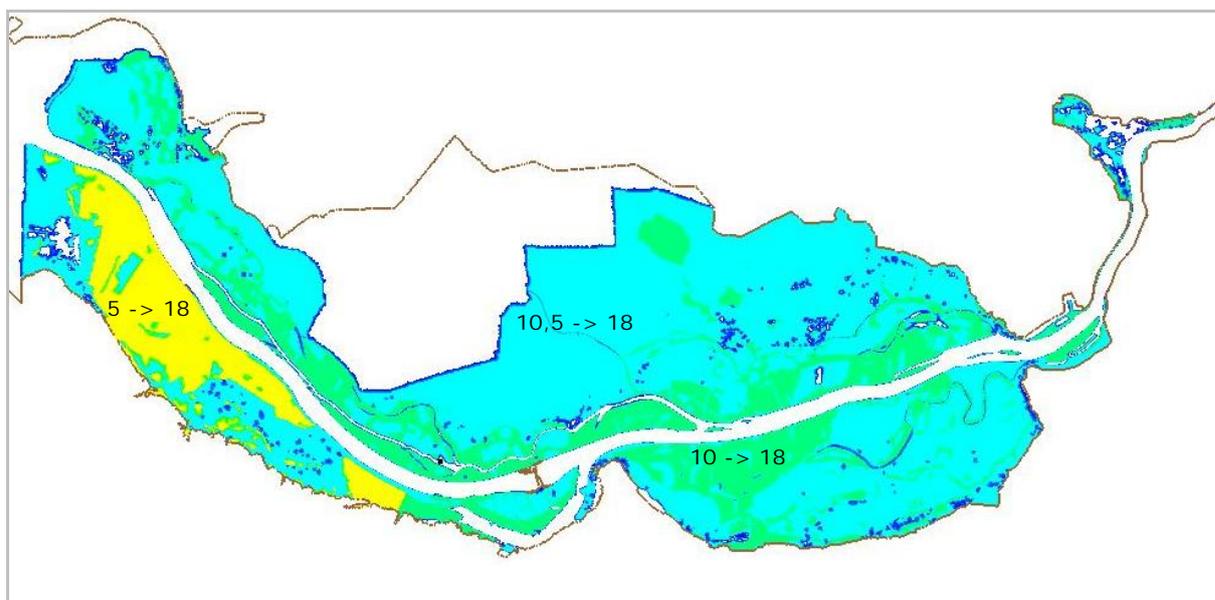
Da eine fundierte Neukalibrierung nicht Teil des Auftrags war, wurden lediglich die betroffenen Überflutungsflächen des Machlands in zwei Schritten angepasst, um eine bessere Übereinstimmung mit den beobachteten Wasserständen zu erreichen. Das Ziel dabei war nicht die bestmögliche Modellkalibrierung zu erhalten, sondern herauszufinden,

ob die Abweichungen durch eine plausible Rauigkeitsvariation überhaupt kompensier- bzw. erklärbar sind.

Hintergrund war einerseits, dass sich die angesetzten Modell-Rauigkeiten im Machland eher am oberen Rand der aus Literatur und Fachexpertise bekannten Werte befanden (d.h. sehr niedrige Strickler-Beiwerte k_{St}). Zusätzlich findet sich im Technischen Bericht von riocom¹⁴ der Hinweis, dass im Zuge der Kalibrierung des Teilmodells M34-2 ähnlich große Wasserstandsabweichungen im nördlichen Tullnerfeld beobachtet wurden, welche durch Angleichung der Strickler-Beiwerte im Vorland an Werte aus vorhandenen Detailmodellen wesentlich verbessert werden konnten. Diese höheren Strickler-Werte dienten als Richtwert, für die vorgenommenen Rauigkeitsanpassungen. Im ersten Schritt wurde die Modell-Rauigkeit der maßgeblichen Nutzungsflächen wie folgt geändert:

- Auwald dicht: k_{St} von 5 auf 18
- Auwald locker: k_{St} von 10 auf 18
- Landwirtschaftliche Flächen: k_{St} von 10,5 auf 18

Abb. 3.20 Erhöhung der Strickler-Beiwerte im Machland (Schritt 1)

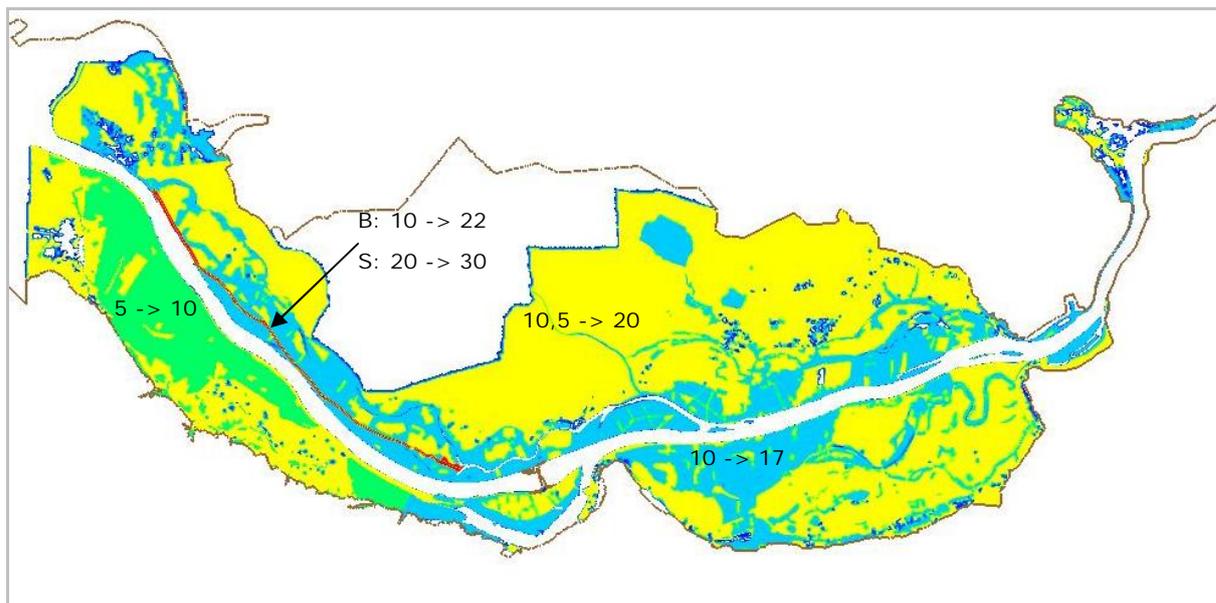


Im zweiten Schritt wurden auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse differenzierte Rauigkeitsbeiwerte definiert:

- Auwald dicht: k_{St} von 5 auf 10
- Auwald locker: k_{St} von 10 auf 17
- Landwirtschaftliche Flächen: k_{St} von 10,5 auf 20
- Böschung Flutmulde: k_{St} von 10 auf 17
- Sohle Flutmulde: k_{St} von 20 auf 30

¹⁴ DANUBE FLOODRISK - Hydraulische Berechnung zur Ermittlung der Spiegellage für HQ300 an der österreichischen Donau (riocom, 2011)

Abb. 3.21 Differenzierte Erhöhung der Strickler-Beiwerte im Machland (Schritt 2)



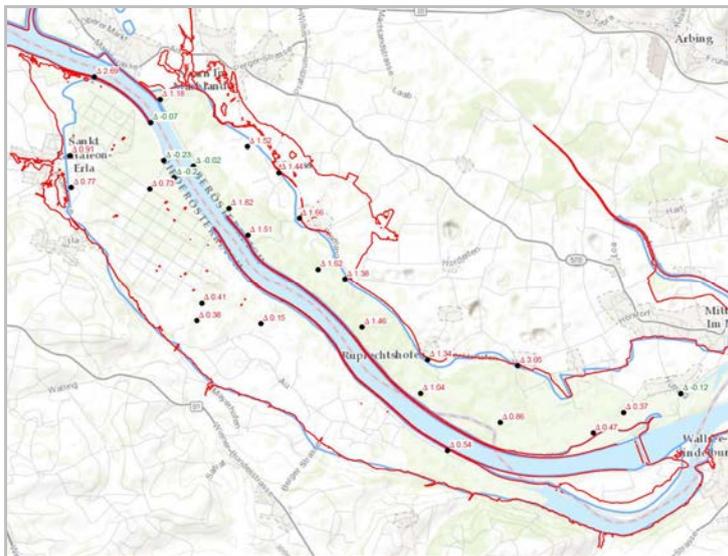
In der nachfolgenden Abbildung ist die Änderung der Anschlaglinie bzw. die Abweichung der simulierten Wasserstände von der Beobachtung dargestellt. Dabei wird ersichtlich, dass im südlichen Vorland durch eine weitere Kalibrierung eine sehr gute Passung erreichbar wäre, weil die aufgetretenen Wasserstände in der Simulation bereits unterschritten werden. Im nördlichen Vorland verbleiben dagegen verhältnismäßig große Abweichungen von über 80 cm, die mit Unschärfen in der Rauigkeitsbelegung nicht mehr erklärbar erscheinen bzw. wo eine weitere Erhöhung der Strickler-Werte als nicht plausibel angesehen wird.

Als nächste naheliegende Erklärung für die Abweichungen erscheinen Ungenauigkeiten der Modellgeometrie. Dazu wurden einerseits grobe visuelle Checks durchgeführt (z.B. Vorhandensein der erst kürzlich errichteten Flutmude im Modell), aber auch die Oberkante des Machlanddammes wurde genauer untersucht.

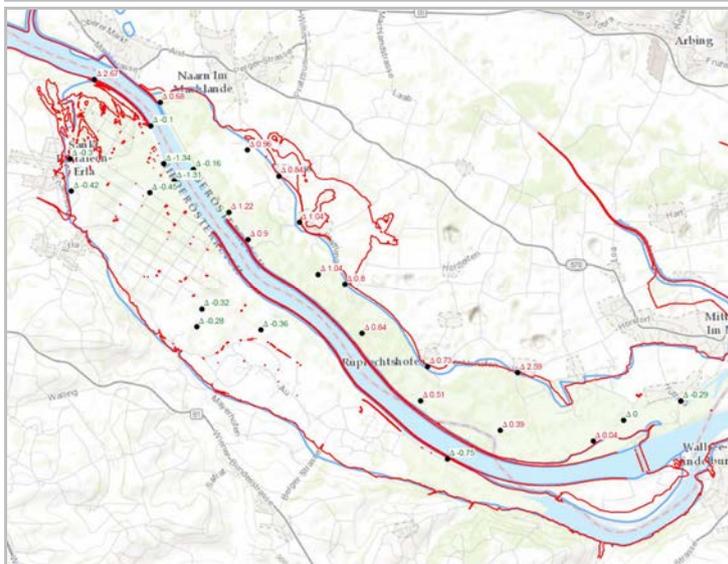
Dabei wurde festgestellt, dass einerseits im Modell keine durchgehende Dammkrone vorhanden ist und dass sich im Bereich der Ortschaft Staffling (Gemeinde Naarn im Machlande) offensichtlich ein Einschnitt im Modell-Damm befindet, weshalb an dieser Stelle in den Simulationen Wasser in hinter dem Damm gelegene Bereiche strömt. Möglicherweise wurde beim Abgreifen der Geländehöhen in diesem Bereich versehentlich die neben dem Damm liegende, tiefere Straßenoberkante verwendet (siehe Foto in Abb. 3.23). Eine Verbesserung der Modellgeometrie ist in diesem Bereich daher dringend erforderlich und auch bereits für „Phase 2“ des Auftrags (Land OÖ) vorgesehen. Eine weitere Analyse der Abweichungen ist jedenfalls erst danach sinnvoll bzw. möglicherweise dann nicht mehr erforderlich.

Festgehalten sei, dass riocom aktuell im Auftrag der Machlanddamm GmbH für den Bereich des Machlandes detaillierte 2D-Analysen zum Hochwasser 06/2013 durchführt. Im Rahmen dieser Analysen wurden/werden auch Verbesserungen am 2D-Modell durchgeführt, die dann in Abstimmung zwischen riocom und PÖYRY auch in das im gegenständlichen Projekt verwendeten 2D-Modell integriert werden sollen.

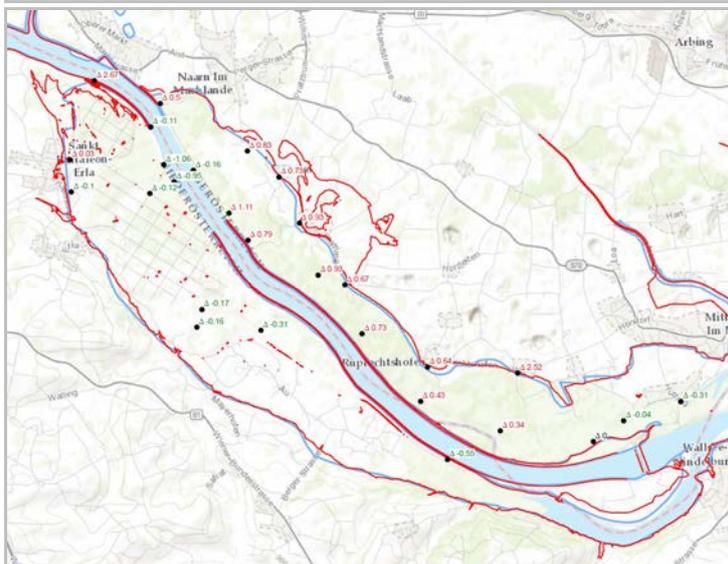
Abb. 3.22 Anschlaglinie bzw. $\Delta W(\text{obs} - \text{sim})$ im Machland bei verschiedenen Rauigkeitsbelegungen (oben original, Mitte bzw. unten Erhöhung Schritt 1 bzw. 2)



VL-Kst: original

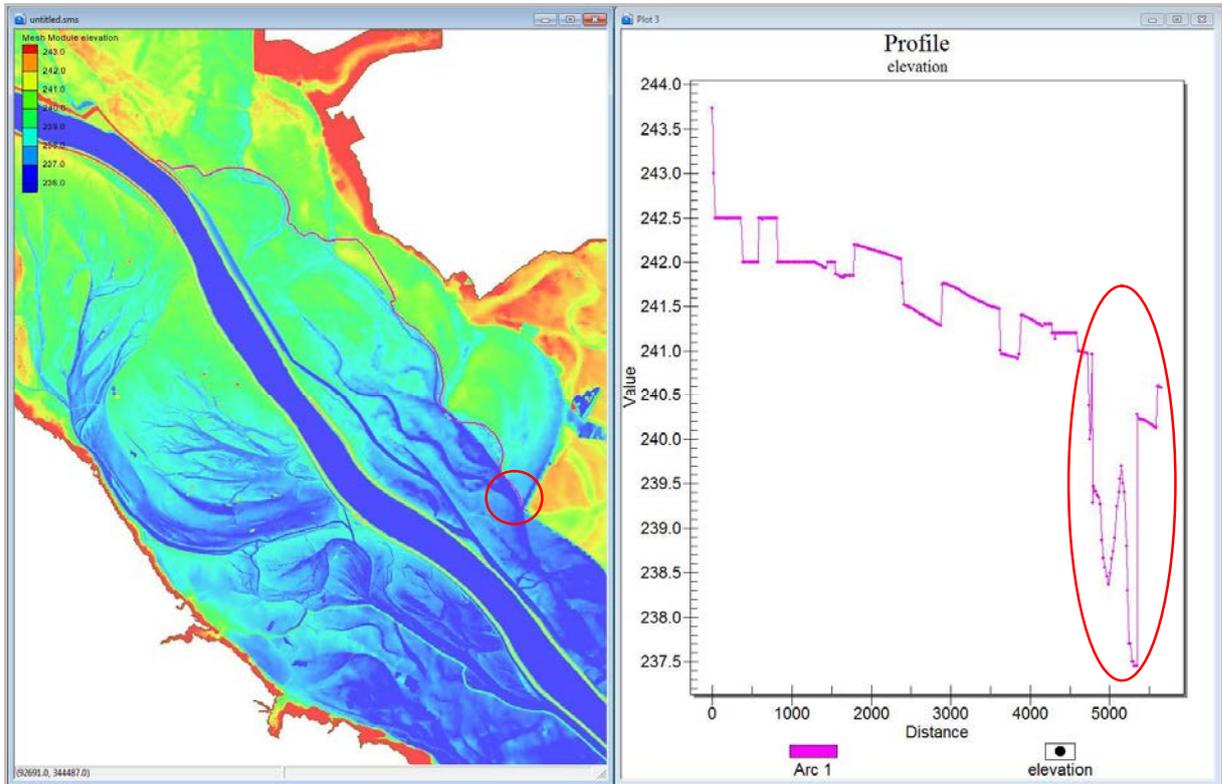


VL-Kst: Erhöhung auf 18



VL-Kst: differenzierte Erhöhung

Abb. 3.23 Verlauf und OK des Machlanddammes im Modell im Bereich der ÜSS (oben links: Lage, oben rechts: Längenschnitt der OK, unten: Foto der markierten Stelle)



4 Simulationen, Berechnungen, Analysen

4.1 Vorbemerkungen und Überblick

In Kapitel 5 werden zu allen durchgeführten Berechnungen die wichtigsten Aspekte zusammengefasst. Beschrieben werden die Ziele, Annahmen, Randbedingungen, allfällige Besonderheiten sowie die zentralen Ergebnisse.

Dort, wo es zum Verständnis einer einzelnen Berechnung oder einer Gruppe von Berechnungen wichtig ist, werden die Ergebnisse auch interpretiert und es werden Querverweise zu anderen Berechnungen gegeben. Eine übergreifende Interpretation und Zusammenfassung aller Berechnungen und Analysen erfolgt in Kapitel 6.

Die nachfolgende Beschreibung der Berechnungen ist nicht chronologisch: In Hinblick auf das primäre Ziel, das Hochwasserereignis zu rekonstruieren und zu verstehen, wurden insbesondere 1D- und 2D-Berechnungen oder auch übergreifende und detail-bezogene Analysen abwechselnd und iterativ durchgeführt. Die Ziele der Berechnungen waren (1) schrittweise Erkenntnisse zu gewinnen und abzusichern, (2) Ergebnisse auf ihre Abhängigkeit von Annahmen und allfälligen Datenfehlern zu überprüfen und (3) zu überprüfen, ob bestimmte Annahmen oder auch Messwerte auszuschließen sind.

Aufgrund der nicht-chronologischen Darstellung werden bei einigen Berechnungen Eingangsdaten und Erkenntnisse vorausgesetzt, die erst bei später angeführten Auswertungen beschrieben sind. Durch die gewählte Reihenfolge der Beschreibung werden aber inhaltlich verwandte Berechnungen zusammengefasst, wodurch die Lesbarkeit des Berichtes erleichtert wird.

In die Beschreibung wurden auch Analysen aufgenommen, die von via donau und VHP durchgeführt wurden, wobei dies bei den entsprechenden Abschnitten explizit angeführt ist.

4.2 Hydrologische und Hydro-meteorologische Analysen

4.2.1 Abschätzung der Niederschläge im Umfeld des Eferdinger Becken

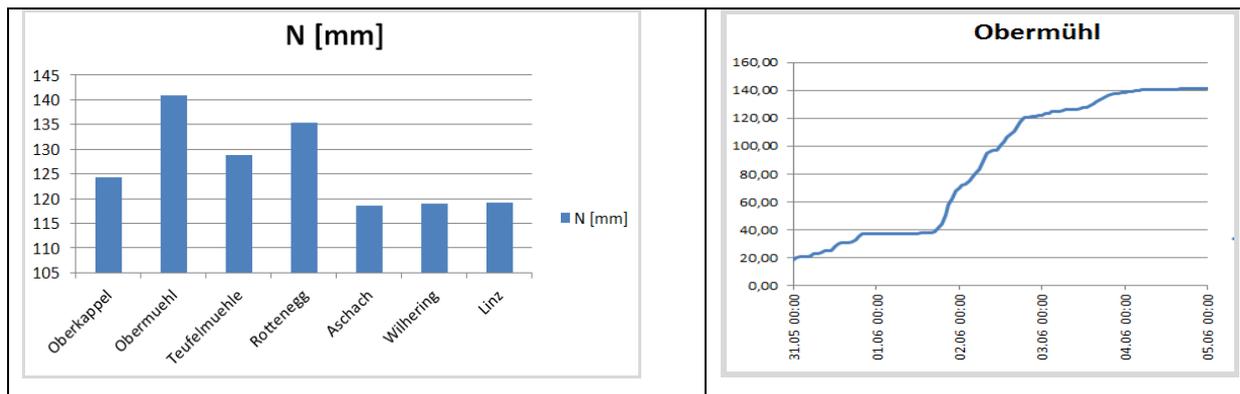
Eine erste Auswertung der INCA-Daten der ZAMG wurde von via donau zur Abschätzung der Niederschläge im Umfeld des Eferdinger Beckens durchgeführt.

Ziel der Auswertung war, eine Grundlage für die Beiträge der Zubringer sowie für disperse Zuflüsse im Umfeld des Eferdinger Beckens zu haben. Die Auswertung umfasst den Zeitraum vom 31.05., 16:00 Uhr bis 04.06., 24:00 Uhr.

Tab. 4.1 Niederschläge im Umfeld des Eferdinger Beckens

Gebiet	Oberkappel	Obermuehl	Teufelmuehle	Rottenegg	Aschach	Wilhering	Linz
ID	EZG.M.204875	EZG.M.204883	EZG.M.204933	EZG.M.205088	EZG.M.HP1015	EZG.M.207340	EZG.M.207068
Fläche	132.5km ²	200.2km ²	453.5km ²	227.4km ²	78194.9km ²	79446.1km ²	79490.1km ²
N [mm]	124,3	140,90	128,8	135,3	118,5	119	119,1

Abb. 4.1 Niederschläge im Umfeld des Eferdinger Beckens: Summen für 7 Teil-Gebiete (links) und Summenlinie für TG Obermühl (exemplarisch; rechts)



Die Auswertung zeigt, dass in den Einzugsgebieten im direkten Umfeld des Eferdinger Beckens in den vier Tagen jeweils zwischen ca. 120 und 140 mm, wobei der Schwerpunkt der Niederschläge am 02.06.2013 war und es in den Abendstunden des 03.06.2013 weitere intensive Niederschläge gab.

Eine ergänzende Auswertung, die direkt für INCA-Gebiete im Eferdinger Becken durchgeführt wurde, ergab für diese vier Tage Niederschläge von 105 mm.

4.2.2 Abschätzung der Durchflussganglinien für nicht beobachtete Zubringer und Teileinzugsgebiete

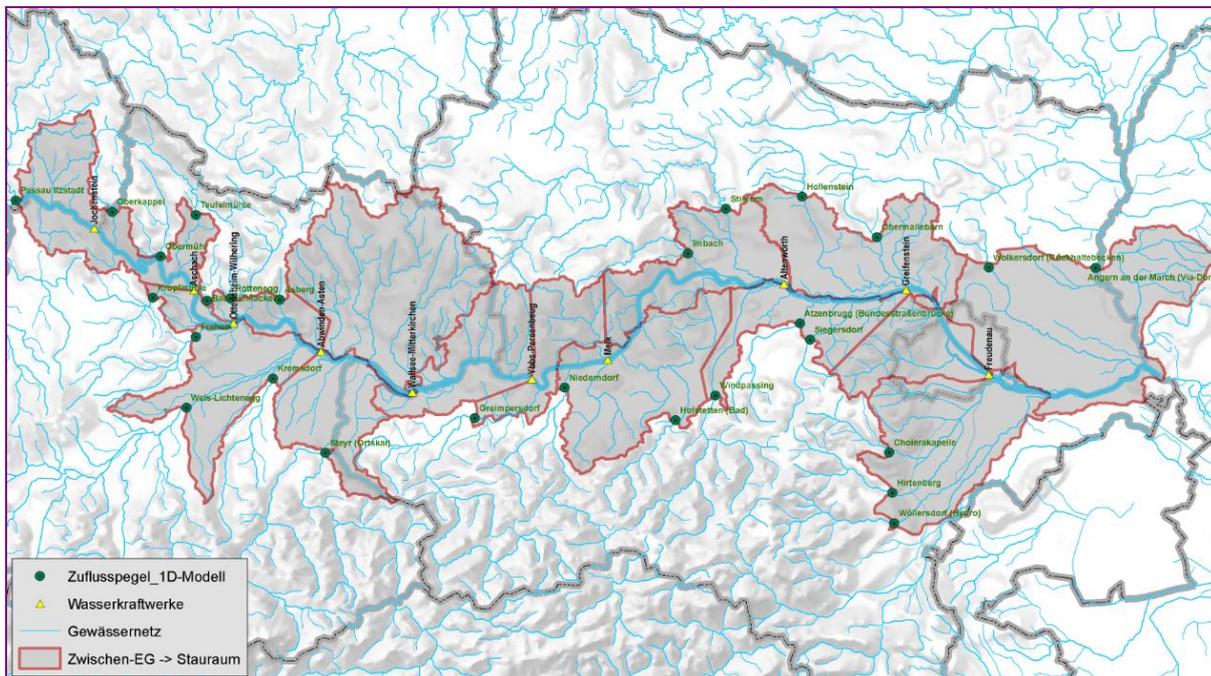
Für Beschreibung des Hochwassers stehen für alle größeren Zubringer Durchflussdaten der hydrographischen Landesdienste zur Verfügung. Diese Daten stehen jeweils für den letzten Pegel vor der Mündung in die Donau zur Verfügung (z.B. Traun: Wels/Lichtenegg; Enns: Steyr/Ortskai).

Nicht abgedeckt durch Messwerte sind damit die Teileinzugsgebiete von den o.a. Pegelstellen bis zur Mündung in die Donau sowie alle jene kleineren Zubringer (z.B. Klambach, Kreuznerbach, Greinerbach im Bereich des KW Wallsee).

Diese durch Messungen nicht abgedeckten Teileinzugsgebiete sind in Abb.4.2 dargestellt. In der Abbildung sind die nicht abgedeckten Bereiche in Teilflächen unterteilt, welche auf die im hydrodynamischen 1D-Modell angeordneten Zubringer abgestimmt sind: Im 1D-Modell sind alle Teil-Einzugsgebiete, welche nicht durch einen eigenen Zubringer abgedeckt sind, auf der Länge eines Stauraumes zusammengefasst. Der sich dafür ergebende Zufluss zur Donau wird jeweils im Unterwasser der Kraftwerke angeordnet¹⁵.

¹⁵ Die Festlegung der Zubringer und Zuflüsse wurde bereits bei der Entwicklung des Hochwasserprognosemodells für die Donau im Jahr 2006 getroffen. Sie wurde für das gegenständliche Projekt nicht verändert.

Abb. 4.2 Nicht durch Messungen abgedeckte Bereiche des Einzugsgebietes der Donau und deren Zuordnung zu den im 1D-Modell implementierten Zuflüsse



Für die Rekonstruktion des Hochwasserereignisses wurde für alle Zubringer und Teileinzugsgebiete, welche nicht durch Messdaten erfasst waren, eine Abschätzung der Durchflussganglinien durchgeführt. Dabei wurden die Durchflüsse jeweils aus beobachteten naheliegenden und hydrologisch vergleichbaren Zubringern abgeschätzt:

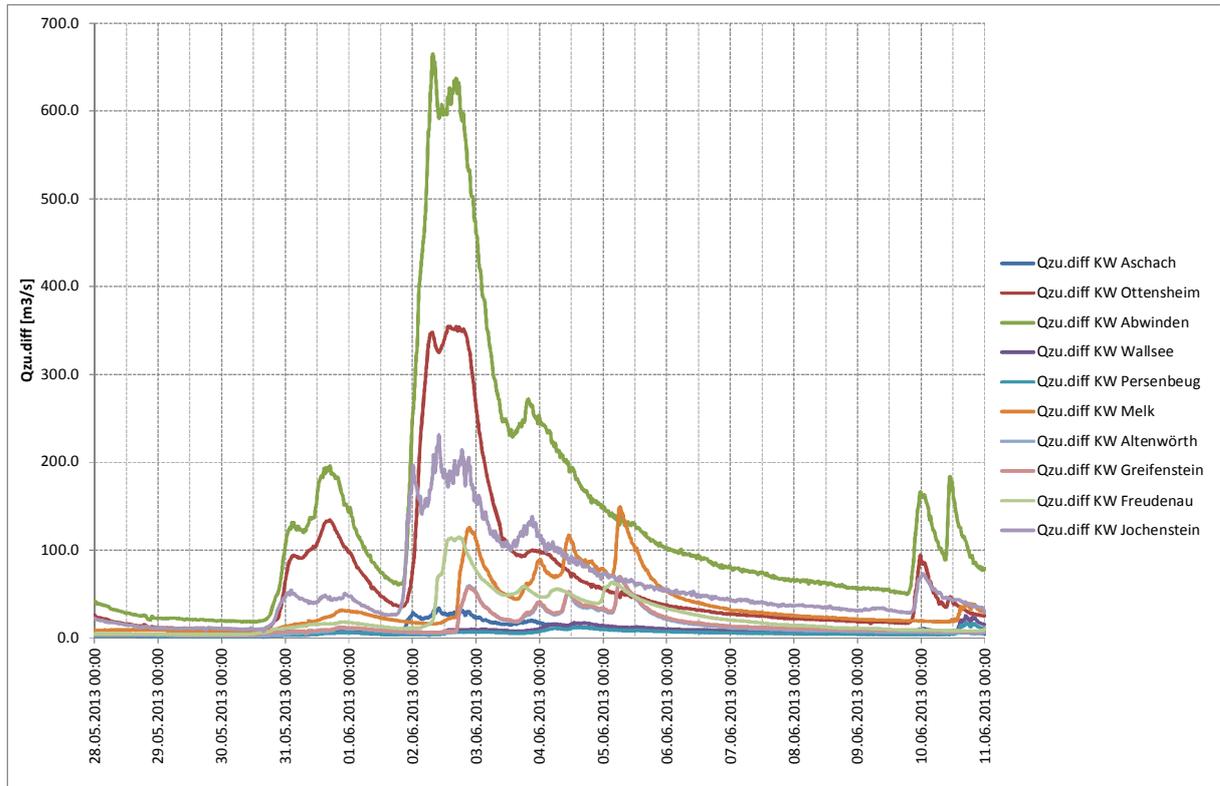
Für jedes nicht beobachtete Teilgebiet wurde ein möglichst nahe liegender beobachteter Zubringer ausgewählt, der eine ähnliche hydrologische Charakteristik aufweist, wie das nicht beobachtete Gebiet. Als Zuflussganglinie für das nicht beobachtete Gebiet wurde die Zuflussganglinie des beobachteten Referenzgebietes verwendet, wobei diese im Verhältnis der Einzugsgebietsflächen skaliert wurde. Bei Teilgebieten, die sich über längere Abschnitte erstrecken oder bei welchen die Zuordnung zu einem Zufluss ungünstig erschien, wurde das Gebiet geteilt, der Zufluss für zwei Referenzzubringer ermittelt und anteilig auf zwei der im 1D-Modell angeordneten Zubringer aufgeteilt.

Eine vollständige Auflistung der geschätzten Zubringer ist in Tab.4.2 gegeben. Angegeben ist jeweils, welche Teileinzugsgebiete durch einen geschätzten Zufluss abgedeckt werden und welchem „Zubringer“ des 1D-Modells die Teilgebiete zugeordnet sind.

Tab. 4.2 Abschätzung der Zuflüsse aus nicht beobachteten Teilgebieten: Zuordnung der repräsentierten Gebiete zu den Zubringern im 1D-Modell

<p>Qzu.diff UW KW Jochenstein</p> <p>Kößbach Erlau Eckerbach Kösselbach Kesselbach Adlersbach Unterlauf Ranna Unterlauf große Mühl</p>	<p>Qzu.diff UW KW Persenbeug</p> <p>Ybbs UL Erlauf UL</p>
<p>Qzu.diff UW KW Aschach</p> <p>-</p>	<p>Qzu.diff UW KW Melk</p> <p>Melk Mitterbach Willendorfer Bach Fladnitz</p>
<p>Qzu.diff UW KW Ottensheim</p> <p>Innbach UL Haselbach Pesenbach UL Rodl Traun UL Krems</p>	<p>Qzu.diff UW KW Altenwörth</p> <p>große Krems UL Traisen UL</p>
<p>Qzu.diff UW KW Abwinden</p> <p>Enns UL Gusen Aist Erla</p>	<p>Qzu.diff UW KW Greifenstein</p> <p>Schmida UL Göllersbach UL</p>
<p>Qzu.diff UW KW Wallsee</p> <p>Naarn Klambach Kreuznerbach Greinerbach Dimbach Sarmingbach Föhrenbach Ysper</p>	<p>Qzu.diff UW KW Freudenau</p> <p>Wien Liesing Rußbach UL Piesting Triesting Schwechat UL Fische</p>

Abb. 4.3 Abgeleitet Zuflussganglinien für nicht beobachtete Teilgebiete (exemplarisch)



4.2.3 Abschätzung der Fließzeiten zwischen Pegel und Mündung in die Donau

Nachdem die Messwerte für die beobachteten Zubringer nicht für die Mündung in die Donau vorliegen (vgl. Pkt. 4.2.2), wurden die Fließzeiten zwischen den Pegeln und der Mündung abgeschätzt.

Die Abschätzung berücksichtigt die Distanz zwischen Pegel und der Mündung in die Donau sowie eine abgeschätzte Fließgeschwindigkeit (Tab. 4.3).

Tab. 4.3 Abschätzung der Laufzeiten zwischen Pegel und Mündung in die Donau

HZB-Nr	Pegel	Gewässer	EZG [km2]	km bis Donau	vm [km/h] <small>angenommene Fließgeschwindigkeit</small>	t = l / vm [h]	t gerundet [h]
	Passau Ilzstadt	Donau					0
204875	Oberkappel	Ranna	134,1	9,43	5	0,52	0,5
204883	Obermühl	Kleine Mühl	199,2	0,98	5	0,05	0
204933	Teufelmühle	Große Mühl	452,2	17,33	3	1,60	1,5
205039	Fraham	Innbach	361,8	12,65	1	3,51	5
205054	Kropfmühle	Aschach	312,5	28,11	1,5	5,21	7
205088	Rottenegg	Große Rodl	227,4	5,77	1	1,60	1,5
205922	Steyr (Ortskai)	Enns	5915,4	28,39	5	1,58	1
206391	Wels-Lichtenegg	Traun	3425,5	32,76	3	3,03	3
207688	Greimpersdorf	Ybbs	1116,6	19,49	2	2,71	3
207803	Niederndorf	Erlauf	595,3	5,45	2	0,76	1
207852	Hofstetten (Bad)	Pielach	289,5	31,85	2,5	3,54	4
207878	Imbach	Krems	305,9	28,30	1	7,86	8
207910	Windpassing	Traisen	733,3	36,90	2	5,13	5
207993	Stiefern	Kamp	1493,3	29,00	1	8,06	8
208009	Atzenbrugg (Bundesstraßenbrücke)	Perschling	268,3	13,41	1	3,73	4
208017	Siegersdorf	Große Tulln	202,3	14,31	1,5	2,65	3
208041	Hollenstein	Schmida	212	52,48	1,5	9,72	10
208090	Cholerakapelle	Schwechat	181	39,87	1,5	7,38	7
208769	Wolkersdorf (Rückhaltebecken)	Russbach	133	49,55	1,5	9,18	10
207324	Angern an der March (Via-Donau)	March	25623,8	30,68	1,5	5,68	5

4.3 1D-Simulationen

4.3.1 Simulationen für die gesamte Donau oder für große Abschnitte

4.3.1.1 Überblick über die Simulationen

Die Simulationen für die gesamte Donau bzw. für große Abschnitte der Donau sind erlauben die überregionale und gesamtheitliche Betrachtung.

Sie stellen gleichzeitig eine besondere Anforderung und eine besondere Chance dar, als sie durch die Verwendung eines Gesamtmodells Bilanz-neutral rechnen und damit die gesamte Donau – oder zumindest große Abschnitte - in einem gemeinsamen Rechenlauf integrieren.

Zu den Berechnungen können folgende Eckpunkte festgehalten werden:

- **Berechnungsabschnitt**

Die überwiegende Anzahl der Berechnungen wurde für die gesamte Donau zwischen Achleiten und Wolfsthal durchgeführt, wobei dazu TM2 und TM3 des bestehenden Prognosemodells zum Einsatz kamen (vgl. Pkt.3.1).

Die Verbindung von TM2 und TM3 erfolgte dadurch, dass die Ergebnisse von TM2 als Input für TM3 verwendet wurden. Die Schnittstelle zwischen TM2 und TM3 ist der Pegel Kienstock.

Für Vergleiche wurden zusätzliche Berechnungen für Teilabschnitte durchgeführt, bei welchen jeweils gemessene Durchflussdaten - d.h. Durchflussreihen, welche im Vorfeld von den HDs schon über Pegelschlüsse aus W-Messungen abgeleitet worden waren – verwendet. Diese Berechnungen wurden für den Stauraum Aschach, für den Abschnitt Linz bis Kienstock und für den Abschnitt Kienstock bis Bratislava durchgeführt.

- **Input in Achleiten**

Als Input in Achleiten wurden drei verschiedene Durchflussganglinien verwendet:

Die Zeitreihe von via donau, die Zeitreihe des LfU (Landesamt für Umwelt, Bayern), sowie eine Zeitreihe, in welcher der mögliche Einfluss durch das Kraftwerk Jochenstein berücksichtigt wurde (bezeichnet als LfU _{KORRIGIERT}, vgl.4.3.2.2).

- *Zubringer zur Donau, Zufluss von nicht beobachteten Teil-Einzugsgebieten*
Für alle beobachteten Zubringer zur Donau wurden die von den jeweiligen hydrographischen Landesdiensten verfügbaren Durchflusszeitreihen verwendet, wobei für die Enns die Daten des HD OÖ verwendet wurden.
Für die nicht beobachteten Teil-Einzugsgebiete wurden, die Durchflussganglinien verwendet, welche nach der in Pkt.4.2.2 beschriebenen Abschätzung ermittelt wurden.
Für Vergleichszwecke und zur Einschätzung der Abhängigkeit der Ergebnisse von den getroffenen Annahmen wurden Varianten mit und ohne die Abschätzungen für nicht beobachtete Teil-Einzugsgebiete gerechnet. Zusätzlich wurden Varianten mit und ohne die abgeschätzten Laufzeiten zwischen Zubringer-Pegel und der Mündung der Zubringer in die Donau durchgeführt.
- *Betrieb der Kraftwerke*
Für alle Donaukraftwerke wurden bei der Simulation die beobachteten OW-Pegel verwendet. Der Durchfluss, der bei dem Kraftwerke herrschte wurde damit vom Programm errechnet.
Ergänzend wurden Vergleichsrechnungen durchgeführt, bei welchen der Kraftwerksbetrieb exakt nach den aktuell gültigen Wehrbetriebsordnungen simuliert wurde.
- *Koppelung von 1D- und 2D-Rechnungen*
Nachdem sich gezeigt hatte, dass im 1D-Modell die Retention im Eferdinger Becken weniger gut abgebildet wurde als mit der 2D-Berechnung, wurden die Fließvorgänge im Eferdinger Becken auch 2D für alle oben angeführten Zuflussvarianten berechnet.
Die Schnittstellen zwischen 1D und 2D waren im Bereich Aschach und im Bereich des Pegels Kürnberg, wobei bei Aschach die Ergebnisse aus 1D-Berechnungen als Input für die 2D-Berechnungen, und beim Pg Kürnberg die Ergebnisse der 2D-Berechnungen als Input für die 1D-Berechnungen verwendet wurden (vgl. Abb.3.4).

Eine Übersicht über alle durchgeführten Simulationen ist in Tabelle 4.4 gegeben. Im Sinne der Verbesserung der Lesbarkeit der Tabelle wurden dabei Simulationen mit TM2 und TM3, welchen die gleichen wasserwirtschaftlichen Vorgaben zugrunde liegen, zusammengefasst.

Tab. 4.4 Übersicht über die Simulationen zur ganzheitlichen Analyse der Donau

Simulation	Teilmodell		Zufluss Donau				Zubringer					KW-Steuerung		Anmerkungen	
	TM2	TM3	LFU	LFU korrigiert	viadonau	2D	OÖGV	NÖL	Fließzeit	March Angern	March Hohenau	Zwischen-EG	W(t)obs		WBO
1	•		•				•	•						•	Abwinden WBO Fassung 2
2	•		•				•	•						•	Abwinden WBO Fassung 3
3	•		•				•	•					•		
4	•				•		•	•					•		
5		•	•				•	•		•			•		
6		•			•		•	•		•			•		
7a+8a	•	•			•		•	•	•	•			•		
7a+9a	•	•			•		•	•	•		•		•		
10a+11a	•	•			•		•	•		•			•		Enns und Traun +10%
12a+13a	•	•			•		•	•		•			•		Enns und Traun -10%
14a+15b	•	•			•		•	•		•	•	•	•		
29a+30a	•	•			•	•	•	•		•			•		
31a+32a	•	•			•	•	•	•		•	•	•	•		Input Donau: 2D-Sim06 bei Wilhering
33a+34a	•	•		•		•	•	•		•			•		Input Donau: 2D-Sim09 bei Wilhering
35a+36a	•	•		•		•	•	•		•	•	•	•		
37a		•			•		•	•		•	•	•	•		Donau Kienstock aus VIADonau observed
54+55	•	•				•	•	•	•	•	•	•	•		2D interpoliert
56+57	•	•				•	•	•	•	•	•	•	•		2D interpoliert, WBO geglättet
58+59	•	•				•	•	•	•	•	•	•	•		2D interpoliert, Traun +10% (Entspricht Krems)
60+61	•	•				•	•	•	•	•	•	•	•		2D interpoliert, Traun + Enns Daten NÖ

4.3.1.2 Darstellung und Auswertung

4.3.1.2.1 Q- und W-Darstellungen für 16 Donauegel

Für die einheitliche Darstellung der Simulationen, wurde eine Excel-Vorlage erstellt, in welcher für 16 Donauegel jeweils die gemessenen und die simulierten Durchflüsse und Wasserstände dargestellt sind.

Zur Darstellung der Simulationen sind folgende Punkte festzuhalten:

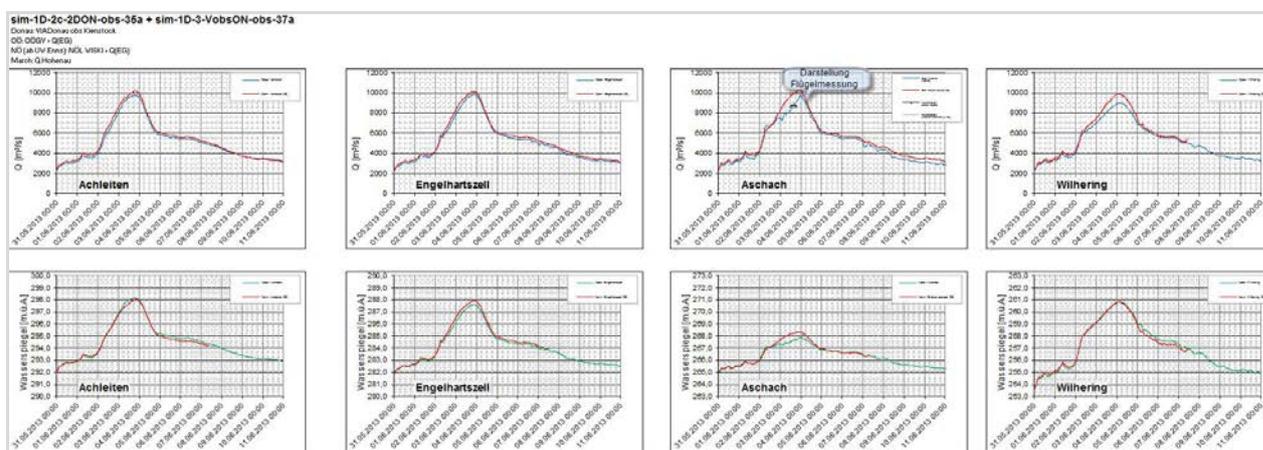
- Die Pegel sind in den Diagrammen in Fließrichtung gesehen von links nach rechts angeordnet (vgl. Tab.4.5)
- Bei jedem Diagramm ist angegeben, welche Zuflüsse angesetzt wurden, wobei differenziert wird, nach:
 - (1) Donau in Achleiten
 - (2) Zubringer zur Donau sowie disperse Zuflüsse
 - (3) March
- Bei den Durchflüssen sind neben „gemessenen“¹⁶ und simulierten Zeitreihen – soweit vorhanden - auch die von via donau mittels Flügel gemessenen Durchflüsse dargestellt (Abb.4.4).
- Bei den Wasserständen sind als simulierte Wasserstände nicht die original Rechenergebnisse, sondern die „höhen-korrigierten“ Werte dargestellt (vgl. dazu Pkt.4.3.1.3).

¹⁶ Als „gemessenen“ Durchflusssganglinien werden jene Durchflüsse bezeichnet, die von via donau über Pegelschlüssel aus gemessenen Wasserständen errechnet werden.

Tab. 4.5 Pegel in der Darstellung von Simulationen für die gesamte Donau

HZB-Nr	Pegelstelle	Pegel-km	Nächstes 1D-Profil	Abstand zum 1D-Profil [m]	HZB-Nr	Pegelstelle	Pegel-km	Nächstes 1D-Profil	Abstand zum 1D-Profil [m]
207019	Achleiten	2223.05	2223.00	50	207134	Melk	2035.98	2036.00	-20
207027	Engelhartszell	2200.66	2200.70	-40	207357	Kienstock	2015.21	2015.20	10
207043	Aschach an der Donau	2159.73	2159.70	30	207175	Greifenstein	1947.79	1948.00	-210
207340	Wilhering	2144.04	2144.00	40	207241	Korneuburg	1941.46	1941.50	-40
207068	Linz	2135.17	2135.20	-30	207258	Fischamend (Sporthafen)	1907.90	1907.90	0
207084	Mauthausen	2110.98	2111.00	-20	207373	Wildungsmauer	1894.72	1894.70	20
207100	Grein (Schiffsstation)	2079.10	2079.10	0	207274	Hainburg an der Donau	1883.92	1883.89	26
207126	Ybbs an der Donau	2058.79	2058.80	-10	207407	Thebnerstraßl	1879.25	1879.00	250

Abb. 4.4 Darstellung von Q und W für 16 Donau-Pegel (Ausschnitt, exemplarisch)



Die Abbildungen zeigen jeweils im oberen Diagramm die Durchflüsse, im unteren die Wasserstände. Rot sind dabei jeweils die Messwerte bzw. bei den Durchflüssen, die aus gemessenen Wasserständen (grüne Linie) per Pegelschlüssel von via donau umgerechneten Werte Durchflüsse (blaue Linie). Rot sind jeweils die Simulationen dargestellt.

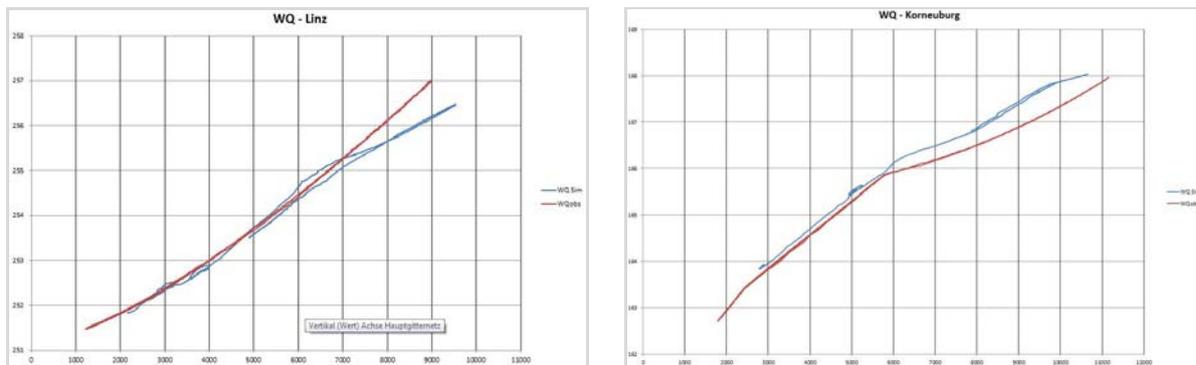
In der Darstellung der Durchflüsse sind die Ergebnisse von Flügelmessungen enthalten (siehe oben z.B. Diagramm Aschach), wobei der schwarze horizontale Strich in Y-Richtung den gemessenen Durchfluss und in X-Richtung die Zeitspanne, in welcher die Messung stattfand, darstellt. Der graue Rahmen zeigt die Durchflussbandbreite von +/-3% bezogen auf den gemessenen Durchfluss.

4.3.1.2.2 W-Q-Beziehungen

Neben den Zeitreihen wurde für jede Simulation auch die W-Q-Beziehung erstellt und den W-Q-Beziehungen, welche sich aus den Daten der via donau ergeben, gegenübergestellt.

Die Darstellungen der direkt aus den Modellläufen abgeleiteten W-Q-Beziehungen sind nicht als Pegelschlüssel oder als Ersatz für bestehende Pegelschlüssel anzusehen. Sie liefern in der Phase der Analyse und Modellierung einen wichtigen Anhaltspunkt um die unter Pkt. 4.3.1.2.1 beschriebenen W- und Q-Ganglinien, und dabei insbesondere um Abweichungen zwischen Messungen und Simulationen zu interpretieren. Dabei waren primär die Form der W-Q-Beziehungen sowie die, aus den Ergebnissen der Simulation erkennbaren Hysterese-Effekte von besonderer Bedeutung (vgl. Abb.4.5).

Abb. 4.5 Darstellung von W-Q-Beziehungen direkt aus Simulationenläufen (exemplarisch für Pegel Linz (links) und Pegel Korneuburg (rechts))



4.3.1.3 Korrektur der W-Zeitreihen

Nachdem sich aus den Simulationen bereits relativ bald, d.h. bereits im September 2013, für viele Donauegel eine gute Übereinstimmung zwischen berechneten und beobachteten Durchflüssen ergeben hatte, lag umgekehrt bei vielen Pegeln der berechnete Wasserstand parallel zu den beobachteten Wasserständen.

Da gleichzeitig insbesondere bei den Pegeln Aschach, Wilhering und Linz auch zwischen berechneten und gemessenen Durchflüssen deutliche Unterschiede gegeben waren und weil diese Unterschiede sowohl die Maximal-Werte als auch den Verlauf betrafen, wurde lange Zeit die Ursache für diese Unterschiede in einer unzureichenden hydrodynamischen Modellierung gesehen. Entsprechend wurde viel Aufwand in die Analyse der Vorgänge an Überströmstrecken, in die Abschätzung des Einflusses der Kraftwerke und in die Verifizierung von Durchflusszeitreihen investiert.

Ab etwa Mitte November wurden zusätzlich die Querprofile und die Änderungen in den Querprofilen in die Analysen einbezogen, wobei dadurch vier Punkte erkannt wurden:

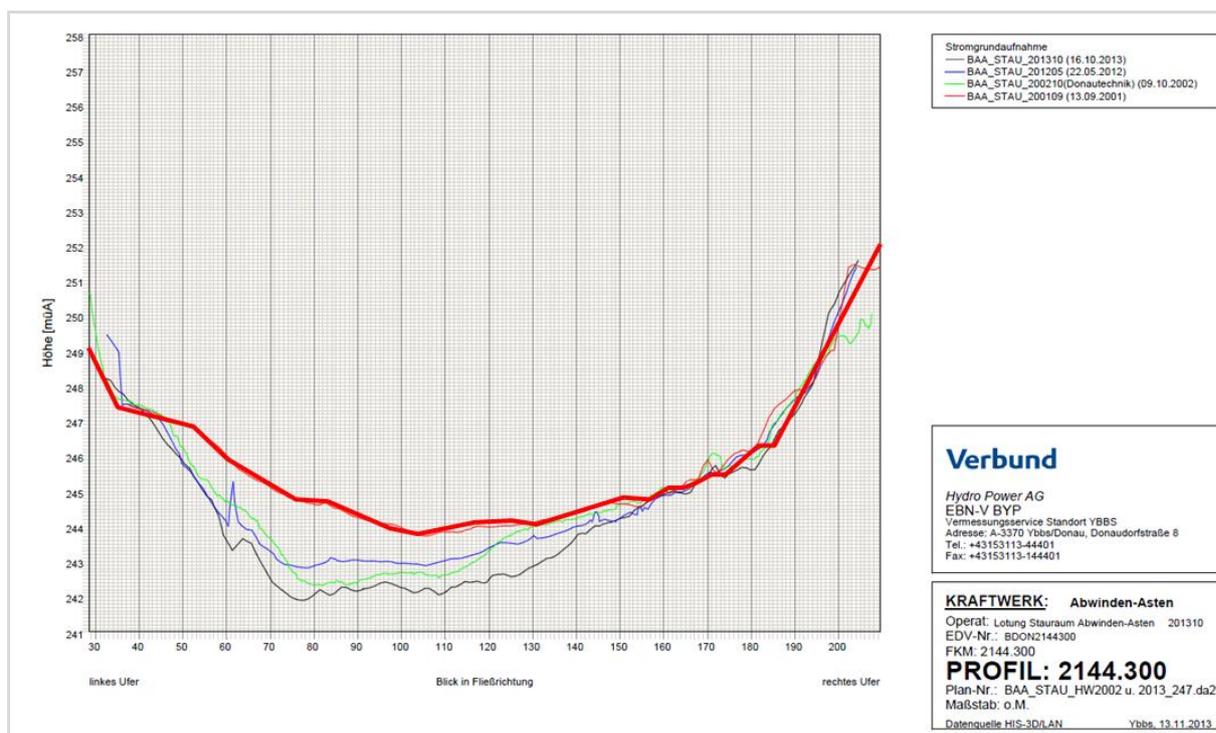
- (1) Es gibt zwischen den im Modell implementierten Querprofilen und den aktuellen Stromsohlen größere Unterschiede, die sich naturgemäß auch auf die Wasserstände auswirken bzw. auswirken können.
- (2) Die Stromgrundaufnahmen von VHP und via donau zeigen, dass es beim Hochwasserereignis zum Teil massive Umlagerungen gegeben hat, wobei diese Umlagerungen sehr heterogen sind (vgl. dazu Pkt.4.5)
- (3) Exemplarische Untersuchungen haben gezeigt, dass die Differenzen in den Stromgrunddaten sich nur wenig auf die Durchflüsse auswirken und dass insbesondere der Einfluss auf die Durchflussganglinien sehr gering ist¹⁷.
- (4) Eine stabile Sohle vorausgesetzt können die Differenzen zwischen den mit unterschiedlichen Sohlen berechneten Wasserständen in erster Näherung als konstanter Fehler angesehen werden.

¹⁷ Die Tatsache, dass die Änderungen der Stromsohlen einen untergeordneten Einfluss auf die Durchflussberechnungen haben, war bereits im Rahmen der Entwicklung des 1D-Modells für die Hochwasserprognose erkannt worden. Entsprechend war auch festgelegt worden, dass die regelmäßige Aktualisierung der Querprofile nachrangig ist. Umgekehrt gab es zu Beginn der Analysen und Modellierungen im Rahmen des gegenständlichen Projektes aber keine sicheren Anhaltspunkte, aus welchen der Einfluss der Stromgrunddaten abgeschätzt, bzw. ein negativer Einfluss hätte ausgeschlossen werden können.

Entsprechend wurde davon ausgegangen, dass das Parallelverschieben der berechneten Wasserstände eine zulässige und geeignete Korrektur ist, wobei das Ziel war primär, die Grundlage für die Interpretation und Überprüfung der Berechnungen zu verbessern. Rückblickend ist festzuhalten, dass diese Höhen-Korrektur ein Schlüssel für das hydraulische Verstehen des Hochwasserereignisses war, weil die Unsicherheiten und Vereinfachungen, welche dem Parallelverschieben zugrunde liegen, relativ gering sind. Umgekehrt konnten mit den Höhen-korrigierten Daten Detailaussagen z.B. für die Bereiche Korneuburg oder auch den Bereich Marchmündung gut analysiert und erklärt werden.

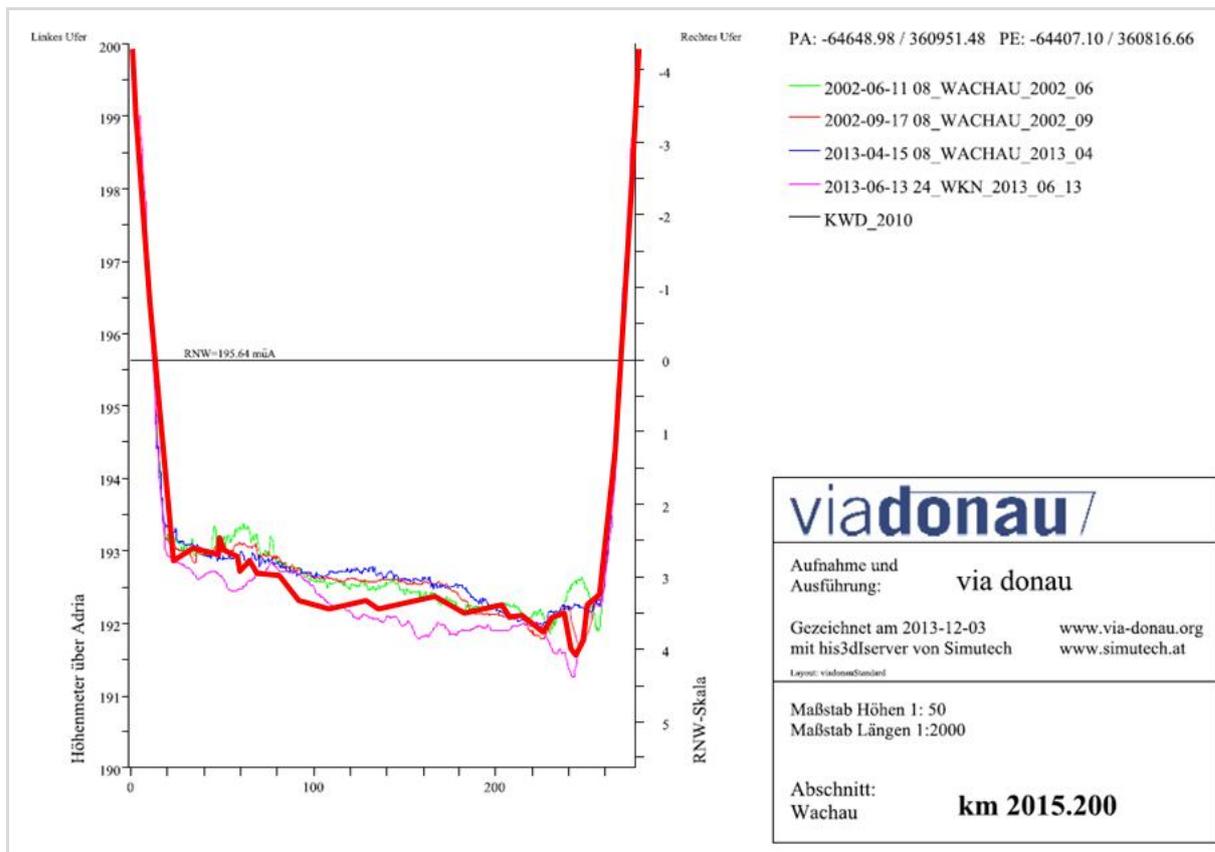
Abb.4.6 und 4.7 zeigen dazu exemplarisch Stromgrunddaten im Unterwasser des KW Ottensheim Bereich des Pegel Kienstock. Eine Übersicht über die an den unterschiedlichen Pegel durchgeführte Höhenkorrektur ist in Tab.4.6 gegeben. Eine exemplarische Darstellung der unkorrigierten und der korrigierten W-Ganglinie ist in Abb.4.8 gegeben.

Abb. 4.6 Stromgrunddaten für ein Profil im UW-Bereich des KW Ottensheim



Die Abbildung zeigt für den UW-Bereich des KW Ottensheim Stromgrundaufnahmen jeweils vor und nach den Hochwässern von 2002 und 2013 (d.h. Lotungen von 09/2001 (rot, verdeckt) und 10/2002 (grün) sowie von 05/2012 (blau) und 10/2013 (schwarz). Im 1D-Modell implementiert ist im Wesentlichen die Stromsohle der Lotung von 09/2001 (dicke rote Linie).

Abb. 4.7 Stromgrunddaten für ein Profil im Bereich des Pegel Kienstock

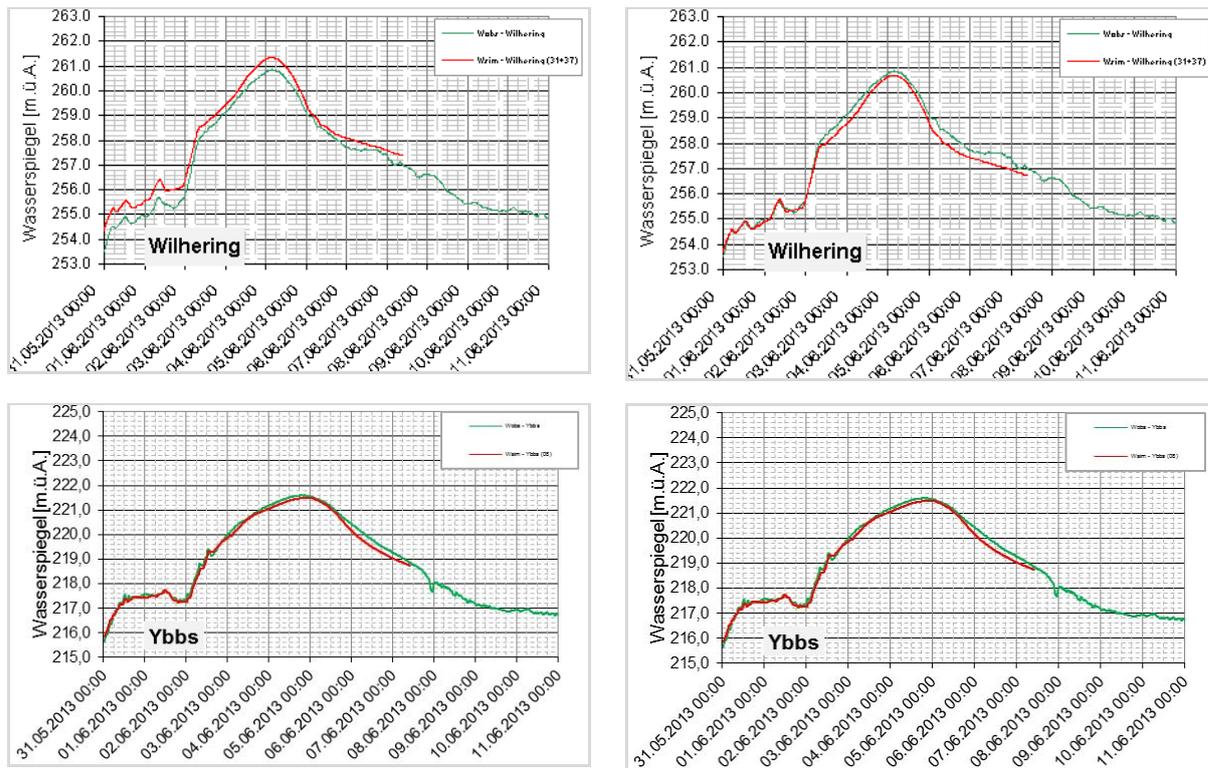


Analog zu Abb.4.6 zeigt die Abbildung für den Bereich des Pegel Kienstock Stromgrundaufnahmen jeweils vor und nach den Hochwässern von 2002 und 2013 (d.h. Lotungen von 06/2002 (grün) und 09/2002 (rot) sowie von 04/2013 (blau) und 06/2013 (magenta)). Das im 1D-Modell implementiert Querprofil ist mit der dicken roten Linie dargestellt.

Tab. 4.6 Korrektur-Werte für die 16 Donau-Pegel, für welche Q- und W-Ganglinien dargestellt wurden

HZB-Nr	Pegelstelle	Pegel-km	W-Korrektur[m]	HZB-Nr	Pegelstelle	Pegel-km	W-Korrektur[m]
207019	Achleiten	2223,05	0,00	207134	Melk	2035,98	-0,20
207027	Engelhartszell	2200,66	0,00	207357	Kienstock	2015,21	0,00
207043	Aschach an der Donau	2159,73	0,20	207175	Greifenstein	1947,79	0,55
207340	Wilhering	2144,04	-0,80	207241	Korneuburg	1941,46	0,30
207068	Linz	2135,17	-0,30	207258	Fischamend (Sporthafen)	1907,90	-0,40
207084	Mauthausen	2110,98	-0,30	207373	Wildungsmauer	1894,72	0,00
207100	Grein (Schiffsstation)	2079,10	-0,50	207274	Hainburg an der Donau	1883,92	0,15
207126	Ybbs an der Donau	2058,79	0,10	207407	Thebnerstraße	1879,25	-0,25

Abb. 4.8 Darstellung der unkorrigierten und korrigierten W-Daten (exemplarisch: Pegel Wilhering (oben) und Pegel Ybbs (unten))



4.3.1.4 Ergänzende Überprüfung der Wasserstände

4.3.1.4.1 Hintergründe

Aufgrund von Zwischenergebnissen aus der Analyse und Nachrechnung des Ereignisses wurde im November entschieden, eine ergänzende Überprüfung der Wasserstände auf Basis von zusätzlichen Beobachtungsdaten durchzuführen. Für diese Entscheidung gab es drei wesentliche Auslöser:

- (1) Während des Hochwasserereignisses gab es an mehreren Stellen die Beobachtung, dass es nennenswerte Unterschiede einerseits zwischen automatischen Aufzeichnungen und manuellen/visuellen Beobachtungen und andererseits zwischen redundanten Aufzeichnungen der gleichen Messgröße gab.
- (2) Die Überlegungen und Erkenntnisse zu den Änderungen in den Stromgrunddaten (vgl. Pkt.4.3.1.3).
- (3) Die Tatsache, dass es zwischen Modellrechnungen und Naturbeobachtungen im Verlauf der W-Ganglinie mitunter Differenzen gab, welche sich nicht ohne weiteres erklären ließen¹⁸.

¹⁸ Dieser Punkt bezieht sich am stärksten auf die Pegel im Bereich von Aschach und auf den Pegel Linz. Die hier aufgetretenen Differenzen aus heutiger Sicht zum Teil auf Umlagerungen an der Sohle und zum anderen auf offene Fragen im 1D-Modell zurückzuführen. Demgegenüber konnten Differenzen z.B. im Bereich Korneuburg/Klosterneuburg oder auch im Bereich der Marchmündung schon früh anhand der hydrodynamischen Zusammenhänge beschrieben und erklärt werden.

Zu Punkt (1), den Unterschiede/Widersprüche in den Beobachtungsdaten, seien exemplarisch drei Beobachtungen erwähnt:

- Von der Jochenstein AG wurde auf relevante Differenzen zwischen den am OW-Pegel aufgezeichneten Wasserständen und den in der Schleuse per Abstich gemessenen Wasserständen hingewiesen. Diese Differenzen betragen bis zu zwei Meter (d.h. Wasserstand in der Schleuse um 2 m höher gemessen als vom OW-Pegel), wobei die inhaltliche Erwartung bestand, dass die Werte in vergleichbarer Größenordnung sein sollten¹⁹.
- Am VHP-Pegel Voest-Hafen (Linz), der von VOEST-Alpine für die Planung und Umsetzung von Aktivitäten bei Hochwasser relevant ist, wurden Differenzen zwischen automatischer Messung und Handmessungen von etwa 80 cm festgestellt. Wenngleich die automatischen Messungen schon bei der Erstbeurteilung durch via donau als fehlerbehaftet ausgeschieden worden waren, ist auffällig, dass einzelne markante Punkte in der automatisch gemessenen Ganglinie sich mit vergleichbaren Punkten in anderen Ganglinien deckten (z.B. der Knick am 02.06.2013, ca. 10:00 Uhr). Entsprechend stellte sich die Frage, ob es zu diesem Zeitpunkt Effekte gegeben haben konnte, welche auch an anderen Messstellen Fehler verursacht hätten, die – weil sie weniger stark ausgefallen sind – nicht erkannt worden sind.
- Im Bereich Melk war beobachtet worden, dass zwischen den Online-Daten der VHP und den Online-Messungen für die Steuerung eines Pumpwerkes Differenzen von ca. 20 cm gegeben hatte.

Zu all diesen Punkten sei festgehalten, dass sie exemplarisch angeführt sind und dass es sich dabei um einige, ausgewählte Differenzen handelt, welche im Verlauf des Ereignisses erkannt und in der Folge auch als Erfahrung festgehalten worden sind. In Zusammenhang mit den im November noch gegebenen Unsicherheiten in Hinblick auf die Durchflüsse und die möglichen Effekte der hydrodynamischen Modellierung, wurde daher entschieden, zusätzliche Daten zur Überprüfung der Wasserstände einzubeziehen.

4.3.1.4.2 Auswertungen und Überprüfungen für OÖ

Für die am Kraftwerk Jochenstein gemeldeten Differenzen zwischen den am OW-Pegel aufgezeichneten Wasserständen und den in der Schleuse per Abstich gemessenen Wasserständen wurde analysiert, wie sich diese Unsicherheit auf die Modellierung und die Ergebnisse auswirken kann.

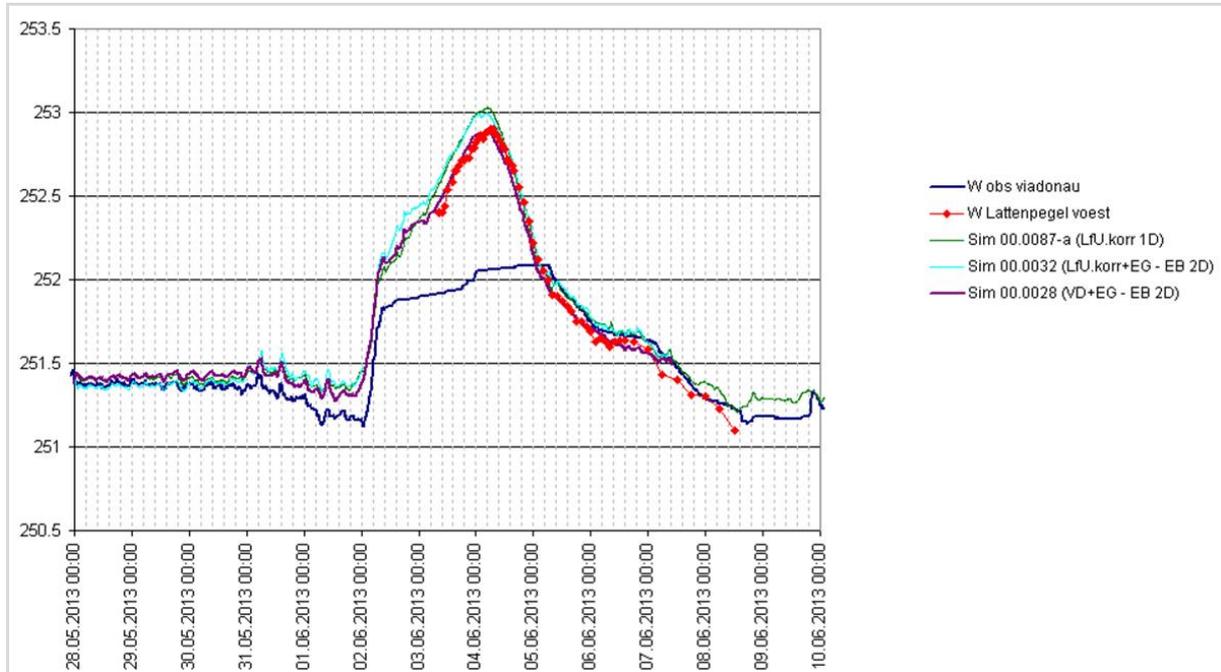
Die Berechnungen sind unter Pkt.4.3.2.1 beschrieben, wobei zusammenfassend festgehalten werden kann, dass sich aus den Unsicherheiten bei den Wasserständen in Jochenstein praktisch nicht auf die Gesamtaussagen zum Ereignis auswirken.

Die Auswertungen für den Pegel Voest-Hafen zeigen, dass die von VOEST gemessenen Wasserstände sich sehr gut mit den Ergebnissen der Modellierung decken. Damit wird zum einen die Modellierung durch die Messwerte gestützt und zum anderen kann davon ausgegangen werden, dass in diesem Bereich die Wasserstände nur wenig durch

¹⁹ Beim KW Jochenstein werden wie bei jedem Donaukraftwerk die Schleusen für die Hochwasserabfuhr verwendet. Dabei ist klar, dass es Unterschiede zwischen Wasserstand in der Schleuse und am OW-Pegel geben kann. Die Erwartung war aber, dass der OW-Pegel für die Beschreibung der hydraulischen Verhältnisse „ausreichend repräsentativ“ ist, was angesichts der hohen Differenzen nicht gegeben schien.

Änderungen der Stromsohle beeinflusst wurde. Nachdem die gemessenen Wasserstände vom Modell selbst in sehr feinen Strukturen nachgebildet werden (Abb.4.9), ist davon auszugehen, dass auch die Durchflussganglinien im Modell sehr nahe an den real aufgetretenen Durchflusszeitreihen liegen.

Abb. 4.9 Gemessenen und berechnete Wasserstände am Pegel Voest-Brücke



Die Abbildung zeigt als Messwerte die automatisch gemessene W-Ganglinie (dunkelblau) und in Rot die einzelnen Messungen von VOEST Alpine. Daneben sind die Wasserstände aus drei Simulationen dargestellt, wobei die mit Sim 00.0028 bezeichnete jener Simulation entspricht, von der insgesamt davon ausgegangen wird, dass sie das Ereignis am besten beschreibt.

4.3.1.4.3 Beobachtungen und Aufzeichnungen in NÖ

Vom Land NÖ wurden zur Verifizierung von automatisch gemessenen Wasserständen sieben Dokumente bzw. Datensätze zur Verfügung gestellt, die sich wie folgt zusammenfassen lassen:

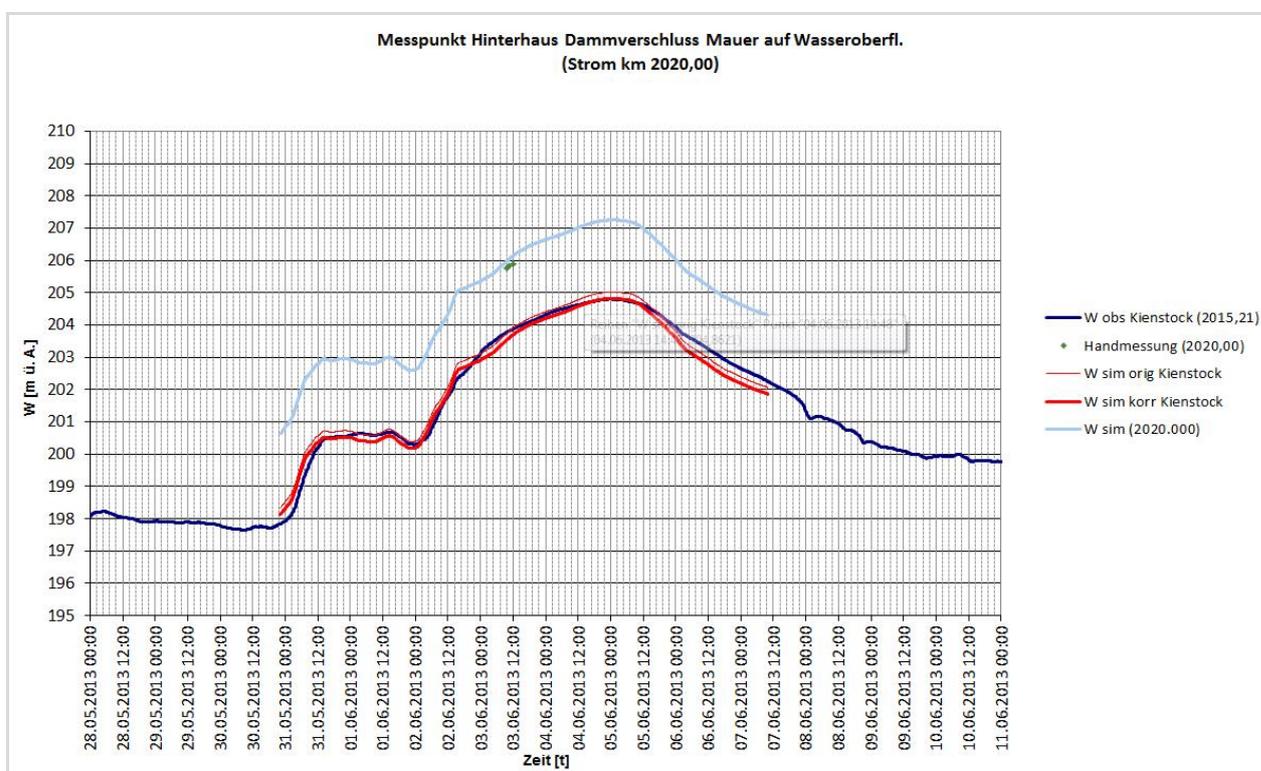
- (1) Zeitlich gut dokumentierte Messungen des Wasserstands im Bereich Spitz (km 2020.00 bis 201.70)
- (2) Zeitlich gut dokumentierte Messungen des Wasserstands am Pegel Dürnstein
- (3) Maximale Wasserstände für einzelne Beobachtungspunkte im Bereich Ybbs
- (4) Zeitlich gut dokumentierte Messungen des Wasserstands entlang des Hochwasserschutzes in Krems
- (5) Zeitlich gut dokumentierte Messungen im Bereich Orth samt Messungen an der March
- (6) Daten aus den Vorlandbereichen im Bereich Grafenwörth und an der Krems

Von all diesen Daten wurden jene, die einen direkten Vergleich mit automatisch gemessenen Werten darstellten zu den verfügbaren Messreihen in Beziehung gebracht.

Die Schwierigkeit dabei ist, dass die Messdaten lagemäßig nicht exakt mit den verfügbaren Pegeldaten korrespondieren, so dass sie sich primär für eine grobe Validierung der Daten eignen.

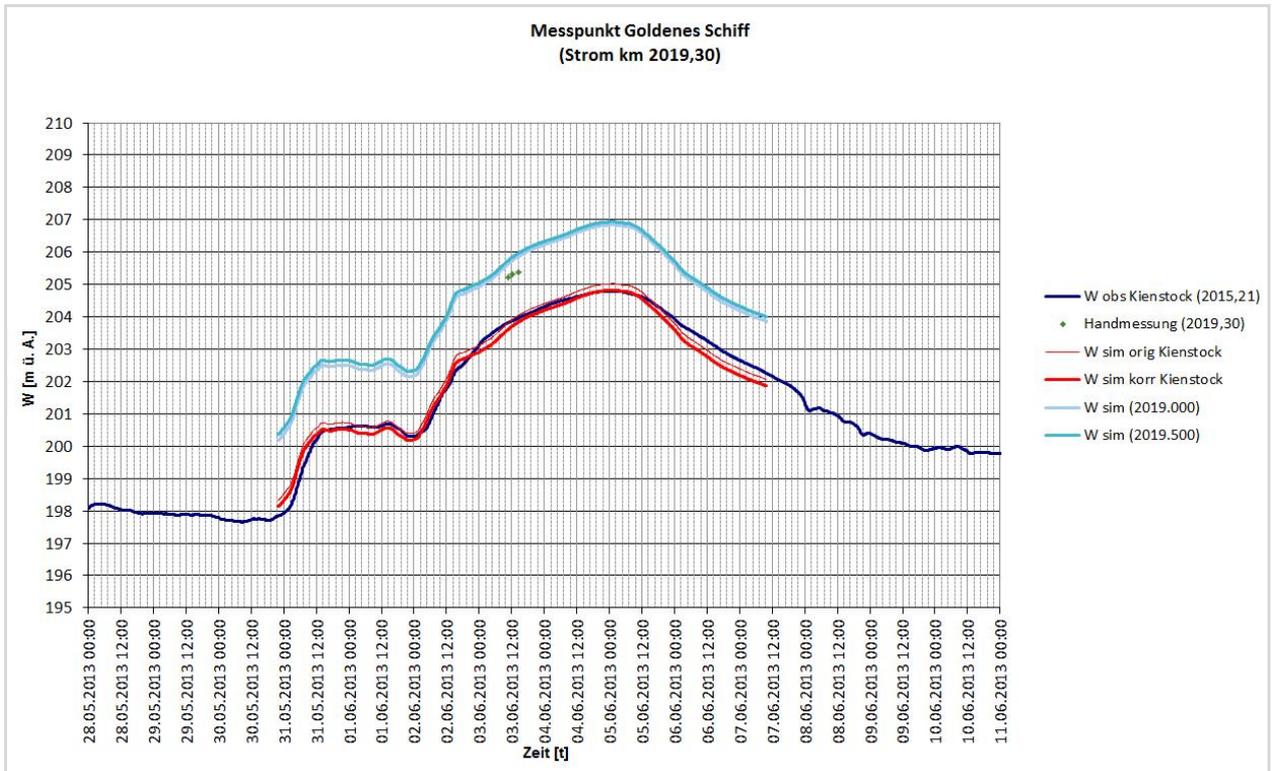
In Abb.4.10 bis 4.12 sind die Vergleiche der Handmessungen mit automatischen Messungen für den Bereich Spitz dargestellt. Um den Vergleich zu erleichtern, wurden aus den Modellrechnungen jeweils aus einem möglichst nah gelegenen Querprofil die Wasserstände übernommen und dargestellt. In Abbildung 4.13 sind für den Pegel Dürnstein die manuell notierten Wasserstände gemeinsam mit den Ergebnissen der Modellrechnung dargestellt. In Abbildung 4.14 sind die im Bereich Ybbs beobachteten Maximalwasserstände dargestellt.

Abb. 4.10 Händisch gemessene Wasserstände zur Validierung von automatischen Messungen (exemplarisch: km 2020,00)



Die Abbildung zeigt zum einen die Werte der Handmessung bei km 202.00 (grüne Punkte) und die berechnete Ganglinie des Wasserstandes an diesem Profil (hellblaue Linie). Zum anderen zeigt sie als Referenz für den Pegel Kienstock die gemessenen Wasserstände (dunkelblau), die Original-Werte aus der Simulation (rote dünne Linie) und die Höhen-korrigierte W-Zeitreihe (rote dicke Linie). Die Abbildung zeigt, dass die manuellen Werte die Ergebnisse der Modellierung und damit auch die Messungen am Pegel Kienstock stützen. Des Weiteren zeigt, die Abbildung, dass die Höhen-Korrektur am Pegel Kienstock sich mit jener Korrektur deckt, die bei km 2020.00 anzuwenden wäre, um die Simulationsergebnisse exakt mit der Messung abzugleichen.

Abb. 4.11 Händisch gemessene Wasserstände zur Validierung von automatischen Messungen (exemplarisch: km 2019.30)



Die Abbildung entspricht im Aufbau Abb.4.10 Deutlich erkennbar ist, dass die Handmessungen in diesem Bereich etwas unterhalb der berechneten W-Ganglinie liegen, wobei es keine Hinweise gibt, ob sich die Unterschiede aus kleinräumigen Effekten im Messbereich, aus Änderungen in der Stromsohle aus z.B. aus einer unzureichenden Kalibrierung des Modells ergeben.

Abb. 4.12 Händisch gemessene Wasserstände zur Validierung von automatischen Messungen (exemplarisch: HWS Mautern km 2003.50)

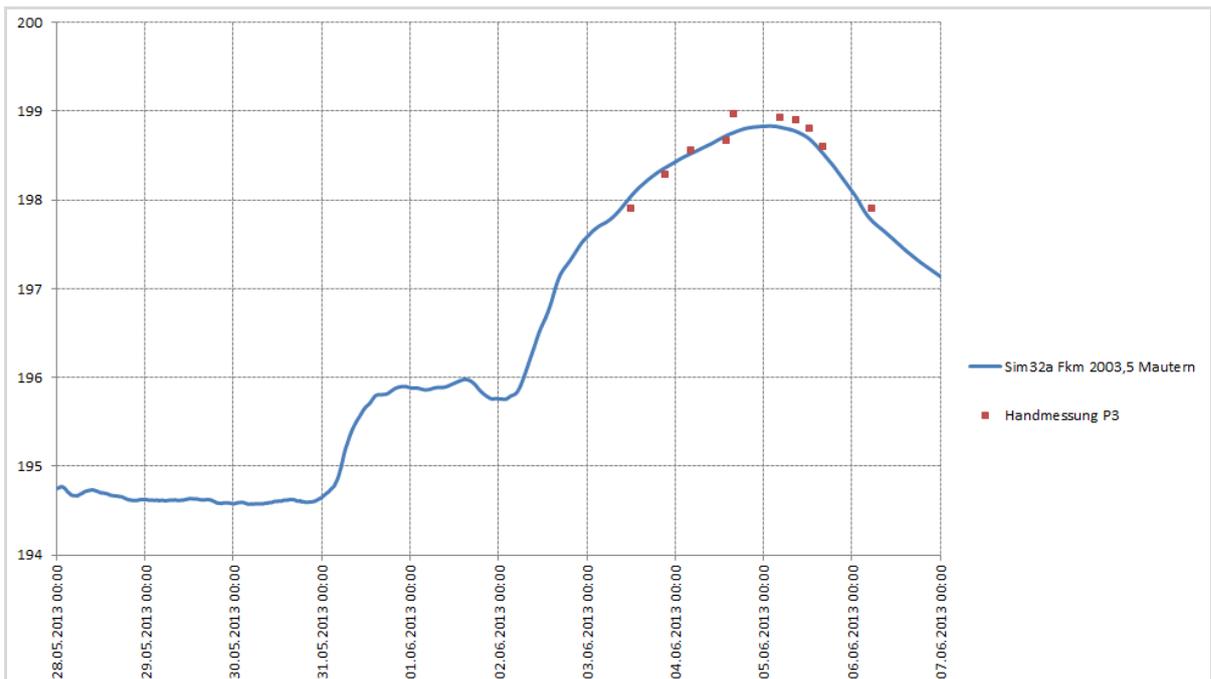


Abb. 4.13 Händisch notierte Wasserstände zur Validierung von automatischen Messungen (exemplarisch: Pegel Dürnstein, km 2009.15)

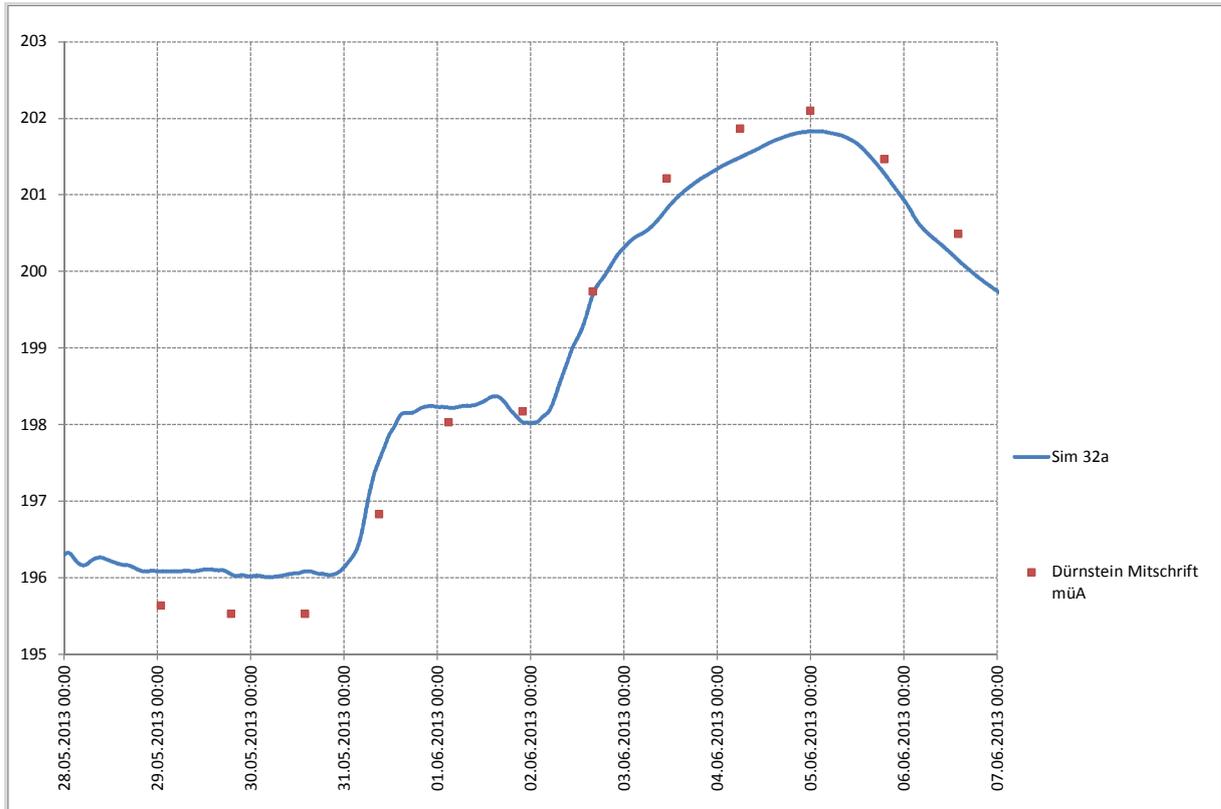
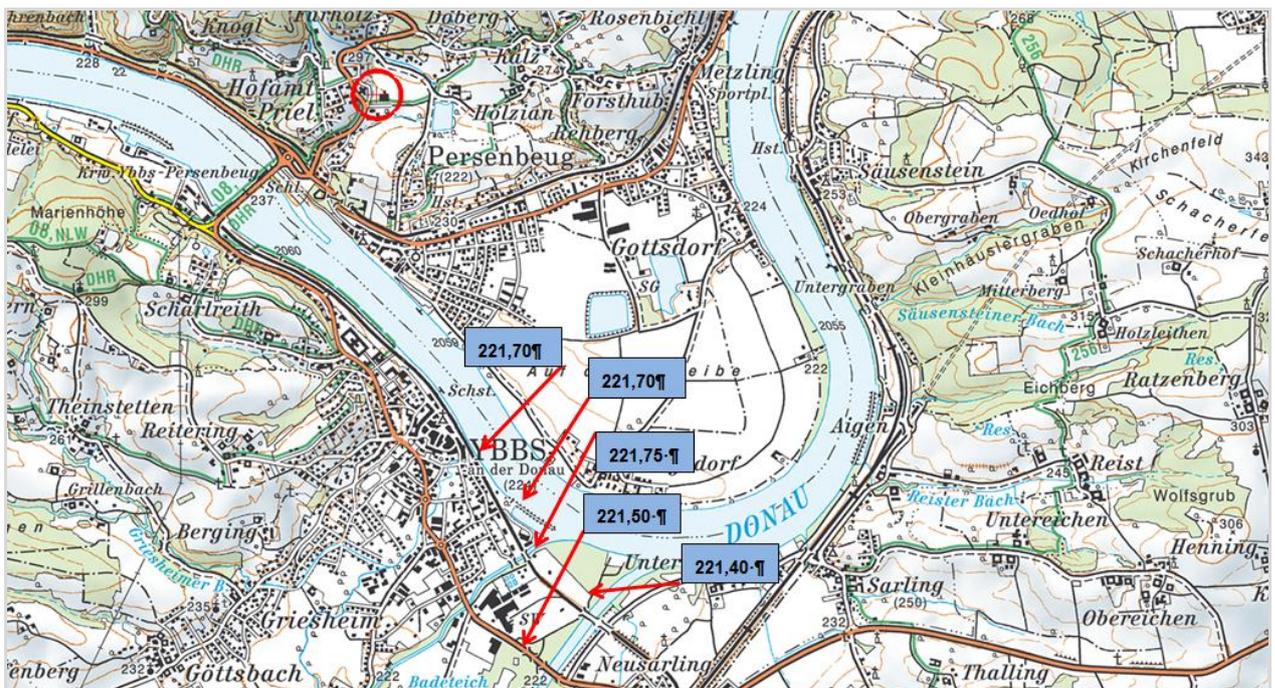


Abb. 4.14 Maximalwasserstände im Bereich Ybbs



Zusammenfassend lässt sich aus der Auswertung der verfügbaren Aufzeichnungen folgendes festhalten:

- Aus den Aufzeichnungen ergibt sich kein einziger Hinweis auf grundsätzliche Fehler in den Messdaten.
- Im Gegenteil: Die Zusammenschau von manuell aufgezeichneten Werte, automatischen Messwerten und Simulationen ergibt ein konsistentes Bild.
- In Ybbs liegen die beobachteten Maximalwerte um ca. 5 cm über den für den Pegel Ybbs ausgewiesenen Maximalwerte, wobei auffällig ist, dass bei den etwas von der Donau abgelegenen Beobachtungen die beobachteten Maximalwasserstände deutlich niedriger liegen. Eine mögliche Ursache für die etwas höheren Maximalwerte könnten daher lokale Anströmungen sein, wobei der Unterschied von 5 cm schon so klein ist, dass keine weiteren Erklärungsversuche erforderlich sind.
- Die Beobachtungen am Pegel 3 beim HWS-Mautern stützen ebenfalls die Simulationen. Die Differenzen zwischen Messungen und Berechnungen sind auch hier so gering, dass es keine weitere Analyse braucht.
- Die größten Differenzen ergeben sich mit den Aufzeichnungen für den Pegel Dürnstein, wobei hier davon auszugehen ist, dass das 1D-Modell die Wasserstände aufgrund der spezifischen Bogensituation nicht gut abbildet²⁰. Entsprechend ergeben sich auch hier keine Hinweise auf allfällige Unsicherheiten in den automatisch beobachteten Wasserständen.

Abschließend sei festgehalten, dass – wie spätere Arbeiten ergaben - die Auswertung der Querprofile als wichtigster Schlüssel zur Interpretation der beobachteten und simulierten Wasserstände zu sehen ist.

Die Auswertung der manuell aufgezeichneten Wasserstände hat die Analysen und Modellrechnungen dahingehend gestärkt, dass sich ein konsistentes Bild ergab und dass sich keine relevanten Widersprüche ergaben.

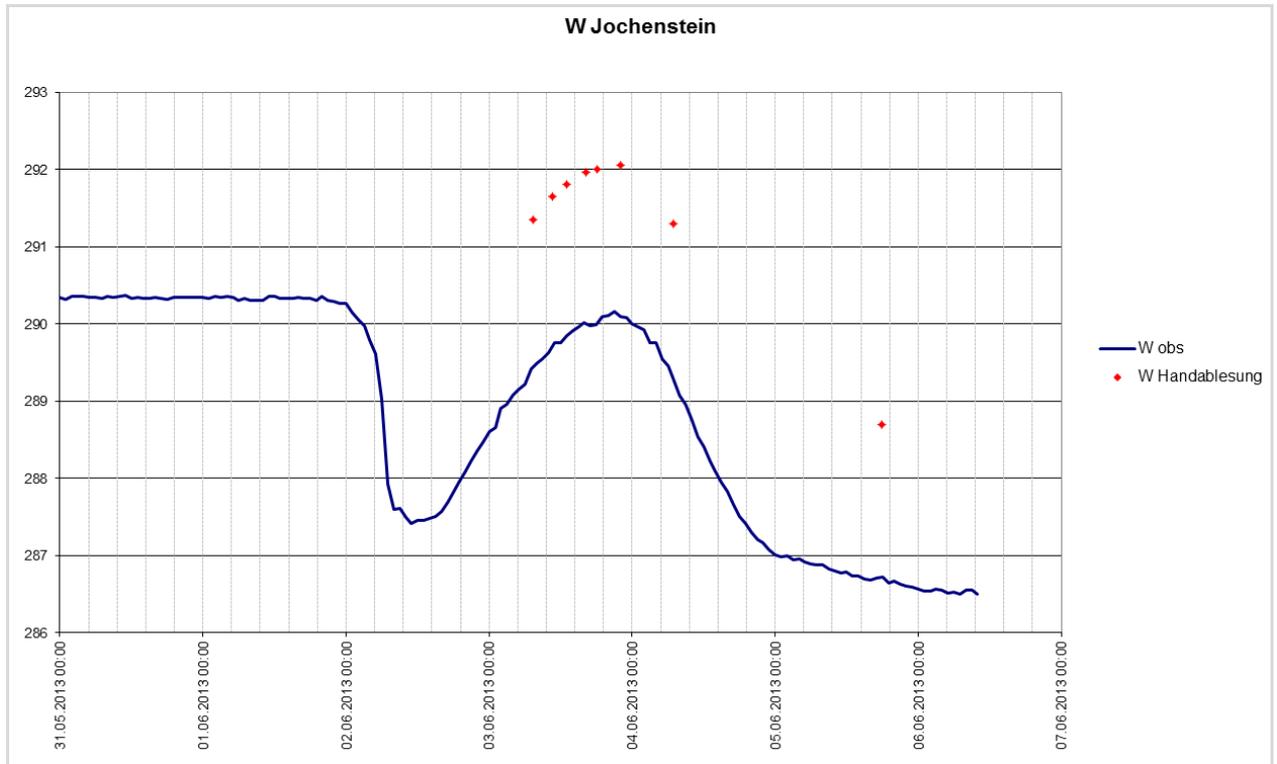
4.3.2 Simulation zu ausgewählten Detailbereichen und Detailfragen

4.3.2.1 Abschätzung der Unsicherheiten bei der Abflussberechnung für das KW Jochenstein

Im Zuge der Analysen und Recherchen zum Ereignis wurde von VHP und Jochenstein AG auf Unsicherheiten in den OW-Daten des Kraftwerkes Jochenstein hingewiesen: Zwischen den für den OW-Pegel aufgezeichneten Wasserständen und den in der Schleuse per Abstich gemessenen Wasserständen ergaben sich Differenzen von bis zu 2 Meter (Abb.4.15).

²⁰ Der Pegel Dürnstein liegt bei km 2009.80 im Wendepunkt zwischen dem Rechtsbogen, der oberhalb von Dürnstein liegt und durch die Aufweitung bei Rossatz gekennzeichnet ist, und dem Linksbogen, der von Dürnstein bis Hundsheim reicht.

Abb. 4.15 Wasserstände beim KW Jochenstein: Daten des OW-Pegels und händische Messungen im Bereich der Schleusen

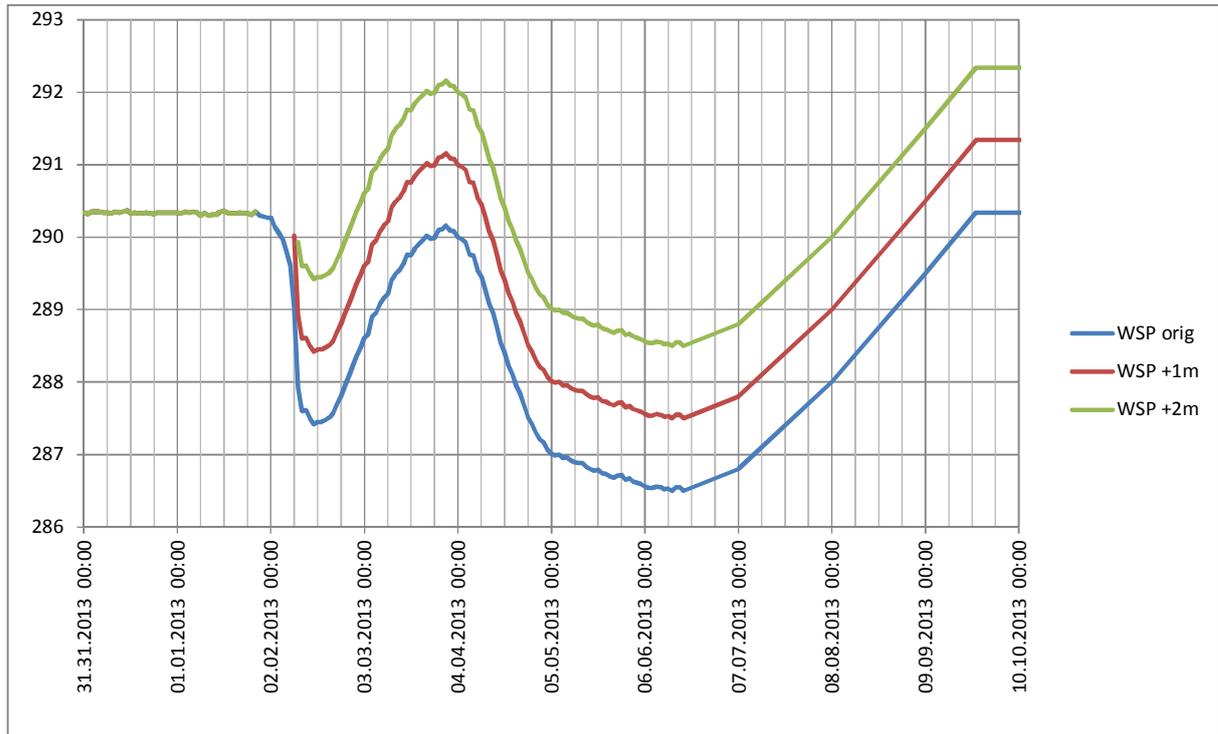


Aus diesen Unsicherheiten ergaben sich zwei Fragen, nämlich (1) inwieweit ergeben sich daraus Unsicherheiten für die errechneten Durchflüsse ab dem Kraftwerk und (2) gibt es daraus resultierende Einflüsse auf die Zuflüsse, d.h. auf die Durchflussermittlung am Pegel Achleiten.

Für die Abschätzung des möglichen Einflusses auf den am Kraftwerk Jochenstein ermittelten Abfluss wurden Vergleichsrechnungen mit unterschiedlichen Verläufen für den OW-Pegel durchgeführt.

Als Referenz wurde die OW-Ganglinie bei der Simulation so vorgegeben, wie sie in den online-Daten verfügbar ist. Daneben wurden zwei Szenarien gerechnet, bei welchen der Oberwasserstand nach einer kurzen Absenkung um 1 m bzw. und 2 m über dem, in den Online-Daten festgehaltenen Werten liegt (Abb.4.16).

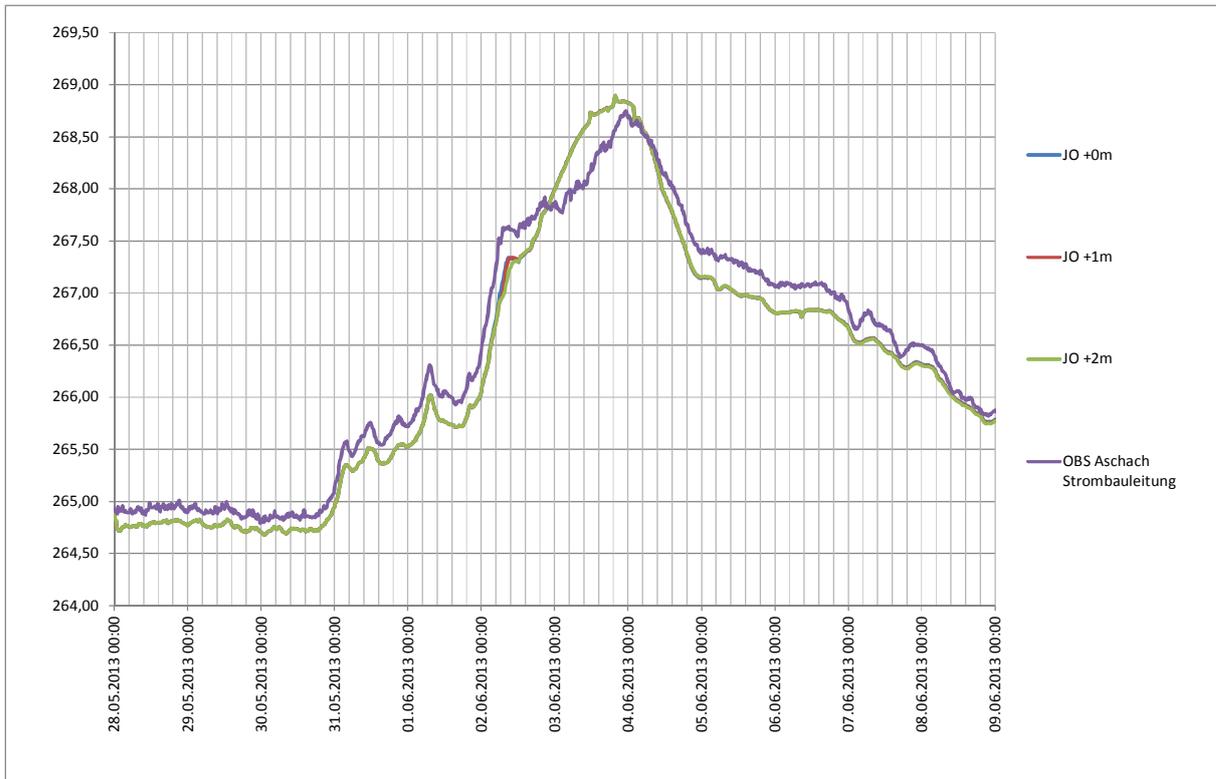
Abb. 4.16 Sensitivitätsanalyse KW Jochenstein: Vorgabe von OW-Pegel für 3 Szenarien



Die Darstellung der Simulationsergebnisse in Abb.4.17 zeigt, dass die Vorgabe des OW-Pegels auf den Abfluss vom KW Jochenstein praktisch keinen Einfluss hat und dass sich daraus keine Unsicherheit für die durchflussmäßige Rekonstruktion des Hochwasserereignisses ergibt.

Dieser minimale Einfluss, der in den Abbildungen nur bei genauer Betrachtung am 02.06.2013 gegen 10:00 Uhr erkennbar ist, ergibt sich daraus, dass der Stauraum Jochenstein nur ein geringes Stauraumvolumen hat. Entsprechend wird durch einen verstärkten Aufstau nur ein geringes Volumen aufgefüllt, was wiederum in der geringen Änderung des Durchflusses resultiert.

Abb. 4.17 Sensitivitätsanalyse KW Jochenstein: Berechnete Durchflüsse für 3 Szenarien



Die Abbildung zeigt den geringen Einfluss des bei der Simulation vorgegebenen OW-Pegels auf die Abgabe beim KW Jochenstein: Die Wasserstandsganglinien für die drei Szenarien überlagern sich praktisch (grün über rot über blau). Insbesondere ist damit auch klar, dass es keinen Zusammenhang zwischen den in Jochenstein bestehenden Unsicherheiten und dem Unterschied zwischen den am Pegel Aschach Agentie gegebenen Unterschieden zwischen „gemessenem“ und simuliertem Durchfluss gibt.

4.3.2.2 Überprüfung eines allfälligen Einflusses von Jochenstein auf den Pegel Achleiten

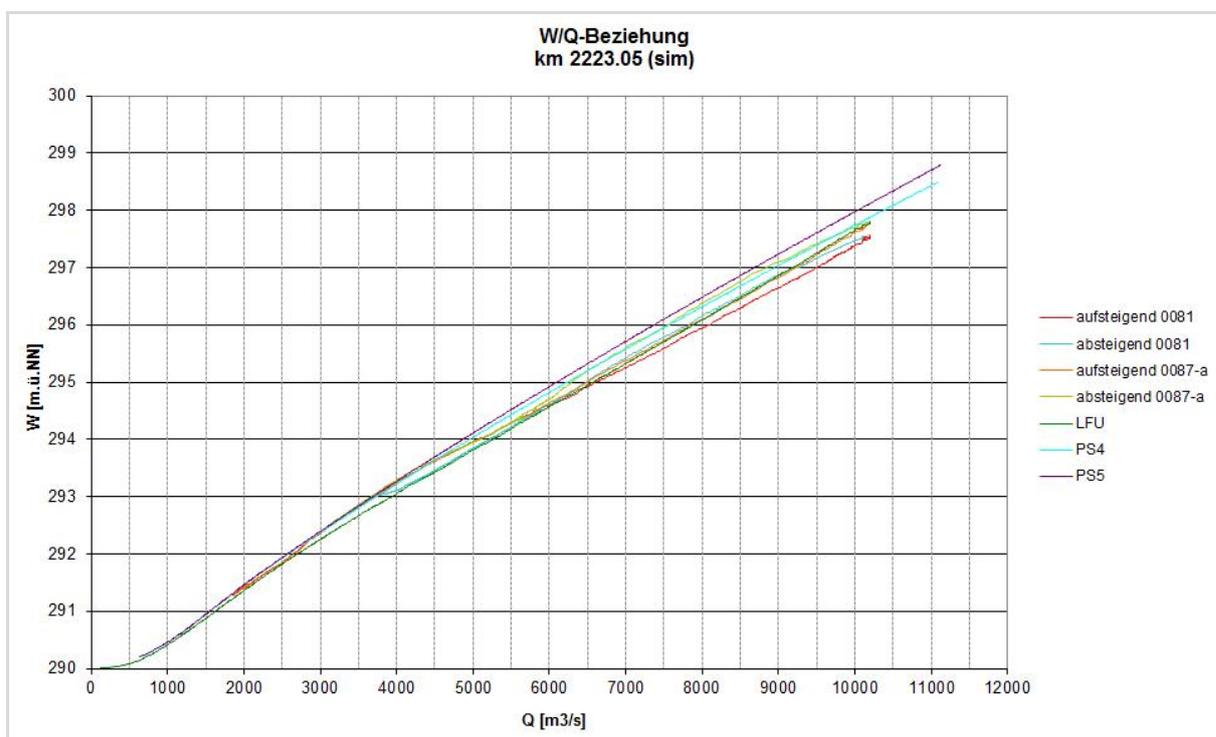
Zu der unter Pkt.4.3.2.1 einleitend dargestellten Frage (2), wie sich die Unsicherheiten beim OW-Pegel von Jochenstein auf die Durchflussauswertung am Pegel Achleiten auswirken können, wurde in einem iterativen Vorgehen dieser mögliche Einfluss analysiert:

- (1) Um den maximalen Einfluss abschätzen können, wurde bei der Analyse davon ausgegangen, dass am KW Jochenstein zunächst entsprechend der online aufgezeichneten Daten abgesenkt wurde und dass dann jener Überstau eingetreten ist, der durch die Handmessungen in der Schleuse erfasst wurde.
- (2) In der Folge wurde verglichen, wie der Wasserstandsverlauf am Pegel Achleiten durch die geänderten Vorgaben in Jochenstein beeinflusst wird und wie sich dies – bei einer Umrechnung von Wasserstand auf Durchfluss mittels Pegelschlüssel – auf die Durchflussganglinie ausgewirkt hat.

(3) Mit der so adaptierten Zuflussganglinie für Achleiten wurden Berechnung und Adaptierung der Zuflussganglinie mehrmals wiederholt, wobei als zusätzliche Vergleichsstelle der Donau-Pegel „Dandlbach Donau“ genutzt werden konnte²¹.

Aus den Berechnungen ergibt sich, dass bei einer Änderung des „maßgeblichen Wasserstandes“ im Bereich des KW Jochenstein um 2 Meter ein Einfluss auf die ermittelte Durchflussganglinie in Achleiten um ca. 250m³/s gegeben sein kann. Die Formulierung „maßgeblicher Wasserstand“ nimmt dabei darauf Bezug, dass unklar ist, ob die in der Schleuse gemessenen Wasserstände für das ganze Querprofil – und damit für den Einfluss auf Achleiten – repräsentativ sind.

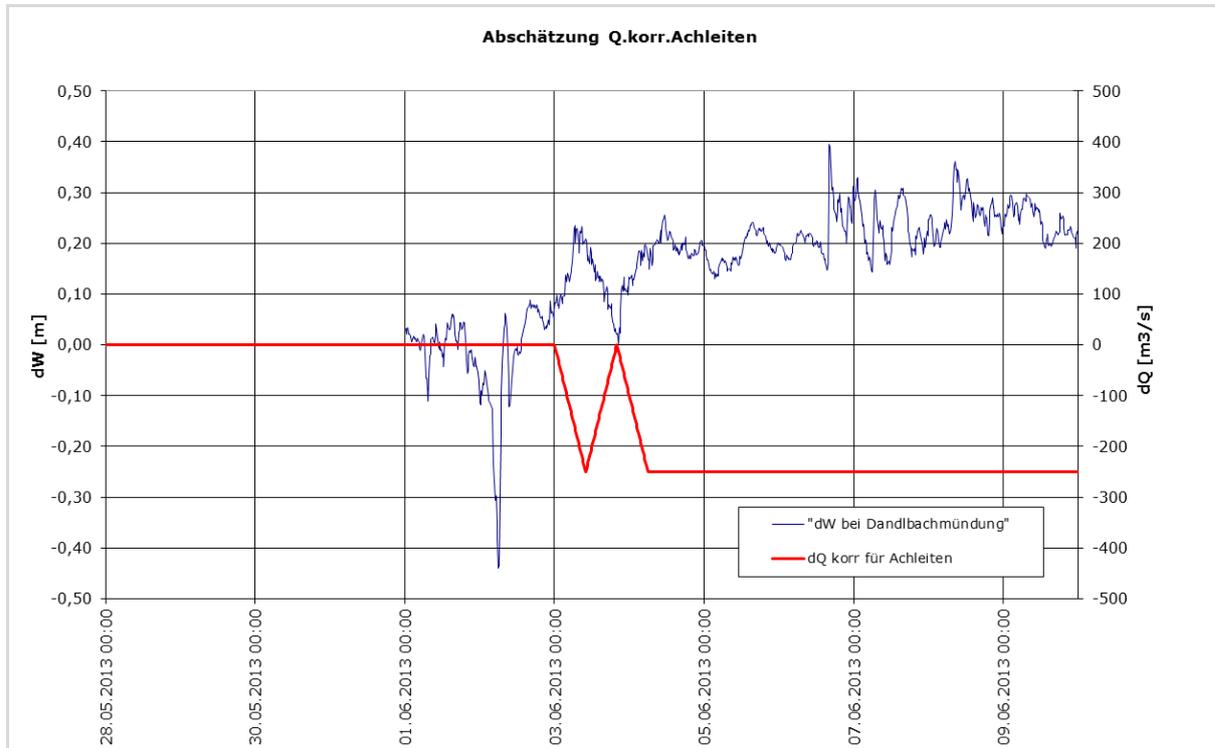
Abb. 4.18 Abschätzung eines möglichen Einflusses auf Achleiten – Pegelschlüsse und Hysterese-Effekte am Pegel Achleiten



Die Abbildung zeigt die drei am Pegel Achleiten grundsätzlich verwendeten Pegelschlüsse (LfU, PS4 und PS5) sowie die aus der Simulation ermittelten W-Q-Beziehungen samt den sich ergebenden Hysterese-Effekten. Zu diesen ist die Simulation mit den online registrierten OW-Daten von Jochenstein (Sim 0081: aufsteigend rot, absteigend blau) und die Berechnung mit dem angenommenen maximalen Überstau (Sim 0087a: aufsteigend orange, absteigend grün) dargestellt. Die genaue Analyse der Diagramme zeigt, dass sich bei dem angenommenen Überstau die W-Q-Beziehungen in Richtung der von via donau verwendeten Pegelschlüssel (PS4 und PS5) verschieben, wobei sich der aufsteigende Ast der Simulation mit dem PS des LfU, der abfallende eher mit dem PS von via donau (PS4) deckt.

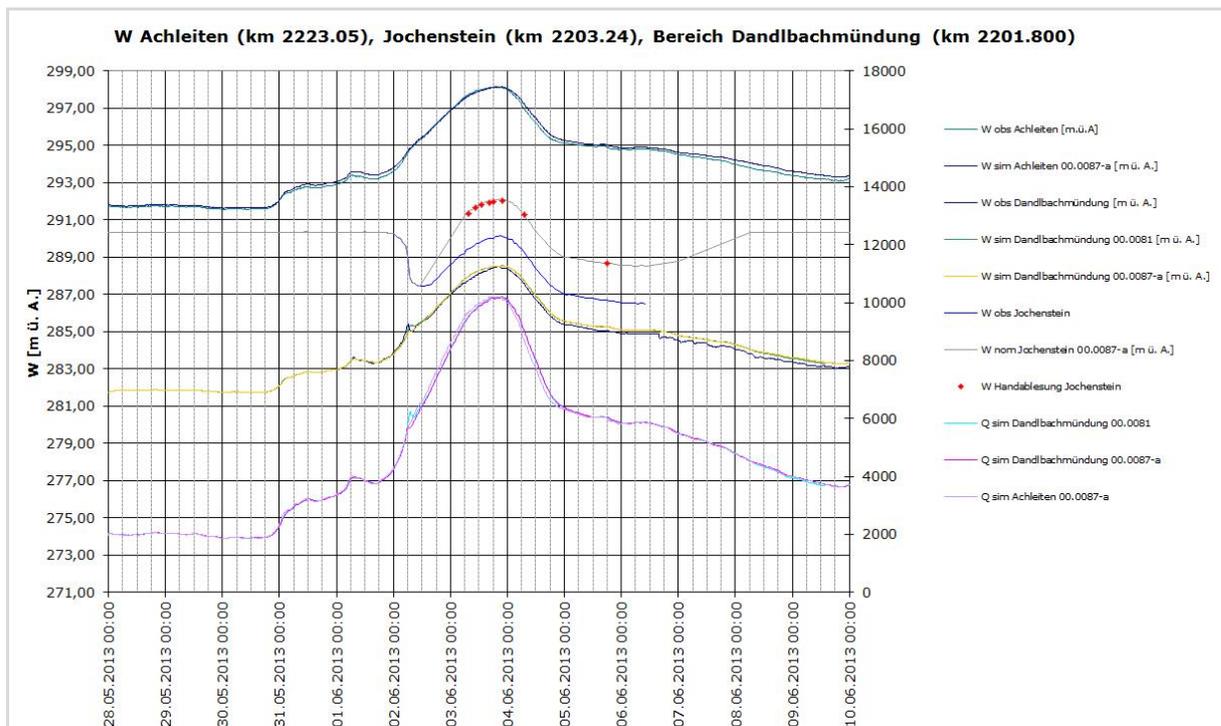
²¹ Der Pegel „Dandlbach Donau“ wird vom WSA Bayern betrieben. Er liegt bei km 2201.80 am linken Donauufer. Die Aufzeichnungen des Pegels wurden von VHP / KW Jochenstein zur Verfügung gestellt.

Abb. 4.19 Abschätzung eines möglichen Einflusses auf Achleiten – Differenzen zwischen Beobachtung und Simulation am Pegel Dandlbach und daraus abgeleitetes dQ



Die Abbildung zeigt den Unterschied zwischen berechnetem und beobachtetem Wasserstand am Pegel Dandlbach Donau vor der Korrektur der Durchflussdaten für Achleiten (blau) und die daraus abgeleitete Korrektur für $dQ(t)$ für den Pegel Achleiten (rot).

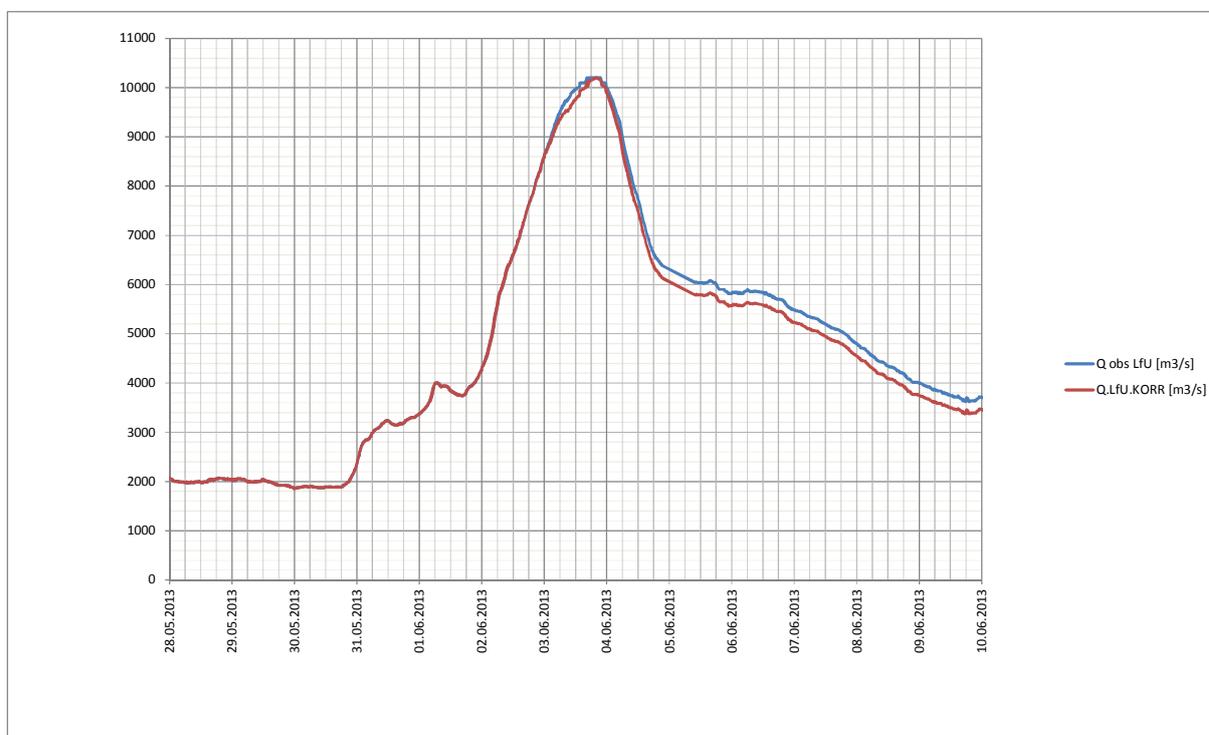
Abb. 4.20 Abschätzung eines möglichen Einflusses auf Achleiten – Wasserstände und Durchflüsse für den Stauraum Jochenstein



Die Abbildung zeigt die für die Abschätzung vorgegebene OW-Ganglinie (W.nom JO, grau), die sich aus den online registrierten Daten (blau) und den Handmessungen ergibt (rot). Darunter sind die beobachteten (schwarz) und die berechneten (grün und gelb) Wasserstände am Pegel Dandlbachmündung dargestellt. Weiter darunter sind – der rechten Achse zugeordnet, die Durchflüsse am Pegel Dandlbachmündung dargestellt, welche sich mit Original-Daten und korrigierten Daten (Zeitreihen von LFU) ergeben.

Die Analyse zeigt, dass die möglichen Einflüsse auf den Pegel Achleiten im Bereich von 250 m³/s liegen. Die Analyse zeigt gleichzeitig, dass ein Einfluss vor dem Hochwasserscheitel und im abklingenden Ast, kaum aber zum Zeitpunkt der höchsten Abflüsse gegeben war. Aufgrund des möglicherweise gegebenen Einflusses ist abzuleiten, dass der Anstieg im Scheitelbereich um einige Prozent stärker war, als er sich in den per Pegelschlüssel ermittelten Durchflüssen darstellt.

Abb. 4.21 Durchflussganglinien für Achleiten – mit und ohne Korrektur eines möglichen Einflusses durch das KW Jochenstein



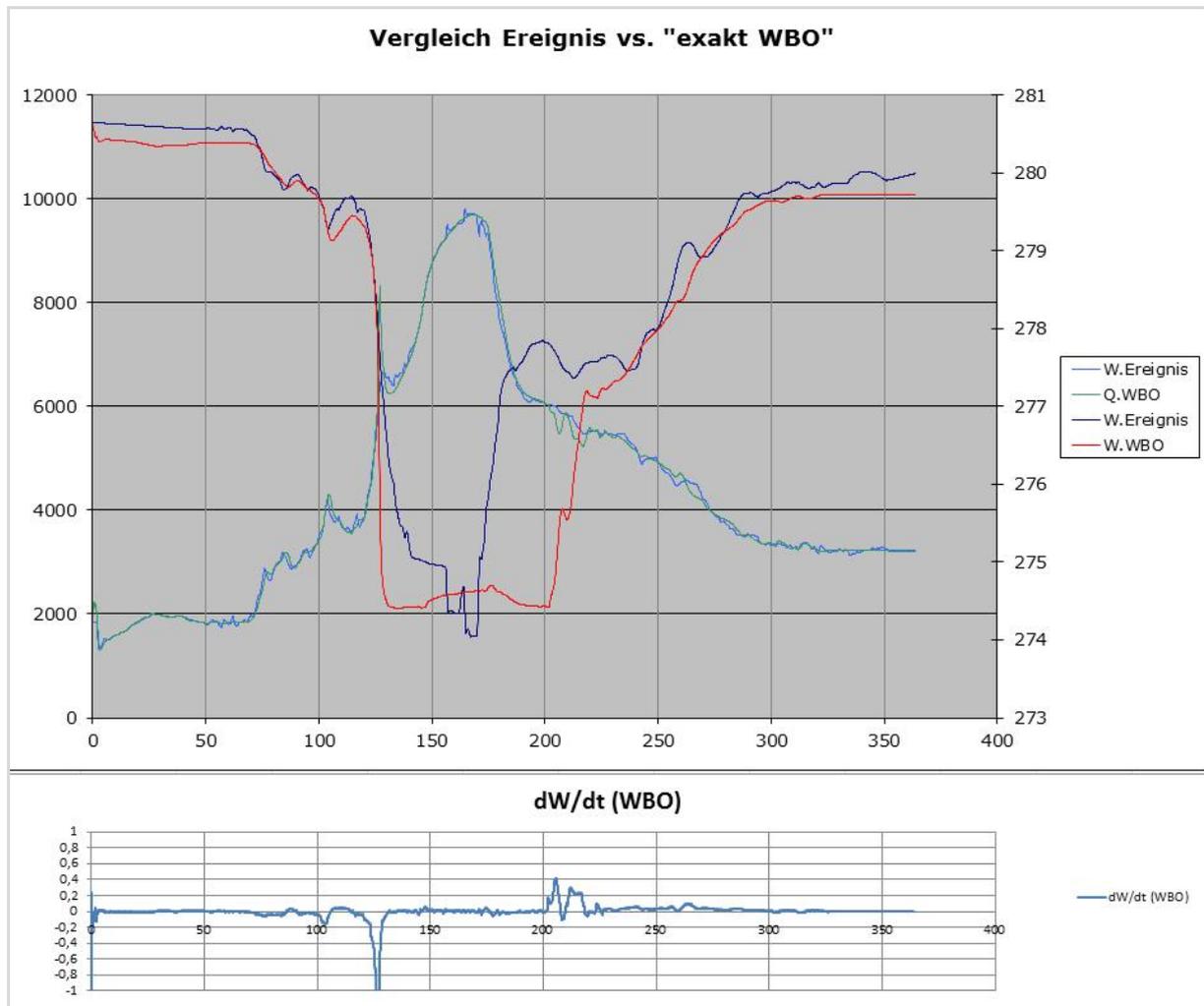
4.3.2.3 Abschätzung möglicher Unsicherheiten durch die OW-Daten des KW Aschach

In den Daten für das KW Aschach gab es in den ersten Datensätzen Unsicherheiten bezüglich der OW-Pegel: Aufgrund der extremen Absenkung waren laut VHP die im Prozessrechner verarbeiteten Daten aufgrund der hinterlegten Plausibilitätsprüfung auf ungültig gesetzt, und später durch redundant gemessene Daten einer zweiten Sonde ersetzt worden.

Zur Abschätzung möglicher Unsicherheiten und Effekte wurde eine Vergleichsrechnung durchgeführt, bei welcher der Betrieb des KW Aschach im Bereich der höheren Durchflüsse eng nach WBO vorgegeben wurde²².

Der Vergleich der Simulationen zeigt, dass sich zwischen den beiden Durchflussganglinien kein relevanter Unterschied ergibt. Die exakt nach WBO gerechnete Durchflussganglinie weist einen glatteren Verlauf auf, der Scheitel und die Form sind aber bei beiden Ganglinien in den interessierenden Bereichen praktisch gleich (Abb.4.22).

Abb. 4.22 Detailanalyse KW Aschach – Wasserstand und Durchfluss für Nachbildung des Ereignisses laut Beobachtungsdaten und exakt nach WBO



Die obere Abbildung zeigt Wasserstände und Durchflüsse am KW Aschach. Die untere Abbildung zeigt die Gradienten im OW-Pegel („Absenkgeschwindigkeit“) die sich bei exakter Vorgabe der WBO ohne explizite Berücksichtigung der max. zulässigen Absenkgeschwindigkeiten ergeben würden. Die Skalierung der Zeitachse ist in Stunden, bezogen auf 28.05.2013, 00:00 Uhr.

²² Die Einschränkung auf die höheren Durchflüsse bezieht sich darauf, dass bei den für die Simulation gewählten Vorgaben die maximal zulässigen Absenkgeschwindigkeiten überschritten werden. Diese Überschreitungen treten aber in keinen Zeitspannen auf, die für die hier untersuchten Fragen relevant sind.

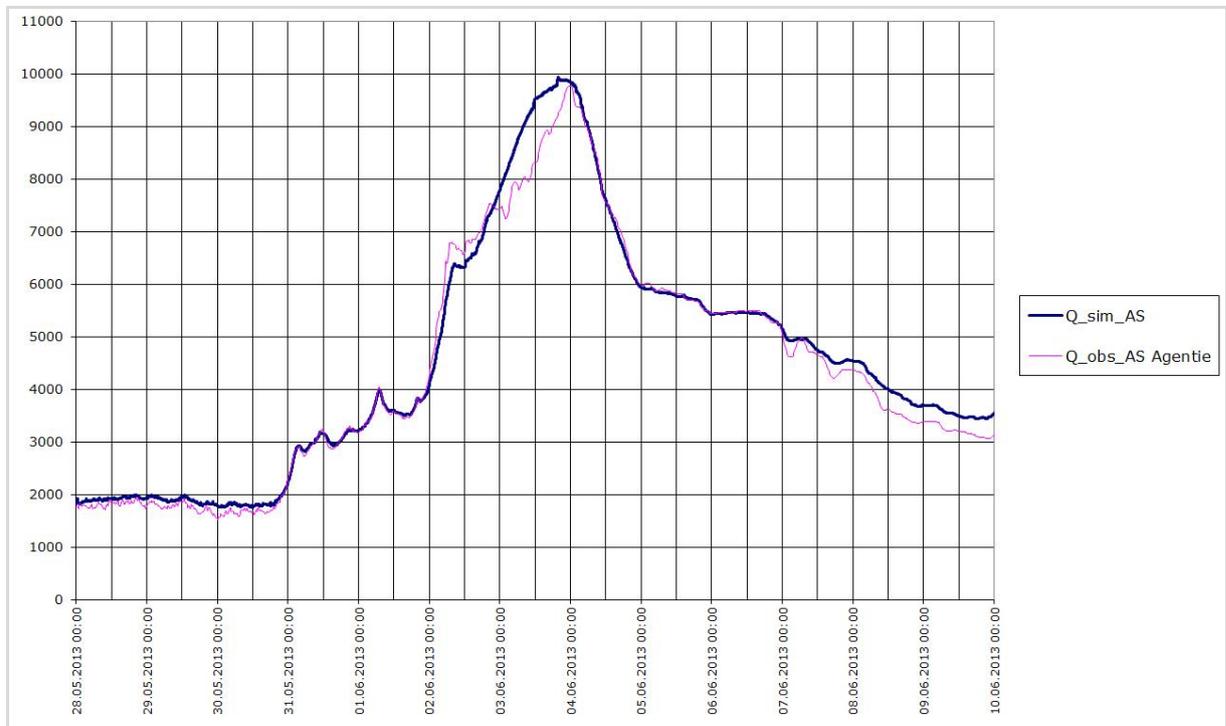
4.3.2.4 Detailanalyse zu den Durchflüssen im Bereich Aschach

Hintergrund für diese Simulation sind die Unterschiede zwischen Rechenwert und Messung, die sich bei praktisch allen Simulationen für die Wasserstände und Durchflüsse an den Pegeln im Bereich Aschach und – etwas abgemindert – am Pegel Linz ergeben.

Ziel der Simulation ist daher, die Analyse für den Bereich Aschach nicht auf die Zuflüsse von Achleiten und die OW-Stände des KW Aschach sondern auf die Durchflussdaten von Aschach aufzusetzen.

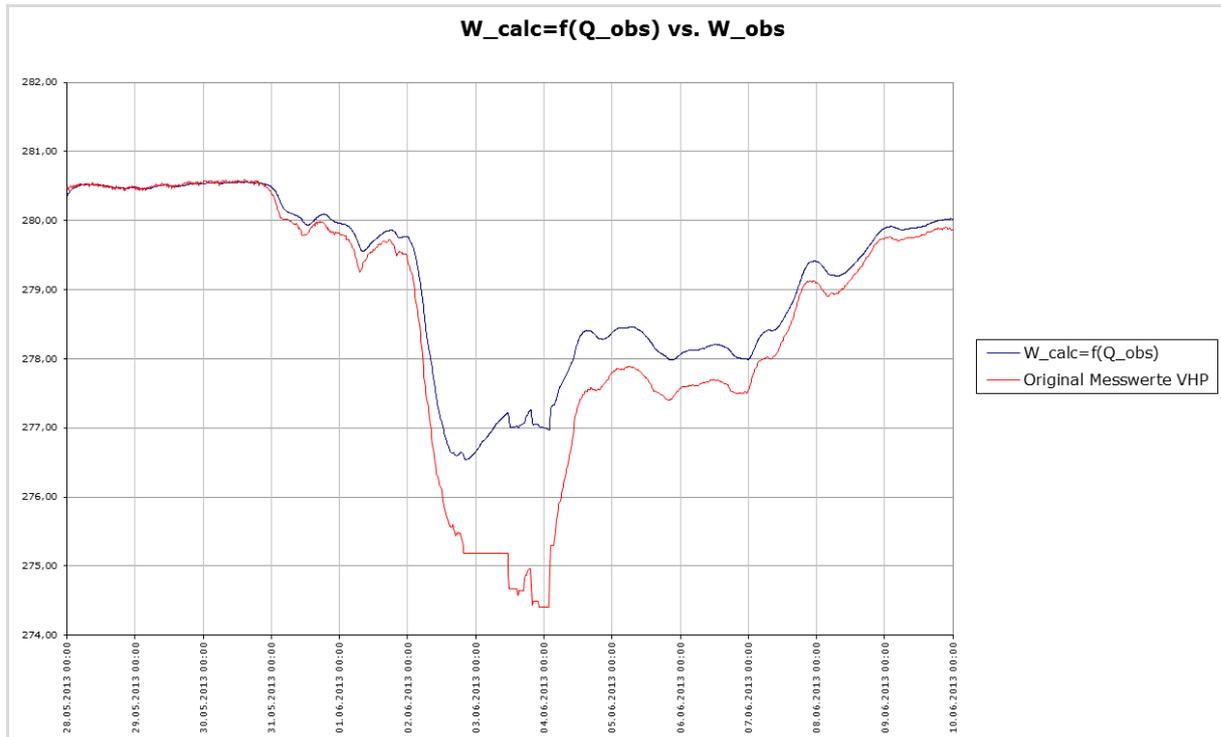
Bei der Simulation wurde daher als Durchfluss im KW Aschach jener Durchfluss vorgegeben, der am Pegel Aschach Agentie beobachtet worden war. Der Verlauf des OW-Pegels ergab sich aus der Berechnung. Die entsprechenden Ganglinien für die Durchflüsse und die Wasserstände sind in Abb.4.23 und 4.24 dargestellt.

Abb. 4.23 Detailanalyse Bereich Aschach: Durchflüsse Pegel Aschach/Agentie



Die Abbildung zeigt die „gemessenen“ - d.h. mittels Pegelschlüssel aus W-Messungen abgeleiteten – Durchflüsse am Pegel Aschach Agentie (magenta) und die mit dem Modell gerechneten (dunkelblau).

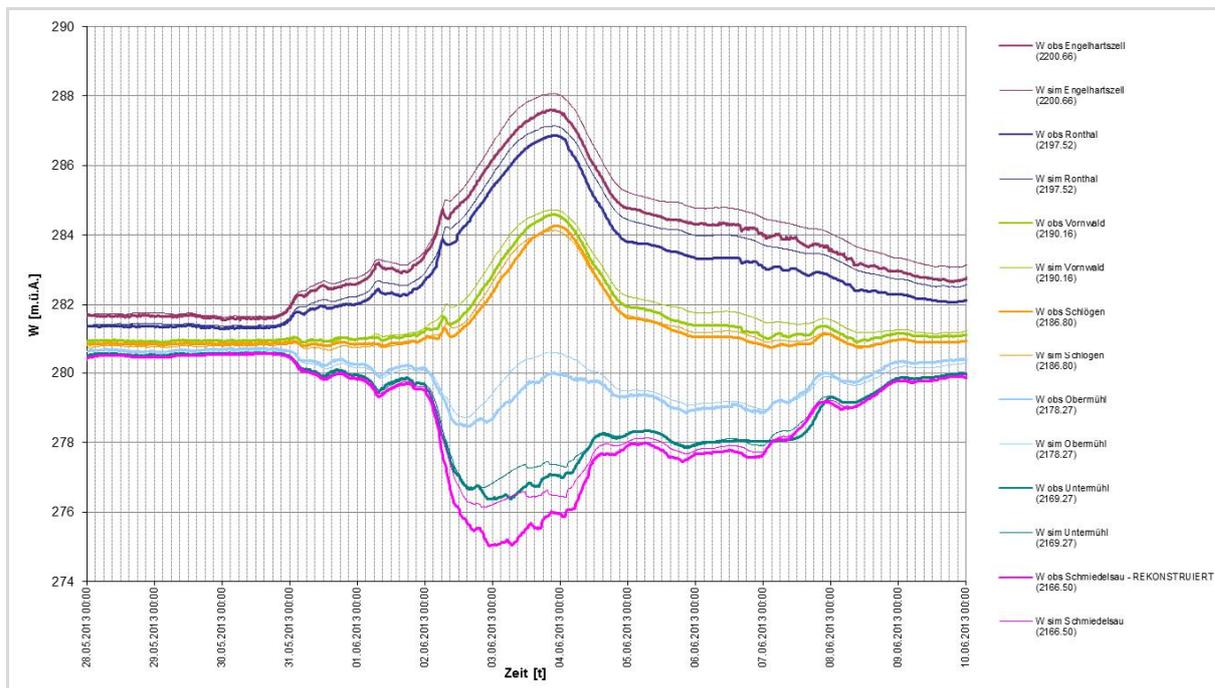
Abb. 4.24 Detailanalyse Bereich Aschach: Beobachtete und rückgerechnete OW-Pegel



Die Abbildung zeigt die beobachteten W-Verlauf am OW-Pegel (rot) und den mit der „gemessenen“ Q-Ganglinie rückgerechneten.

Die Detailanalyse zeigt, dass mit den für Aschach angegebenen Durchflussdaten der Oberwasser-Pegel des KW Aschach im Bereich der interessierenden Durchflüsse um über 2 Meter höher geblieben wäre, als er beim Ereignis beobachtet worden ist. Eine ergänzend durchgeführte Analyse aller Auswertungen für weitere Pegel im Stauraum Aschach zeigt dazu, dass bei diesen hohen OW-Pegelständen auch die Wasserstände an den anderen Pegel höher gewesen wären, als sie beim Ereignis beobachtet wurden (Abb.4.25).

Abb. 4.25 Detailanalyse Bereich Aschach: Beobachtete und simulierte Pegel zu den rückgerechneten OW-Ständen



4.3.2.5 Analyse des Einflusses der Überströmstrecken im Eferdinger Becken auf die Durchflussganglinien

Ebenfalls im Zusammenhang mit den Unterschieden, welche sich aus berechneten und beobachteten Wasserständen im Bereich Aschach ergeben, steht die Detailanalyse zum Einfluss der Abflüsse über die Überströmstrecken auf die Nachbildung des Gesamtereignisses.

Ziel der Analysen war zu überprüfen, ob (1) durch eine Änderung bei der Abbildung der Abflüsse in das Vorland eine bessere Nachbildung der beobachteten Wasserstände möglich ist und (2) wie sich eine Änderung der Abflüsse in das Vorland auf die Nachbildung des Ereignisses an sich darstellt. Die zweite Frage untersucht damit, welche Auswirkungen durch die bei der Abbildung der Überströmstrecken gegebenen Unsicherheiten möglich sind.

Beim Versuch, die beobachteten Wasserstände in Agentie durch eine Änderung der Abgabe in das Vorland nachzubilden, wurde abgebrochen: Die Ergebnisse zeigten, dass eine Annäherung an die beobachteten Wasserstände mit dem bestehenden 1D-Modell nicht möglich war respektive, dass eine vertiefende Analyse nur mit aktualisierten Stromgrunddaten und einer ergänzenden Kalibrierung sinnvoll ist.

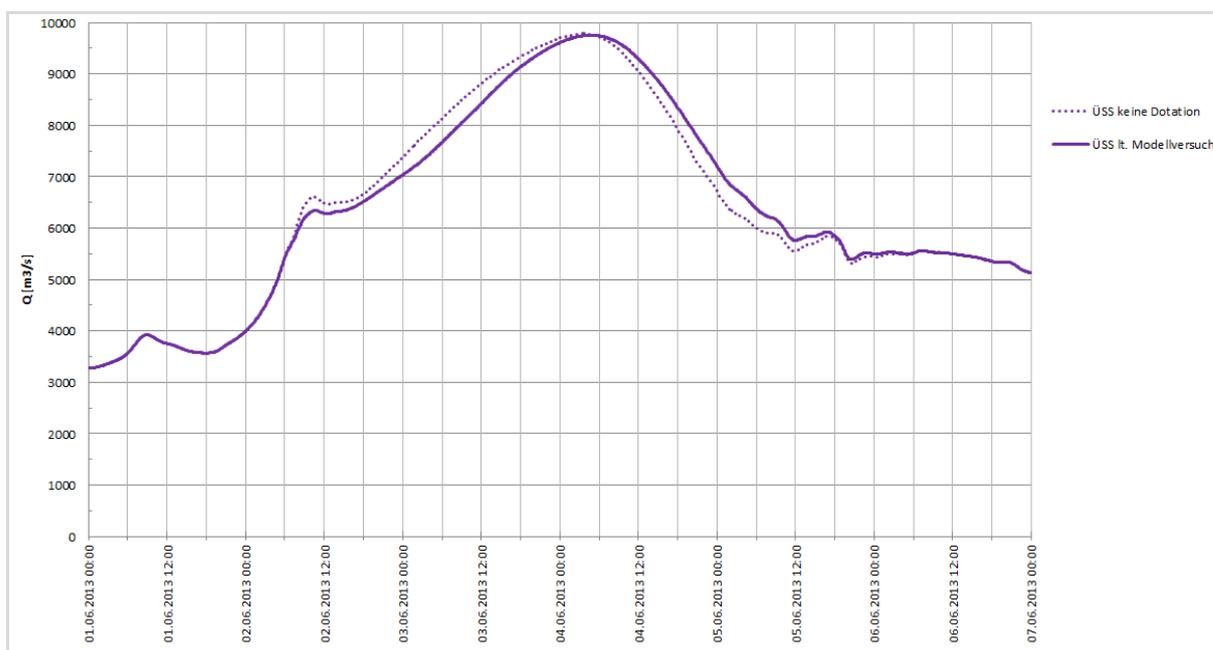
Umgekehrt konnte aber durch Vergleichsrechnungen erkannt werden, dass die Unsicherheiten, die bei der Abbildung der Überströmstrecken gegeben waren bzw. sind, bei der Rekonstruktion von diesem Ereignis keinen großen Einfluss auf die Ermittlung der maximalen Durchflüsse hat.

Abb.4.26 zeigt dazu die für Linz ermittelten Durchflussganglinie für die extreme Annahme, dass über die Überströmstrecke gar kein Abfluss in das Vorland erfolgt wäre.

Die Abbildung zeigt, dass – auch wenn es eine zeitliche Verschiebung in den Wellen gibt – der Scheitel beider Wellen praktisch gleich hoch ist.

Zu diesem Punkt ist aber wichtig, dass sich die Berechnung und die Aussage nur auf das konkrete Ereignis von 06/2013 beziehen²³. Die Tatsache, dass es selbst in der Simulation bei den extremen Annahme zu keiner Veränderung des Scheitels kam erklärt sich aus zwei Punkten: Erstens ergibt sich die Retention im Eferdinger Becken zu einem großen Teil durch den Rückstau der Kürnberger Enge und zweitens ergibt sich durch die breite Hochwasserwelle die Retentionsräume so stark gefüllt sind, dass die geänderten Ausströmungsverhältnisse in der Simulation keine Auswirkungen haben.

Abb. 4.26 Detailanalyse Einfluss der Abbildung der Überströmstrecken auf die Nachbildung des Hochwasserereignis: Auswirkung auf die Durchflussganglinie in Linz



4.3.2.6 Analyse des Einflusses der Überströmstrecken beim KW Wallsee-Mitterkirchen

Eine zweite Detailanalyse zum Einfluss der Überströmstrecken wurde für den Bereich Wallsee-Mitterkirchen durchgeführt.

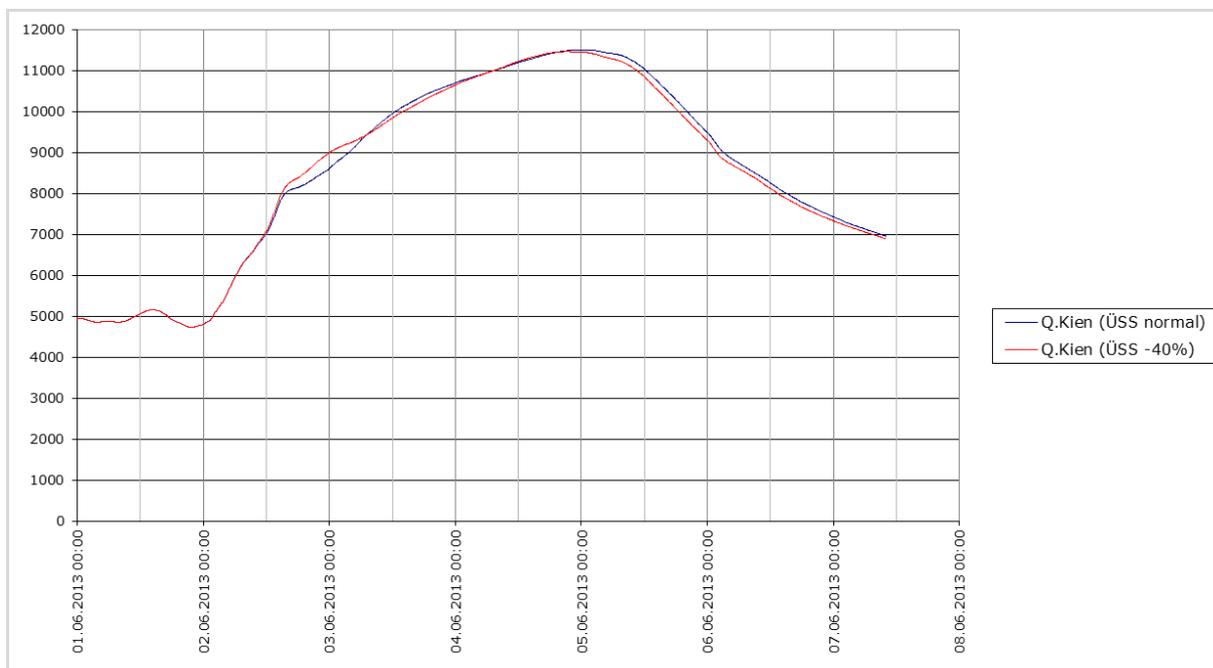
Dabei wurde für beide Überströmstrecken (d.h. links- und rechtsufrig) die Dotation der Vorländer im Vergleich zu den derzeit im Modell implementierten Ansätzen um 40% reduziert.

Die Darstellung der Auswirkungen auf den Durchfluss am Pegel Kienstock (Abb.4.27) gibt ein ähnliches Bild, wie die zuvor dargestellte Auswirkungen am Pegel Linz: Die Änderung

²³ Entsprechend sollte in künftigen Analysen auch geprüft werden, wie die Retention von der Breite und der Wellenform abhängt und welchen Einfluss z.B. die Dotation über die Überströmstrecke hat. In diesem Zusammenhang sei auch an Pkt. 3.1.1 erinnert, in welchem beschrieben ist, dass die Abflüsse in das Vorland als $Q_{\text{VORLAND}} = f(Q_{\text{DONAU}})$ auf Basis von z.T. älteren Modellversuchen und Berechnungen definiert ist. Für Aussagen, welche über die Analyse des Ereignisses von 06/2013 hinausgehen, sollten auch diese Ansätze und ihr Einfluss bei unterschiedlichsten Hochwasserszenarien analysiert werden.

der Dotation führt primär zu einer zeitlichen Verschiebung und sie haben – im konkreten Fall – nur einen geringen Einfluss auf den Scheitelwert.

Abb. 4.27 *Detailanalyse Einfluss der Abbildung der Überströmstrecken Wallsee-Mitterkirchen auf die Nachbildung des Hochwasserereignis: Auswirkung auf die Durchflussganglinie am Pegel Kienstock*



4.3.2.7 Analysen für den Bereich Korneuburg

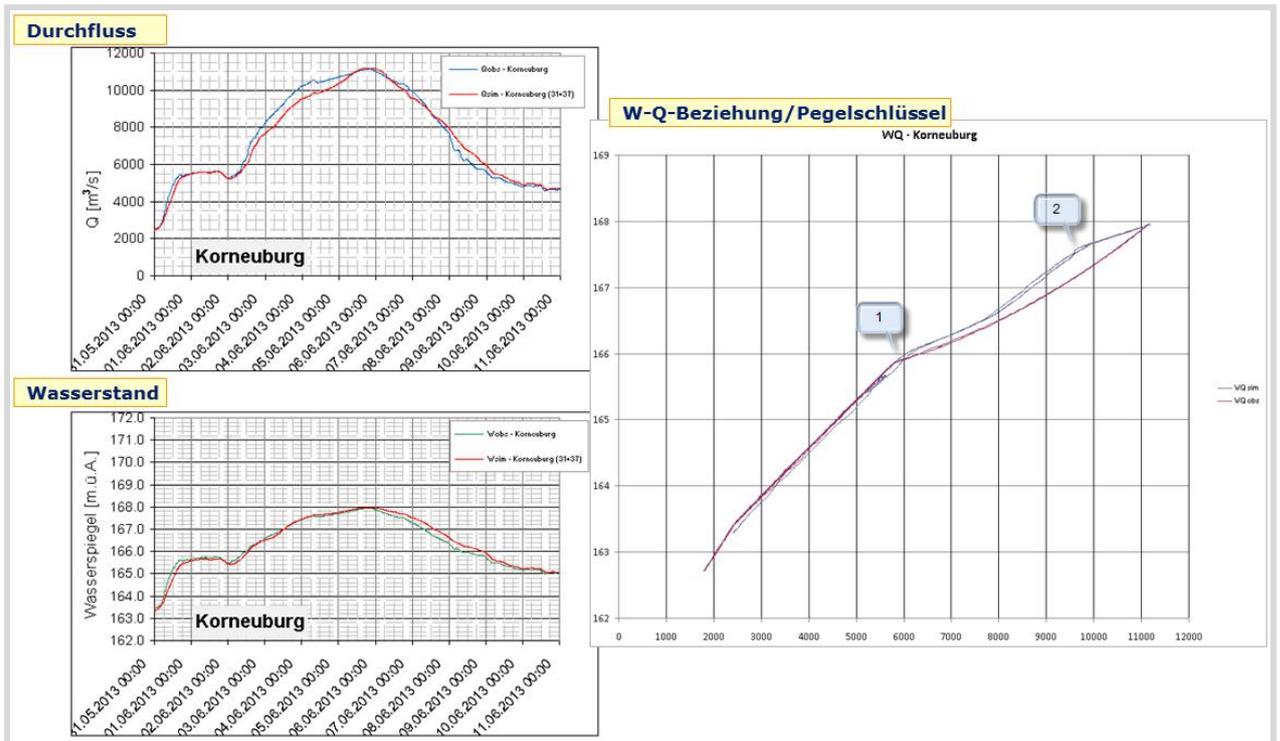
Am Pegel fällt auf, dass sich in der Simulation eine sehr gute Übereinstimmung zwischen dem beobachteten und berechneten Wasserstand ergibt, während es bei den Durchflüssen deutliche Unterschiede gibt (Abb.4.28, links).

Die Analyse der Daten und Berechnungen zeigt, dass sich diese Unterschiede durch die Pegelschlüssel bzw. die gegebenen W-Q-Beziehungen erklären lassen:

Die W-Q-Beziehung, die sich aus der Simulation ergibt, ist durch zwei Knickpunkte charakterisiert, wobei Punkt [1] bei etwa 6000 m³/s den Beginn und Punkt [2] bei etwa 9500 m³/s das Ende des Einflusses des Betriebs der neuen Donau auf den Pegel Korneuburg darstellt.

Demgegenüber hat der Pegelschlüssel, der sich aus den Daten ergibt – und der der Berechnung von Q(t) als f(W(t)) zugrunde liegt – nur einen Knickpunkt und er liegt zwischen 6000 m³/s und 11.200 m³/s immer unter der sich aus der Berechnung ergebenden W-Q-Beziehung. Entsprechend wird ab ca. 6000 m³/s, d.h. ein höherer „gemessener“ Durchfluss ermittelt während für den Scheitelpunkt, welcher in Hinblick auf den Durchfluss etwa im Schnittpunkt der beiden W-Q-Beziehungen liegt, annähernd gleiche Durchflusswerte gegeben sind.

Abb. 4.28 Detailanalyse zum Bereich Korneuburg



Die Abbildung zeigt im linken Teil die beobachteten und berechneten Durchflüsse (beobachtet = blau; berechnet = rot) und darunter die beobachteten und berechneten Wasserstände (beobachtet = grün; berechnet = rot). Rechts daneben ist in blau die W-Q-Beziehung dargestellt, die sich aus der Simulation ergibt und in rot der Pegelschlüssel, der zum Berechnen der Durchflüsse aus den beobachteten Wasserständen verwendet wurde. beobachtet = blau; berechnet = grün).

4.4 2D-Simulationen

4.4.1 Allgemeines

Der Schwerpunkt der 2D-Simulationen lag in der Analyse und Modellierung der Retentionsbereiche und diente der Überprüfung und Ergänzung der 1D-Berechnungen. Bei den 2D-Berechnungen sind drei Modelle zu unterscheiden:

- Eferdinger Becken (Modell SCIETEC)
- Machland (Modell riocom - M31 ab Linz)
- Tullnerfeld (Modell riocom - M34-2)

Die nachfolgende Darstellung der Simulationen gliedert sich nach diesen drei Modellen. Wenngleich bei den 2D-Simulationen in erster Linie Donauabschnitte mit Überströmstrecken und großen Vorländern relevant sind, wurden die 2D-Berechnungen für die gesamten Donauabschnitte ausgewertet, die das jeweilige Modell abdeckte. Die Auswertung umfasst grundsätzlich folgende Analysen:

- W- & Q-Ganglinien an den Pegelstellen
- Durchflussaufteilung an den Überströmstrecken (ÜSS)
- Q- & W-Ganglinien an den Kraftwerken
- Längenschnitte der maximalen Wasserspiegel (bei ausgewählten Varianten)
- Anschlaglinien und maximale Wasserstände in den Becken mit ÜSS

4.4.2 Eferdinger Becken (Modell SCIETEC)

Die Zuflussrandbedingung für die Donau stammte jeweils aus dem 1D-Ergebnis für das UW KW Aschach. Für das Eferdinger Becken wurden folgende Varianten untersucht (Tab.4.7):

Tab. 4.7 2D-Simulationen

Nr.	Bezeichnung	Beschreibung
1	Sim06 ²⁴	Durchflussganglinie ViaDonau
2	Sim07	Durchflussganglinie ViaDonau und „Blockade“ der ÜSS
3	Sim08	Durchflussganglinie LfU
4	Sim09	Durchflussganglinie LfU KORRIGIERT (vgl.Pkt.4.3.2.2)
5	Sim12	Durchflussganglinie ViaDonau inkl. Abschätzung nicht beobachteter EZG

²⁴ Die Bezeichnung der Simulationsläufe ergibt sich aus der chronologischen Bearbeitung bei PÖRY. Da dabei einige Simulationsläufe der Vorbereitung dienten und weil manche Läufe abgebrochen wurden, ergibt sich die in der Tabelle angeführte Bezeichnung. Diese Bezeichnungen wurden bewusst beibehalten, um die Nachvollziehbarkeit und allfällige spätere Ergänzung von Simulationsläufen zu vereinfachen.

Zum Zweck der besseren Vergleichbarkeit werden in den nachfolgenden Diagrammen jeweils zwei Varianten gemeinsam dargestellt und - sofern verfügbar - den beobachteten Werten gegenübergestellt. Die Darstellung der Ergebnisse jeweils nur einzelner Varianten im Vergleich zu den beobachteten Werten befindet sich im Anhang C.

Die Kombination der Varianten wurde so festgelegt, dass die zwei Szenarien im Grundsatz eine gemeinsame Basis/Überschneidung haben und sich in einzelnen spezifischen Punkten unterscheiden:

Tab. 4.8 Gegenüberstellung von Simulationen

Szenarien	Spezifika
Sim06 vs Sim07	Durchflussganglinie via donau (VD): ÜSS normal (Sim06) vs „deaktiviert“ (Sim07)
Sim06 vs Sim08	Durchflussganglinien: via donau (Sim06) vs LfU (Sim08)
Sim08 vs Sim09	Durchflussganglinien: LfU (Sim08) vs LfU KORRIGIERT (Sim09)
Sim06 vs Sim12	Durchflussganglinie via donau (VD): ohne (Sim06) und mit (Sim12) Abschätzungen für alle nicht beobachtete Teil-Einzugsgebiete

In den nachfolgenden Abbildungen wird folgendes Schema verwendet:

- Messwerte werden in punktierten Linien dargestellt
- Die Daten der jeweils erstgenannten Simulation werden in durchgehenden Linien, die der zweitgenannten Simulation werden strichliert dargestellt.
- Die gleichen Größen werden in einem Diagramm in der gleichen Farbe, mit der oben angeführten Differenzierung im Linientyp dargestellt.

Vorweg sei auf die Oszillationen im Wasserstand am Pegel Aschach/Strombauleitung hingewiesen: Diese Oszillationen sind für HYDRO_AS charakteristisch und wurden bei späteren Modellläufen durch eine Anpassung der Sohlgeometrie in den obersten Modellprofilen eliminiert (vgl. Pkt. 3.2.6.3). Da die Oszillationen sich aber sehr rasch abbauen – sie sind z.B. im Profil Aschach Agentie schon sehr stark reduziert – und sich nur im Wasserstand, nicht aber im Durchfluss auswirken, können auch aus den Simulationen mit diesen Oszillationen wichtige Erkenntnisse abgeleitet werden. Eine Neu-Rechnung der Simulationen war aus Zeitgründen nicht möglich, da jede Simulation eine Rechenzeit von ca. 5-7 Tagen hat. Umgekehrt war eine Neu-Rechnung aus den oben angeführten Gründen auch nicht nötig.

Abb. 4.29 Simulierte vs. beobachtete Wasserstände an den Pegelstellen im Stauraum KW Ottensheim-Wilhering – Sim06 vs. Sim07

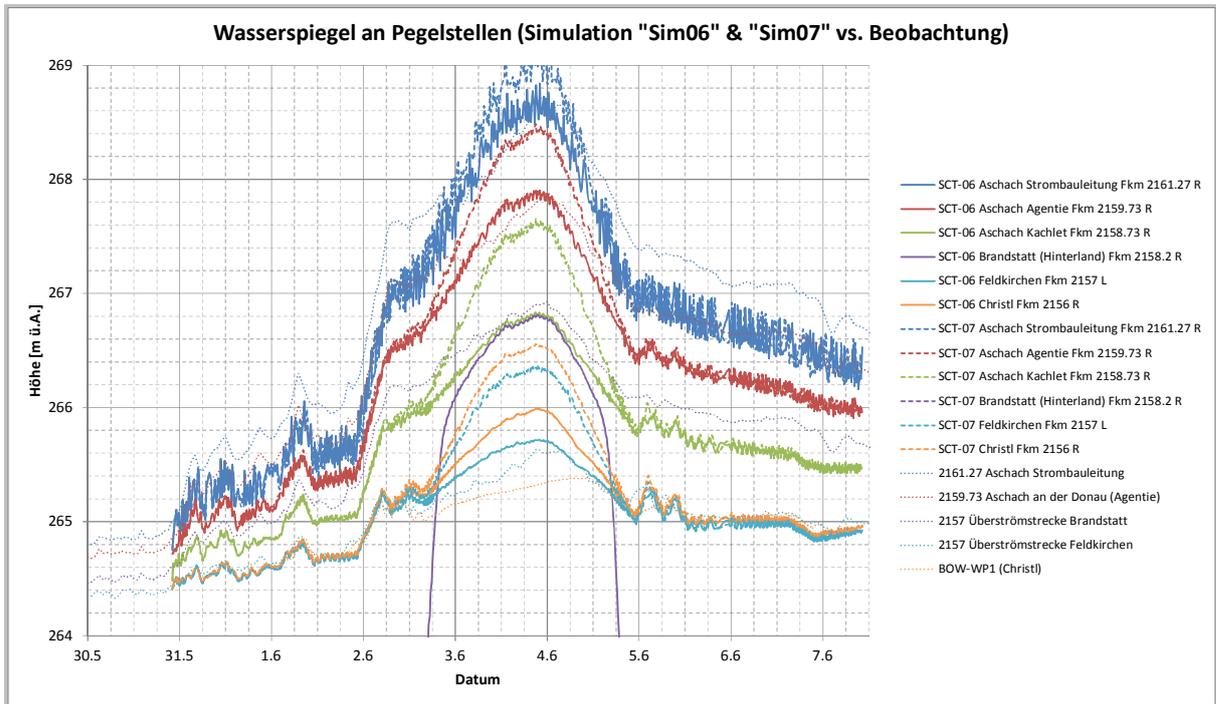


Abb. 4.30 Simulierte vs. beobachtete Wasserstände an den Pegelstellen im Stauraum KW Ottensheim-Wilhering – Sim06 vs Sim08

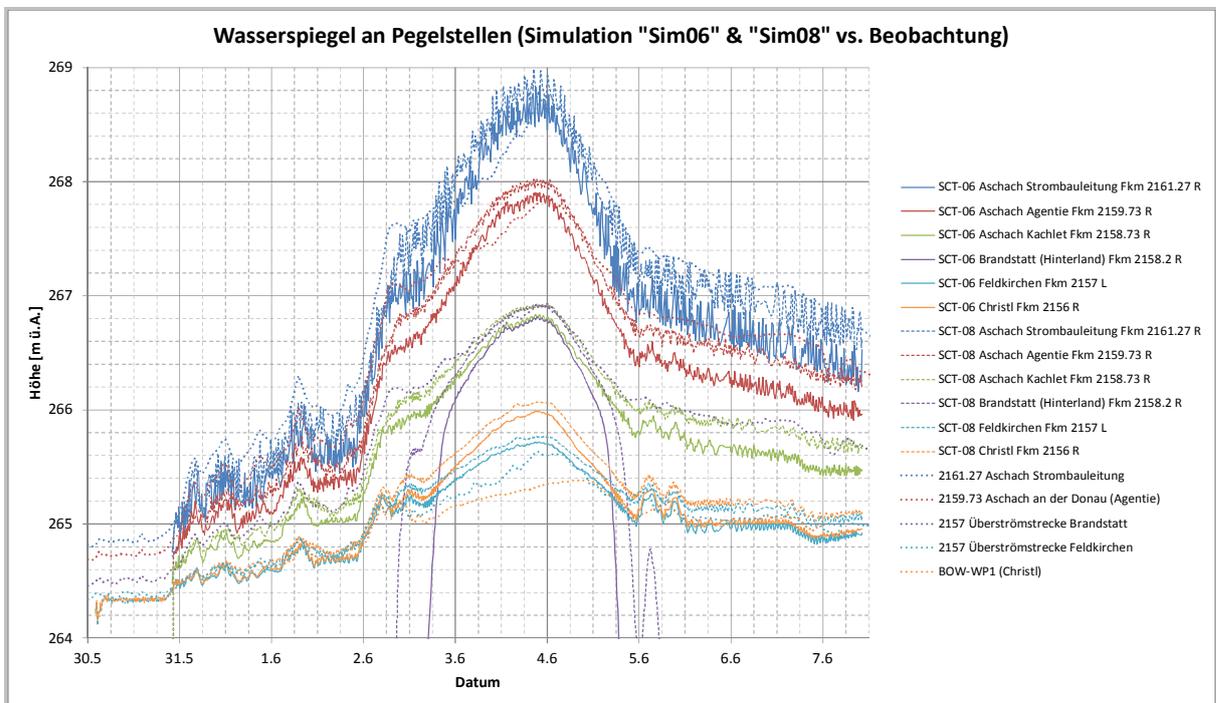


Abb. 4.31 Simulierte vs. beobachtete Wasserstände an den Pegelstellen im Stauraum KW Ottensheim-Wilhering – Sim08 vs Sim09

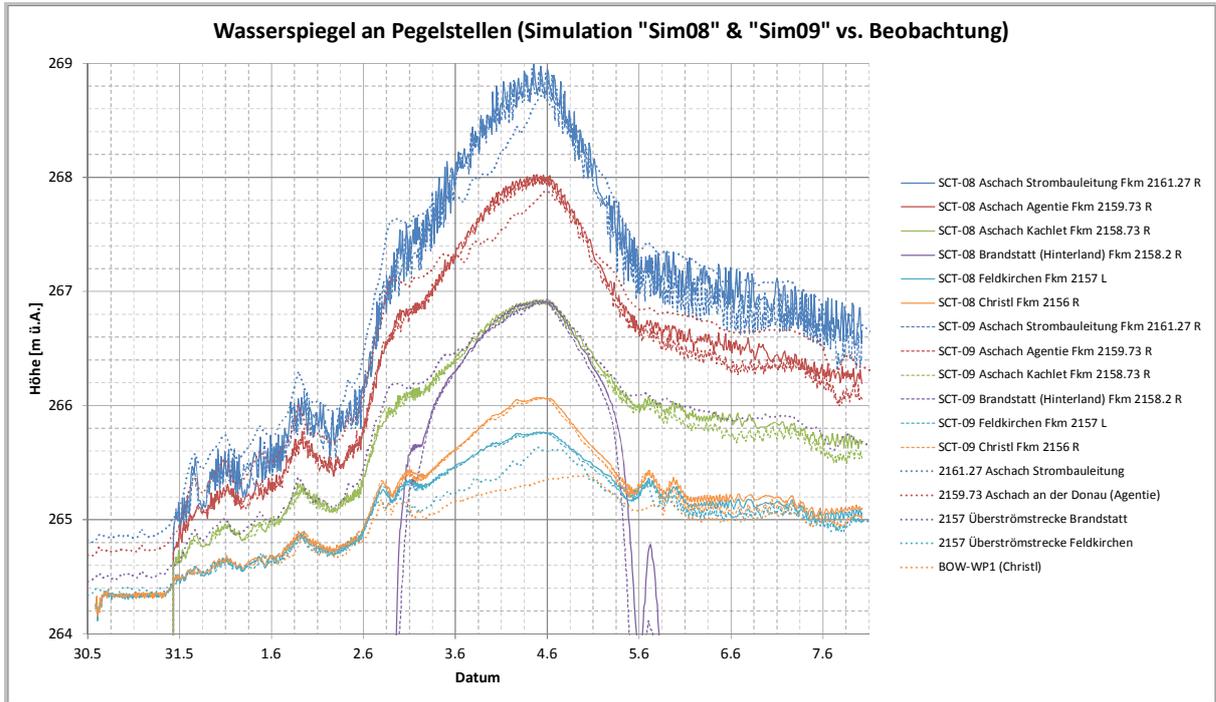


Abb. 4.32 Simulierte vs. beobachtete Wasserstände an den Pegelstellen im Stauraum KW Ottensheim-Wilhering – Sim06 vs Sim12

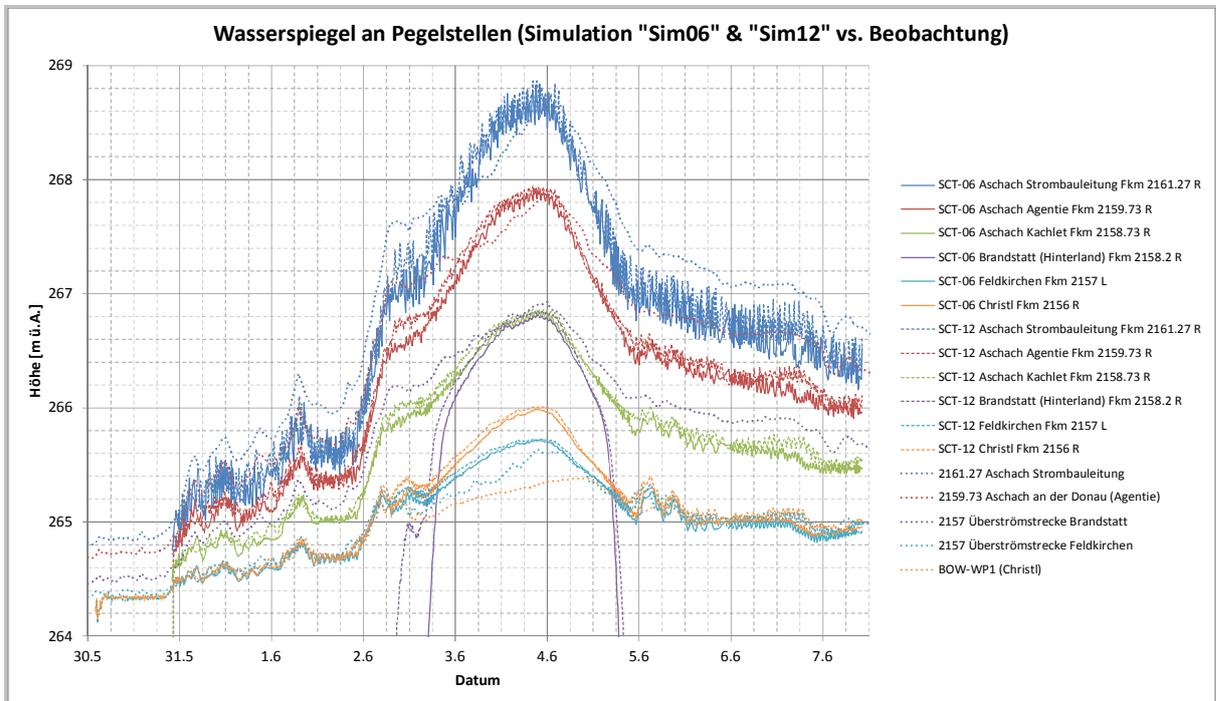


Abb. 4.33 Simulierte vs. beobachtete Durchflüsse an den Pegelstellen im Stauraum KW Ottensheim-Wilhering

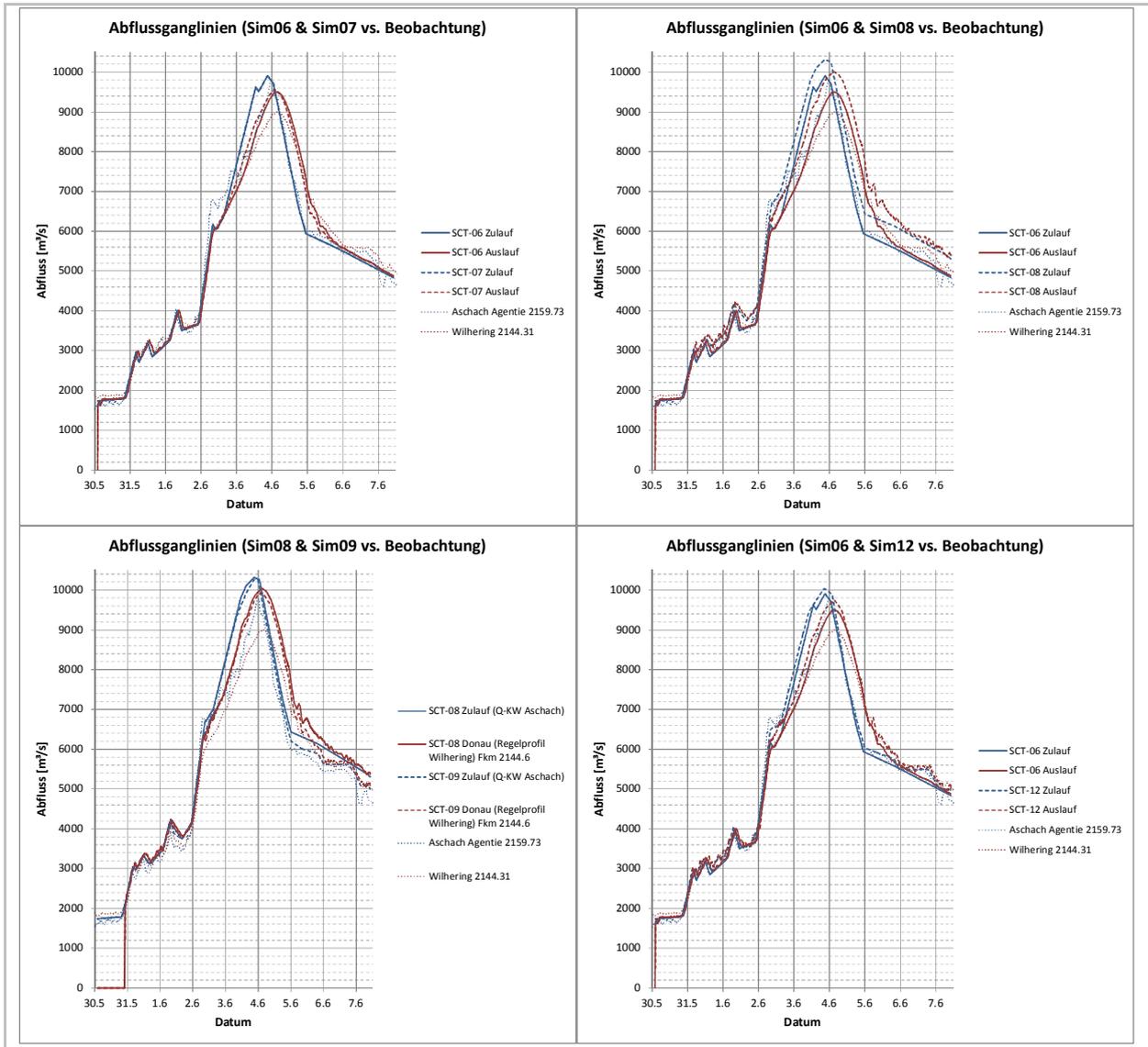


Abb. 4.34 Durchflüsse an den Überströmstrecken im Eferdinger Becken

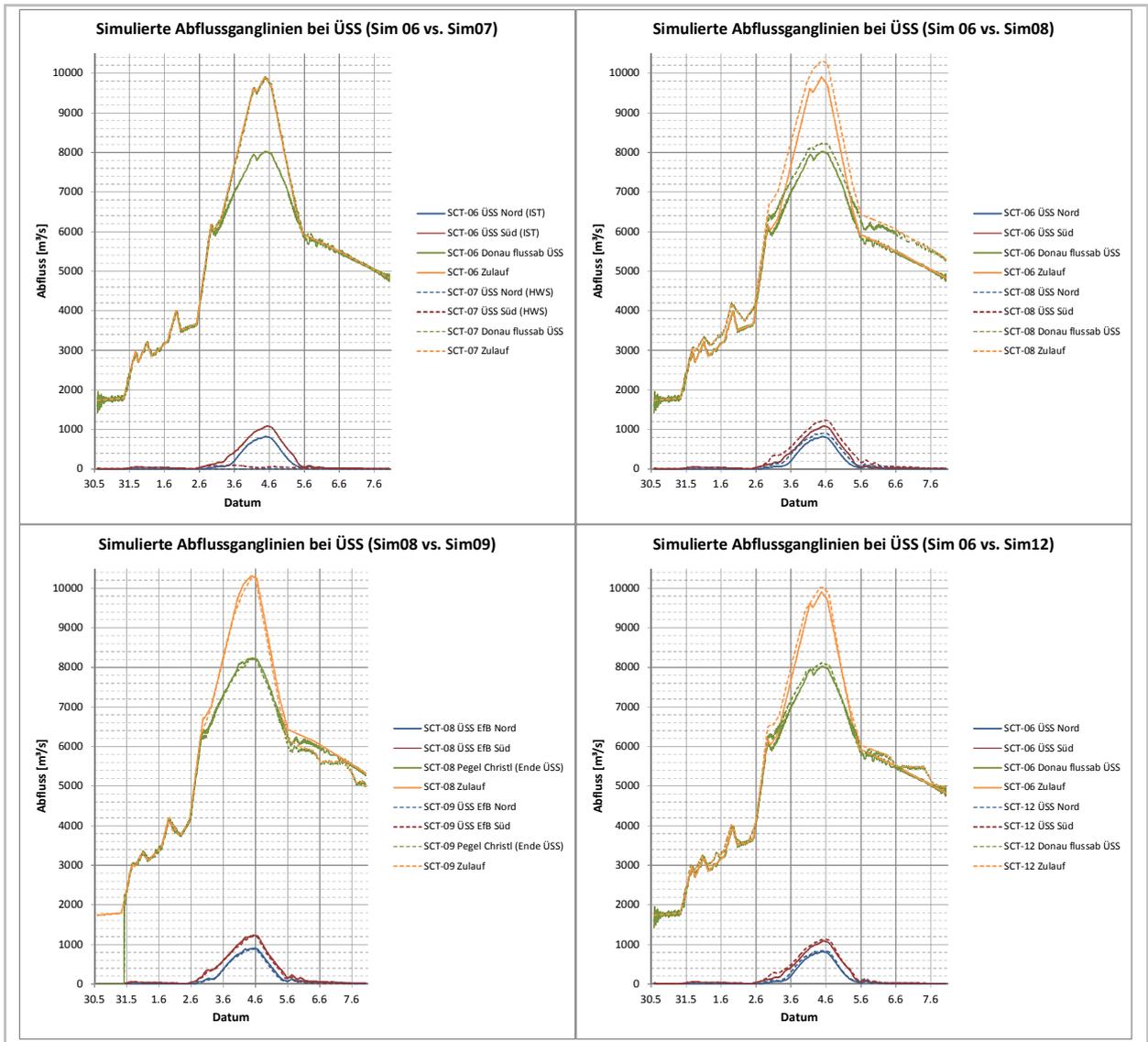


Abb. 4.35 Detailanalyse der Ausströmung an Überströmstrecken (Sim06)

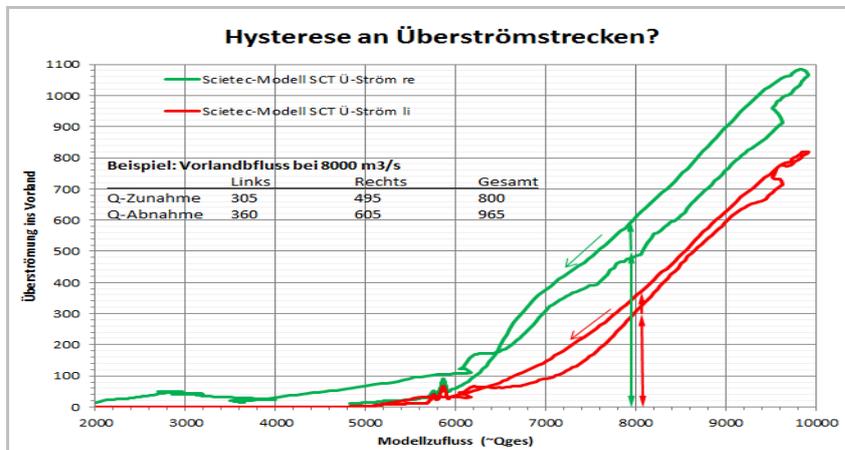


Abb. 4.36 OW-Regelung lt. Beobachtung am KW Ottensheim-Wilhering (exemplarisch Sim06 und Sim12)

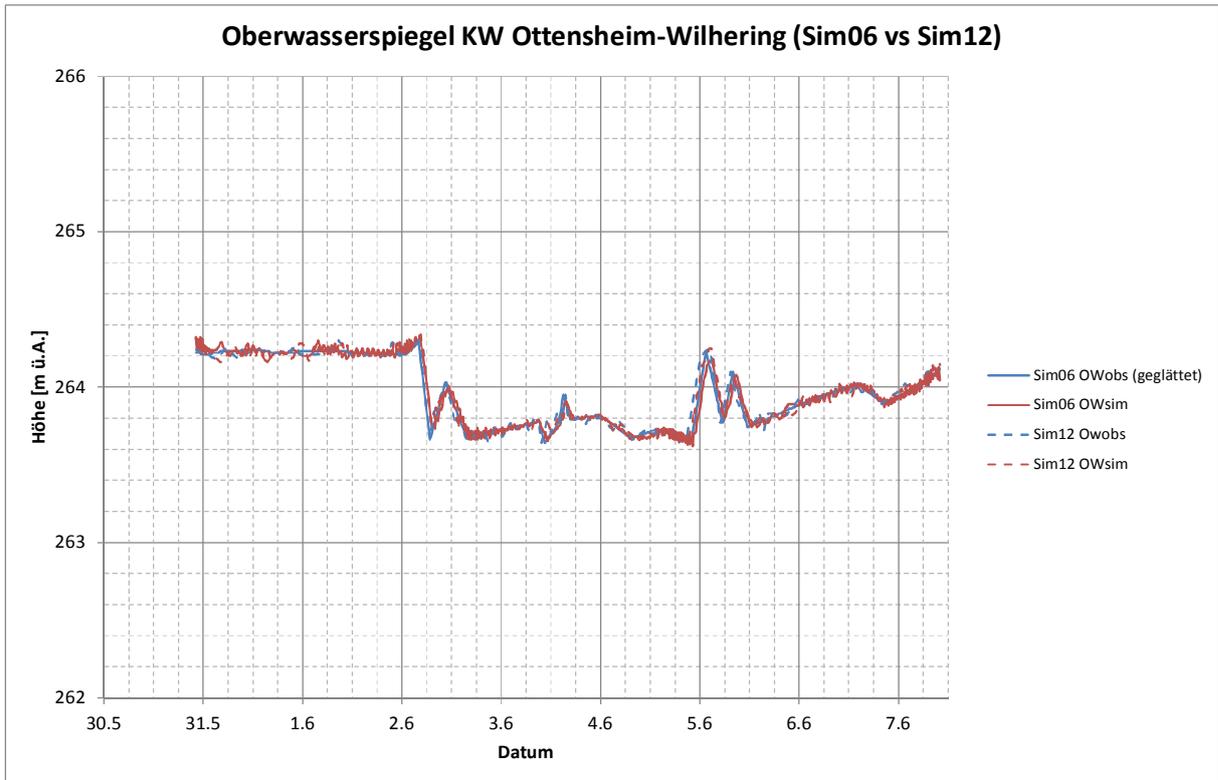


Abb. 4.37 Kraftwerksdurchfluss KW Ottensheim-Wilhering (exemplarisch Sim06 und Sim08 vs. Beobachtung)

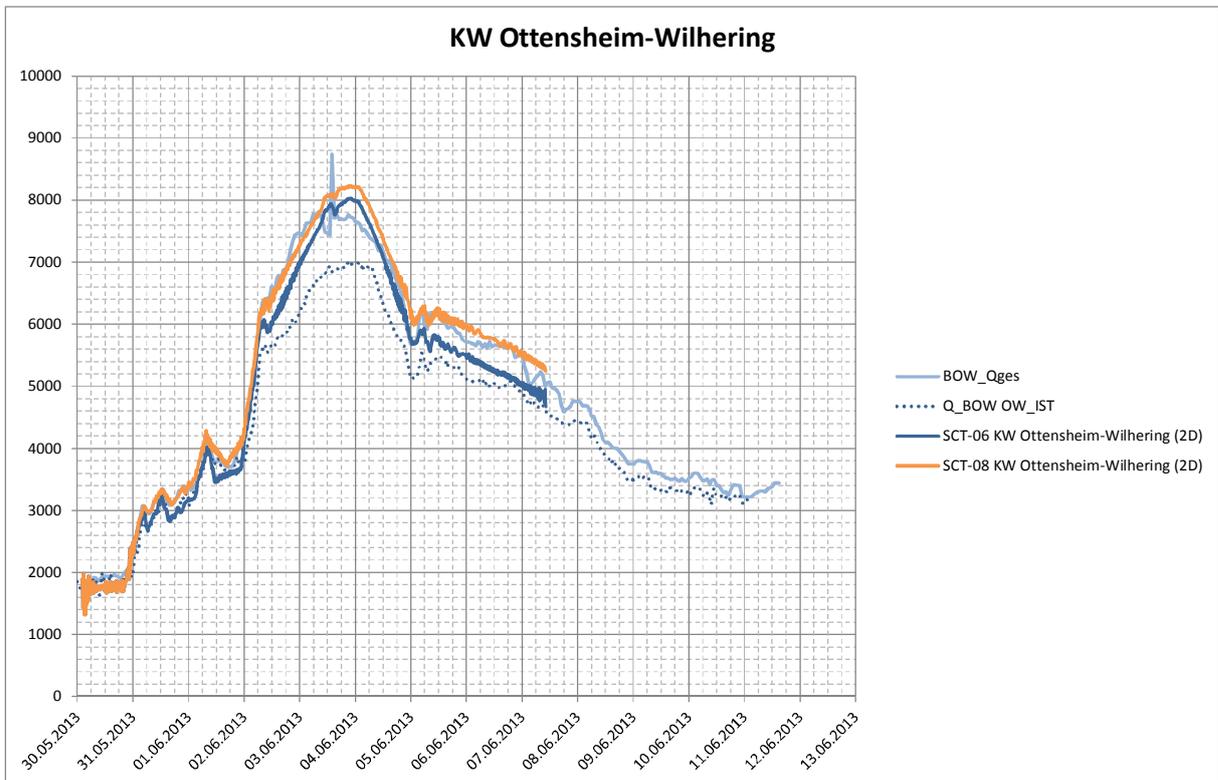


Abb. 4.38 Längenschnitt der maximalen Wasserstände (exemplarisch Sim06 und Sim08 vs. Beobachtung)

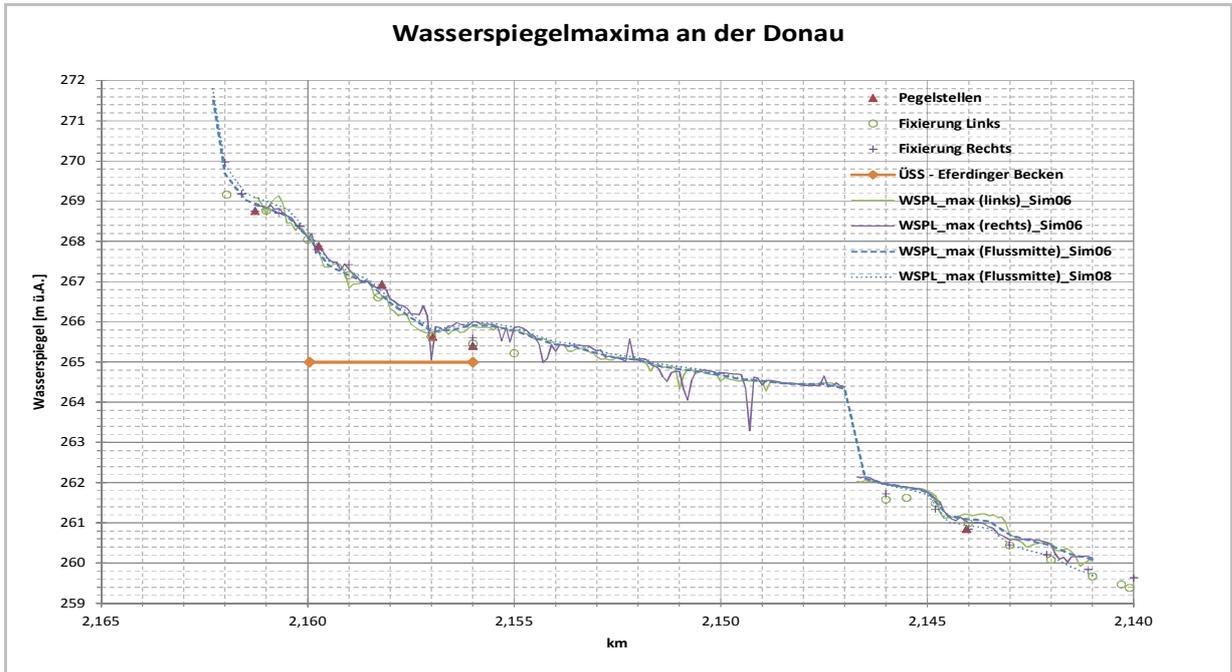
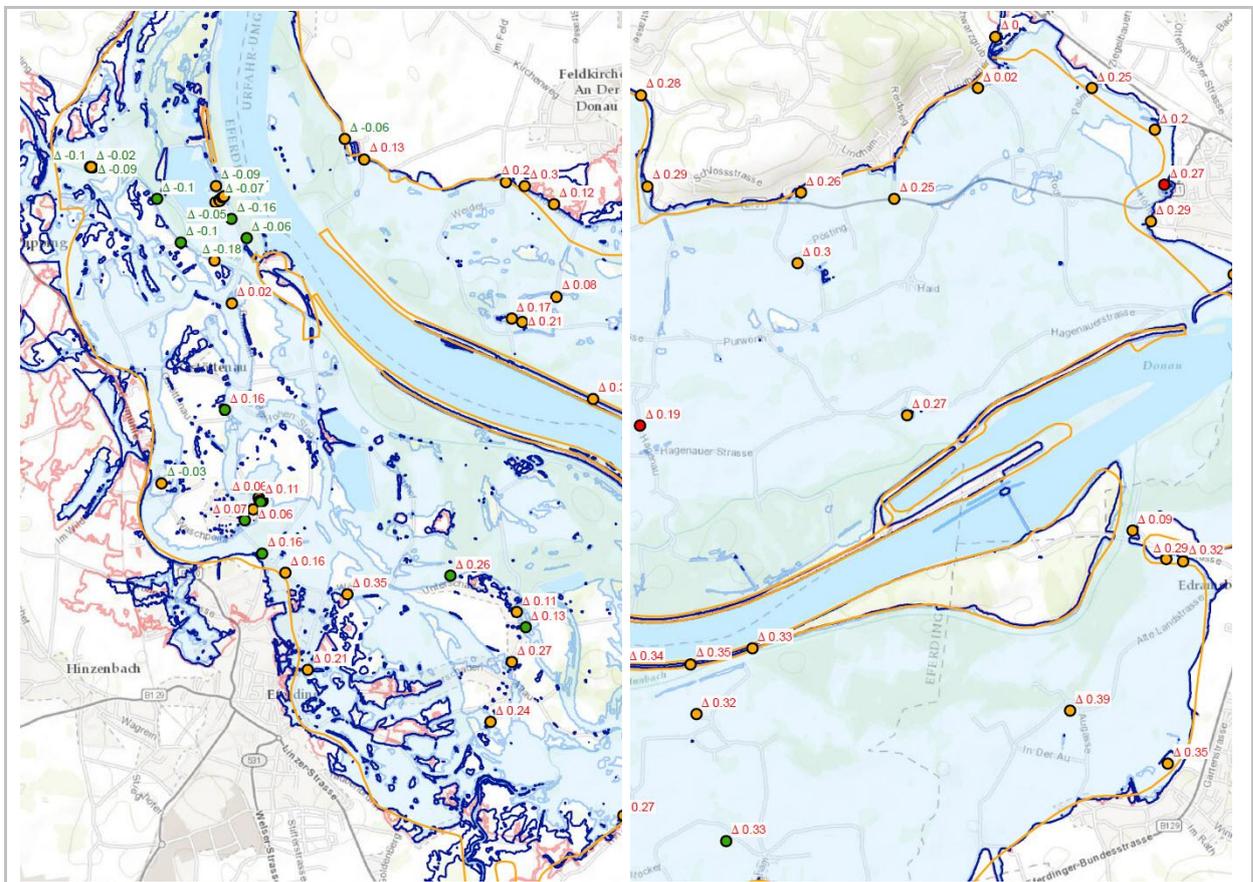


Abb. 4.39 Überflutungsflächen und Abweichungen der maximalen Wasserstände im Vorland (exemplarische Ausschnitte aus Sim06 vs. Beobachtung: links westl. EfB und rechts östl. EfB)



Aus den Abbildungen lassen sich folgende Eckpunkte zusammenfassen:

Wasserstände

- Bei den Simulationen mit den Zuflüssen nach via donau (Sim06) werden die Scheitelwerte an den Pegeln relativ gut nachgebildet. Bei der Verwendung der Zuflussdaten von LfU ist die Abbildung schlechter, d.h. die Wasserstände an den Pegeln werden tendenziell überschätzt.
- Eine Ausnahme stellt der Pegel Christl dar: Für diesen Pegel sind die berechneten Wasserstände immer höher als die beobachteten. Sie sind sogar höher als die berechneten Wasserstände am Pegel ÜSS/Feldkirchen, obwohl der Pegel Christl stromab des Pegels Feldkirchen liegt.
Hintergrund hierzu ist, dass der Pegel Feldkirchen linksufrig im Innenbogen liegt und der Pegel Christl rechtsufrig im Außenbogen und dass das dadurch resultierende Quergefälle im Modell offensichtlich nicht gut wiedergegeben wird. Zu diesem Punkt ist wichtig, dass die Analyse der Querprofile/Stromgrunddaten zum Teil maßgebliche Unterschiede zwischen den Querprofilen im Modell und in der Natur aufweist und dass es auch beim Ereignis offensichtlich Umlagerungen gegeben hat. Diese Aspekte werden bei der Optimierung des Modells in Phase II und III des gegenständlichen Projektes berücksichtigt.
- Bei der Verwendung der Zuflussdaten nach LfU wird der abfallende Ast besser nachgebildet. Bei Vergleich der Simulationen ist aber zu bedenken, dass bei den ersten Simulationen mit den Daten nach via donau die Zeitreihen noch vereinfacht (d.h. geglättet) wurden, da dem abfallenden Ast in der Analyse weniger Bedeutung gegeben wurde²⁵.
- Die Darstellung im Längenschnitt für Sim06 und Sim08 zeigt, dass die Wasserstände im unteren Bereich des Modells, d.h. stromab von Ottensheim überschätzt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei diesen Simulationen als Randbedingung eine W-Q-Beziehung implementiert war, die aus dem 1D-Modell abgeleitet worden war. Die zu hohen Wasserstände im 2D-Modell erklären sich damit aus der Tatsache, dass im 1D-Modell die Stromsohlen in diesem Bereich aus alten Profilen stammen, welche – im Vergleich zur heutigen Situation – zu hohe Koten aufweisen²⁶.
- Für die beobachteten Wasserstände im Bereich zwischen Aschach und Überströmstrecken zeigt sich, dass das 2D-Modell diese Wasserstände sehr gut abbildet und dass in der Regel auch die Unterschiede zwischen linkem und rechten Donau-Ufer sehr gut reproduziert werden (vgl. Abb.4.39).

Durchflüsse

- Alle 2D-Simulationen haben im Eferdinger Becken für das aktuelle Ereignis eine geringere Retention ergeben, als sie in den hydrologischen Längenschnitten der via donau dargestellt ist. Die Retention betrug bei der Simulation mit den Zuflussdaten nach via donau etwa 400 m³/s (Retention von 9.900 m³/s auf 9.500 m³/s), wobei wichtig ist, dass die Zubringer im Eferdinger Becken insgesamt

²⁵ Die geringere Bedeutung des abfallenden Astes spiegelt sich auch darin wieder, dass einige Simulationen nicht für den gesamten abfallenden Ast durchgeführt wurden. Durch diesen Schritt konnte die Rechenzeit von 7 auf etwa 5 Tage verkürzt werden.

²⁶ Auch dieser Aspekt wird bei der Optimierung des Modells berücksichtigt werden.

etwa mit 270 m³/s beigetragen haben. Entsprechend ergibt sich eine „Netto“-Retention von 670 m³/s.

- Die 2D-Simulationen haben dabei gezeigt, dass das Retentionsvermögen des Eferdinger Beckens durch die Breite der Welle und die daraus resultierende Fracht offensichtlich „überlastet“ war.
- Dies wird insbesondere auch dadurch unterstrichen, dass die Simulationen bei ähnlichen Scheiteln aber bei unterschiedlicher Fracht (z.B. Sim08 vs Sim09) Unterschiede in der Retentionswirkung haben:
So wird die Welle „LfU“ von 10.200 m³/s auf 10.000 m³/s retendiert, was einer um 200 m³/s geringeren Retention entspricht als Welle „via donau. Die Welle „LfU KORRIGIERT“ zeigt eine Retention von 10.200 m³/s auf 9.900 m³/s und damit eine 100 m³/s stärkere Retention als die Welle „LfU“.
- Die Vergleichsrechnung mit völlig blockierter Überströmstrecke zeigt, dass der Einfluss auf die Verformung der Welle bei diesem Ereignis relativ gering ist: Entsprechend ergeben sich aus den schon angesprochenen Fragen zu den Überströmstrecken keine relevanten Unsicherheiten auf die gesamthafte Analyse des Ereignisses.²⁷
- Nachdem die Wasserstände bei den Überströmstrecken tendenziell gut abgebildet werden²⁸, kann davon ausgegangen werden, dass auch die Abflüsse in das Vorland relativ gut – bzw. für die Grob-Analyse ausreichend gut - abgebildet werden.
Die Detailauswertung dieser Abflüsse für das Eferdinger Becken zeigt, dass im Modell der Abfluss in das rechte Vorland zur Zeit der Hochwasserspitze etwa 25% höher ist als der Abfluss in das linke Vorland. Die Abflüsse zeigen eine deutliche Hysterese, wobei die Abflüsse im ansteigenden Ast niedriger sind, als im abfallenden (Abb.4.35).

Räumliche Auswertung der Wasserstände

- Die Auswertung der Überflutungsflächen²⁹ und dabei der Differenzen zwischen beobachteten und berechneten Maximalwasserständen zeigt, dass die Übereinstimmung im Bereich der Überströmstrecken generell sehr gut ist. Die Differenzen zwischen $W_{MAX,OBS}$ und $W_{MAX,SIM}$ liegen i.d.R. unter 0.1 bis 0.2 m.
- Demgegenüber sind im östlichen Bereich des Eferdinger Beckens die Differenzen in der Regel bei 0.2 bis 0.3 m, wobei sich dies zum Teil aus der angesetzten W-Q-Beziehung erklären lässt: Die Abweichungen reduzierten sich bei den Simulationen etwas, bei welchen anstelle der aus dem 1D-Modell abgeleiteten W-

²⁷ Mit dieser Extrem-Simulation sollte abgeschätzt werden, wie stark sich mögliche Fehler bei der Berechnung der Durchflüsse an den Überströmstrecken (ÜSS) auf die gesamte Darstellung des Ereignisses auswirken. In Hinblick auf den erkannten geringen Einfluss sie festgehalten, dass dies nur zeigt, dass die Analyse insgesamt bei diesem Ereignis von Unsicherheiten bei der Berechnung der Abflüsse über die ÜSS nicht beeinträchtigt wird. Umgekehrt wäre es unzulässig daraus zu folgern, dass die ÜSS bei keinem Ereignis eine Auswirkung haben.

²⁸ Wenngleich mehrfach auf die Unsicherheiten bei den ÜSS des Eferdinger Beckens und z.B. beim Pegel Christl hingewiesen wurde, kann die Abbildung der Wasserstände tendenziell als gut angesehen werden (Differenzen tlw. 40 cm). Demgegenüber ist es wichtig, die Bereiche der ÜSS im Modell noch detailliert zu analysieren und zu verbessern, wobei dies für Phase II vorgesehen ist.

²⁹ Die Darstellung der Überflutungsflächen zeigt als dunkelblaue Linie die mit dem 2D-Modell in Sim06 errechneten Anschlaglinien. In orange-braun sind zu Vergleich die in der Natur eingemessenen Anschlaglinien für das Ereignis dargestellt. Als rote Linien sind die im Rahmen von Danube-Flood-Risk berechneten HQ300-Anschlaglinien dargestellt. Als hellblaue Hinterlegung sind die HQ100-Überflutungsflächen aus der Ermittlung der HQ30- und HQ100-Überflutungsflächen dargestellt.

Q-Beziehung die beobachteten Wasserstände als Randbedingung vorgegeben werden. Wegen der trotzdem verbleibenden Differenzen ist in diesem Bereich aber eine Nachkalibrierung des Modells nötig.

- Die Ergebnisse der räumlichen Auswertungen unterstreichen die Aussagen der Auswertungen, welche an einzelnen Pegeln durchgeführt wurden.

4.4.3 Machland (Modell riocom - M31 ab Linz)

Die Analysen für das Machland wurden jeweils mit Durchflussdaten durchgeführt, welche im 1D-Modell mit den Zuflussganglinien nach via donau ermittelt worden waren.

Als Zuflussrandbedingung für die Donau wurden am oberen Modellrand jeweils die 1D-Ergebnis aus den entsprechenden Querprofilen übernommen.

Bei den Analysen wurden drei Varianten untersucht:

- (1) Unverändertes Modell mit Zufluss gem. „Sim50³⁰“ („Instat01“)
- (2) Modellverbesserungen mit Zufluss gem. „Sim31a“ (siehe auch 3.2.6.4)
 - Aktualisierung ÜSS-Oberkante („Instat01a_c“)
 - Aktualisierung ÜSS-Oberkante und einheitlich glatteres VL („Instat01a_d“)
 - Aktualisierung ÜSS-Oberkante und differenziert glatteres VL („Instat01a_f“)
- (3) Anlandungsszenarien südliches Machland (Basismodell: „Instat01a_f“)
 - Globale Anlandung von +0,25 m im gesamten südlichen Machland („Instat01b_a“)
 - Globale Anlandung von +0,50 m im gesamten südlichen Machland („Instat01b_b“)
 - Differenzierte Anlandung von +0,05 m bis +1,0 m in Teilen des südlichen Machlands („Instat01b_c“)

Nachfolgend werden nur ausgewählte Ergebnisse dargestellt. Die vollständigen Ergebnisse finden sich im Anhang C.

³⁰ PÖYRY-interne Laufbezeichnung: Sim-1D-2c-2DON-obs-50

4.4.3.1 Simulationen mit dem Original-Modell sowie mit Modellverbesserungen

Abb. 4.40 Simulierte vs. beobachtete Wasserstände an den Pegelstellen im Stauraum KW Wallsee-Mitterkirchen - Ausgangsmodell bei vorläufiger Durchflussganglinie

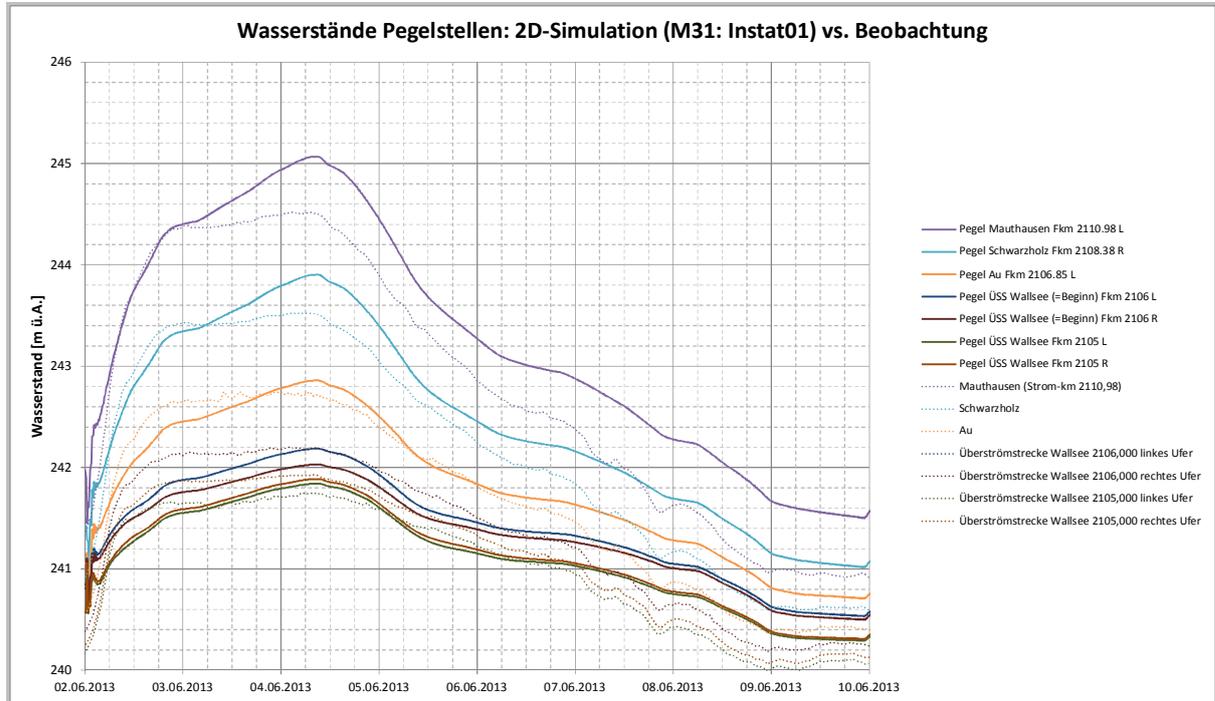


Abb. 4.41 Simulierte vs. beobachtete Wasserstände an den Pegelstellen im Stauraum KW Wallsee-Mitterkirchen - verbessertes Modell bei letztgültiger 1D-Durchflussganglinie

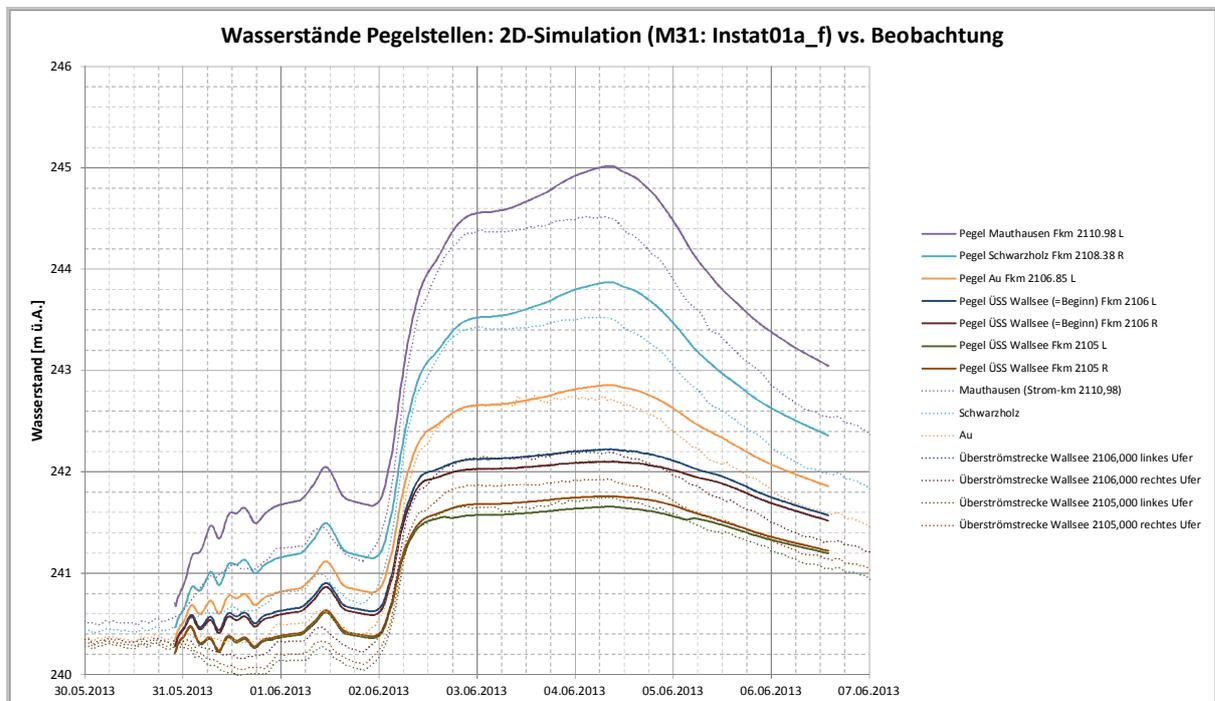


Abb. 4.42 Simulierte vs. beobachtete Durchflüsse an den Pegelstellen (links Ausgangsmodell bei vorläufiger Durchflussganglinie; rechts verbessertes Modell bei letztgültiger 1D-Durchflussganglinie)

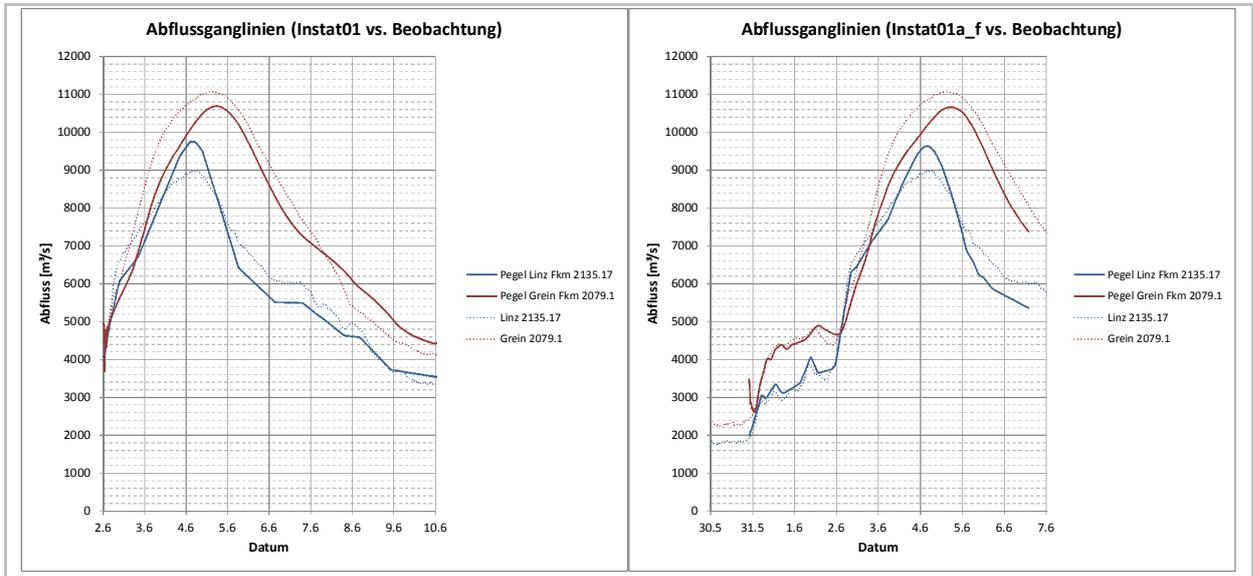


Abb. 4.43 Durchflüsse an der Überströmstrecke Steyregg (links Ausgangsmodell bei vorläufiger Durchflussganglinie; rechts verbessertes Modell bei letztgültiger 1D-Durchflussganglinie)

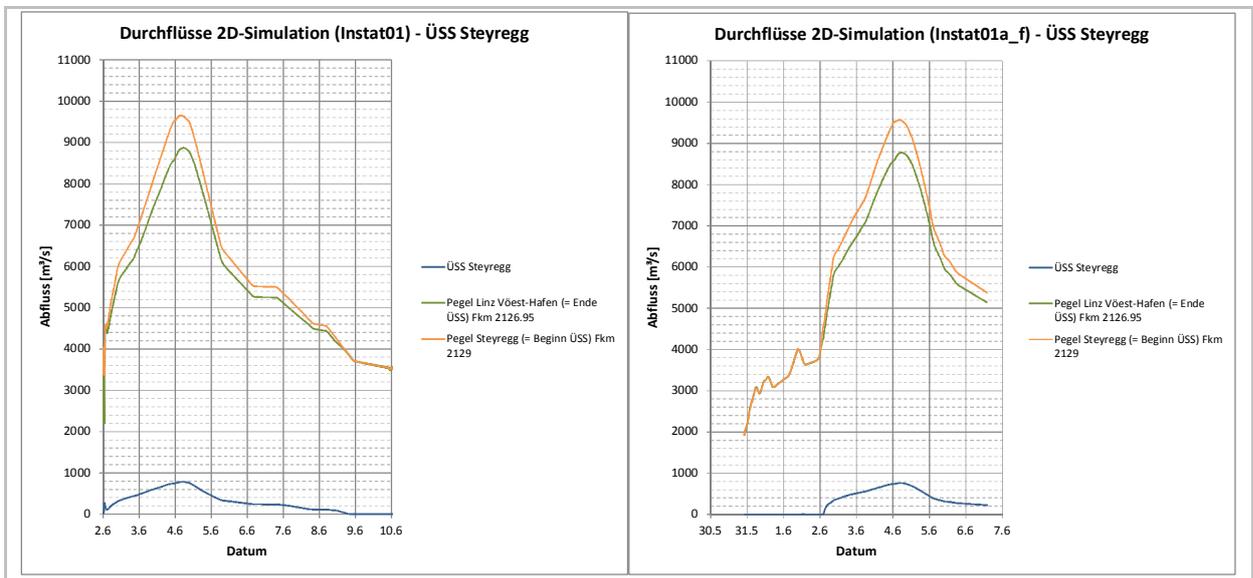


Abb. 4.44 Durchflüsse an den Überströmstrecken im Machland (links Ausgangsmodell bei vorläufiger Durchflussganglinie; rechts verbessertes Modell bei letztgültiger 1D-Durchflussganglinie)

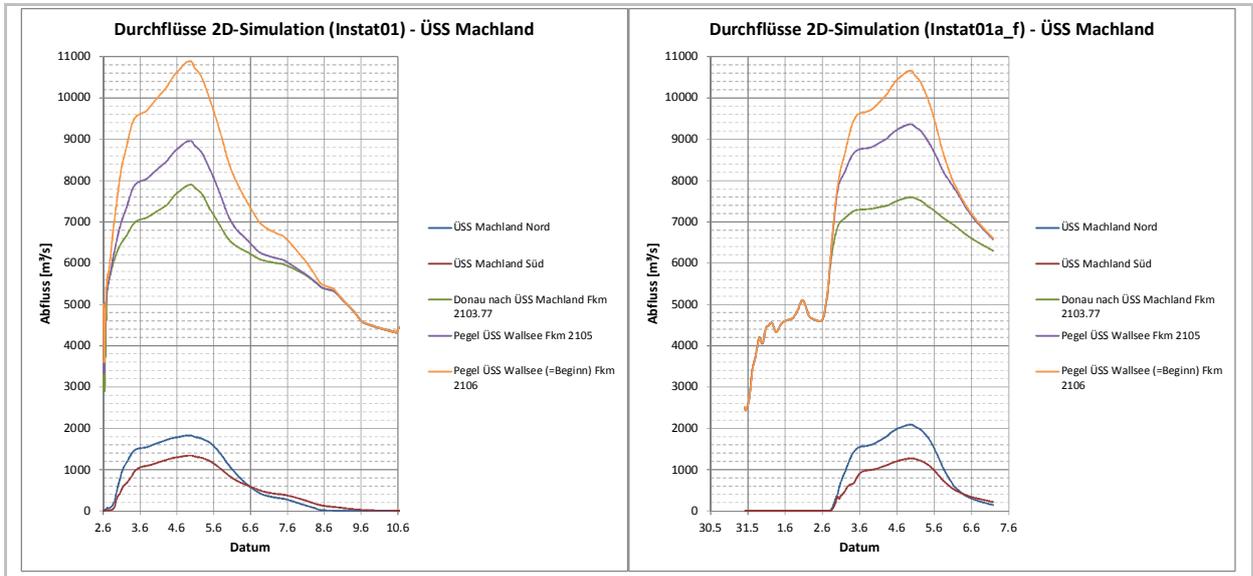
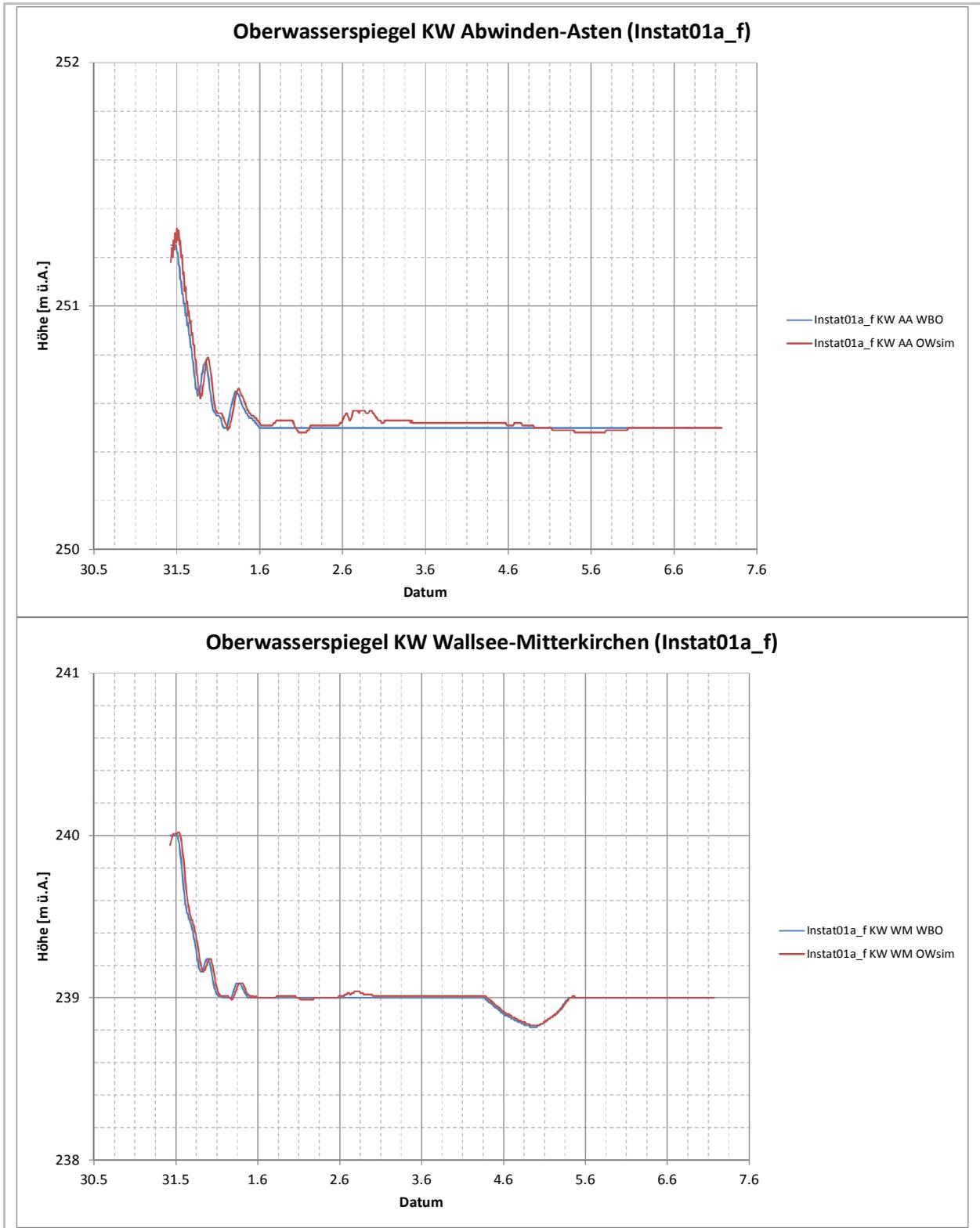


Abb. 4.45 OW-Regelung gem. WBO exemplarisch bei verbessertem Modelllauf „Instat01a_f“
(oben KW Abwinden-Asten; unten KW Wallsee-Mitterkirchen)



Im Gegensatz zur Abbildung des KW Ottensheim wurden bei den Kraftwerken Abwinden-Asten und Wallsee-Mitterkirchen der OW-Wasserstand nicht aus Beobachtungen übernommen sondern über die WBO vorgegeben. Diese Vorgehensweise wurde gewählt, weil die Unterschiede zwischen Beobachtungen und WBO-Vorgaben so gering sind, dass sie für die hier interessierenden Fragen nicht relevant sind.

Abb. 4.46 Kraftwerksdurchfluss exemplarisch bei verbessertem Modelllauf „Instat01a_f“ (oben KW Abwinden-Asten; unten KW Wallsee-Mitterkirchen)

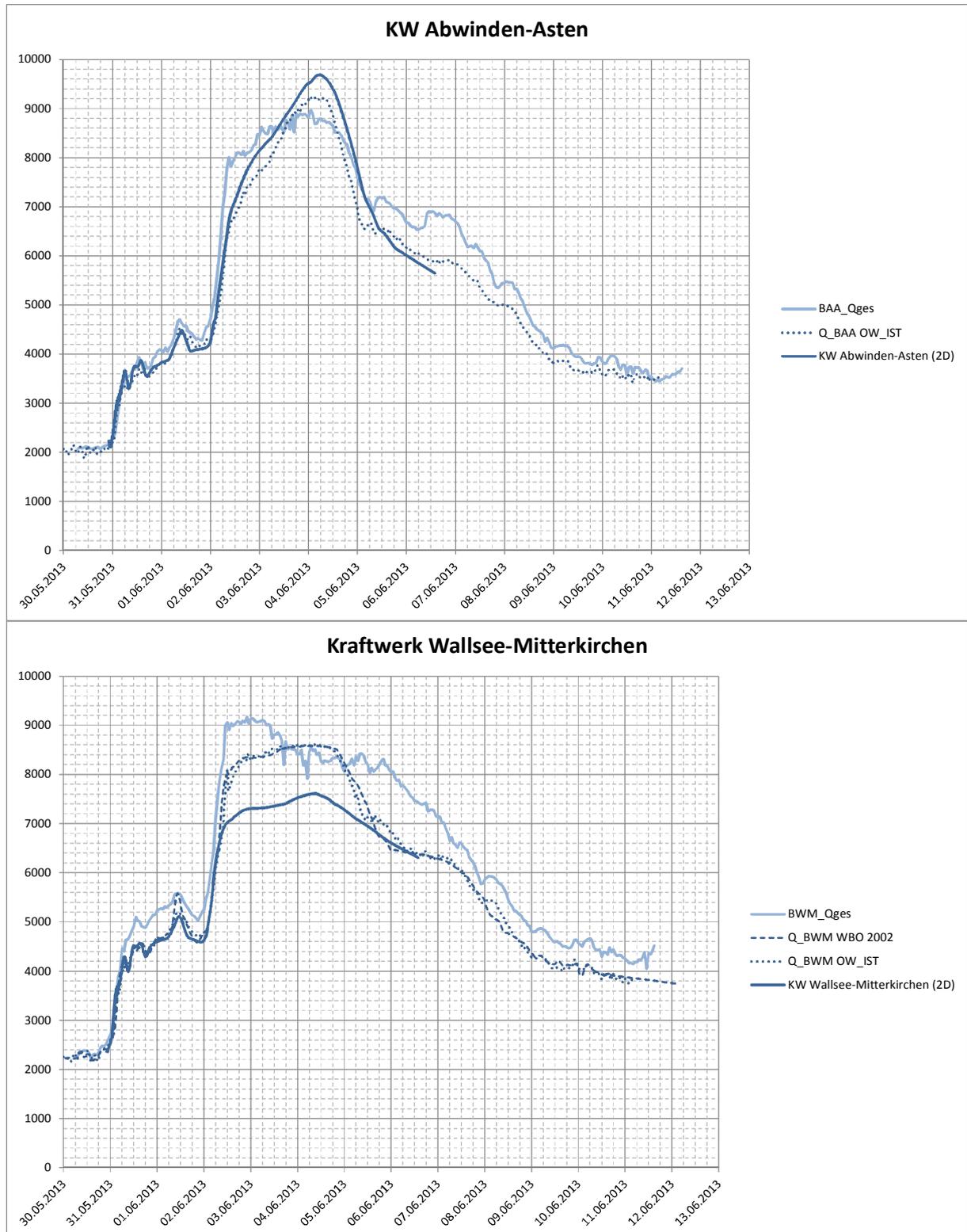


Abb. 4.47 Längenschnitt der maximalen Wasserstände (exemplarisch für „Instat01a_f“)

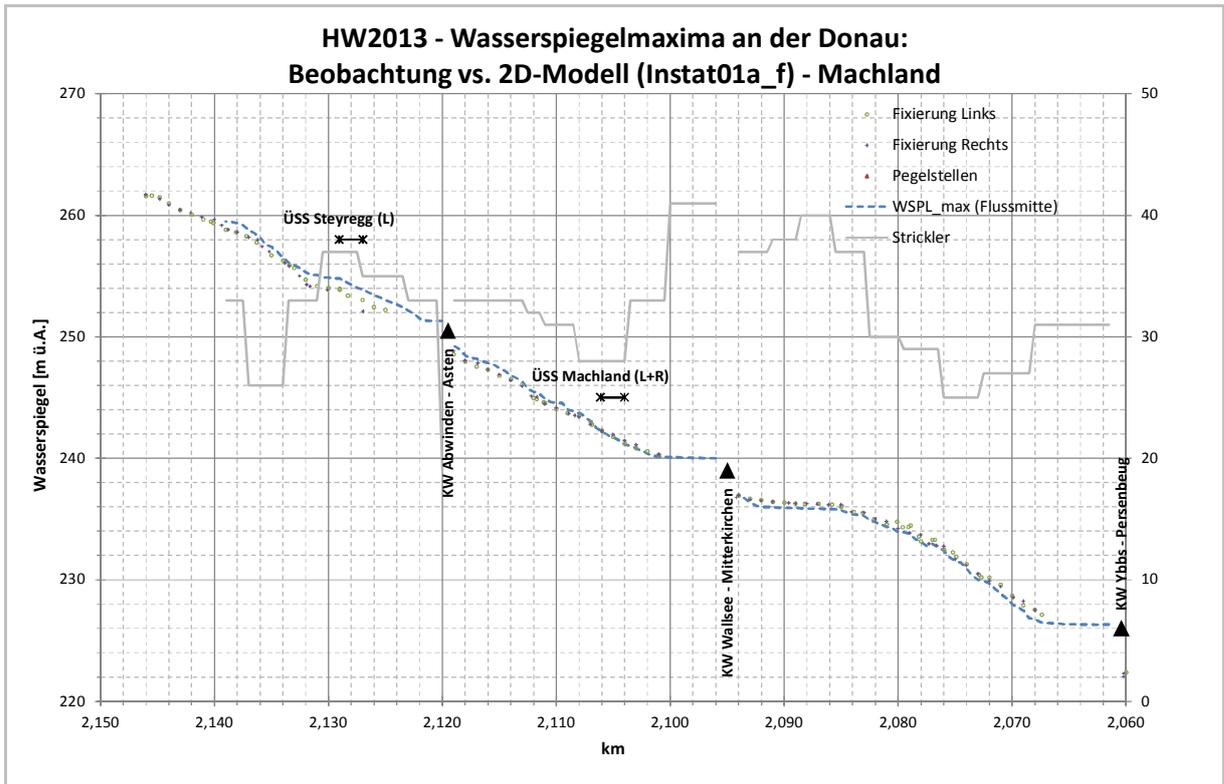
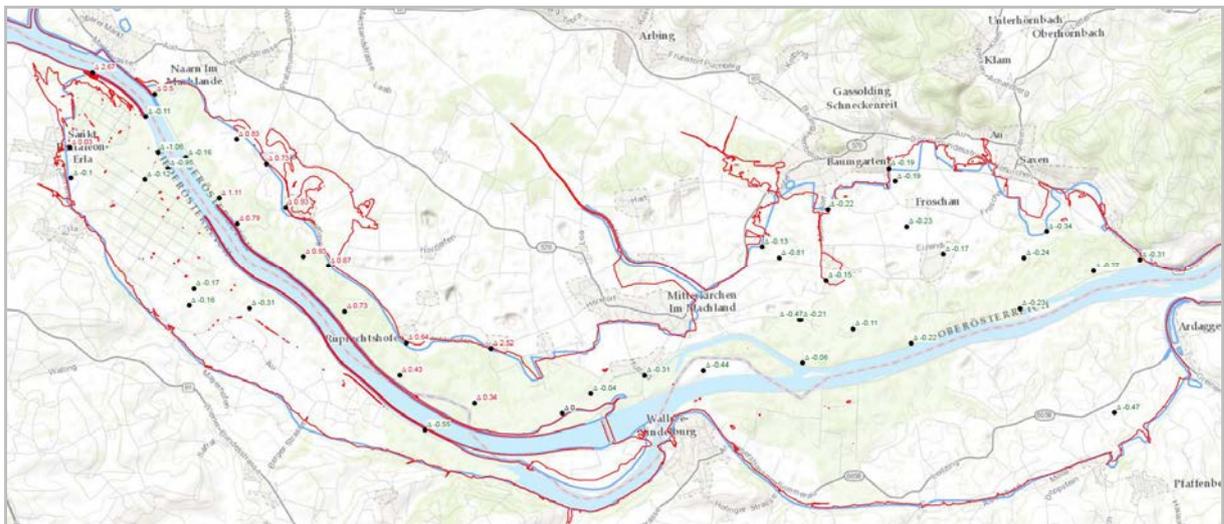


Abb. 4.48 Überflutungsflächen und Abweichungen der maximalen Wasserstände im Vorland Überarbeitetes Modell („Instat01a_f“)



Aus den Abbildungen lassen sich folgende Eckpunkte zusammenfassen:

Wasserstände

- Die Wasserstände im Bereich oberhalb der Überströmstrecken KW Wallsee-Mitterkirchen und dann insbesondere oberhalb des KW Abwinden-Asten sind

tendenziell zu hoch und betragen etwa beim Pegel Mauthausen etwa 50-60 cm. Diese zu hohen Wasserstände erklären sich daraus, dass das Modell an Vorgaben kalibriert wurde, welche ebenfalls von zu hohen Wasserständen ausgehen (KWD 96 und daraus abgeleitete Kalibrierung des 1D-Modells).

- Im Bereich der Überströmstrecken selbst – und da insbesondere im unteren Bereich der Überströmstrecken - sind die Wasserstände tendenziell zu niedrig. Dies erklärt sich möglicherweise aus zu hohen Ausströmungen im oberen Bereich der Überströmstrecken, die zu einem geringeren Donaudurchfluss im unteren Bereich der Überströmstrecken führen³¹.
- Die Tatsache, dass die Wasserstände insbesondere auch bei relativ niedrigen Durchflüssen schon zu hoch sind, deutet darauf hin, dass primär die Kalibrierung des Flussschlauches und weniger die Kalibrierung der Vorländer nachzujustieren ist.
- Zu dem ebenfalls durch das Modell abgedeckten Bereich Linz fällt auf, dass die Rechenwerte der Wasserstände am Pegel Linz höher sind als die Beobachtungswerte.
- Beim Pegel Grein, bei welchem sich im 1D-Modell zwischen berechneten und beobachteten Wasserständen Differenzen von ca. 1.5 m ergaben, ergeben sich im 2D-Modell Differenzen von 0.3 m³².
- Die Darstellung im Längenschnitt zeigt die größten Abweichungen zwischen Berechnungen und Beobachtungen für den Bereich oberhalb des KW Abwinden-Asten. Dies erklärt sich aus den oben beschriebenen Hintergründen zur Kalibrierung. Im Bereich des westlichen Machlandes besteht eine gute Übereinstimmung während im östlichen Machland die berechneten Wasserstände mit der veränderten Modellversion etwas zu niedriger sind³³.

Durchflüsse

- Die Durchflüsse am Pegel Grein liegen bei den 2D-Berechnungen unter den Beobachtungswerten, wobei dies sowohl für das Original-Modell als auch das verbesserte Modell gilt.
- Über die Überströmstrecke in Steyregg fließen sich beim Hochwasserscheitel 8.5% des Gesamtdurchflusses.
- Für die Überströmstrecken des KW Wallsee-Mitterkirchen errechnet sich für den Ausfluss in das nördliche Machland ein Maximalabfluss von ca. 2000 m³/s für das südliche Machland von ca. 1250 m³/s (berechnet mit dem überarbeiteten Modell). Während sich durch die Modellüberarbeitung der Maximalwert um ca. 15% erhöht, bleiben die Werte im südlichen Bereich weitgehend unverändert.

³¹ Zu dieser Überlegung werden vertiefende Analysen vorgeschlagen. Diese sind aber erst sinnvoll, wenn im 2D-Modell die Stromgrund- und die Vorlanddaten aktualisiert sind.

³² Die großen Differenzen beim 1D-Modell ergeben sich aufgrund der spezifischen Situation im Strudengau und der Lage des Pegels Grein im Außenbogen. Hier ergeben sich auch in der Natur Differenzen und sog. „Zopfstrukturen“ (Bors, WSD), die vom 1D-Modell naturgemäß nicht abgebildet werden können.

³³ Zu diesen Abweichungen ist wichtig, dass es bisher keine Nachkalibrierung des Modells gegeben hat und dass die ersten, pilothaften Änderungen der k_{STR} -Werte gezeigt haben, dass sich Änderungen im Wasserstand sich in Bereichen ergeben, in welchen die k_{STR} -Werte nicht geändert wurden. Entsprechend müsste zur Verbesserung der Ergebnisse eine gesamthafte, kohärente Nachkalibrierung erfolgen, wobei als Voraussetzung eine Aktualisierung der Gelände- und Stromgrunddaten erforderlich wäre.

Überflutungsflächen und räumliche Auswertungen

- Bei den Überflutungsflächen und den maximalen Wasserständen fällt auf, dass im nord-westlichen Bereich des Machlandes auch mit dem überarbeiteten Modell noch deutlich zu hohe Wasserstände berechnet werden. Demgegenüber sind die Abweichungen im süd-westlichen Bereich nach der Überarbeitung in einem ähnlichen Bereich wie im östlichen Bereich des Machlandes, wobei die Übereinstimmung zwischen Beobachtung und Berechnung durch eine Nach-Kalibrierung des Modells sicher verbessert werden können.³⁴
- Als wichtiger Punkt ist festzuhalten, dass in der verfügbaren Modellversion der Verlauf und die Koten des Machlanddammes noch unzureichend abgebildet sind. Dies führt – im Modell - zu kleinen Ausuferungen im Bereich von Straß und zu großen Ausuferungen und Rückströmungen im Bereich von Staffling und Tabor.

4.4.3.2 Anlandungsszenarien

Die Anlandungsszenarien dienen zur Überprüfung, ob durch die beim Hochwasser 2013 im südlichen Machland aufgetretenen Ablagerungen eine maßgebliche Hebung der Vorland-Hochwasserspiegel in den betroffenen NÖ Gemeinden zu erwarten ist. Dementsprechend waren die anlandungsbedingten Hebungen der maximalen Hochwasserspiegellagen im südlichen Machland von Interesse.

Die definierten Szenarien beruhen grundsätzlich auf den vorhandenen Informationen über das Ausmaß der aufgetretenen Anlandungen. (Globale Anlandung von 0,25 m und 0,5 m bzw. differenzierte Anlandung von 0,05 m bis 1,0 m)

Angaben von LK bzw. Gemeinde Ardagger:

(1) Landwirtschaftliche Nutzfläche (davon generell 95% in Gemeinde Ardagger)

ID	Änderung [cm]	Betroffene Fläche [ha]
a	0-10	863
b	10-20	116
c	20-50	85
d	>50cm	61

(2) Forstwirtschaftliche Fläche (davon 50% in Gemeinde Ardagger – Rest in den Gemeinden Wallsee/St.Pantaleon)

ID	Änderung [cm]	Betroffene Fläche [ha]
a	20-50	160
b	50-100	160
c	>100	78

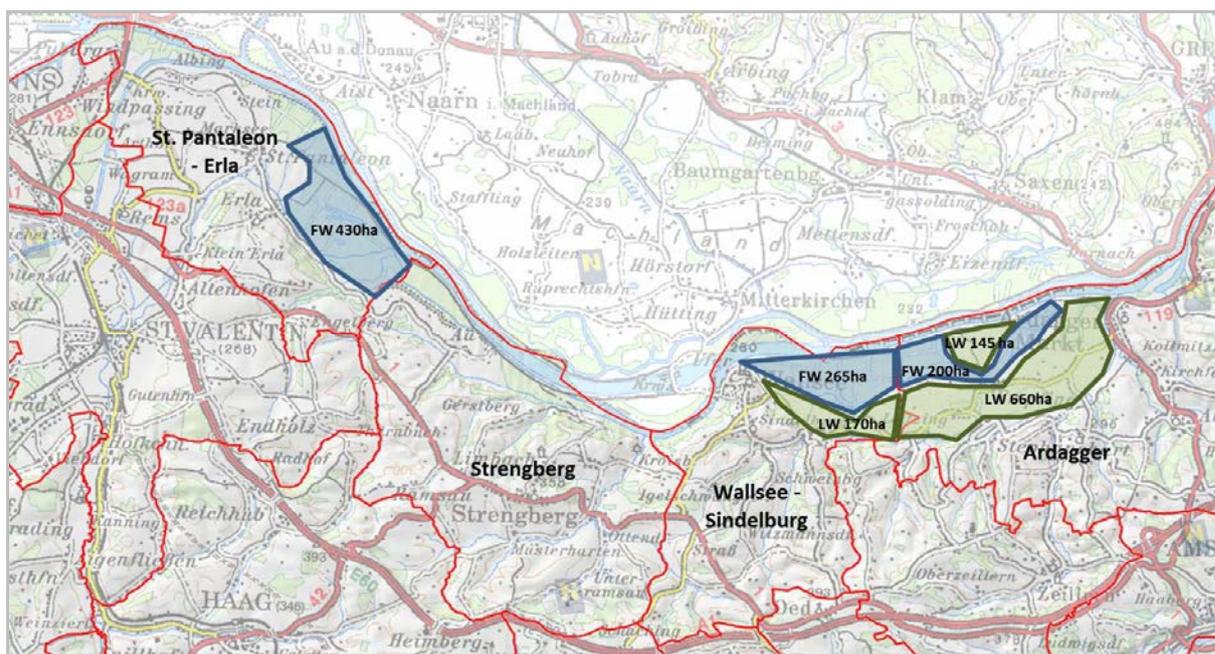
Das nach Flächenanteilen gewichtete Mittel ergibt 0,25 m. Dieser Wert liegt dem globalen Anlandungsszenario +0,25 m zugrunde, wobei nicht nur die angegebene Fläche, sondern das gesamte südliche Machland mit diesem Wert beaufschlagt wurde. Als

³⁴ Zu diesem Punkt ist eine Abstimmung mit riocom vorgesehen (vgl. S. 45).

„Extrem Szenario“ wurde dieser Wert für das zweite globale Anlandungsszenario auf +0,50 m verdoppelt.

Für die Definition eines „realistischen“ differenzierten Anlandungsszenarios wurden die Angaben bzgl. Sedimentationshöhe, Flächenanteile und Lage mitberücksichtigt. Dazu wurden die in den betreffenden Gemeinden vorhandenen land- und forstwirtschaftlichen Flächen grob abgeschätzt (Abb. 4.49). Die aus dieser Zusammenschau resultierenden Anlandungen für das differenzierte Szenario sind in Tab. 4.9 angeführt. Unter Berücksichtigung vorhandener Luftbilder (Abb. 4.50) wurden diese Anlandungen schließlich an den entsprechenden Stellen im Modell eingebaut.

Abb. 4.49 Abschätzung der Flächenanteile (LW/FW) nach Gemeinden im südlichen Machland



Tab. 4.9 Ermittlung der Anlandungszonen für differenziertes Szenario

Kategorie	Gesamtfläche	Aufteilung lt. Angaben		Anlandungen im Modell		
		Ardagger	Wallsee / St. Pantaleon	St. Pantaleon	Wallsee + Ardagger	mittlere Anlandung [m]
Landwirtschaftliche Flächen [ha]						
0-10cm	863	819.85	43.15	0	863	0.05
10-20cm	116	110.2	5.8	0	116	0.15
20-50cm	85	80.75	4.25	0	85	0.35
>50cm	61	57.95	3.05	0	61	0.50
	1125	1068.75	56.25	0	1125	
Forstwirtschaftliche Flächen [ha]						
20-50cm	160	80	80	40	120	0.35
50-100cm	160	80	80	40	120	0.75
>100cm	78	39	39	19.5	58.5	1.00
	398	199	199	99.5	298.5	

Abb. 4.50 Luftaufnahmen der Anlandungen im südlichen Machland nach HW2013

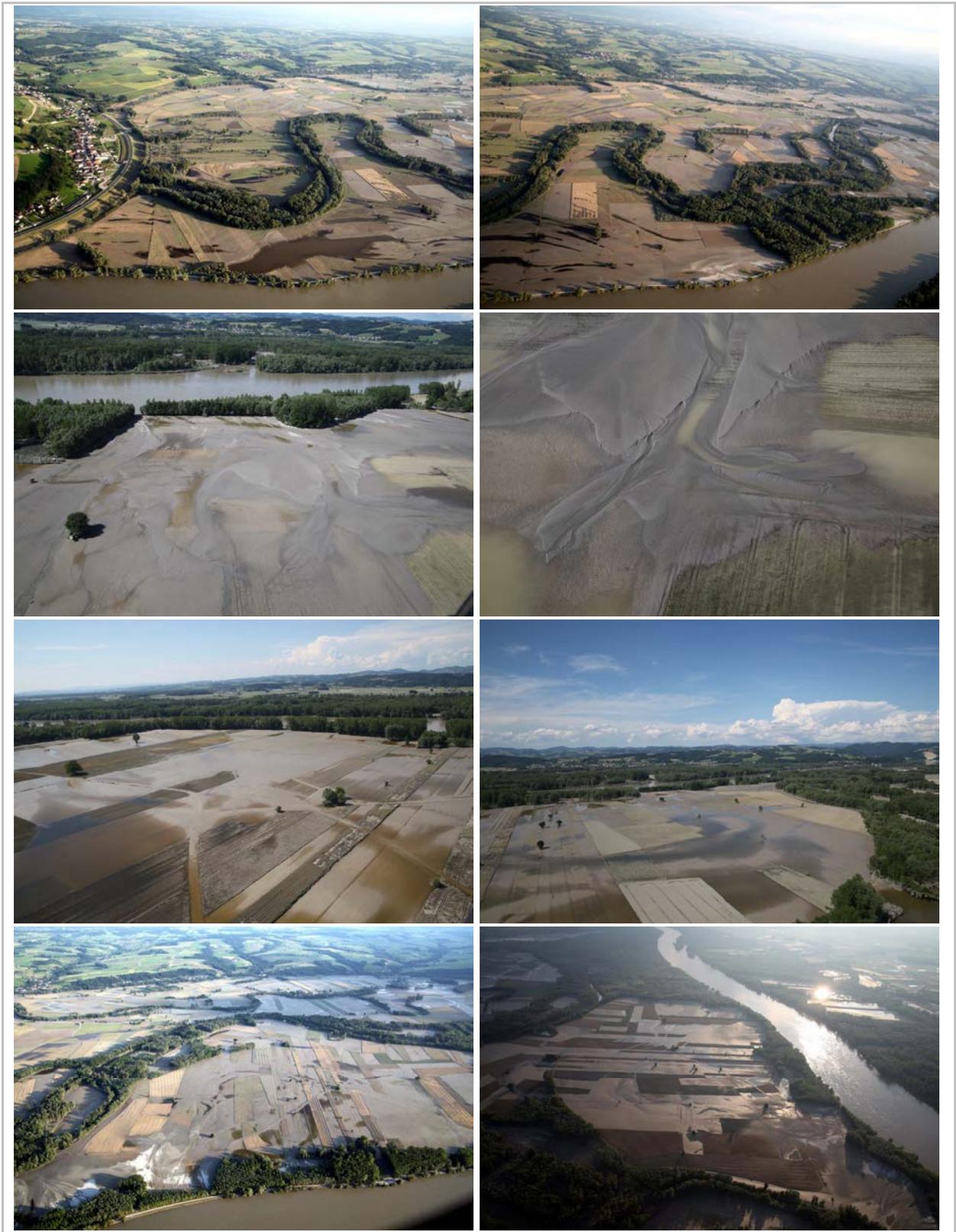
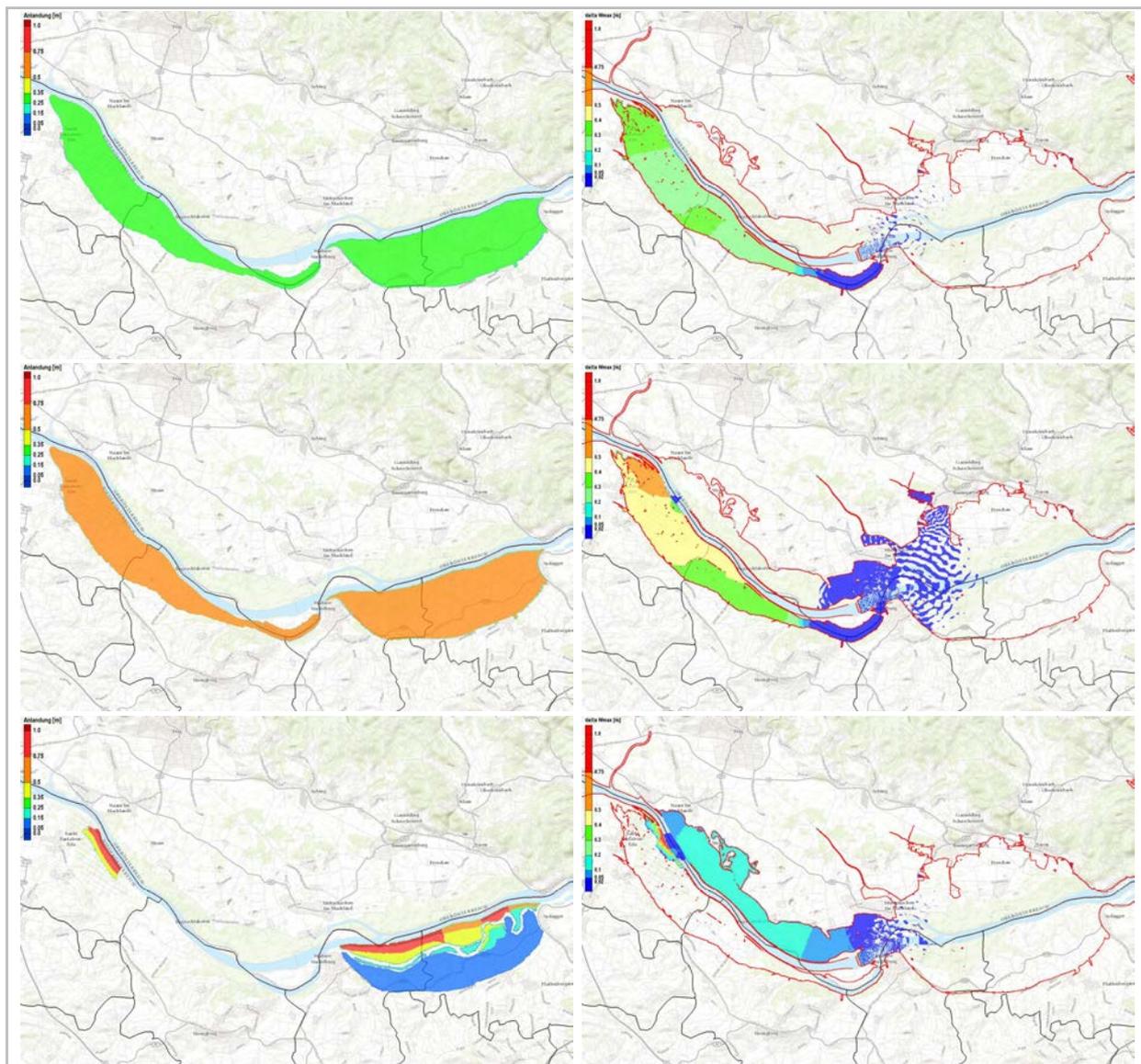


Abb. 4.51 Anlandungsszenarien (links Anlandungshöhen; rechts Wasserspiegelhebungen, v.o.n.u.: global 0,25 m, global 0,50 m und differenzierte Anlandung)



Aus den Ergebnissen der Anlandungsszenarien lassen sich folgende Punkte zusammenfassen:

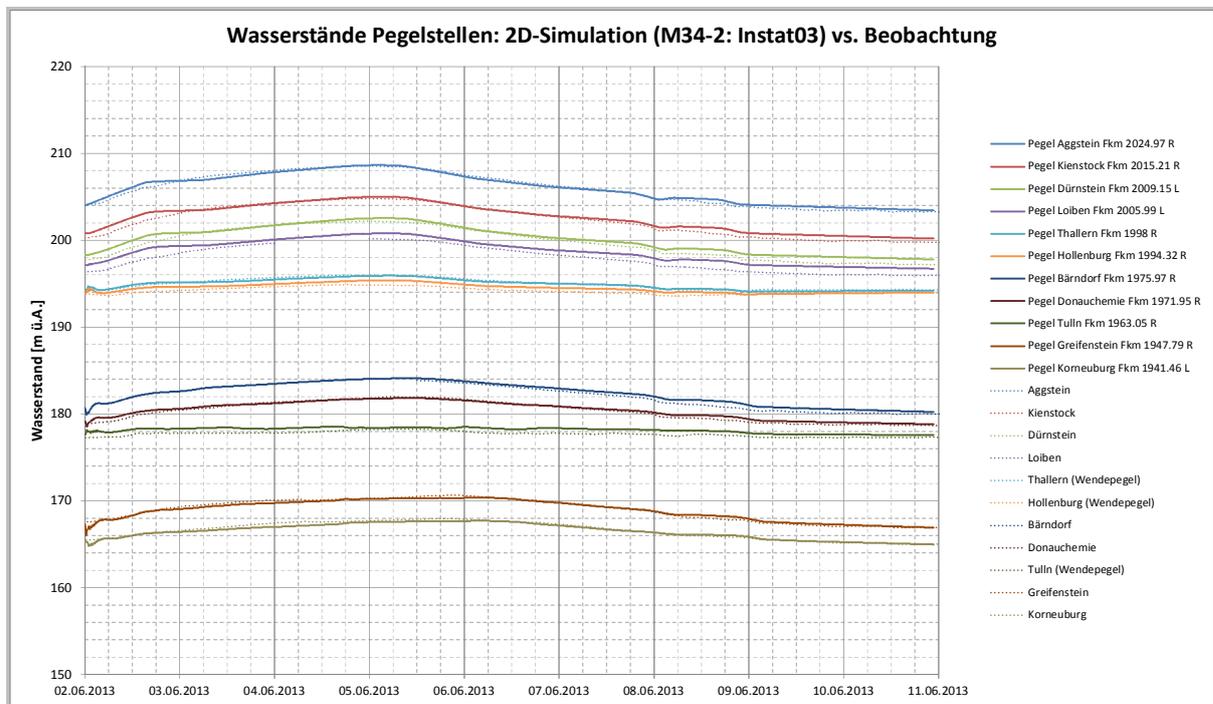
- Im östlichen Bereich des Machlandes ergeben sich für keines der Szenarien durch die Anlandungen Auswirkungen auf die Wasserstände. Selbst bei dem Extrem-Szenarium „Gesamtfläche in NÖ Anlandung +50cm“ ergeben sich keine Änderungen der berechneten Wasserstände.
- Im westlichen Bereich sind die Unterschiede differenzierter zu sehen, wobei als Tendenz gilt, dass sich (1) die Anlandungen dort auf den Wasserstand auswirken, wo sie angesetzt sind und (2) dass die Änderungen im Wasserstand mit der Höhe der Anlandungen korrespondieren.
- In Hinblick auf die Ausflüsse in das Vorland fällt auf, dass es bei dem Szenarium mit den differenziert angesetzten Anlandungen zu einer Verstärkung der Abflüsse

in den das nördliche Machland kommt. Es ist aber davon auszugehen, dass sich dies daraus ergibt, dass nur im südlichen Bereich Anlandungen angesetzt sind. Entsprechend ist davon auszugehen, dass – wenn auch im nördlichen Machland vergleichbare Anlandungen angesetzt werden – die Verschiebung wieder ausgeglichen wird.

4.4.4 Tullnerfeld (M34-2)

Für diesen Bereich wurde der Lauf „Instat03“ durchgeführt, dessen Zuflussrandbedingung aus dem 1D-Ergebnis von „Sim50³⁵“ abgeleitet wurde. Da diese Simulation bereits im Herbst 2013 durchgeführt wurde, gibt es zu den endgültigen Durchflussdaten noch Unterschiede, die aber für die Darstellung und Interpretation der Simulation nicht nachteilig sind.

Abb. 4.52 Simulierte vs. beobachtete Wasserstände an den Pegelstellen („Instat03“)



³⁵ PÖRY-interne Laufbezeichnung: Sim-1D-2c-2DON-obs-50

Abb. 4.53 Simulierte vs. beobachtete Durchflüsse an den Pegelstellen („Instat03“)

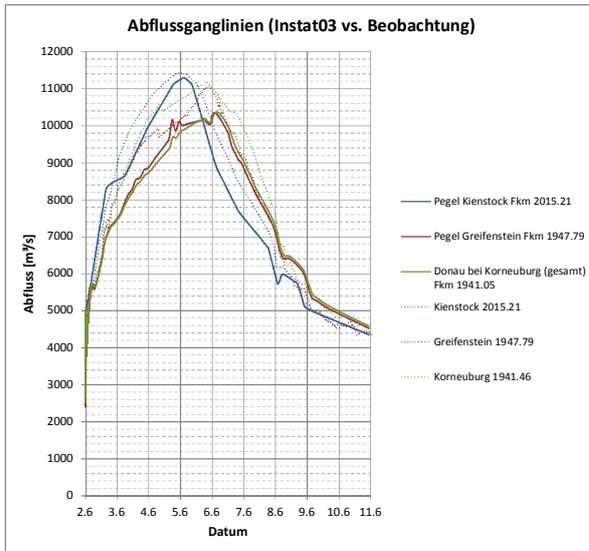


Abb. 4.54 Durchflüsse an der Überströmstrecke KW Altenwörth (links) und Greifenstein (rechts; Sim „Instat03“)

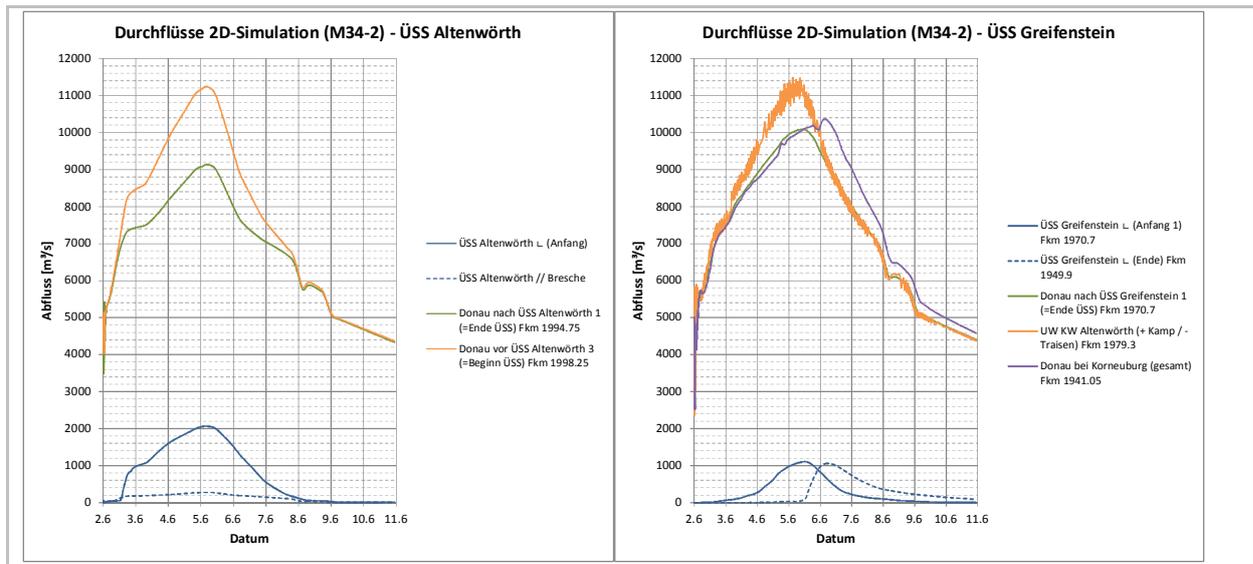
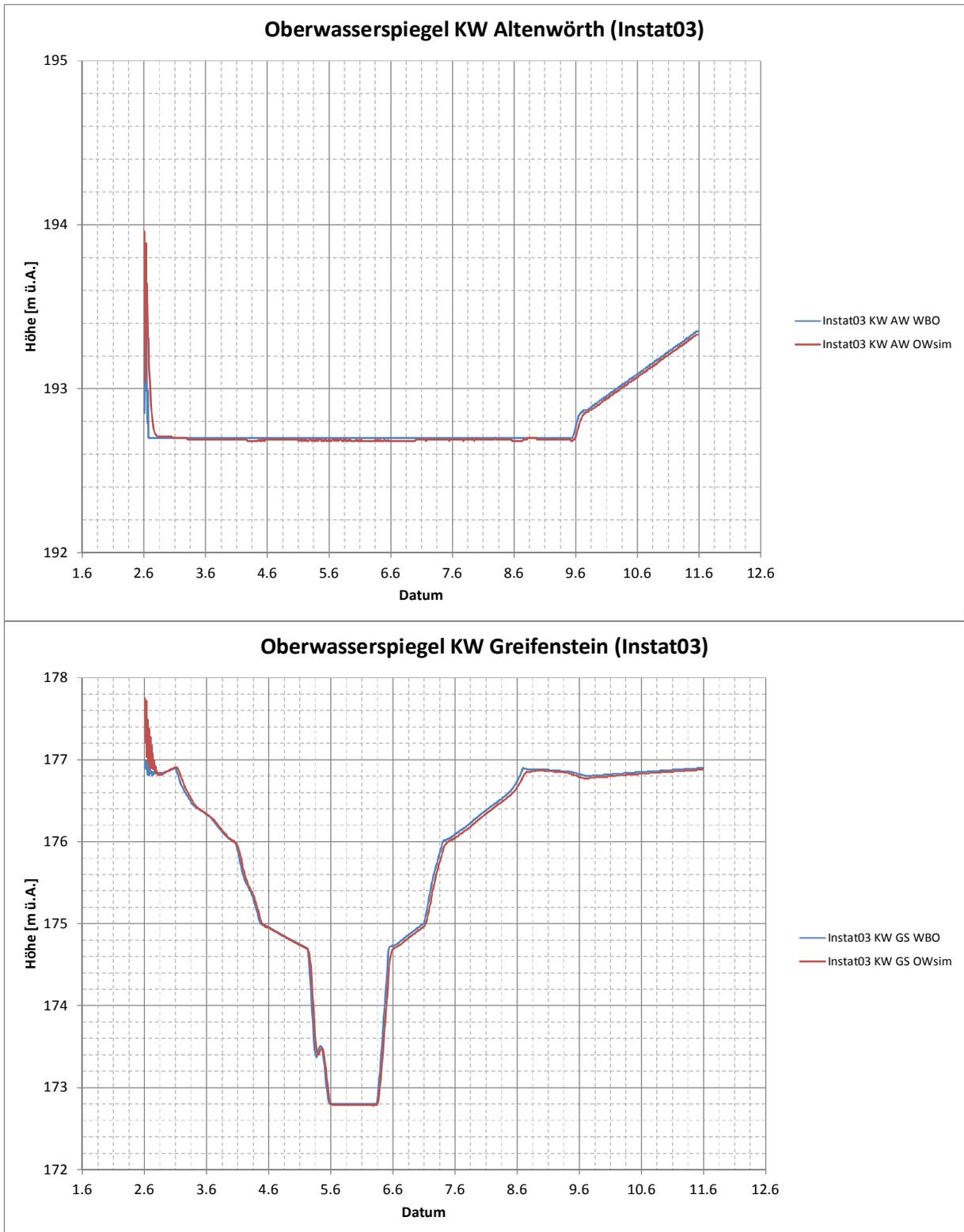


Abb. 4.55 OW-Regelung gem. WBO bei Modelllauf „Instat03“ (oben KW Altenwörth; unten KW Greifenstein)



Analog zur Vorgehensweise im Machland wurden die OW-Pegel für die Kraftwerke Altenwörth und Greifenstein direkt über die im Modell implementierte WBO abgebildet.

Abb. 4.56 Kraftwerksdurchfluss Modelllauf „Instat03“ (oben KW Altenwörth; unten KW Greifenstein)

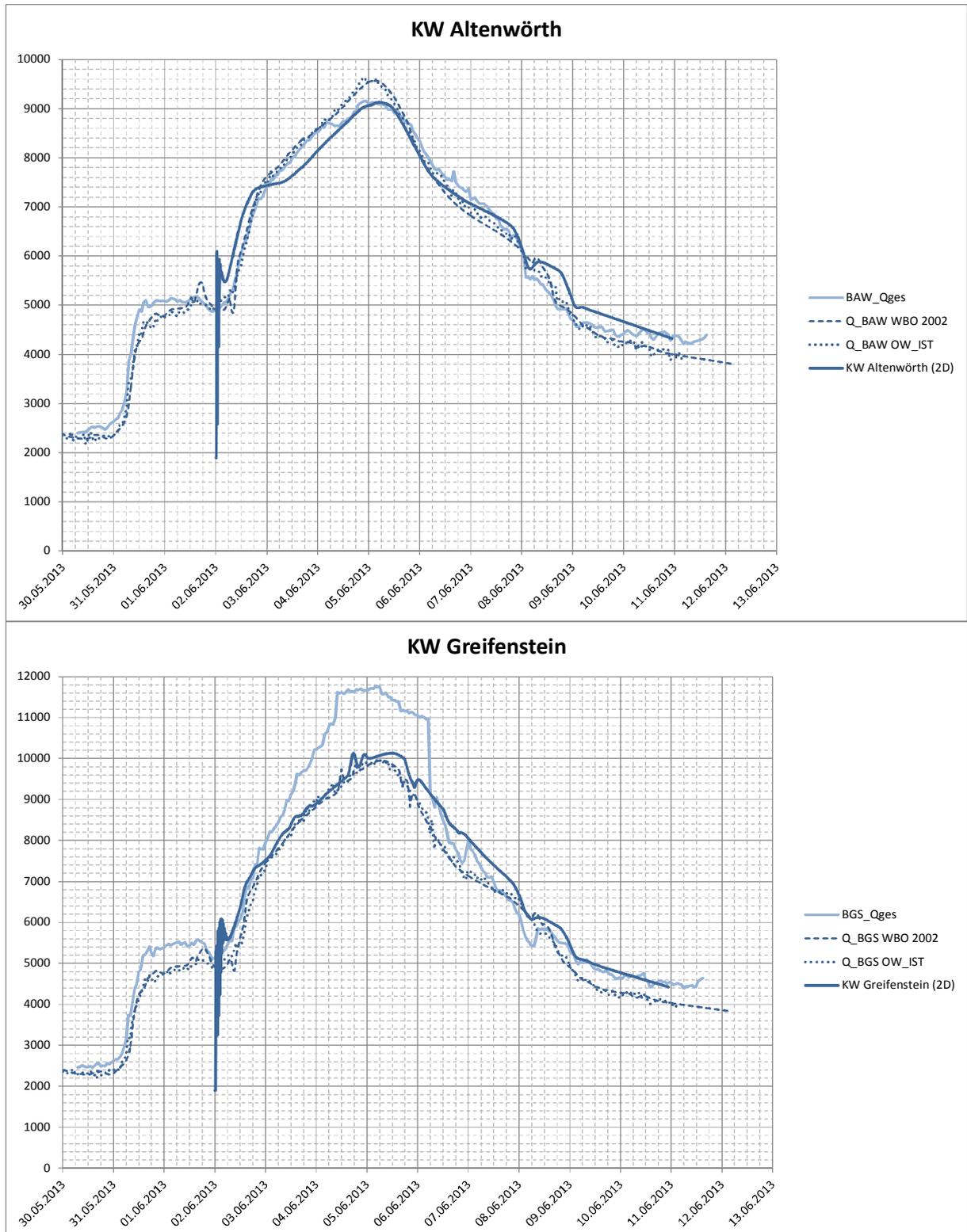


Abb. 4.57 Längenschnitt der maximalen Wasserstände („Instat03“)

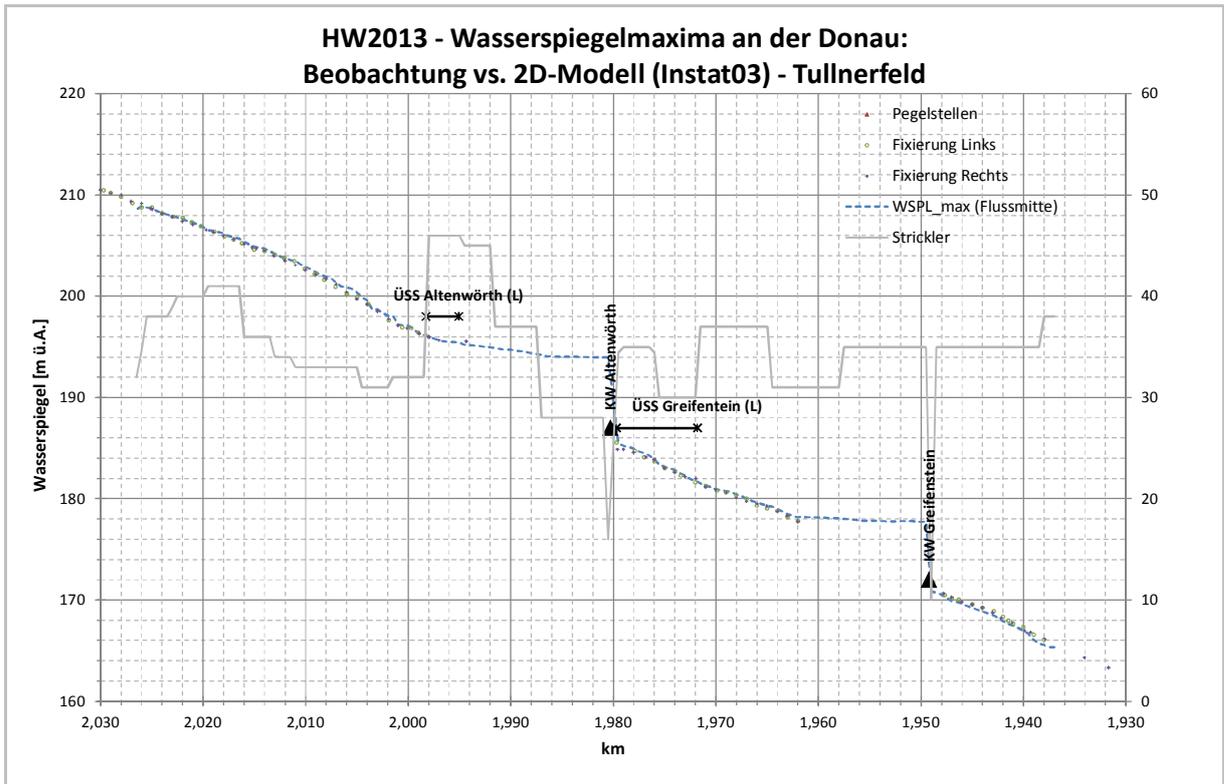


Abb. 4.58 Überflutungsflächen und Abweichungen der maximalen Wasserstände im Vorland Stauraum KW Altenwörth – Simulation „Instat03“

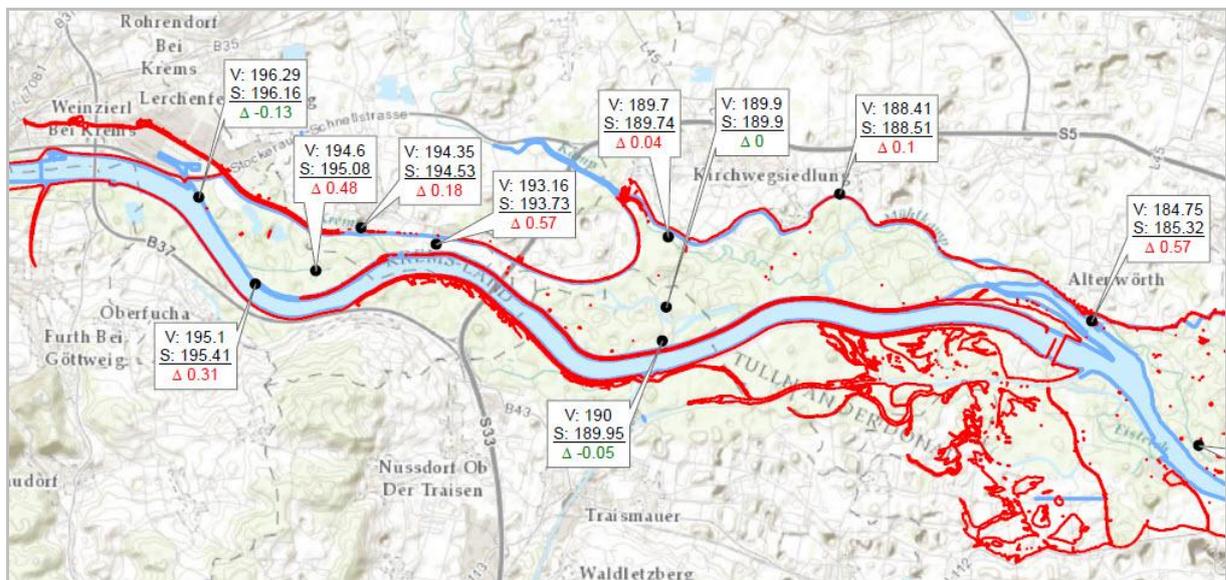
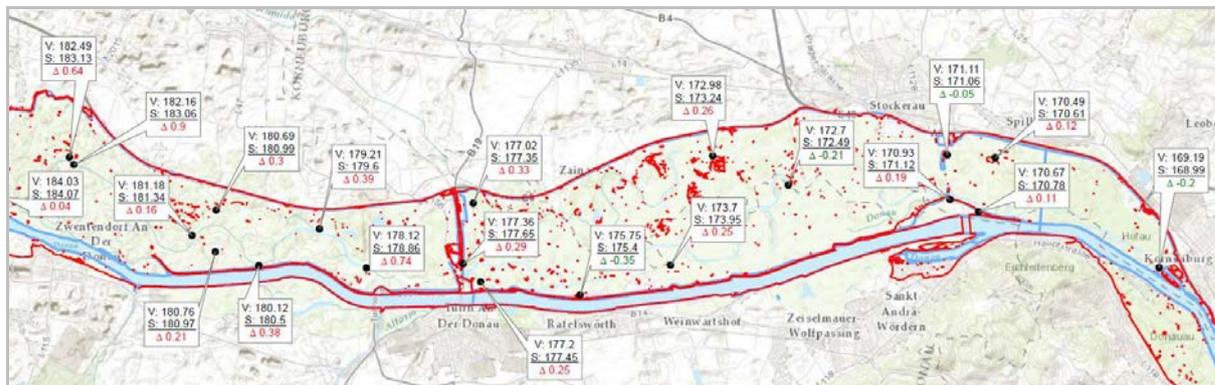


Abb. 4.59 Überflutungsflächen und Abweichungen der maximalen Wasserstände im Vorland Stauraum KW Greifenstein – Simulation „Instat03“



Aus den Abbildungen lassen sich folgende Eckpunkte zusammenfassen:

Wasserstände

- Die Scheitelwerte der Wasserstände werden an vielen Pegeln relativ gut getroffen, auffällige Unterschiede gibt es eher am Anfang der Ganglinien (d.h. 02.-04.06.2013) und teilweise im abfallenden Ast³⁶.
- Die Betrachtung der maximal aufgetretenen Wasserstände im Längenschnitt zeigt entsprechend eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Mess- und Rechenwerten für das gesamte Tullnerfeld.
- Dies gilt insbesondere auch für den Bereich der Überströmstrecken, so dass für die Berechnung der Abflüsse in das Vorland von einer guten Übereinstimmung zwischen Modell und Natur ausgegangen werden kann.
- Diese gute Übereinstimmung wird auch durch die flächenhafte Auswertung unterstrichen, wobei als Ausnahme bei der Abbildung für den Stauraum Greifenstein auffällt, dass die Abweichungen westlich von Tulln tendenziell etwas größer sind als die übrigen Abweichungen (Rechenwerte liegen tlw. bis zu 60-80 cm zu hoch).
- Auffällig ist, dass sowohl im Stauraum Altenwörth als auch im Stauraum Greifenstein die Rechenwerte praktisch immer zu hoch liegen. Dies unterstreicht die Beobachtung bei den Durchflüssen, dass die Retention im 2D-Modell wahrscheinlich etwas stärker ausgeprägt ist, als sie in der Natur wirklich ist.

Durchflüsse

- Die Auswertung der Durchflüsse zeigt, dass die Retention im Modell deutlich höher ist, als sie sich aus den Beobachtungswerten ergibt (vgl. dazu Anmerkung oben).
- Die Abflüsse in das Vorland werden im 2D-Modell mit 18% beim Stauraum Altenwörth und 10% beim Stauraum Greifenstein berechnet.

³⁶ Zu diesen Abweichungen ist wichtig, dass sie sich zum Teil aus den Differenzen im Durchfluss erklären lassen. Die Durchflussganglinien, die diesen Berechnungen zu Grunde liegen weichen insbes. am Beginn des Ereignisses noch von den endgültigen Werten ab.

4.5 Auswertungen von via donau und VHP zu den Stromgrunddaten

4.5.1 Wichtige Vorbemerkung

Bei den nachfolgend dargestellten Daten handelt es sich noch um **inoffizielle Rohdaten**, die **von via donau** für das Projekt zur Verfügung gestellt werden.

Die Daten und Abbildungen sind **nicht für die Weitergabe vorgesehen**. Die Veröffentlichung der Daten erfolgt im Gewässeraufsichtsbericht, der von via donau im Frühjahr d.J. publiziert werden wird.

4.5.2 Überblick und Zusammenfassung zu den durchgeführten Auswertungen

Die Änderung der Stromsohle ist sowohl als Basis für die Analyse und Rekonstruktion des Hochwasserereignisses, als auch als Teil der Beschreibung des Hochwassers von besonderer Bedeutung:

Für die Analyse und Rekonstruktion sind die Änderungen der Stromsohlen in Zusammenhang mit der Interpretation der Wasserstände und dabei zur Einschätzung der aus den Wasserständen abgeleiteten Durchflüsse von besonderer Bedeutung.

Als Teil der Beschreibung des Ereignisses sind die Umlagerungen im Stromschlauch und der Sedimentaustrag in das Vorland von besonderer Bedeutung.

Entsprechend werden von via donau und VHP jeweils nach größeren Hochwässern Neuaufnahmen der gesamten Donausohle durchgeführt.

Mit 07.02.2014 wurde von via donau die Aufarbeitung der aktuellen Stromgrundaufnahmen abgeschlossen. Die Aufnahmen waren unmittelbar nach dem Ereignis begonnen worden und umfassen fast die gesamte Donau von Passau bis zum Kraftwerk Greifenstein: Für die Stauräume Melk und Freudenau sowie für die Strecke zwischen Freudenau und Bratislava liegen noch keine Auswertungen vor.

Die Auswertungen von via donau umfassen drei Teile:

(a) *Stromsohlenvergleich*

Der Stromsohlenvergleich umfasst die mittleren Änderungen (Anladung - Eintiefung) je Querprofil (vgl. Abb.4.60).

Die Auswertungen von via donau umfassen dazu die letzte Messung vor und die erste Messung nach dem Ereignis.

Als Vergleichswerte sind zusätzlich auch die Änderungen von 2009 bis 2010 sowie von 2010 bis 2012 dargestellt.

Die Änderungen sind mit einer räumlichen Auflösung von 100 m dargestellt.

(b) *Sohlenvergleich 1km*

Der Sohlenvergleich baut auf den Stromsohlenvergleich auf und aggregiert deren Daten für den gesamten Stauraum (vgl. Abb.4.61).

Die Auswertungen von via donau beziehen sich auf die letzte Messung vor und die erste Messung nach dem Ereignis.

Die Änderungen sind mit einer räumlichen Auflösung von 1 km dargestellt.

(c) *Massenbilanzen*

Die Massenbilanzen stellen die für den Stauraum aufsummierten Änderungen in Bezug auf das Jahr 1979 dar (vgl. Abb.4.62).

Die angegebenen Werte sind demnach Summenlinien der Änderungen, wobei die aktuellsten Änderungen sich jeweils als Differenz zwischen der letzten und der vorhergehenden Messung darstellen.

Die Änderungen sind – je nach Verfügbarkeit der Daten - mit einer zeitlichen Auflösung von einem Jahr bis einigen wenigen Jahren dargestellt.

Abb. 4.60 Stromsohlenvergleich (KW Jochenstein – exemplarisch)

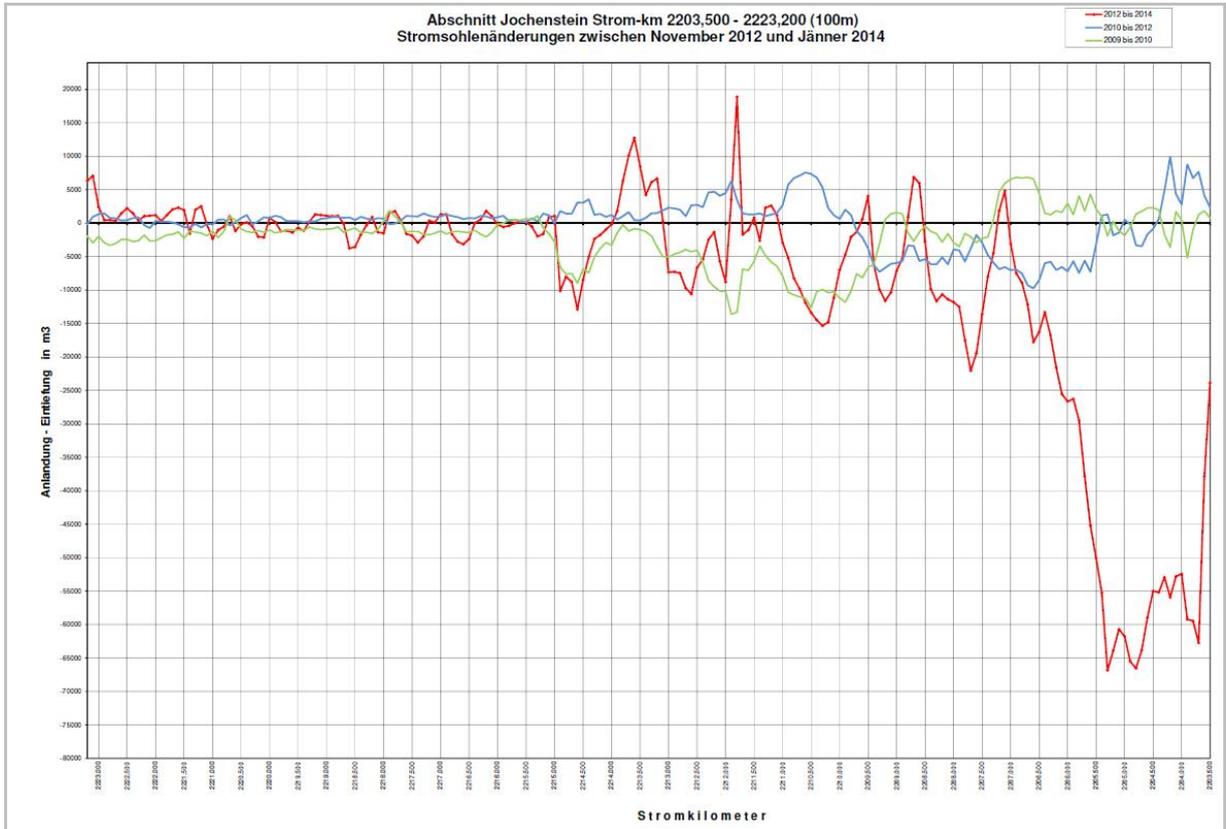


Abb. 4.61 Sohlenvergleich 1km (KW Jochenstein – exemplarisch)

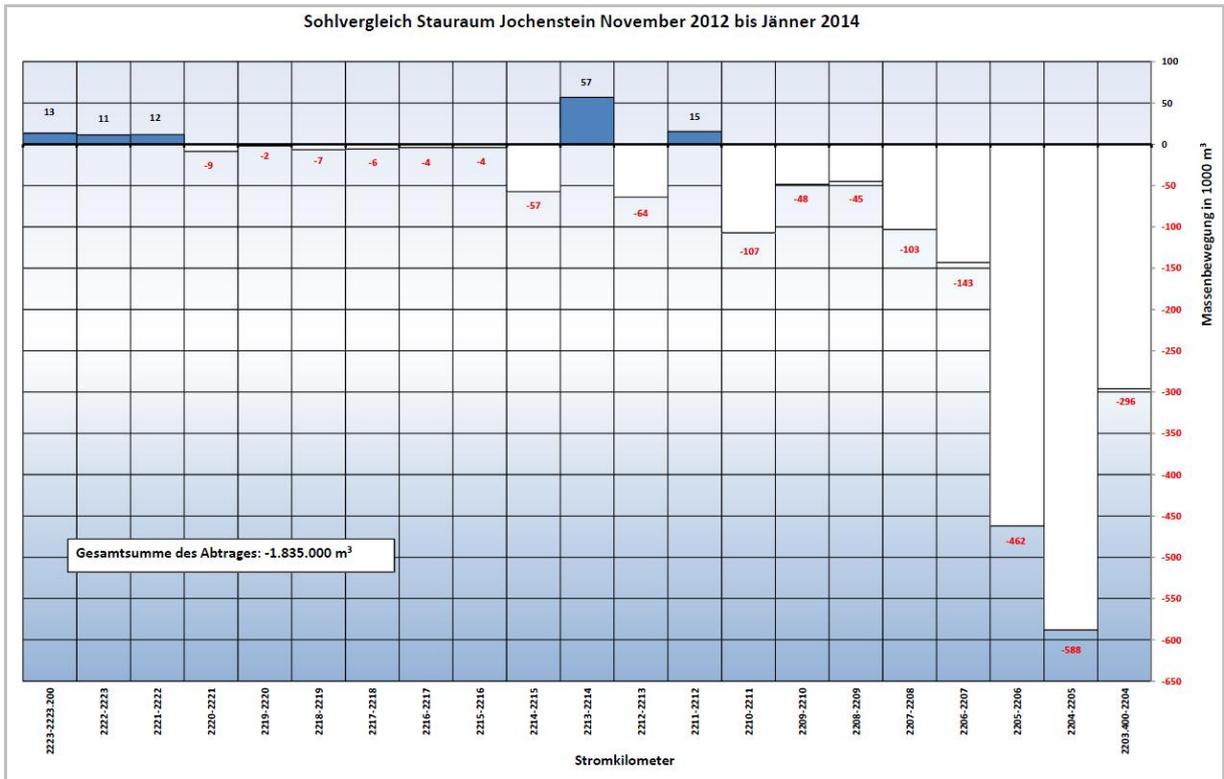
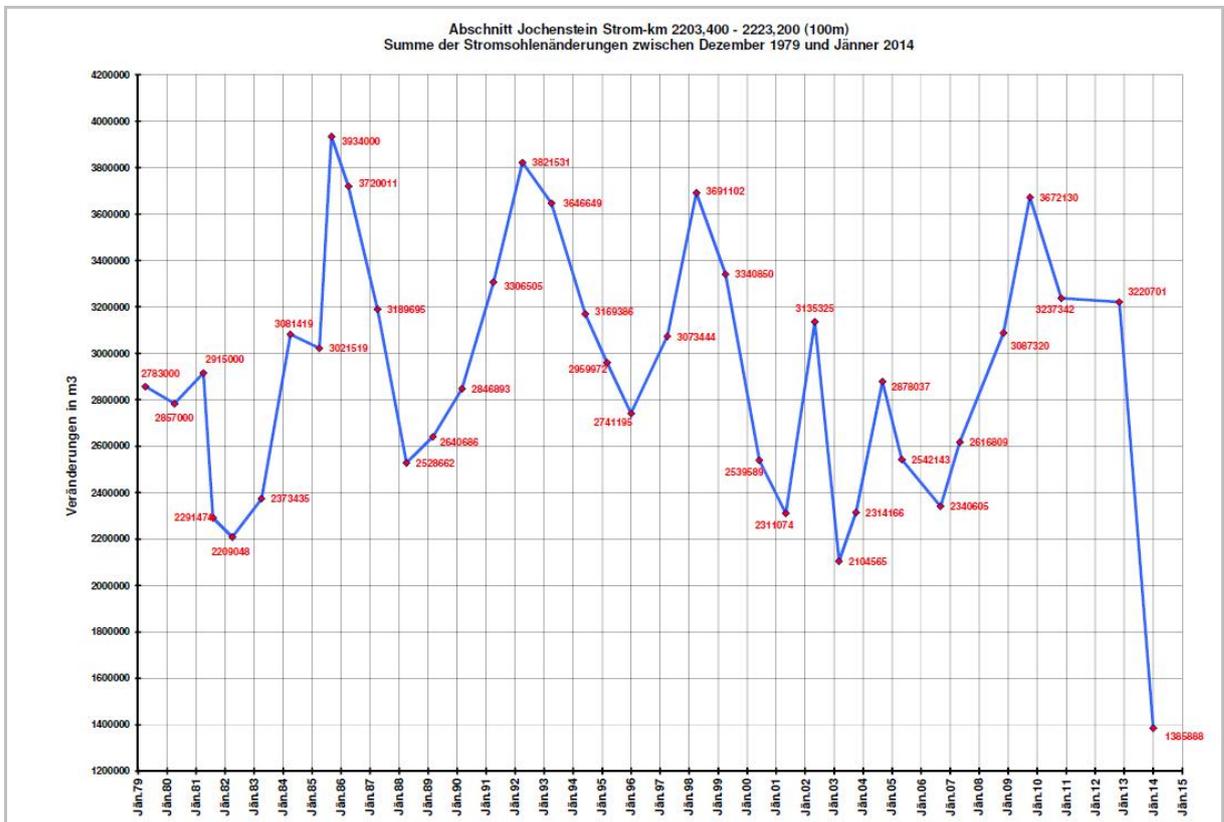


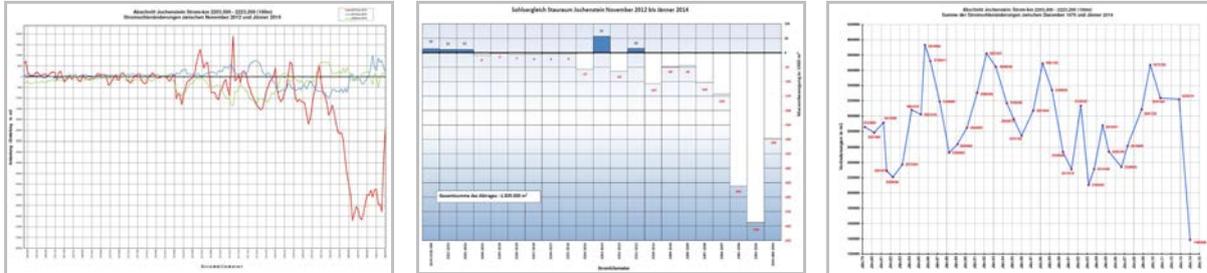
Abb. 4.62 Massenbilanzen (KW Jochenstein – exemplarisch)



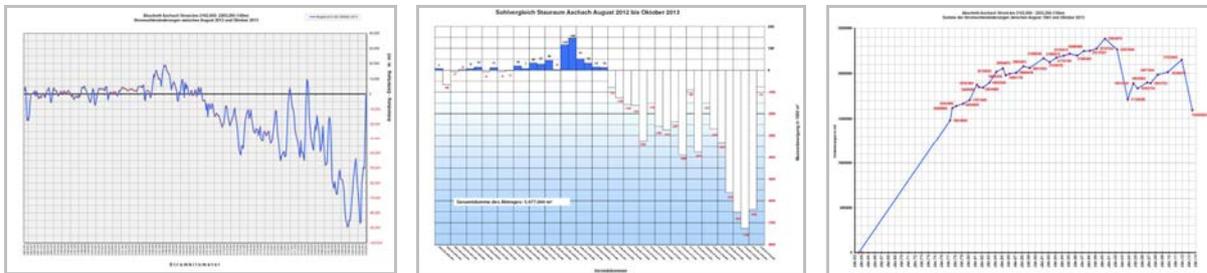
In Abb.4.63 sind die Auswertungen von via donau in Übersichtsform zusammengestellt. Die detaillierten, vollständigen Abbildungen von via donau finden sich in Anhang D.

Abb. 4.63 Auswertungen der Stromgrundaufnahmen (Quelle: via donau)

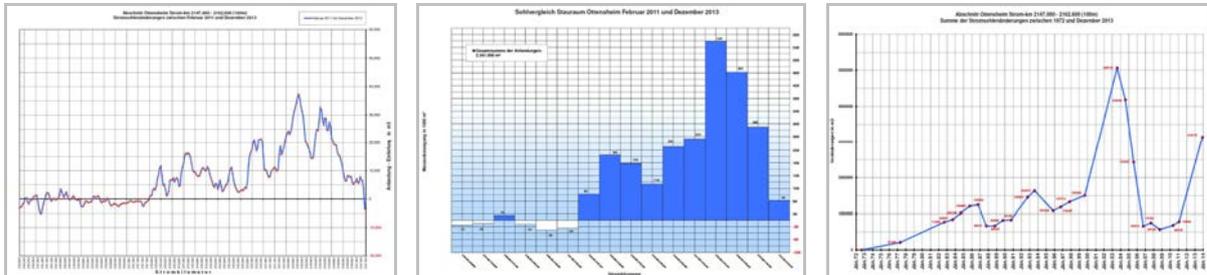
Stauraum Jochenstein



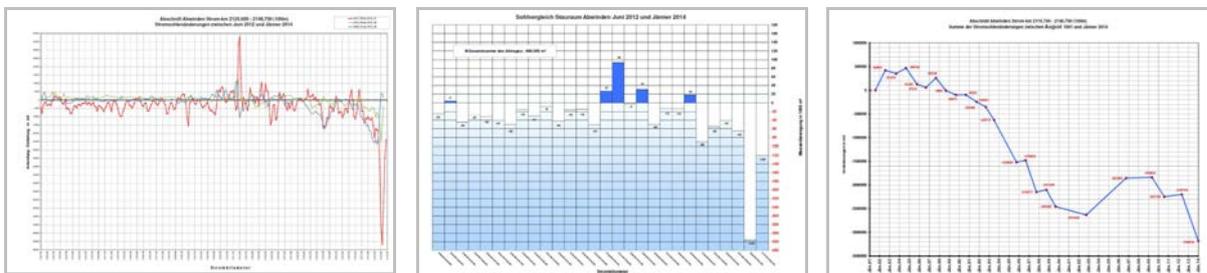
Stauraum Aschach



Stauraum Ottensheim



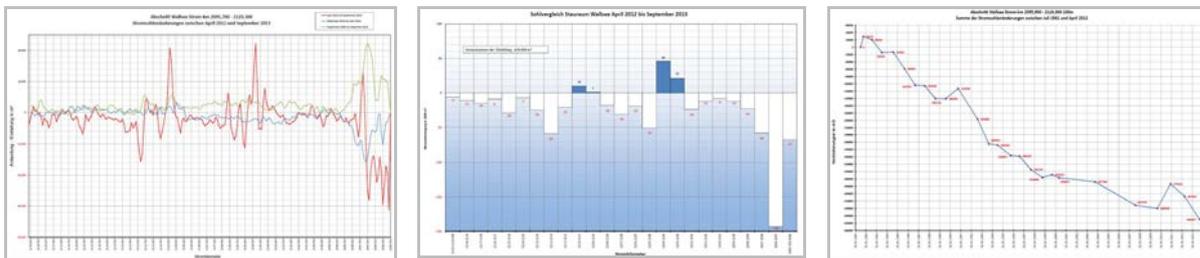
Stauraum Abwinden



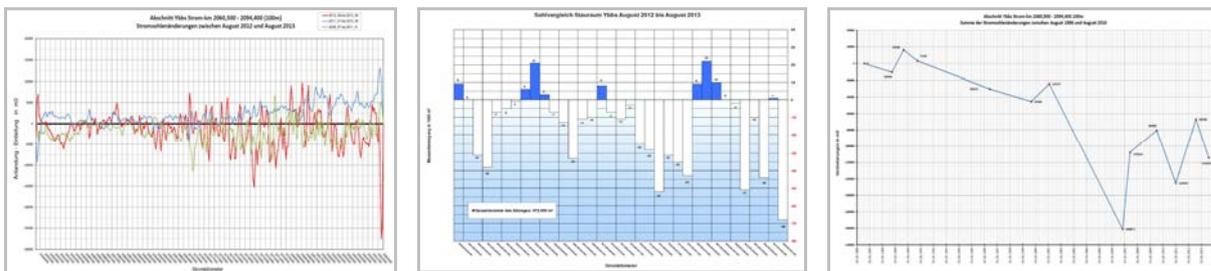
Bei den Abbildungen ist zu beachten, dass die Y-Achsen individuell skaliert sind, wodurch sich in Hinblick auf das Ausmaß der Änderungen zwischen den einzelnen Stauräumen ein inkonsistentes Bild ergibt.

Abb. 4.64 Auswertungen der Stromgrundaufnahmen - Fortsetzung(Quelle: via donau)

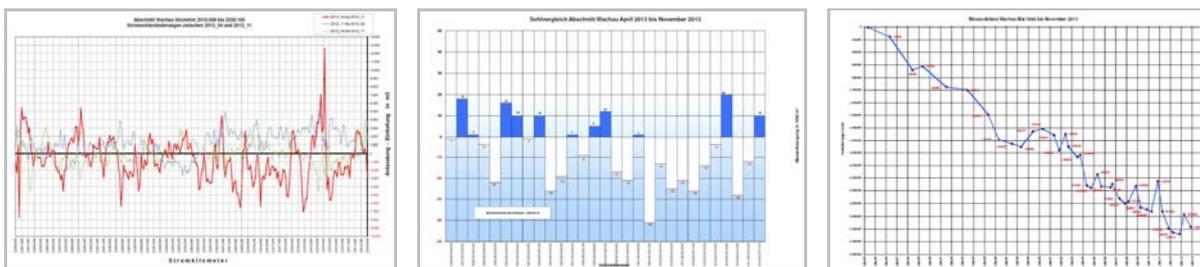
Stauraum Wallsee



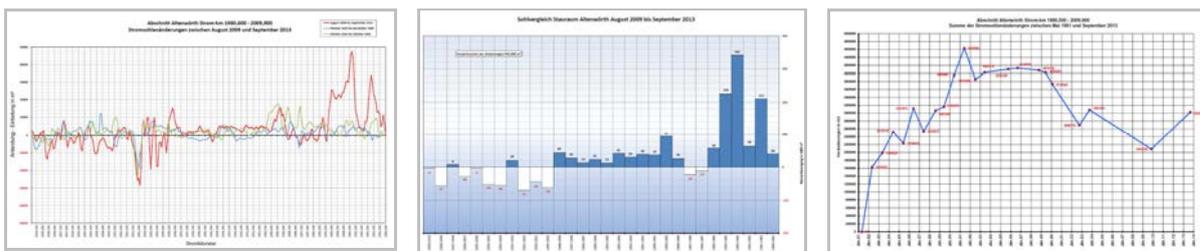
Stauraum Ybbs



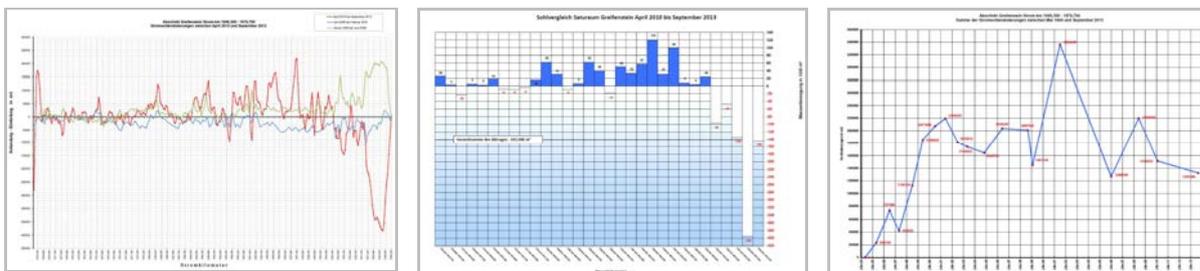
Wachau



Stauraum Altenwörth



Stauraum Greifenstein



Bei den Abbildungen ist zu beachten, dass die Y-Achsen individuell skaliert sind, wodurch sich in Hinblick auf das Ausmaß der Änderungen zwischen den einzelnen Stauräumen ein inkonsistentes Bild ergibt.

Aus den Auswertungen der Stromgrundaufnahmen zeigt sich, dass es beim Ereignis im Juni 20013 in allen Stauräumen außer Ottensheim und Altenwörth einen Abtrag von Material gegeben hat. Der Abtrag war in den Stauräumen Jochenstein (1.8 Mio. m3) und Aschach (5.6 Mio. m3) am größten. Die größten Anlandungen gab es im Stauraum Ottensheim (2.4 Mio. m3).

Tab. 4.10 Anlandungen und Erosion in den einzelnen Stauräumen (Daten: via donau)

Stauraum/Donauabschnitt	Anlandung [+] bzw. Abtrag [-] in Mio. m3
Jochenstein	- 1,835
Aschach	- 5,577
Ottensheim	+ 2,361
Abwinden	-0,986
Wallsee	-0,619
Ybbs	-0,475
Melk	n/a
Wachau	-0,200
Altenwörth	+ 0,942
Greifenstein	-0,191
Freudenau	n/a
östlich von Wien	n/a

4.6 Bilanzierung, ergänzende Auswertungen und Zusammenschau von Berechnungen und Beobachtungen

4.6.1 Vorbemerkungen

Als letzter Teil der Analysen und Rekonstruktion des Ereignisses wurden die Durchflussdaten von Messungen und 1D-Berechnungen bilanziert und verglichen. Wichtig ist dabei, dass in den Daten der 1D-Berechnung auch gleichzeitig die hydrologischen Ansätze über die Zuflüsse (vgl. Pkt.4.2.2) integriert sind.

Die nachfolgend dargestellten Auswertungen waren eine wesentliche Basis für die gemeinsame Abstimmung der Daten, da sie Anhaltspunkte geben, welche Daten ein konsistentes Bild geben und welche Daten eher als fehlerbehaftet anzusehen sind. In diesem Zusammenhang sei noch einmal erinnert, dass alle Informationen und Werkzeuge Stärken und Schwächen haben können und dass es letztendlich das Ziel war, trotz gegebener Mess- und Modellfehler ein konsistentes Bild über das Ereignis zu geben.

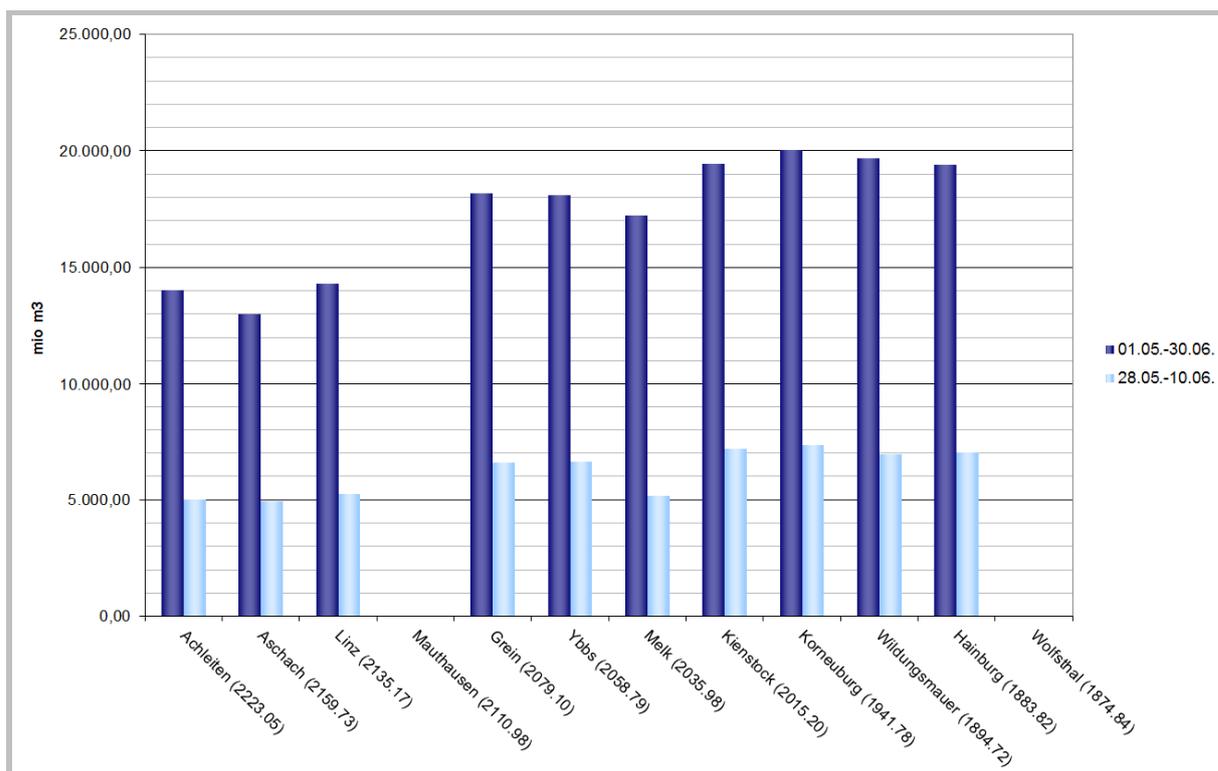
4.6.2 Frachten und Doppelsummenanalysen

Bei der Bilanzierung der Durchflussdaten (Rohdaten) für die wesentlichen Pegel der Donau wurden sowohl die gesamte verfügbare Zeitreihe (01.05.-30.06.2013) als auch der Zeitbereich des Hochwassers (28.05.-10.06.2013) bilanziert³⁷.

Aus der Bilanzierung sind drei wichtige Punkte herauszustreichen:

- Der Vergleich zwischen Achleiten und Aschach zeigt, dass Aschach in Relation zu Achleiten geringere Frachten aufweist. Detailanalysen dazu zeigen, dass sich dies aus den verwendeten Pegelschlüsseln ergibt.
- Die Fracht von Melk ist im Vergleich zu den anderen Durchflüssen zu nieder, wobei sich in diesem Fall das Defizit in Melk durch eine längere Datenlücke in den Ausgangsdaten ergab.
- Von Korneuburg bis Hainburg gibt es einen Rückgang in den Frachten, wobei dieser sich durch die Pegelschlüssel ergibt. Dies erklärt sich insbesondere auch dadurch, dass der Rückgang in den Frachten nicht nur bei der Bilanzierung des Hochwassers, sondern auch bei der Bilanzierung der gesamten Zeitreihe gegeben ist³⁸.

Abb. 4.65 Vergleich der Frachten an den wesentlichen Donauegeln – ermittelt aus Rohdaten



Die Abbildung zeigt die Frachten, welche aus Durchfluss-Rohdaten für die Periode 01.05.-30.06.2013 (dunkelblau) und 28.05.-10.06.2013 (hellblau) ermittelt wurden. Demgegenüber zeigt Abb.4.68 (nächste Seite) die mit dem Modell berechneten Werte.

³⁷ Die Auswahl der Zeitspanne für das Hochwasser ergibt sich daraus, dass die meisten 1D-Simulationen auch für diesen Zeitbereich durchgeführt wurden, weil dieser durch Daten vollständig abgedeckt ist. Aufgrund der Breite der Hochwasserwelle ist zu bedenken, dass das Hochwasser im Osten Österreichs am 10.06.2013 noch nicht vollständig abgeklungen war, so dass sich in der Bilanzierung leichte Einflüsse ergeben können. Diese sind aber für die Gesamtaussagen ohne Bedeutung.

³⁸ Bei einer Beschränkung auf die Welle wären Effekte aus der oben angemerkteten zeitlichen Festlegungen der bilanzierten Zeitspanne besonders zu betrachten.

Die Summenlinien und die Doppelsummenanalysen unterstreichen die Ergebnisse der Bilanzierung, geben aber ein etwas differenzierteres Bild:

Bei den Summenlinien ist z.B. zu erkennen dass, die Summenlinie für Aschach immer unter der Summenlinie für Achsach liegt, was darauf hindeutet, dass der Pegelschlüssel für Aschach bei allen Durchflüssen tendenziell zu niedrige Werte gibt. Umgekehrt zeigt sich, dass die Summenlinie für Korneuburg tendenziell bei Hochwasserereignis einen zu starken Anstieg aufweist, was sich dadurch ergibt, dass der Pegelschlüssel von Korneuburg ab Durchflüssen von ca. 6000m³/s zu hohe Durchflüsse gibt und auch den Einfluss des Betriebs der Neuen Donau nur unzureichend berücksichtigt.

Abb. 4.66 Summenlinien an den wesentlichen Donauegeln

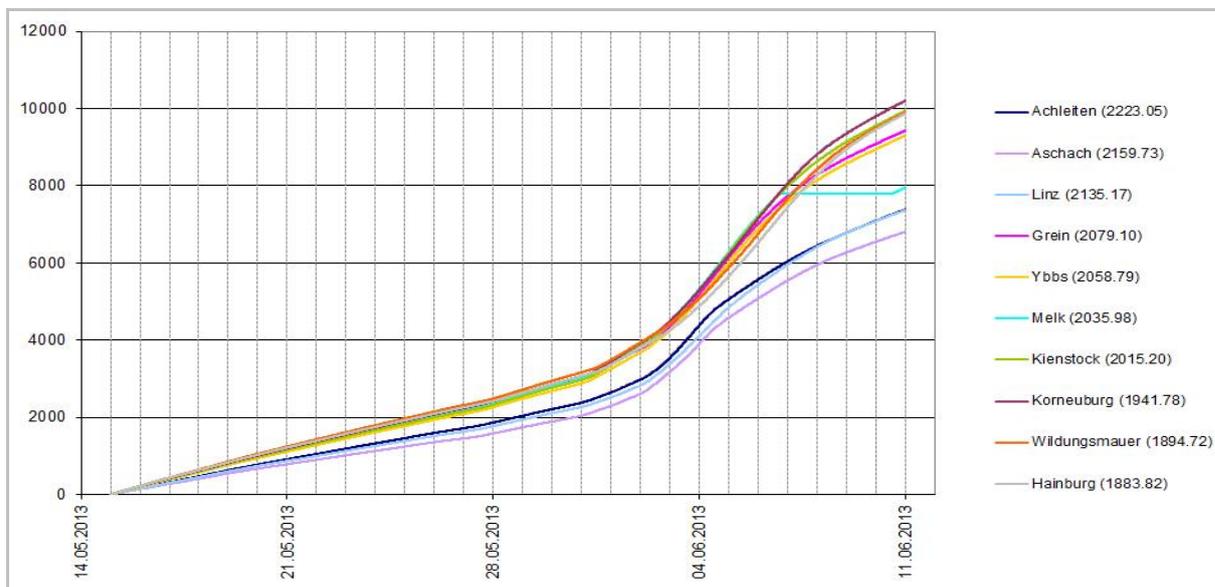
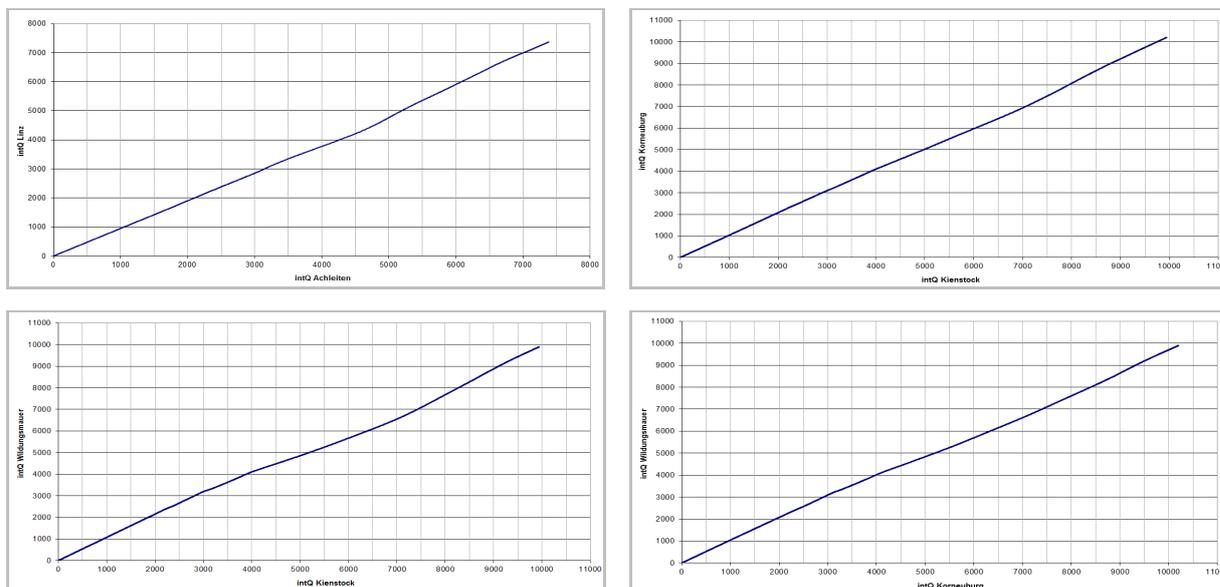
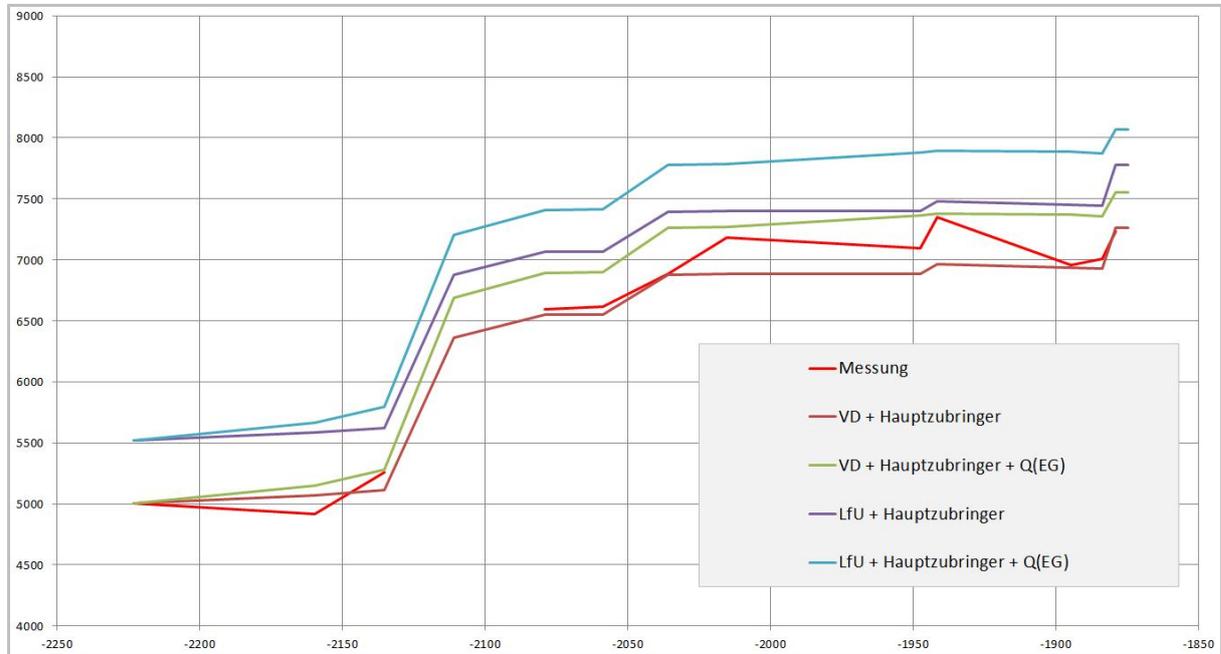


Abb. 4.67 Doppelsummenanalysen für ausgewählte Donauegel:
 Achleiten vs Linz (li oben), Kienstock vs Korneuburg (re oben),
 Kienstock vs Wildungsmauer (li unten) und Korneuburg vs. Wildungsmauer (re unten)



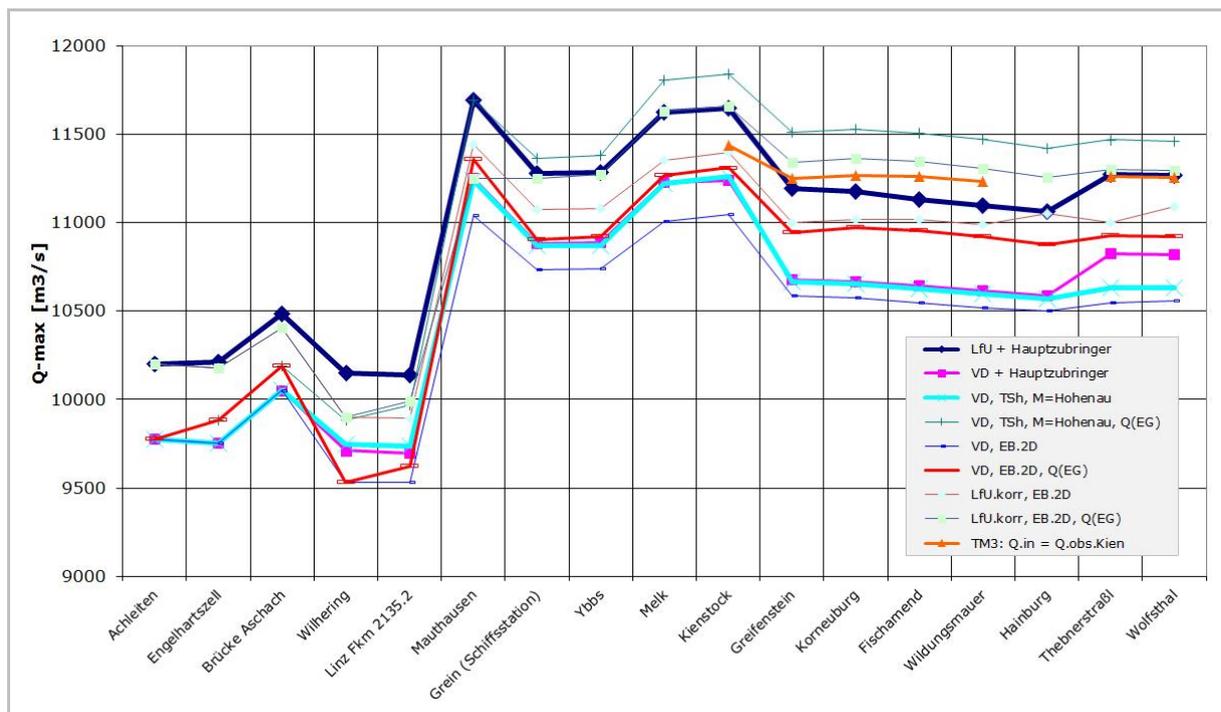
Als Gegenüberstellung zu den Auswertungen der Messwerte der Durchflüsse sind in Abbildung 4.68. und 4.69 aus den 1D-Simulationen Längenschnitte der Frachten und der Maximalwerte dargestellt.

Abb. 4.68 Längenschnitt der Frachten für ausgewählte Modellläufe und Messwerte



Die Abbildung zeigt die aus den Modellrechnungen ermittelten Frachten, wobei die Modellrechnungen die Annahmen für die Zubringer und Zuflüsse widerspiegeln. In grün sind die Frachten dargestellt, die sich für die Zuflussganglinien von via donau (Achleiten), für alle Zubringer laut Daten von HDOÖ und HDNÖ sowie samt Abschätzung der nicht beobachteten Teil-Einzugsgebiete ergibt. Im Vergleich zu den Auswertungen der Simulationen ist in rot die Auswertung für die Q-Messwerte dargestellt (korrespondiert mit den hellblauen Balken in Abb.4.65 auf S.115).

Abb. 4.69 Längenschnitt der Maximalwerte für ausgewählte Modellläufe



5 Maßgebliche Ergebnisse

5.1 Festlegen der konsolidierten Maximal-Durchflüsse

5.1.1 Vorgehensweise

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

Ziel der Festlegung der konsolidierten Maximal-Durchflüsse war, insbesondere auch das Expertenwissen, welches zu den von via donau durchgeführten Messungen sowie zu den eingesetzten Modellen und den getroffenen Annahmen ergibt, einfließen zu lassen.

Entsprechend wurde die Festlegung der konsolidierten Maximal-Durchflüsse von via donau als Hydrografische Behörde für die Donau und PÖRY Energy als Projektbearbeiter durchgeführt³⁹.

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

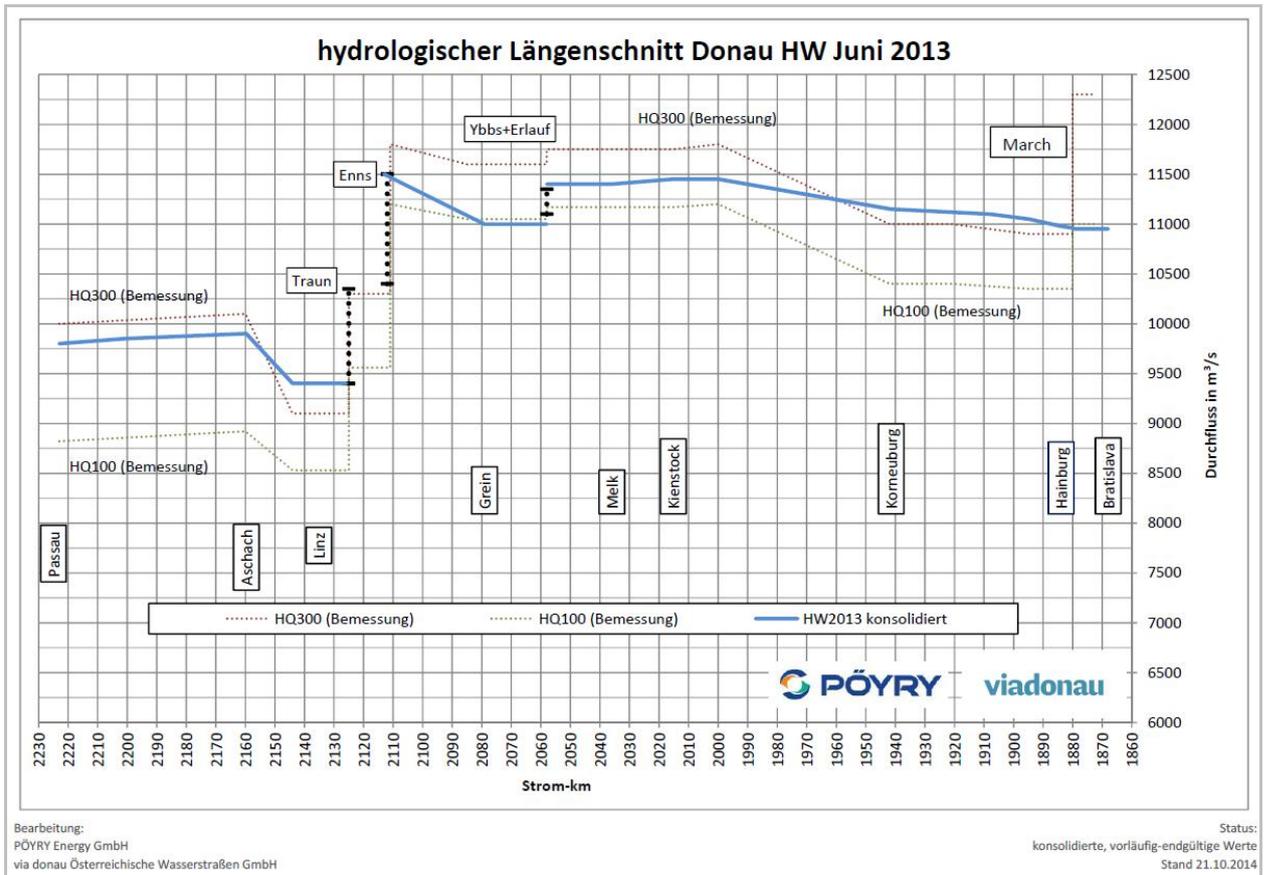
- Die konsolidierten Werte ergeben sich weder direkt aus einem einzelnen Rechenlauf, noch direkt aus den gemessenen Durchflüssen.
- Als maßgeblicher Zufluss oberen Modellrand (Grenze Deutschland-Österreich, Pegel Achleiten) wurden die Durchfluss-Daten von via donau angesehen.
- Für die Zubringer zur 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.

5.1.2 Ergebnis

Der abgestimmte hydrologische Längenschnitt ist in Abb.5.1 dargestellt. Eine Übersicht über die maximalen Durchflüsse an den maßgeblichen Pegeln an der Donau ist in Tab.5.1 gegeben.

³⁹ Die abschließende Abstimmung der Daten erfolgte Ende Jänner d.J. Die Daten wurden in der Folge am 04.02.2014 von via donau publiziert.

Abb. 5.1 Konsolidierte hydrologischer Längenschnitt (Maximale Durchflüsse)



Tab. 5.1 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 2013⁴⁰ für Passau-Ilzstadt mit 10.000 m³/s angegeben. Die detaillierten unabhängigen Analysen auf österreichischer Seite kamen hier auf die gleichen Erkenntnisse und liegen durchaus im Bereich der technisch möglichen Genauigkeit (9800m³/s 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 sind, wurden als abgestimmte Werte bewusst jene Durchflüsse gewählt, die aus Sicht der Modellierung im untersten Bereich der Ergebnisse liegen.
Zentraler Hintergrund hierfür ist, dass die mit dieser Festlegung die Entscheidung bewusst in Richtung mehr Sicherheit bei der Nutzung der Daten gelegt wurde⁴¹. 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 Durchflussmaxima der Donau eingesetzt hat. In diesem Abschnitt sind Unsicherheiten im Bereich 2,5% zu berücksichtigen.
- Insgesamt zeigte sich, dass die bereits im Juli genannten Daten in vielen Bereichen bestätigt werden konnten. Durch die Erhebung und Berücksichtigung aller vorhandenen Grundlageninformationen und Untersuchung aller Widersprüche wurden die Nachforschungen immer wieder vertieft und die Richtigkeit der Daten kann nunmehr durch sehr aufwendige Detailanalysen und Recherchen abgesichert werden.

5.2 Durchflussganglinien

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

⁴⁰ Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU): Junihochwasser 2013 – Wasserwirtschaftlicher Bericht

⁴¹ Wenn als abgestimmte Werte höhere Durchflüsse gewählt worden wären, hätte das die Sicherheit bzw. die Reserven von Hochwasserschutzanlagen dadurch geändert, dass die aufgetretenen Wasserstände eben den höheren Durchflüssen zugeordnet worden wären.

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 „gemessenem“ und berechneten Durchflüssen bestehen, diese erklärbar sind.

Aktuell werden zum Hochwasserereignis von via donau noch neue Pegelschlüssel erstellt, mit welchen auch aktualisierte Q-Ganglinien für das Ereignis berechnet werden. Diese werden die bisherigen „Roh-Durchflussdaten“ ersetzen und werde derzeit von via donau mit dem HZB abgestimmt.

Nachfolgend werden exemplarisch die Durchflussganglinien aus Simulation 31-32 dargestellt. Eine vollständige Darstellung findet sich in Anhang B.

Abb. 5.2 Durchflussganglinien für ausgewählte Pegel (Simulation 31-32)

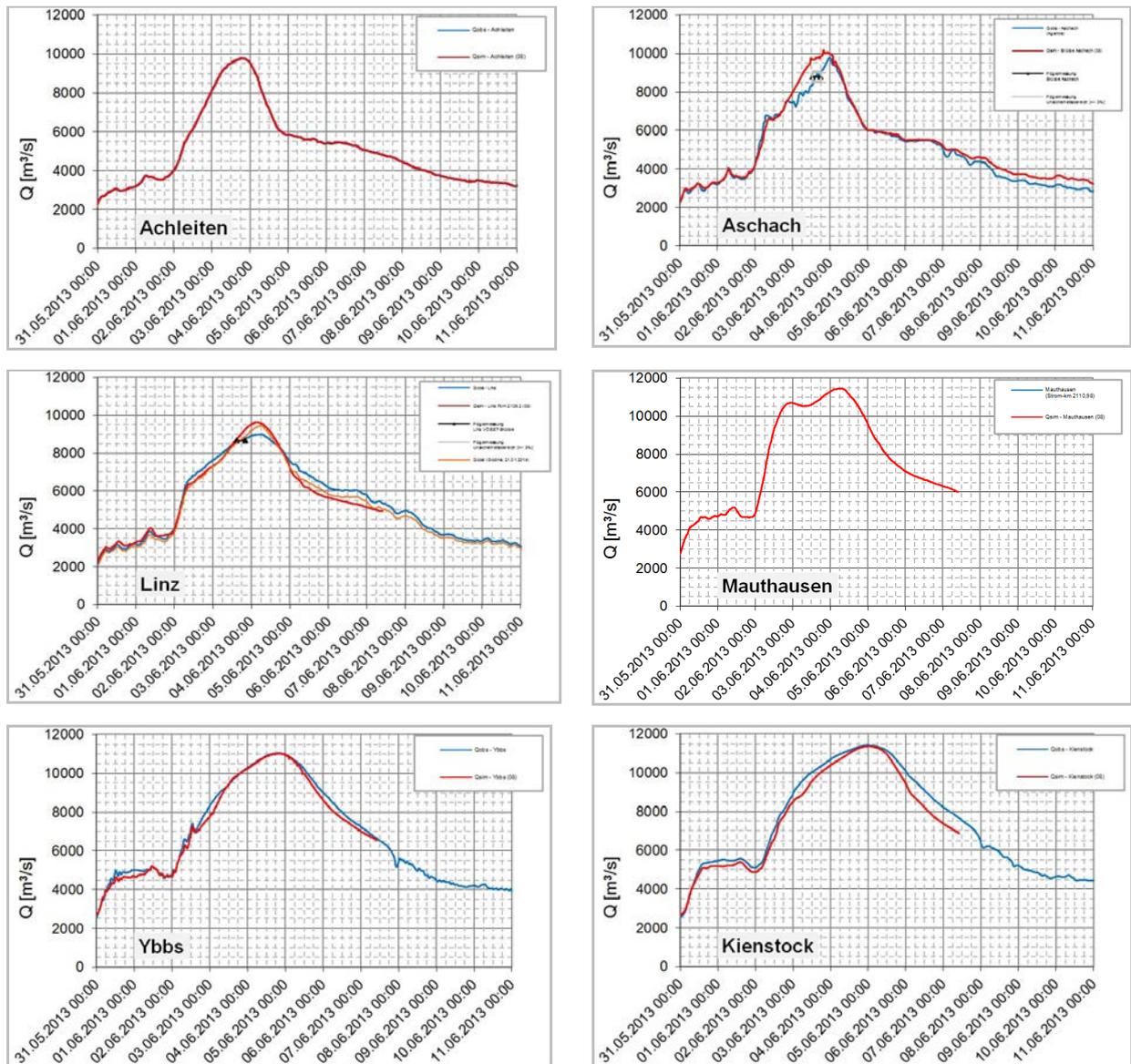
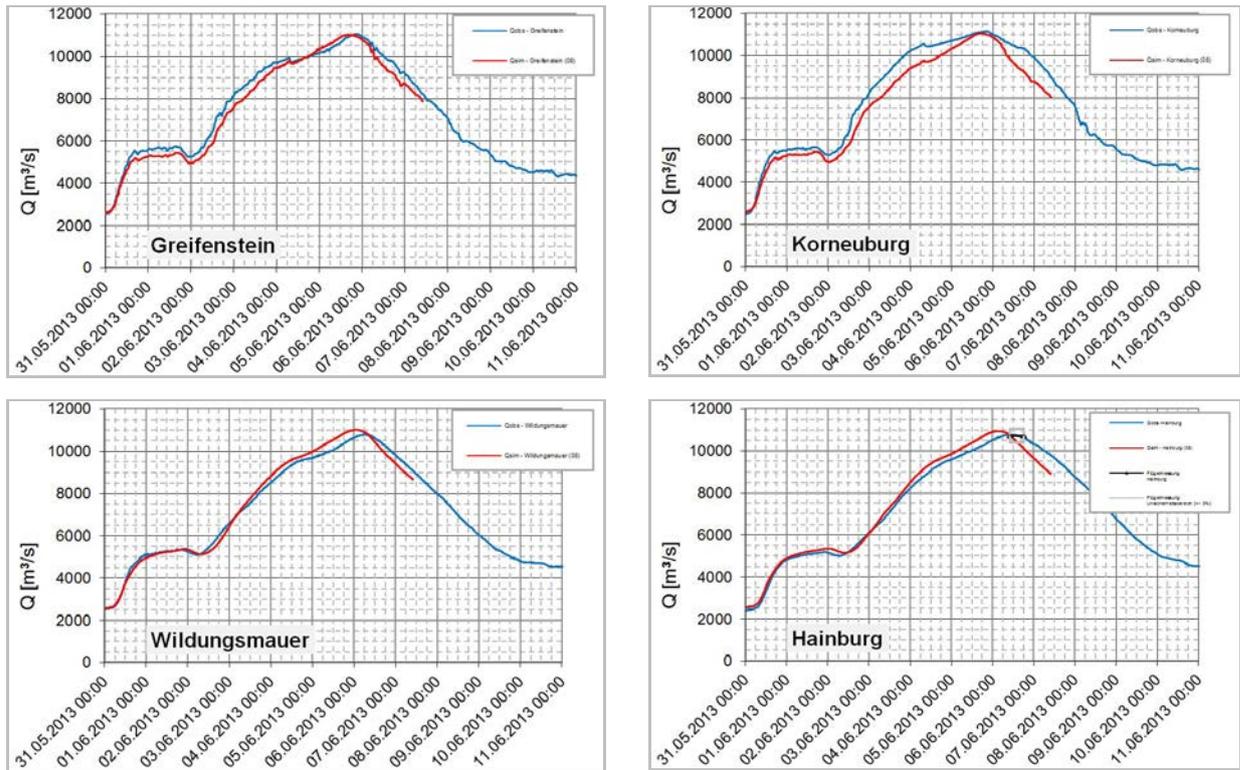


Abb. 5.3 Durchflussganglinien für ausgewählte Pegel – Fortsetzung (Simulation 31-32)



In den Diagrammen stellen in blau die Messwerte und in rot 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. Ganglinien für das gesamte Ereignis werden nach entsprechender Abstimmung mit dem HZB von via donau veröffentlicht werden.

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 primär 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 berechnet⁴².

⁴² Quelle: HZB/DI Godina: informell übermittelter Datensatz (21.01.2014)

6 Zusammenfassende Aussagen zur Frageliste von Land NÖ

6.1 Vorbemerkungen

Als Teil der Beauftragung war seitens des Landes NÖ ein Fragenkatalog formuliert worden, welcher unterschiedlichste Fragen zusammenfasst, welche sich beim oder nach dem Hochwasserereignis ergeben haben (Tab.6.1).

Diese Fragen waren zum einen sehr heterogen, so dass dazu im Juli 2013 festgehalten worden war: *„In Hinblick auf die z.T. sehr unterschiedlichen Fragen ist auch von heterogenen Antworten auszugehen. Vorab sei darauf hingewiesen, dass vereinbarungsgemäß nicht alle Fragen vollständig und detailliert beantwortet werden, sondern dass bei einigen Fragen sehr allgemeine und grundsätzliche Antworten samt allfälligen Verweisen auf frühere Auswertungen und/oder wissenschaftliche Arbeiten zu erwarten sind (z.B. zur Frage des Einflusses der Sedimentablagerungen im Vorland auf die Spiegellagen bei künftigen Hochwässern)“*.

Zum anderen ergaben sich viele Fragen im Zusammenhang mit der Diskussion und Aufarbeitung unmittelbar nach dem Ereignis. Aus diesem Grund war oft eine detaillierte, umfassende Beantwortung gar nicht vorgesehen, sondern es war viel mehr das Ziel, zusammenfassende, grundlegende Antworten und Informationen zur Verfügung zu haben. Dabei bestand das gemeinsame Verständnis, dass sich die Antworten zu vielen Punkten auf „einige Absätze“ oder Kernaussagen beschränken können.

Tab. 6.1 Fragekatalog Land NÖ

▪ Hydrologische Analyse HW2013
▪ Überprüfung der Zubringer aus Bayern (Inn, Donau)
▪ Durchflussrelation Korneuburg – Kienstock – Wildungsmauer
▪ Kraftwerkssteuerungen – Soll-Ist-Vergleich
▪ Verifizierung der Pegelschlüssel <i>unter Berücksichtigung der von via donau im Zuge des Ereignisses durchgeführten Abflussmessungen und deren Extrapolation auf HQ300</i>
▪ Wehrbetriebsordnung der MA45
▪ Berücksichtigung der aktuellen Situation im Wiener Entlastungsgerinne
▪ Überprüfung der hydraulischen Situation beim Zusammenfluss March / Donau unter Bedachtnahme auf den Pegelschlüssel Thebnerstrassl
▪ Auswirkung der umgesetzten HWS-Maßnahmen an der Donau auf die Retention
▪ Auswirkung der Bewirtschaftung (Wald) im Nationalpark
▪ Auswirkungen von HW-relevanten Bauten in der Slowakei (insbesondere Damm für Autobahn von Petralka nach Bratislava) auf HW-Spiegel
▪ Ermittlung Auflandemengen – Einfluss auf Abflusssituation und HW-Spiegel
▪ Überprüfung neue und bestehende HWS-Maßnahmen (Freibord)
▪ Sedimentsituation im VHP-Bereich (Stauräume, Unterwasser)
▪ Geänderte Flussmorphologie <i>u.a. verursacht durch Hochwasserschutzbauten und Überlaufstrecken im Machland</i>
▪ HQ100 Neuberechnung mit neue Sohlaufnahmen

Dem ursprünglichen Ziel, möglichst rasch Antworten zu haben, wurde im Rahmen des Projektes dadurch Rechnung getragen, dass in mehreren Veranstaltungen Zwischenergebnisse präsentiert, und Detailfragen in Form von eigenen Memos beantwortet wurden.

Nachfolgend werden zu allen Fragen die wesentlichen Informationen zusammengefasst. Dem oben angesprochenen heterogenen Charakter entsprechend sind dabei Umfang und Detaillierungsgrad bei den einzelnen Fragen sehr unterschiedlich.

6.2 Überprüfung der Zubringer aus Bayern (Inn, Donau)

Eine Überprüfung und Abstimmung der Daten für Bayern fand durch das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) statt. Diese Arbeiten sind noch nicht vollständig abgeschlossen, da es insbesondere auch zu den Durchflüssen an Salzach und Inn noch offene Fragen und Abstimmungsbedarf gibt.

In Hinblick auf die Analyse und Modellierung an der österreichischen Donau stand die Abstimmung der Durchflussdaten in Passau bzw. Achleiten im Vordergrund um eine – für Österreich – abgestimmte Ausgangsbasis zu haben.

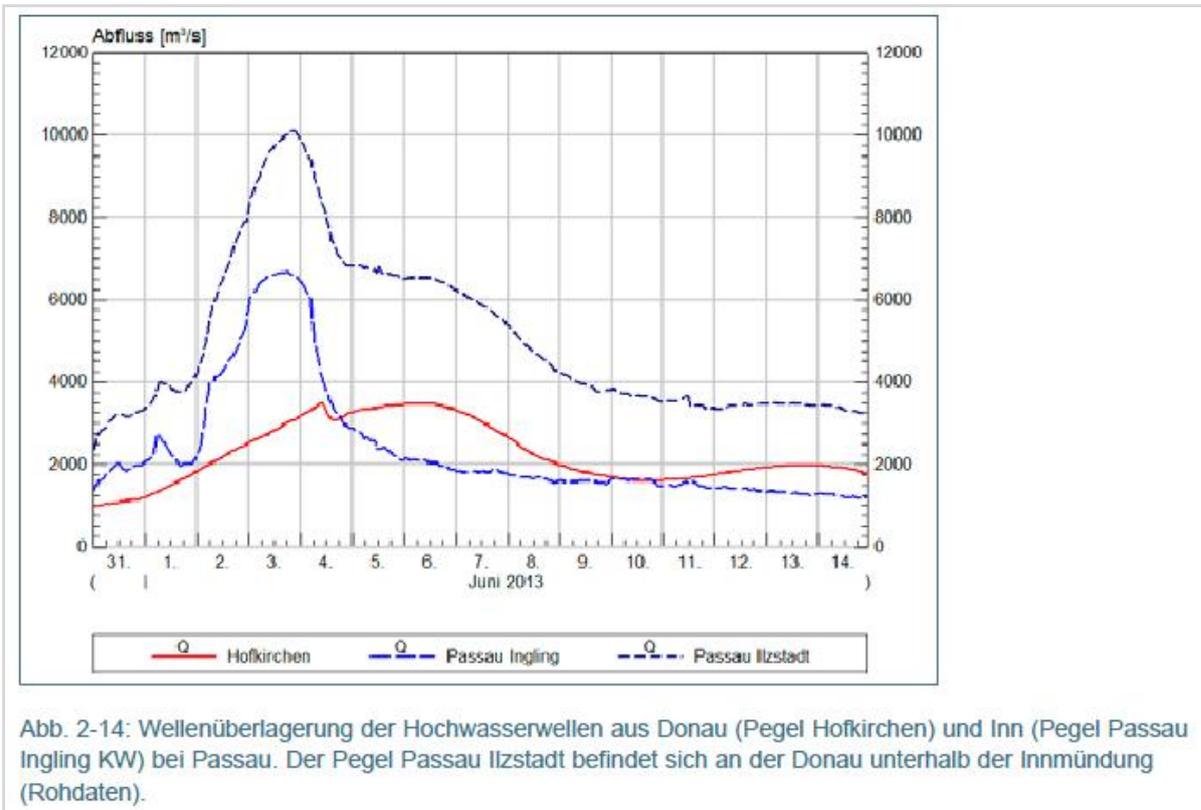
Zu den Daten für Passau und Achleiten lässt sich folgendes zusammenfassen:

- Die Rücksprache mit dem HND⁴³ des LfU ergab, dass es keine spezifischen Analysen und Überlegungen für den Durchfluss in Passau bzw. in Achleiten gibt.
- Insbesondere gab es zur Verwendung des Pegelschlüssels für Achleiten keine spezifischen Gründe⁴⁴:
Der Pegelschlüssel, welcher der Q-Zeitreihe des LfU zugrunde lag, war schlicht jener Pegelschlüssel, der aus Sicht des LfU aktuell war. Die von via donau verwendeten Pegelschlüssel (PS4 und PS5) waren noch nicht verfügbar. Sie wären aber verwendet worden, wenn sie verfügbar gewesen wären.
- Im Hochwasserbericht des HND finden sich keine spezifischen Auswertungen oder Überlegungen zum Pegel Achleiten. Bei den im Bericht dargestellten Daten handelt es sich um Rohdaten, wobei darin die Daten für Hofkirchen, Passau/Ingling und Passau-Ilzstadt noch nicht harmonisiert sind.
- Entsprechend wurden – insbesondere auch aufgrund der vielen Detailanalysen und der Vergleichsrechnungen mit den Q-Zeitreihen von via donau und LfU die Daten von via donau als konsistenter angesehen.

⁴³ Hochwassernachrichtendienst

⁴⁴ Die Q-Zeitreihe des LfU weist für Achleiten einen um ca. 500 m³/s höheren Durchfluss aus, wobei der vom LfU verwendete Pegelschlüssel über den gesamten W-Bereich etwas höhere Q-Werte liefert (vgl. Pkt. 6.2).

Abb. 6.1 Durchflussganglinien Inn und Donau aus dem Hochwasserbericht des HND/LfU



6.3 Durchflussrelation Kienstock – Korneuburg – Wildungsmauer

Zwischen den Durchflüssen in Kienstock, Korneuburg und Wildungsmauer ergaben sich während des Hochwasserereignisses insofern Widersprüche, als im ansteigenden Ast des Hochwassers ab etwa 6000 m³/s in Korneuburg höhere Werte ermittelt wurden, als in Kienstock.

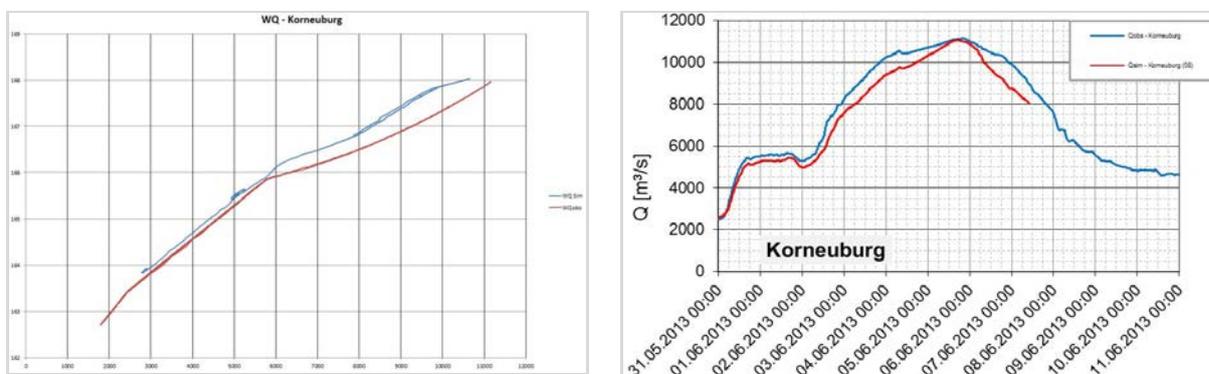
Zu den Durchflüssen an diesen drei Pegeln sind folgende Punkte festzuhalten:

- Am Pegel Korneuburg werden die hydraulischen Verhältnisse durch den von via donau verwendeten Pegelschlüssel nur unzureichend abgebildet, da der Einfluss durch die Steuerung der Neuen Donau zu wenig berücksichtigt wird (Abb.6.2).
- Durch die Unterschiede in den W-Q-Beziehungen liefert der Pegelschlüssel, der beim Hochwasser 2013 verwendet wurde, ab ca. 6000m³/s zu hohe Durchflüsse, wobei die größten Differenzen bei Durchflüssen von etwa 9000 bis 10000m³/s gegeben sind.
- Diese Unterschiede spiegeln sich auch in den Ganglinien klar wieder. Entsprechend wird für den Pegel Korneuburg davon ausgegangen, dass die mit dem 1D-Modell ermittelte Q-Ganglinie die Verhältnisse deutlich besser beschreiben, als die mittels Pegelschlüssel aus W-Messwerten ermittelte Ganglinie.
- Zum Pegel Kienstock ist festzuhalten, dass der Pegel insgesamt etwas zu hohe Durchflusswerte ergibt: Bei der Simulation, bei welcher im 1D-Modell in Kienstock die Messwerte angesetzt wurden ergaben sich ab etwa Korneuburg deutlich zu

hohe Maxima-Durchflüsse, da durch die zu hohen Werte in Kienstock die Welle noch breiter wurde (höhere Fracht) und sich damit die Retention im Tullnerfeld sowie östlich von Wien etwas geringer errechnete, als bei der Welle mit geringeren Durchflüssen (vergleiche dazu Auswertungen und Darstellungen zu Sim.31-12 und Sim.37).

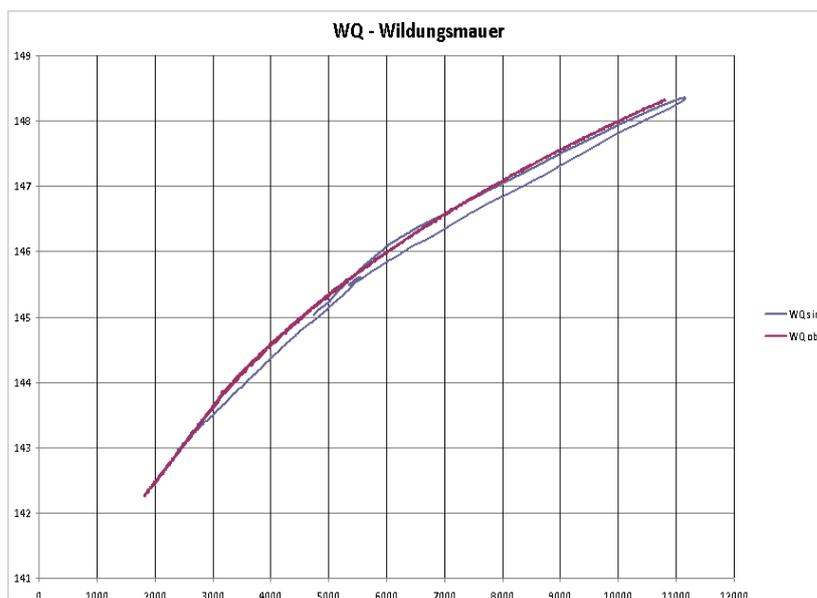
- Bei Pegel Wildungsmauer ist in der Simulation in der W-Q-Beziehung eine deutliche Hysterese zu sehen, welche bei der Verwendung eines konventionellen Pegelschlüssels ebenfalls nicht berücksichtigt wird. Entsprechend ergeben sich auch hier Einflüsse auf den Q-Werte von bis zu ca. 300 m³/s. In Abb.6.3 ist dazu deutlich zu erkennen, dass der den Messwerten zugrunde liegende Pegelschlüssel sich gut mit dem abfallenden Ast der W-Q-Beziehung aus der 1D-Modellierung deckt.

Abb. 6.2 Pegel Korneuburg: W-Q-Beziehungen direkt aus Simulationsläufen und aus den Messdaten der via donau (links) und entsprechende Q-Zeitreihen (rechts)



Bitte beachten Sie: Im linken Diagramm zeigt die blaue Linie die W-Q-Beziehung aus den Modellrechnungen und die rote Linie jene aus den Beobachtungsdaten. Im rechten Diagramm zeigt genau umgekehrt (!!)

Abb. 6.3 Pegel Wildungsmauer: W-Q-Beziehungen direkt aus Simulationsläufen und aus den Messdaten der via donau



6.4 Kraftwerkssteuerungen – Soll-Ist-Vergleich

Der Betrieb der Donaukraftwerke wurde unmittelbar nach dem Ereignis von via donau untersucht und dokumentiert⁴⁵ und in der Folge in einem detaillierten Bericht des Lebensministeriums auch offiziell behandelt⁴⁶.

Aus dem Bericht des Lebensministerium (Autor: MR Flicker) seien folgende Eckpunkte festgehalten⁴⁷:

- KW Jochenstein
Zusammenfassend ist festzustellen, dass die WBO im Wesentlichen eingehalten wurde und die geringe Änderung/Abweichung keine nachteiligen Folgen für den Hochwasserabfluss hatte.
- KW Aschach
Zusammenfassend ist festzustellen, dass es zu deutlichen Abweichungen der KW OW Spiegel kam, die die technische Toleranz bei weitem übertreffen. Merkllich nachteilige Auswirkungen sind dadurch aber nicht aufgetreten.
- KW Ottensheim-Wilhering
Der Wendepiegel Christl wurde auf dem Projekts gemäßen Wert von 265,10 müA +/- 10 cm gehalten bis der OW Spiegel Projekts gemäß auf 263,70 abgesenkt wurde. Die Kraftwerks OW Werte wurden im weiteren Verlauf des Hochwassers bei 263,70 +/- 10 cm gehalten. Ein kurzfristiger Ausreißer von 263,95 am 3.6. ca. 13:00 Uhr ist die Folge der Öffnung der linken Schleuse und derartige Unstetigkeiten sind technisch nicht zu vermeiden und für die Hochwassersituation und den HW-Verlauf im Hinterland ohne Relevanz. Die WBO wurde eingehalten.
- KW Wallsee-Mitterkirchen
Das erste Absenkziel – OW Pegel 239,0 – wurde erreicht bevor der Wendepiegel Au 240,38 überschritten hat. Bei Erreichen des WP Wertes 242,15 wurde das 2. KW OW Absenkziel 238,0 erreicht und in der Folge während des gesamten Hochwassers gehalten. Die WBO wurde eingehalten.
- KW Ybbs-Persenbeug
Bevor der WP Sarmingstein 226,60 überschritt, wurde der KW OW Pegel im maximal möglichen Umfang durch Öffnung aller verfügbaren Öffnungen (ein Wehrfeld war in Revision) abgesenkt. Der Durchfluss war vollkommen freigegeben ab 2.6. 12:38 Uhr. Das war ca. 48 Stunden vor der Hochwasserspitze. Die WBO wurde eingehalten.
- KW Melk
Die Absenkung des KW OW Spiegels auf 212,50 erfolgte entsprechend WBO und es wurde dieser OW-Pegel bis zur vollständigen Freigabe aller Öffnungen (1 Wehrfeld war in Revision) gehalten. Der freie Durchfluss war ab 2.6. 22:00 Uhr d.h. 48 Stunden vor der Hochwasserspitze hergestellt. Die WBO wurde eingehalten.

⁴⁵ Kontrolle des Wehrbetriebs der Kraftwerke an der österr. Donau für das Hochwasserereignis im Juni 2013 (via donau, 10.07.2013)

⁴⁶ Hochwasserbericht über die Einhaltung der Wehrbetriebsordnungen während des Hochwassers vom 30. Mai bis 5. Juni 2013 an der österreichischen Donau (Lebensministerium, 02.09.2013)

⁴⁷ Zitate aus S.6 – S.11

- KW Altenwörth
Bevor der WP Thallern 194,30 überfahren wurde, wurde der KW OW Pegel auf 192,70 abgesenkt. Dieser OW-Pegel wurde während des gesamten Hochwasserereignisses nicht überschritten. Die Absenkung von 192,70 auf 192,40 liegt zwar außerhalb der eingangs erwähnten gültigen WBO, erfolgte aber aufgrund einer temporären Abänderung mit Bescheid des BMLFUW vom 4.6.2013 (Abgehen von der Wehrbetriebsordnung zum Schutz des Polder Theiss). Die WBO wurde eingehalten.
- KW Greifenstein
Der WP Tulln wurde unter 177,80 gehalten, bis alle verfügbaren Wehröffnungen freigegeben waren. Dies geschah am 4.6. 6:15 Uhr (ein Wehrfeld war in Revision). Die WBO wurde eingehalten.
- KW Freudenau
Der KW OW Pegel wurde abgesenkt um den Wendepiegel Floridsdorf und den Wendepiegel Reichsbrücke solange wie möglich zu halten. Ab einer Absenkung des KW OW Pegel auf 160,40 wurde dieser Projekts gemäß während des gesamten Hochwasserverlaufes gehalten mit der technisch erforderlichen Toleranz. Die WBO wurde eingehalten.
- Zusammenfassung
*Die Wehrbetriebsordnungen wurden bei den meisten Kraftwerken vollständig eingehalten, deutliche Abweichungen traten nur beim KW Aschach auf, wobei sich die stark erhöhten OW-Werte nicht nachteilig für die Anrainer und Unterlieger auswirkten.
Im Hinblick auf Schäden an den Kraftwerksanlagen inklusive Rückstaudämmen haben sich die Wehrbetriebsordnungen bewährt.
Die grundsätzliche Abänderung der Wehrbetriebsordnungen im Sinne eines frühzeitigen Legens des Staues am Beginn der Hochwasserwelle wird aus fachlicher Sicht für nicht aussichtsreich gehalten. Dazu ist anzumerken, dass beim Hochwasser im Juni 2013 zahlreich lange vor der HW-Spitze alle Verschlüsse voll geöffnet waren, in diesen Fällen wäre ein „Vorabstau“ gar nicht möglich gewesen bzw. nicht wirksam geworden.*

6.5 Verifizierung der Pegelschlüssel und Extrapolation bis HQ300

Hintergrund dieser Frage sind u.a. die Fragen zur Durchflussrelation Korneuburg-Kienstock-Wildungsmauer und zur hydraulischen Situation bei der March-Mündung (siehe unten).

Zu den Pegelschlüssel ist grundsätzlich festzuhalten, dass bei der Verwendung von Pegelschlüsseln unterschiedliche Zielsetzungen und Anforderungen relevant sind: Während für die Hydrographie ein Pegelschlüssel wichtig ist, der die W-Q-Beziehung im Gesamtkontext gut beschreibt, ist für die Hochwasserprognose die zeitlich bestmögliche Ermittlung von Durchflüssen relevant. Dabei wird naturgemäß auf den ansteigenden Ast eines Hochwassers besonderes Gewicht gelegt, wobei z.B. für die Planung von Aufräumarbeiten auch der absteigende Ast von Bedeutung ist. Bei der Hochwasserprognose ist zusätzlich von Bedeutung, dass ungünstige W-Q-Beziehungen sich bei der Nachführung besonders ungünstig wirken und dass dabei z.B. ein Rückgang

der Durchflüsse suggeriert werden kann, obwohl die Roh-Simulationen noch einen Anstieg der Durchflüsse zeigt.

Aus den Simulationen und deren Auswertungen sind die dynamischen Effekte in der W-Q-Beziehung gut erkennbar (Abb.6.4). Die Erkenntnisse lassen sich grundsätzlich auch für die Hochwasserprognose nutzen, wobei eine detaillierte Berücksichtigung nur bei der Verwendung mehrere Pegelschlüssel möglich ist, zwischen welchen im an- und absteigenden Ast gewechselt wird. Da dies im Übergangsbereich aber zu Unstetigkeiten führen kann, ist zu überlegen, sich (a) auf den aufsteigenden Ast zu konzentrieren oder (b) die W- und Q-Werte verstärkt direkt aus den Modellrechnungen zu übernehmen und auf die Verwendung von Pegelschlüsseln so weit wie möglich zu verzichten.

Ungeachtet dieser methodischen Detailüberlegungen wurden in einem ersten Schritt W-Q-Beziehungen für die Hochwasserprognose berechnet, welche – wie oben beschrieben – für die Verwendung im ansteigenden Ast optimiert sind. Für die Berechnung der WQ-Beziehungen wurden die Durchflussdaten des Ereignisses vom Juni 2013 so skaliert, dass entlang der gesamten Donau mindestens HQ300 auftritt (bezogen auf HQ_{300, BEMESSUNG} von via donau). Diese Pegelschlüssel werden direkt als ASCII-Tabellen an BD3 übermittelt.

In Hinblick auf die erkannten Fragen zu den Stromgrunddaten ist wichtig, die derzeit erstellten W-Q-Beziehungen als Provisorium zu sehen. Nach einer Überarbeitung des Modells sollten neue W-Q-Beziehungen erstellt werden.

Abb. 6.4 W-Q-Beziehungen aus der 1D-Simulation (Sim 31-37) und von der Auswertung der Rohdaten von via donau für ausgewählte Pegel

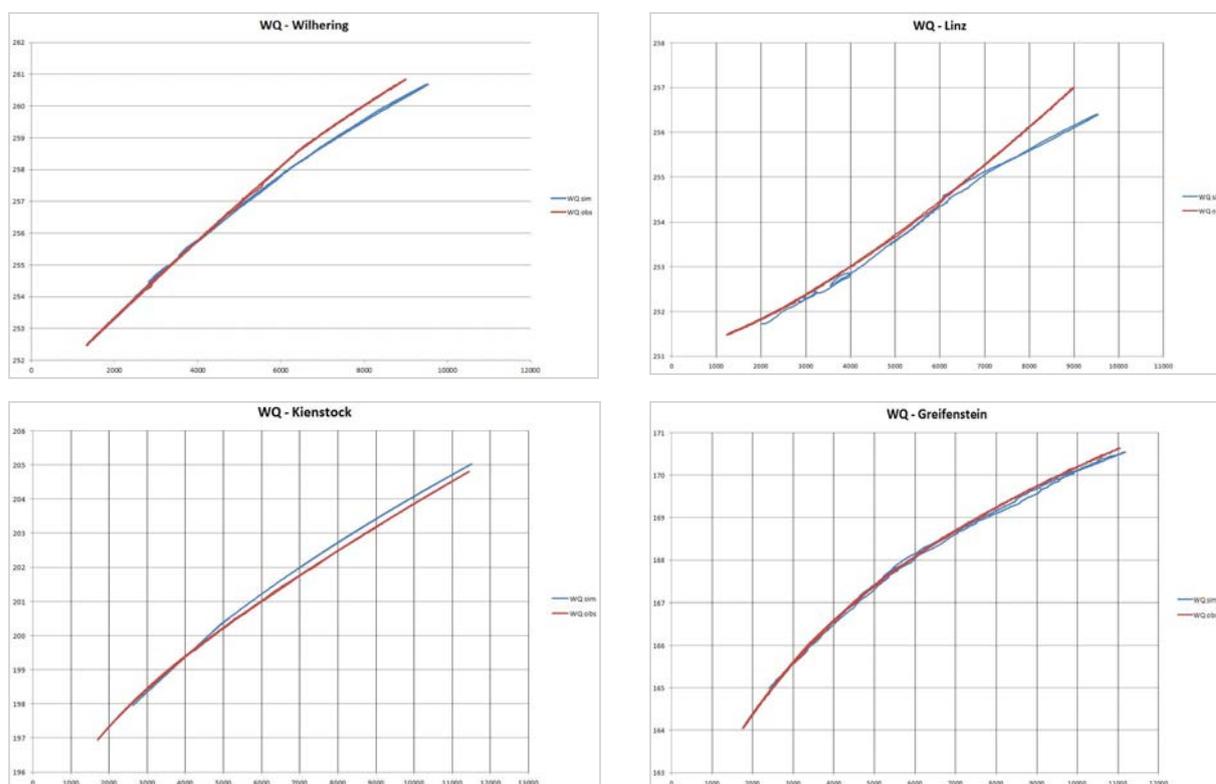
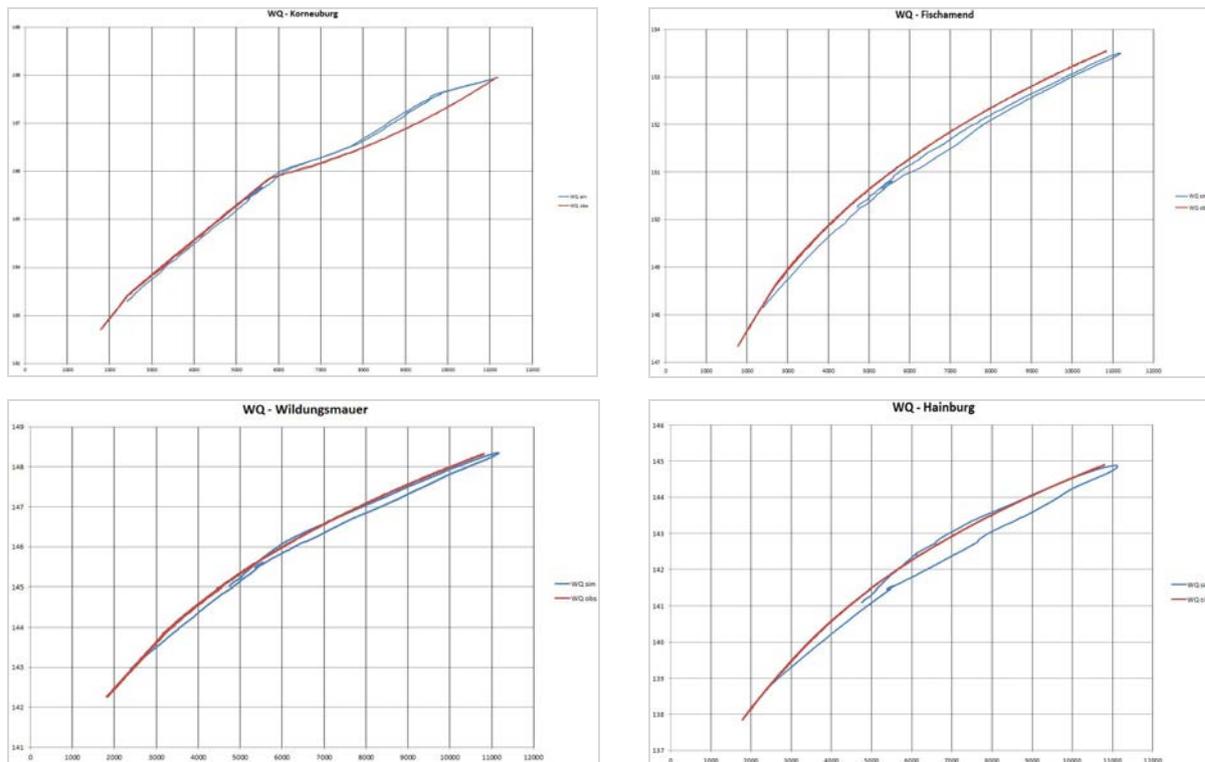


Abb. 6.5 W-Q-Beziehungen aus der 1D-Simulation (Sim 31-37) und von der Auswertung der Rohdaten von via donau für ausgewählte Pegel - Fortsetzung



6.6 Wehrbetriebsordnung der MA45 - Berücksichtigung der aktuellen Situation im Wiener Entlastungsgerinne

Im Zusammenhang mit dem Betrieb des Wiener Entlastungsgerinnes („Neue Donau“) haben sich im Verlauf der Diskussionen drei Fragestellungen ergeben:

- (1) Klärung von Widersprüchen in Rohdaten (Zeitversatz)
- (2) Die Frage nach den Möglichkeiten bei der Dotation der Neuen Donau
- (3) Die Frage nach der bestmöglichen Abbildung des Wehrbetriebs im Prognosesystem

ad (1) Klärung von Widersprüchen in Rohdaten

Von BD3/HDNÖ war in den Rohdaten vom Ereignis zwischen zwei unterschiedlichen Datenquellen ein Zeitversatz von etwa einer Stunde aufgefallen.

In den Gesprächen mit MA45 konnte dazu geklärt werden, dass sich der Versatz (Verzug) in den Daten der MA45 durch die Arbeitsweise bei der Betriebsführung erklärt. Die Angaben des Durchflusses stammen nicht unmittelbar von einer Messwerterfassung, sondern sie werden vom Betriebsführer manuell eingegeben. Die Eingabe erfolgt dabei immer erst dann, wenn sich nach einer Änderung der Wehrstellung wieder stationäre Verhältnisse eingestellt haben.

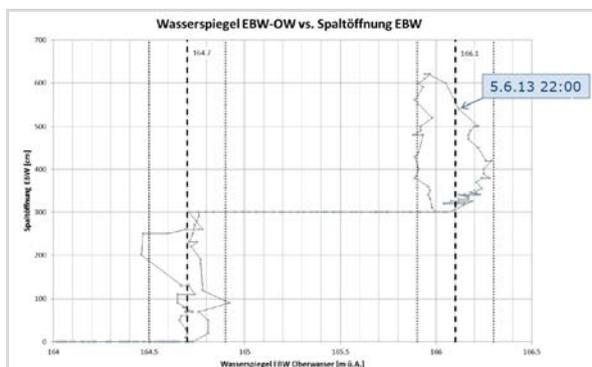
ad (2) Möglichkeiten bei der Dotation der Neuen Donau

Nach dem Hochwasserereignis hat sich die Frage ergeben, ob die Betriebsordnung für die Neue Donau einen Spielraum für die einzustellenden Wasserstände lässt und – falls ja – ob dieser Spielraum genutzt werden könnte, um die eine Entlastung bei den NÖ Gemeinden (Klosterneuburg, Korneuburg) zu schaffen.

In der Diskussion mit MA45 ergab sich, dass die BO für die Neue Donau keinen Spielraum für die einzustellenden Wasserstände lässt und dass auch die derzeitigen Vorgaben nur mit größter Umsicht und Erfahrung umgesetzt werden kann.

Die derzeit gegebene Toleranz von +/- 20 cm lässt z.B. keine Möglichkeit, den Wasserstand gezielt am unteren Bereich der Toleranz zu halten. Die Erfahrungen zeigen, dass aufgrund der Dynamik, der Strömung und der großen Turbulenzen selbst das Einhalten der +/- 20 cm nur schwer möglich ist (vgl. Abb.6.6).

Abb. 6.6 Einlaufbauwerk Neue Donau: Wasserstände im Toleranzbereich der BO (links) und Situation am Einlaufbauwerk (rechts)



ad (3) Bestmögliche Abbildung des Wehrbetriebs im Prognosesystem

Diese Frage ist im Zusammenhang mit Frage (2) zu sehen, wobei – im Falle eines Spielraums bei der Umsetzung der BO – die Frage war, wie diesem Spielraum Rechnung getragen werden kann.

Aus der Diskussion hat sich klar ergeben, dass es (a) keinen explizit nutzbaren Spielraum gibt und dass es (b) nicht in einer nutzbaren Form vorhersehbar ist, wann sich der Wasserstand im oberen oder im unteren Bereich des Toleranzbereiches einstellt.

Aus diesem Grund ist die Form, wie die BO derzeit im Prognosesystem hinterlegt ist, die bestmögliche und es gibt keinen Handlungsbedarf. Insbesondere trägt auch die Abbildung eines „mittleren Erwartungswertes“ dem realen Verhalten am besten Rechnung da im Betrieb angestrebt wird, sich möglichst in der Mitte des gegebenen Toleranzbereiches zu bewegen.

6.7 Überprüfung der hydraulischen Situation beim Zusammenfluss March / Donau unter Bedachtnahme auf den Pegelschlüssel Thebnerstrassl

Die Überprüfung der hydraulischen Situation beim Zusammenfluss von March und Donau steht im Zusammenhang mit inkohärent wahrgenommenen Daten während des Hochwasserereignisses. Diese Wahrnehmungen betrafen aus Sicht die Onlinedaten des

Pegels Thebnerstrassl und aus Sicht von via donau die Durchflussprognosen für den Bereich östlich von Wien.

Ohne auf die genauen Wahrnehmungen einzugehen, wurden daher für den Zusammenfluss March/Donau die Berechnungen und Auswertungen analysiert, wobei sich dazu folgende Eckpunkte zusammenfassen lassen:

- Aus Sicht der Modellierung lassen sich die hydraulischen Vorgänge gut erfassen und es gibt keine Punkte die unklar wirken.
- Durch die Tatsache, dass im hydrodynamischen Modell der Donau auch die gesamte March im Detail abgebildet wird, wird auch die Retention des Donauhochwassers in der March gut erfasst⁴⁸.
- Bis zum Scheitel des Hochwassers in der Donau kam es durchgehend zu einem Abfluss von Donauwasser in die March und damit zu „negative Durchflüsse“ in der March.
- Entsprechend hat die March den maximalen Durchfluss in der Donau nicht erhöht, aber die hohen Durchflüsse in der Donau zeitlich verlängert.
- Bei einem Zufluss von ca.200 m³/s in der March in Hohenau ergaben sich als Beitrag aus der March bis ca. 750 m³/s im abklingenden Ast der Donauwelle. Dieser Beitrag ergibt sich durch das Rückströmen des in der March retendierten Donauwassers.
- Aus der Modellrechnung ergibt sich für den Pegel Thebnerstrassl eine relativ geringe Hysterese.
In Hinblick auf die extrem starke Hysterese am Pegel Hainburg sollte dazu geprüft werden, wie weit die Modellergebnisse am Pegel Thebnerstrassl durch die Randbedingung am unteren Modellrand (W-Q-Beziehung) beeinflusst wird⁴⁹.
- Umgekehrt fällt auf, dass die Wasserstände in der March im 1D-Modell sehr gut reproduziert werden, so dass a priori keine grundsätzlichen Probleme bei der Nachbildung der hydraulischen Verhältnisse erkennbar sind.
- Eine Angabe von Durchflussdaten, die am Pegel Angern aus W-Daten mittels Pegelschlüssel ermittelt werden, ist grundsätzlich bei derartigen Hochwassersituationen unmöglich.

⁴⁸ Durch die Tatsache, dass Donauhochwässer auch das Flussbett der March füllen und dass dabei große Mengen von Donauwasser in die March strömen, wirkte die March beim Ereignis im Juni 2013 mit einem Retentionsvolumen von ca. 50-60 Mio m³/s.

⁴⁹ Durch die Vorgabe einer W-Q-Beziehung sind Hysterese-Effekte explizit ausgeschlossen. Um die oben angedachte mögliche Beeinflussung zu untersuchen, müsste das 1D-Modell bis in den Bereich von Bratislava verlängert werden, wobei diese Verlängerung auch für andere Fragestellungen (z.B. Einfluss der HWS-Bauten in Bratislava) interessant wäre.

Abb. 6.7 Gemeinsame Abbildung von Donau und March im 1D-Modell (TM3)

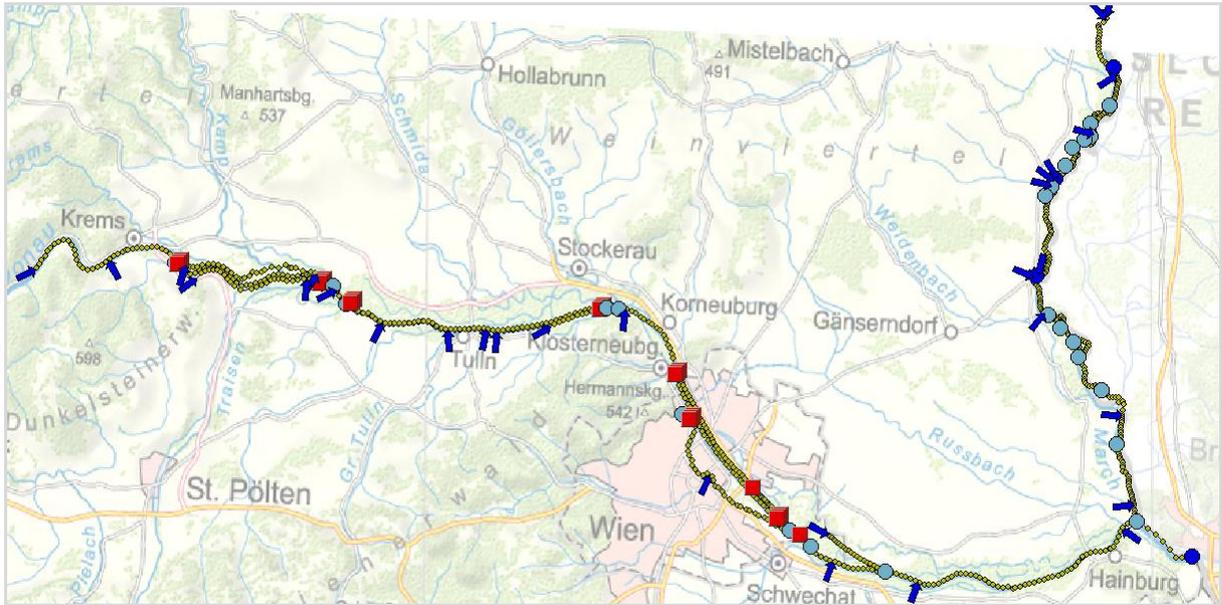
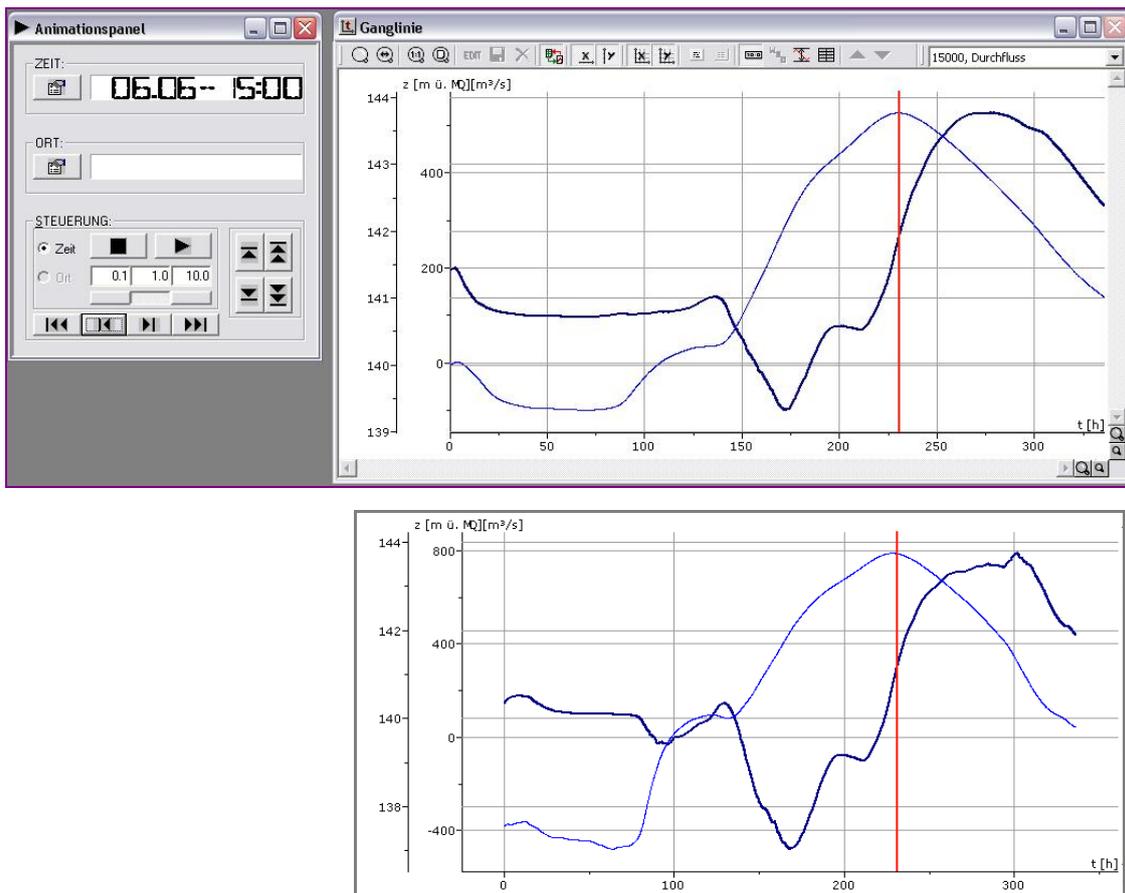
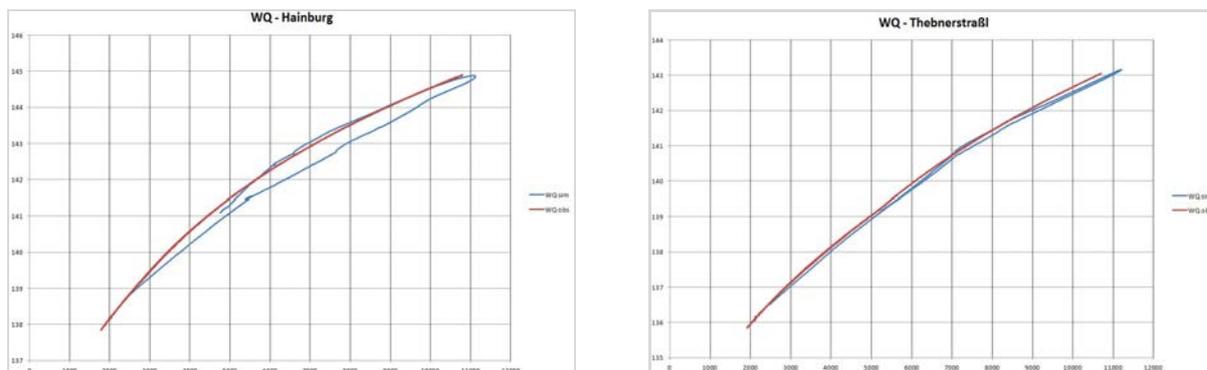


Abb. 6.8 Durchflüsse in der March: km 15.0 (oben) und direkt bei der Mündung in die Donau (unten)



Die Abbildungen zeigen als Zeitreihe den Wasserstand in der Donau (dünne hellblaue Linie) und den Durchfluss in der March (dicke dunkelblaue Linie). Zu erkennen ist, dass bei der Mündung in die Donau der „Abfluss“ in die March bis zu ca. 450 m³/s beträgt (etwa t=130) und dass im abklingenden Ast aus der March bis zu ca. 750m³/s in die Donau strömen (etwa ab t=260).

Abb. 6.9 Rechnerische W-Q-Beziehung in Hainburg (links) und Thebnerstrassl (rechts)



6.8 Auswirkungen der umgesetzten HWS-Maßnahmen an der Donau

Zur Frage der Auswirkungen von umgesetzten HWS-Anlagen an der Donau sind grundsätzlich zwei Themenbereiche zu unterscheiden, nämlich (a) die lokalen Auswirkungen auf Wasserstände und (b) die überregionalen Auswirkungen auf das Abflussverhalten und die Veränderung der Durchflussganglinien.

In den Besprechungen im Rahmen des Projektes wurde dazu seitens des Landes NÖ konkretisiert, dass die Frage hier nur auf Punkt (b), und dabei insbesondere auf die Auswirkungen der HWS-Anlagen in der Wachau auf die Unterlieger abzielt. Kernpunkt ist dabei die Frage, ob durch die Errichtung der HWS-Anlagen relevante Retentionsräume verloren gegangen sind.

Die Frage der Wirkung der Retentionsräume und der unterschiedlichen Abschnitte an der Donau wurde im Jahr 2010 durch eine detaillierte Studie in Kooperation von Universität für Bodenkultur und SCIETEC Flussmanagement untersucht⁵⁰.

In dieser Studie wurden festgestellt, dass sich durch die Hochwasserschutzbauten in der Wachau keine negative Auswirkung auf das Abflussverhalten in der Donau ergeben hat⁵¹.

Eine im Rahmen der Studie durchgeführte Analyse, welche den Einfluss der Hochwasserschutzbauten in der Wachau im Detail untersucht, wird nachfolgend zusammenfassen beschrieben:

Bei der Analyse wurden zwei Extrem-Varianten miteinander verglichen, nämlich (1) die Wachau ohne jede Hochwasserschutz-Anlage und (2) die Wachau mit allen geplanten - und zum Teil bereits umgesetzten - Hochwasserschutz-Anlagen.

⁵⁰ Retentionsraumanalysen an der österreichischen Donau (BOKU/IWHW & SCIETEC, 2010)

⁵¹ „Keine“ bezeichnet damit keine „in irgendeiner Weise relevante“ Auswirkung: Die Auswirkung ist rechnerisch für spezifische Annahmen nachweisbar, liegt dann aber im Bereich von wenigen cm bzw. wenigen m³/s.

Abb.6.10: Untersuchung der überregionalen Auswirkungen der HWS-Anlagen in der Wachau



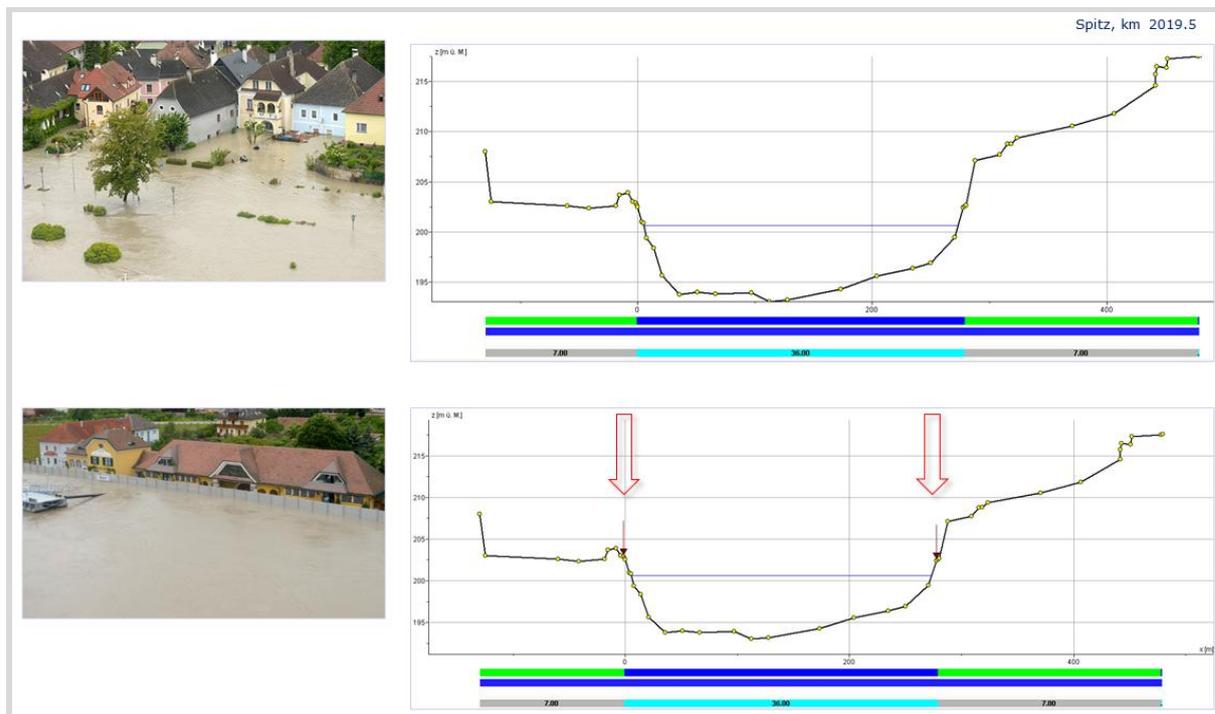
Die Berechnungen erfolgen grundsätzlich mit identen Modellen und – in Hinblick auf Geometrien und Rauigkeiten - identen Querprofilen.

Der einzige Unterschied zwischen den Modellversionen ist, dass bei Variante 2 in allen Bereichen, in welchen Hochwasser-Schutzanlagen realisiert oder geplant sind, die hydraulische Grenze direkt an die Enden der Donau-Ufer gesetzt werden: Die hydraulischen Grenzen definieren im Modell das Ende der benetzten/durchströmten Bereiche und repräsentieren damit im Modell eine senkrechte Wand (Abb.6.11).

Da diese Grenzen immer direkt an der Donau angeordnet wurden, repräsentieren sie etwas massivere Eingriffe, als sie durch die Hochwasserschutz-Anlagen in der Realität gegeben sind⁵².

⁵² Die Hochwasserschutzanlagen in der Realität sind zum Teil von der Donau stärker abgesetzt. Darüber hinaus wurden in den Vergleichsrechnungen die durch die hydraulischen Grenzen abgebildeten HWS-Anlagen jeweils mit einer etwas längeren Ausdehnung angeordnet, als sie die realen HWS-Anlagen haben.

Abb.6.11: Querprofile aus Vergleichsrechnung ohne und mit HWS-Anlagen (exemplarisches Profil 2019.5 bei Spitz an der Donau)



Die schematische Abbildung wurde direkt aus den hydrodynamischen Modell entnommen, wobei das obere Querprofil die Situation ohne HWS-Anlagen zeigt. Im unteren Querprofil sind die roten Pfeile erkennbar, welche die Lage der hydraulischen Grenze anzeigen. Diese Grenzen definieren, dass die Bereiche außerhalb weder benetzt noch durchströmt sind. Die hydraulischen Grenzen repräsentieren im Modell daher senkrechte Mauern. Die Fotos neben den Querprofilen sind Symbolfotos zur Verdeutlichung der Verhältnisse, welche in den Profilen abgebildet werden.

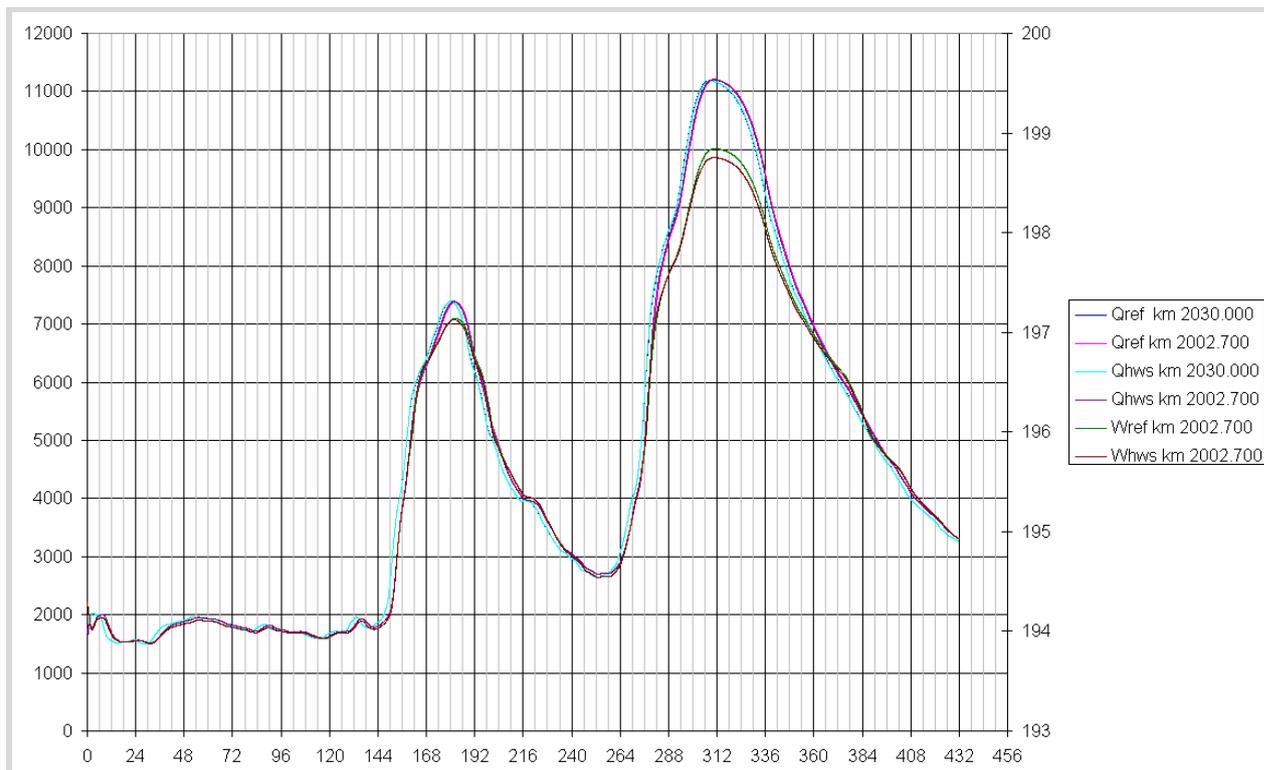
Die Vergleichsrechnung erfolgten mit den Durchflussdaten des Hochwassers vom August 2002. Diese Daten wurden bewusst gewählt, weil das Ereignis im Vergleich zum Juni 2013 eine weniger breite Hochwasserwelle hatte und weil damit der Einfluss der HWS-Anlagen stärker ist, als er im Juni 2013 gewesen ist⁵³.

In Abbildung 6.12 sind die Durchflussganglinien für km 2030.00 (5 km unterhalb von Melk; Beginn der Wachau) und für km 2002.70 (Pegel Stein-Krems) jeweils für beide berechneten Varianten dargestellt⁵⁴. Dabei ist augenfällig, dass sich die Ganglinien so stark überdecken, dass zum einen kaum eine Unterscheidung möglich ist und damit zum anderen klar ist, dass es kaum Verschiebungen oder Unterschiede gibt.

⁵³ Der geringere Einfluss beim Ereignis vom Juni 2013 ergibt sich dadurch, dass durch die breitere Welle insgesamt eine geringere Retentionswirkung gegeben war, als beim Ereignis vom August 2002. Entsprechend ist auch die Wirkung durch den Wegfall von Retentionsflächen in der Wachau beim Ereignis 08/2002 etwas stärker als bei 06/2013.

⁵⁴ Zusätzlich sind für beide Varianten die Wasserstände im Profil 2002.70 dargestellt, wobei diese in Hinblick auf die Analyse von überregionalen Effekte hier keine Bedeutung haben.

Abb.6.12: Durchflussganglinien für Vergleichsrechnungen mit den Hochwasserdaten von 08/2002, jeweils für Variante ohne und mit HWS-Anlagen



Zur Verdeutlichung der Effekte zeigt Abbildung 6.13 die gleichen Daten wie Abb.6.12, aber für den Zeitraum der Hochwasserscheitel, d.h. für einen Ausschnitt von 20 Stunden. In der Abbildung ist zum einen erkennbar, dass sich die Ganglinien beider Varianten bei km 2030.00 exakt überdecken, was sich daraus ergibt, dass ja idente Zuflüsse verwendet wurden und dass Änderungen nur im Bereich der Wachau, d.h. unterhalb von km 2030.00 erfolgt sind⁵⁵.

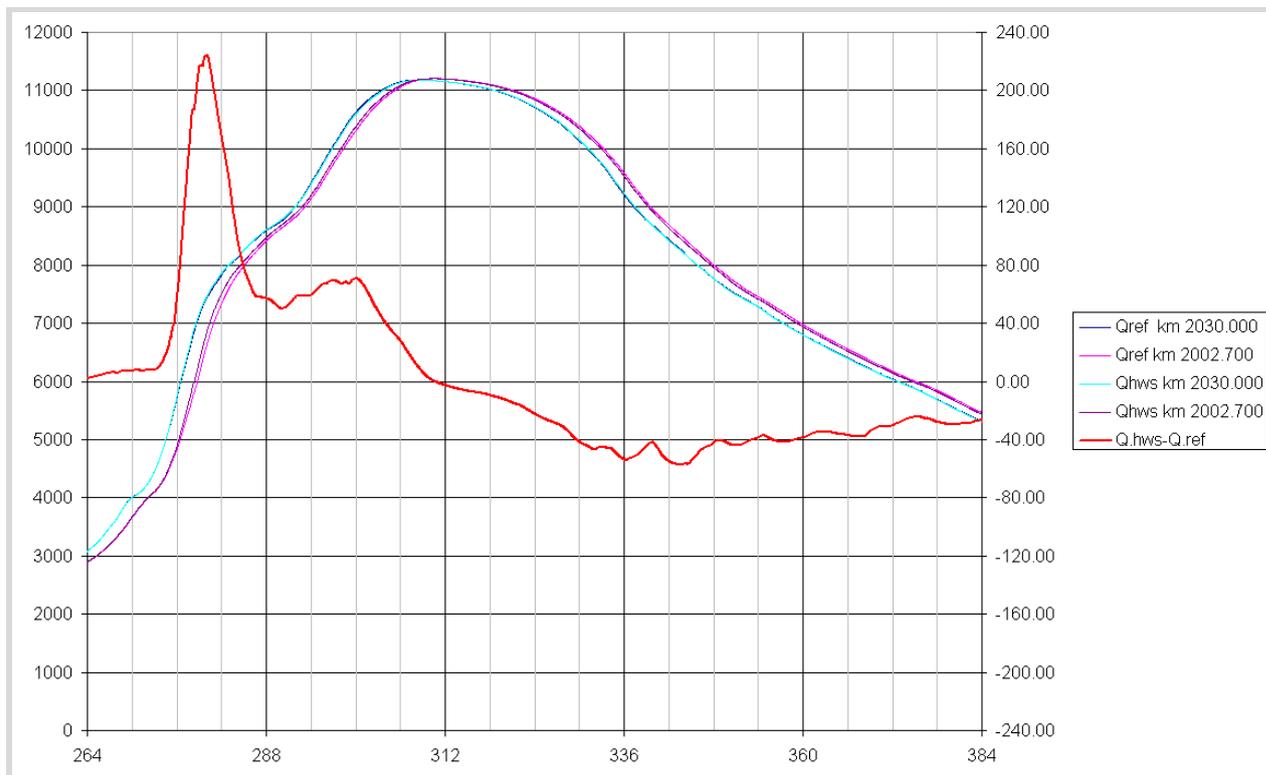
Ebenfalls erkennbar ist, dass es in den Durchflusszeitreihen für km 2002.700 leichte Unterschiede im ansteigenden Ast gibt, dass sich die Ganglinien im Bereich der höheren Durchflüsse und des Scheitels aber de facto überdecken.

Die genaue Differenz zwischen den Ganglinien für die Simulation ohne und mit HWS-Anlagen ist in Abb.6.13 durch die rote Ganglinie dargestellt, welche – in Ergänzung zu den Durchflussganglinien – die Differenz zwischen den Durchflussganglinien ohne und mit HWS-Anlagen darstellt.

Aus dieser roten Linie ist erkennbar, dass der maximale Einfluss aller HWS-Anlagen bei Verhältnissen, wie sie 08/2002 waren, etwa 230 m³/s betragen würde (rechte Q-Achse in der Grafik), dass dieser maximale Einfluss aber im ansteigenden Ast bei Durchflüssen von etwa 7.000 m³/s auftritt. Bei höheren Durchflüssen ist der Einfluss geringer und liegt bei den höchsten Durchflüssen im Bereich von +/- 40m³/s, was etwa 0.3% des Durchflusses entspricht.

⁵⁵ Die sich überdeckenden Linien bei km 2030.00 sind demnach der Nachweis für idente Eingangsdaten.

Abb.6.13: Detail bzw. Ausschnitt aus den Durchflussganglinien für die Vergleichsrechnungen mit den Hochwasserdaten von 08/2002, jeweils für Variante ohne und mit HWS-Anlagen



Die Tatsache, dass die HWS-Anlagen nur so einen geringen Einfluss haben, erklärt sich aus zwei Gründen:

- (a) Zum einen ist von Bedeutung, dass der Durchfluss in der Donau sich auch bei Hochwasser auf den Stromschlauch konzentriert. Abbildung 6.14 zeigt dazu exemplarisch für ein Querprofil die Geometrie sowie die Verteilung der Fließgeschwindigkeiten. Klar ist erkennbar, dass die Fließgeschwindigkeiten im Bereich des Stromschlauchs um einen Faktor 10-15 höher sind, als in den Vorländern.
 In Verbindung mit den in den Vorländern geringeren Wassertiefen ergibt sich, dass ein – teilweises oder vollständiges - Abschneiden der Vorländer sich deutlich weniger auswirkt als z.B. einen Einengung des Flussschlauches es tun würde.
- (b) Zum anderen ist wichtig, dass die HWS-Anlagen in Hinblick auf die gesamte Donau eine relativ geringe Längsausdehnung haben und - bewusst und gezielt - nur geringe Anteile der benetzten Flächen und Volumina beanspruchen (vgl. Abb.6.15).

Abb.6.14: Querprofil der Donau mit Darstellung der auftretenden Fließgeschwindigkeiten (exemplarisch von 2D-Berechnungen für das Machland)

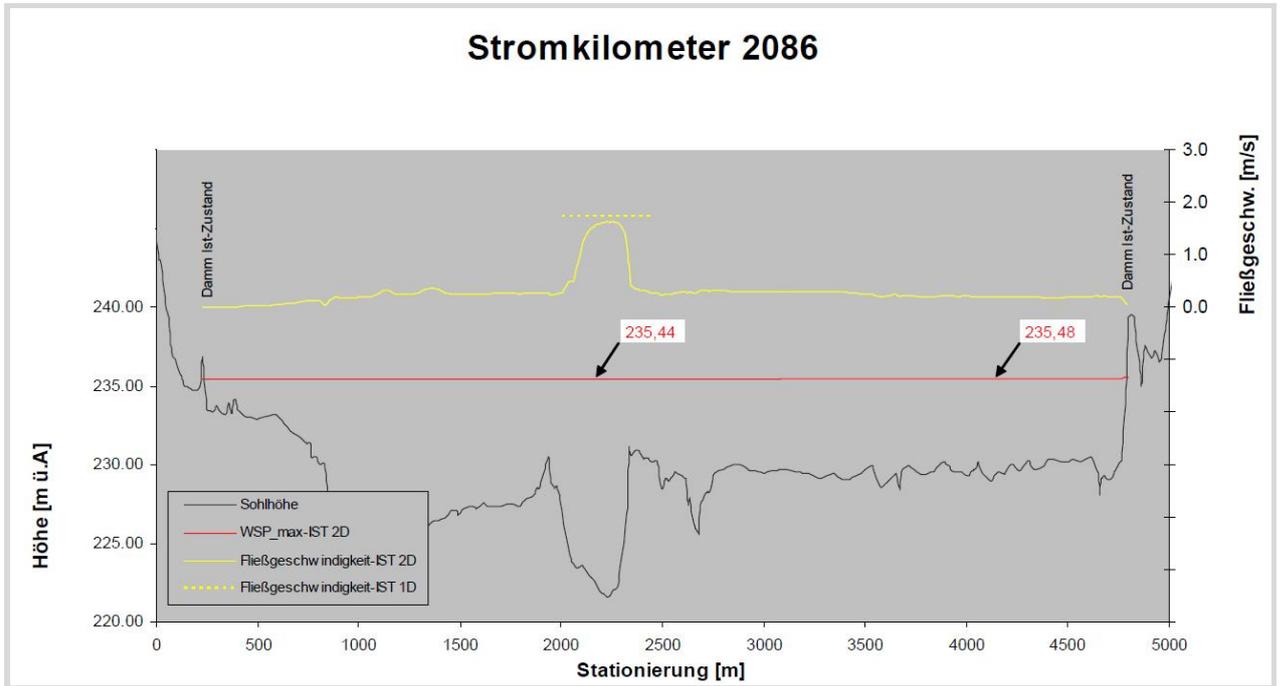
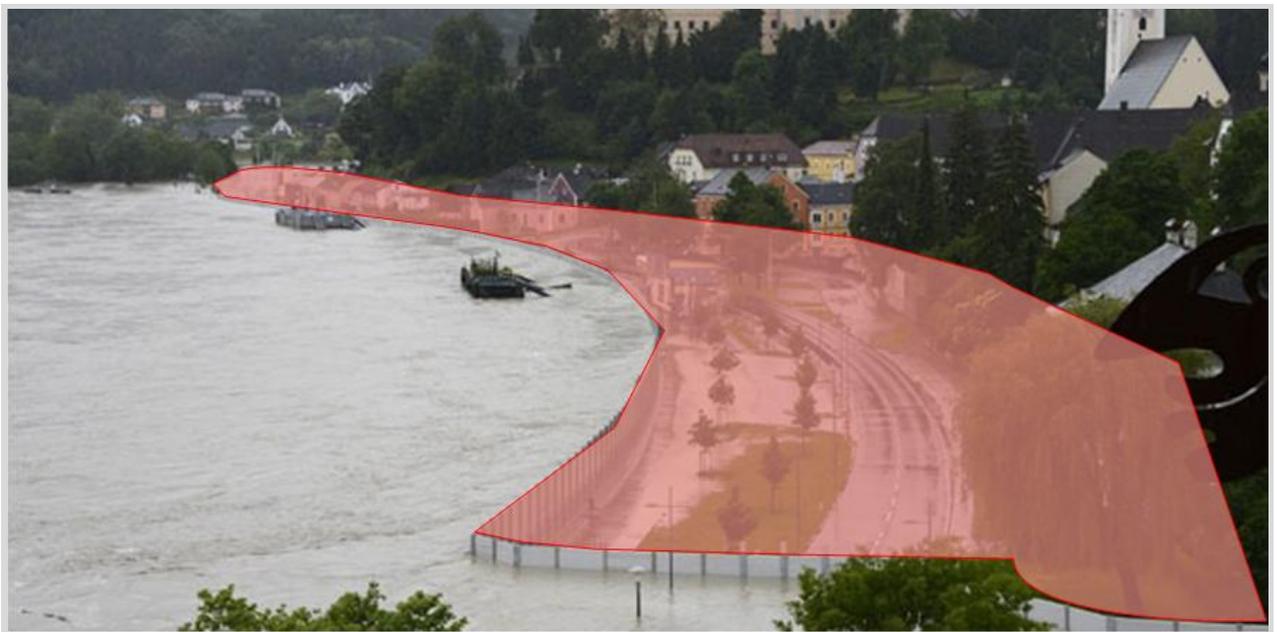


Abb.6.15: Darstellung des durch eine Mobilwand geschützten Bereiches (schematisch und exemplarisch)



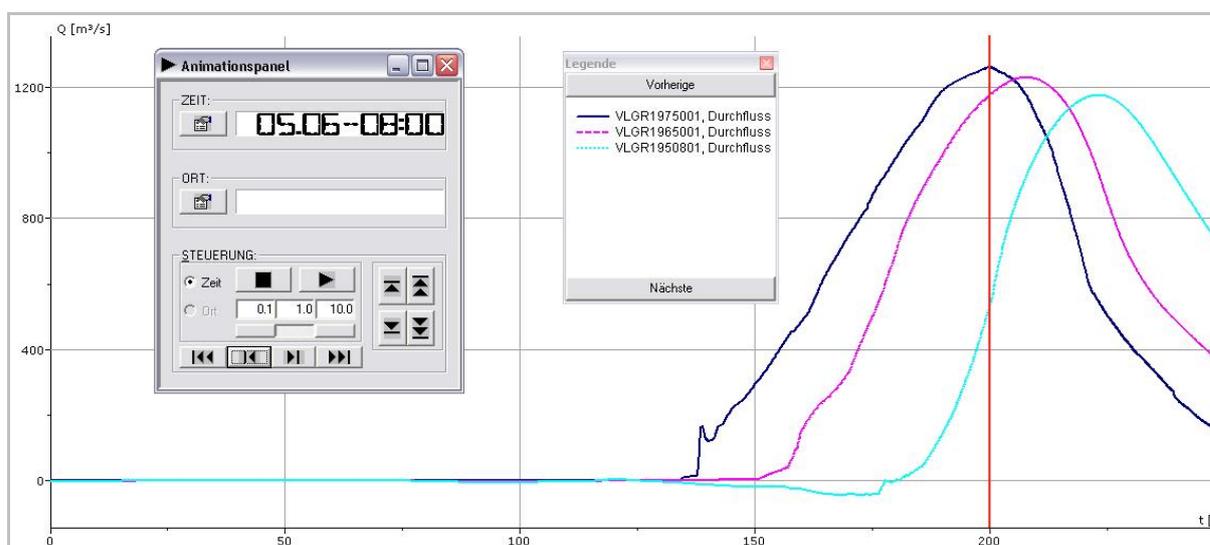
Ein letzter Eindruck, der die obigen Ausführungen unterstreicht, ergibt sich aus einer Detailanalyse der Retentionsvorgänge im Tullnerfeld.

So zeigt die Detailanalyse, dass selbst im Tullnerfeld die Retention beim Hochwasserereignis im Juni 2013 nur ca. 80 m³/s betragen hat (Abb.6.16). Dies, obwohl das Tullnerfeld eine Fläche von ca.168 km² aufweist.

Diese geringe Retention ergibt sich durch die breite Hochwasserwelle. Im Vergleich dazu war die Retention bei Ereignis vom August 2002 wesentlich höher, nämlich etwa 800 m³/s.

Die – im Vergleich zu den Bemessungswerten – geringere Retention beim aktuellen Ereignis korrespondiert mit den Beobachtungen im Eferdinger Becken oder auch für die Bereiche östlich von Wien.

Abb.6.16: Retentionswirkung im Tullnerfeld beim Hochwasserereignis 08/2013



Die Abbildung zeigt die Durchflussganglinien im Vorland im Bereich des Tullnerfeldes für das Ereignis 08/2002, wobei die blaue Ganglinie die Durchflüsse am westlichen Rand, die magenta Linie in der Mitte und die hellblaue Linie am östlichen Rand des Tullnerfeldes zeigt. Aus der Differenz der Maximalwerte der blauen und der cyan Linie ergibt sich die oben erwähnte Retention von ca. 80 m³/s.

6.9 Auswirkung der Bewirtschaftung (Wald) im Nationalpark

In Hinblick auf die Bewirtschaftung des Nationalpark Donau-Auen stellten sich zwei Fragen:

- (1) Gibt es negative Auswirkungen auf die HW-Spiegellagen durch die Veränderung der Vegetation
- (2) Gibt es mögliche negative Einflüsse auf die HW-Spiegellagen durch Anlandungen

ad (1) Mögliche negative Auswirkungen durch die Veränderung der Vegetation

Die Überlegungen zu möglichen negativen Auswirkungen auf die HW-Spiegellagen durch Veränderungen in der Vegetation gehen davon aus, dass vor der Errichtung des Nationalparks die bestehenden Hybridpappel-Monokulturen regelmäßig durchforstet wurden und dass so ein vergleichsweise geringer hydraulischer Widerstand gegeben war.

Demgegenüber war die Überlegung, dass in den bisherigen Hybridpappel-Kulturen umgestürzte Bäume nun liegen bleiben, was per se zu einer Änderung der Rauigkeiten führt. Zusätzlich ergibt sich durch das vermehrte Wachstum der Strauchschicht sowie durch die Alterung des Baumbestandes eine Rauigkeitsänderung.

Zur Untersuchung der möglichen Einflüsse einer Änderung der Rauigkeit wurden mehrere Szenarien mit dem 1D-Modell gerechnet:

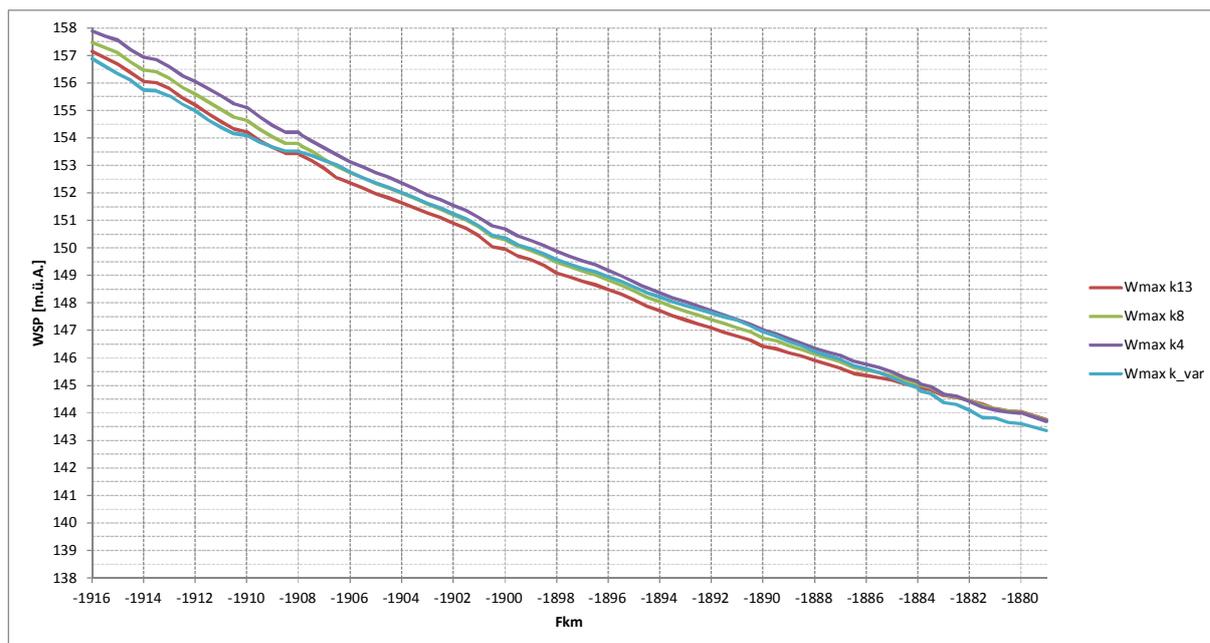
- Szenarien mit globalen Änderungen der Rauigkeiten auf $k_{STR} = \{4, 8, 13\}$
- Szenarium mit differenzierten Änderungen:

Fluss km		k_{ST}
von	bis	
1918.5	1906.5	20
1913.5	1891.0	8
1890.5	1881.5	4
1881.5	1874.8	20

Die Ergebnisse für die Simulationen mit global geänderten Rauigkeit sind in Abb.6.17 dargestellt. Dabei zeigt sich, dass eine Veränderungen der Rauigkeit von $k_{STR}=13$ auf $k_{STR}=8$ zu durchschnittlich 40cm Wasserspiegelerhöhung im Bereich des Nationalparks führt. Eine weitere Erhöhung der Rauigkeit von $k_{STR}=8$ auf $k_{STR}=4$ führt zu einer weiteren Erhöhung um durchschnittlich ca. 40cm. Die maximale Erhöhung beträgt in beiden Fällen ca. 50cm.

Die Auswertung des differenzierten Szenariums zeigt demgegenüber im westlichen Bereich einen geringeren Einfluss auf die Wasserstände, wobei dies insofern zu erwarten war, als die Änderungen weniger umfangreich sind und damit die rauer angenommenen Bereiche kleiner sind als bei den globalen Änderungen (blaue Linie in Abb.6.17).

Abb. 6.17 Längenschnitt des berechneten Wasserstandes für $k_{STR}=\{13,8,4$ und variabel}



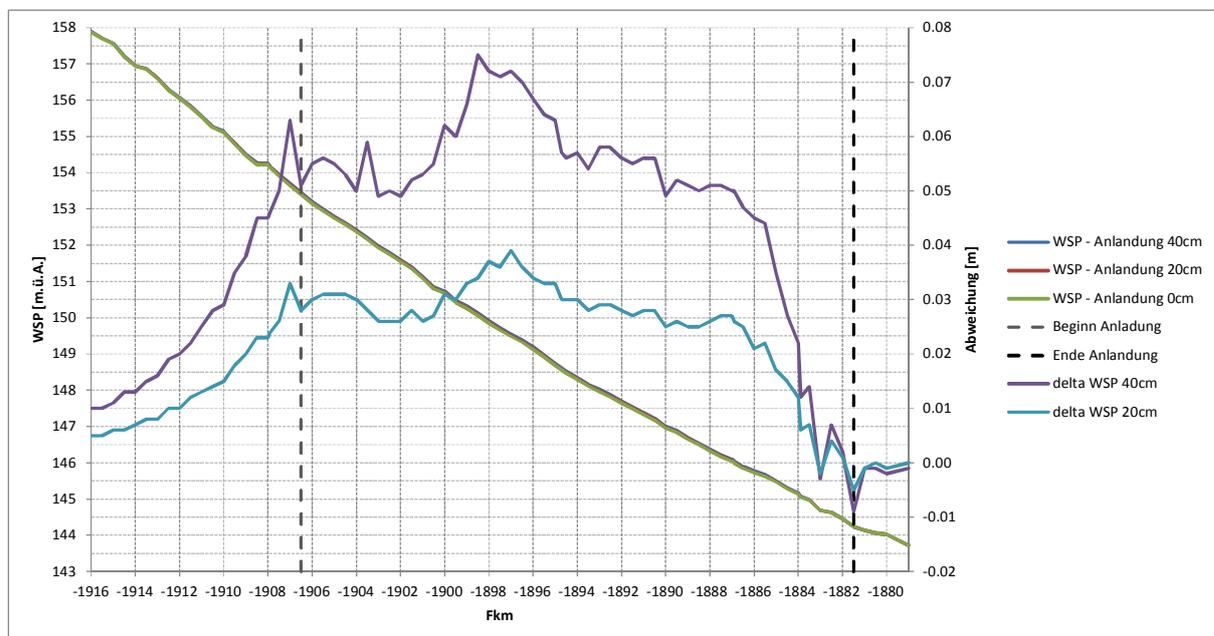
ad (2) Mögliche negative Auswirkungen durch Anlandungen

Zur Überprüfung der Auswirkungen durch Anlandungen wurden im 1D-Modell ebenfalls sehr globale Abschätzungen durchgeführt.

Zwischen den Flussprofilen Fluss-km 1906,5 und Fluss-km 1881,5, wurde jeweils auf der orografisch linken Donauuferseite das gesamte Vorland um einen konstanten Wert von 20cm bzw. 40cm angehoben, wobei sich das Vorland jeweils bis zum Marchfeldschuttdamm erstreckt.

In Abb.6.18 ist zu sehen, dass eine Anlandung von 20cm im Bereich des Nationalparks Donauauen zu einer durchschnittlichen Anhebung des Wasserspiegels von ca. 3cm führt. Eine generelle Anlandung von 40cm ergibt eine Erhöhung des WSP im Flussschlauch von durchschnittlich ca. 6cm.

Abb. 6.18 Längenschnitt des berechneten Wasserstandes für globale Anlandungen auf der orographisch rechten Seite von 20 bzw. 40 cm



Zu allen durchgeführten Berechnungen ist festzuhalten, dass es sich dabei um Grob-Abschätzungen handelt:

Zum einen wurden die differenzierten Informationen, welche sowohl zur Vegetation als auch zu den Anlandungen verfügbar wären, nicht genutzt, wobei eine differenzierte räumliche Abbildung der Einflussfaktoren im 1D-Modell a priori schwer möglich ist. Dies gilt insbesondere für die Sedimentablagerungen, die typischerweise sehr heterogen erfolgen und in Donau-nahen Bereichen oft charakteristische Wälle ausbilden.

Zum anderen ist zu bedenken, dass im östlichen Bereich des Nationalparks die potentiellen Effekte durch die im Modell vorgegebene W-Q-Beziehung etwas gedämpft

werden. Um eine Beeinflussung der Ergebnisse durch die Vorgaben am Modellrand auszuschließen, müsste das 1D-Modell nach Osten erweitert werden⁵⁶.

Zuletzt sei zum Thema Auflandemengen auf die Ausführungen unter Pkt. 4.4.3 und 6.11 verwiesen.

6.10 Auswirkungen von HW-relevanten Bauten in der Slowakei auf HW-Spiegel

Zu den Auswirkungen von HW-relevanten Bauten auf die HW-Spiegel in NÖ stand zunächst die Frage im Vordergrund, ob sich Hochwasser-Schutz-Bauten in der Slowakei – und dabei im Besonderen die Autobahn von Petržalka nach Bratislava – negativ auf die HW-Spiegel ausgewirkt haben.

Im Februar d.J. kam dann zusätzlich die Frage dazu, ob und wie auch das Rückfließen von Wasser aus dem Vorland durch die Autobahn beeinträchtigt wird.

Zu beiden Fragen werden nachfolgend die Grundlagen zusammengefasst und qualitative Einschätzungen gegeben. Eine Berechnung mit den bestehenden Modellen ist nicht möglich, weil die Modelle den relevanten Bereich auf slowakischer Seite nicht enthalten.

6.10.1 Rechtsufriger Hochwasserschutz für Bratislava und Autobahn D2

Lagesituation und möglicher Einfluss

Der Hochwasserschutz für Bratislava ist ausgelegt auf HQ1000, Donau=13500 m³/s bei einem gleichzeitigen HQ30, March=1040 m³/s.

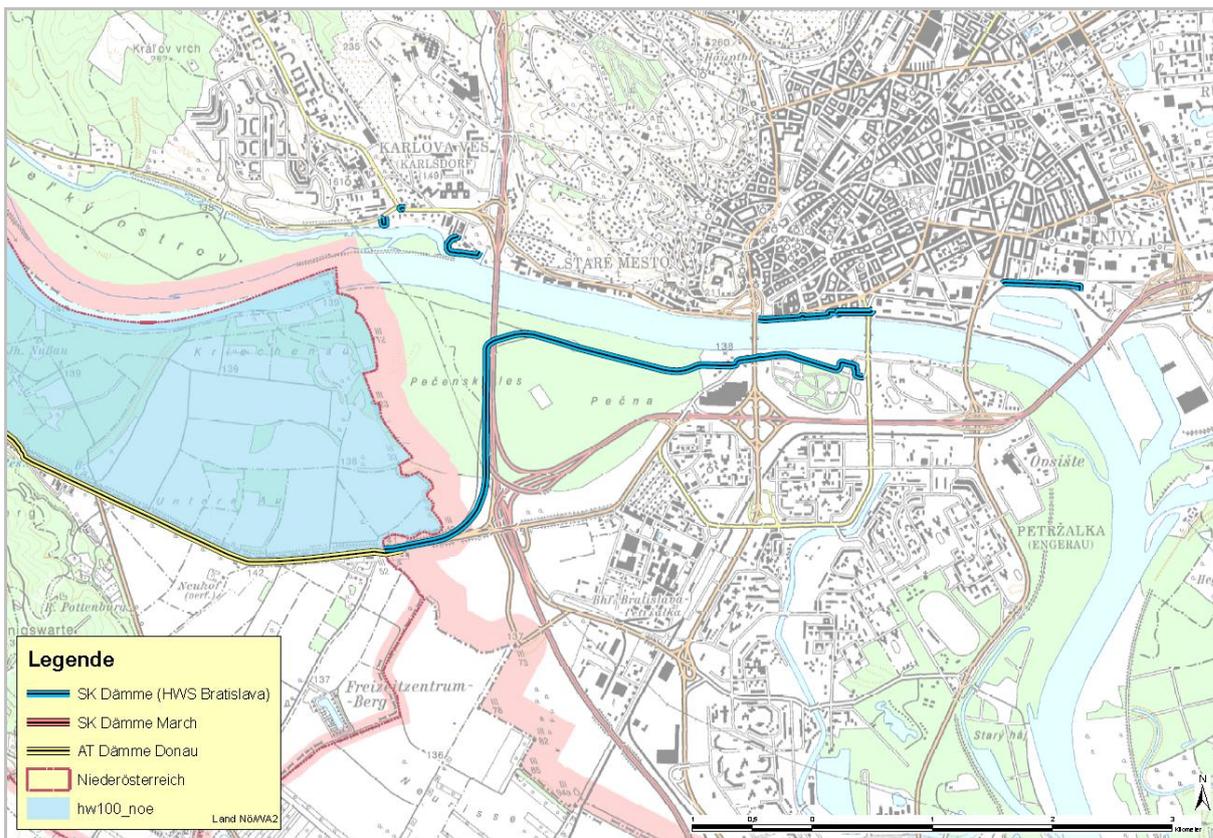
Der Hochwasserschutzdamm, der rechtsufrig der Donau schließt an der Österreichisch-Slowakischen Grenze an den österreichischen Schutzdamm an, biegt dann nach Norden und verläuft in der Folge bis fast zur Donau direkt neben der D2⁵⁷.

Durch diesen Verlauf ergibt sich eine fast senkrecht zur Donau verlaufende Barriere, welche zwangsweise den Hochwasserabfluss im Vorland einschränkt: Es wird der Abfluss dem etwa 4 km² großen Bereich des rechtsufrigen Donauvorlandes, das östlich der Donaubrücke der D2 liegt bei Hochwasser nicht mehr beaufschlagt.

⁵⁶ Im bestehenden 1D-Modell wird der untere Modellrand bei km 1874.800 durch eine W-Q-Beziehung definiert: Dies bedeutet, dass zwischen Wasserstand und Durchfluss eine feste Beziehung formuliert ist. Entsprechend ergibt sich ein Einfluss auf die Ergebnisse der nur eliminiert werden kann, indem das Modell so weit verlängert wird, dass der beeinflusste Bereich außerhalb des interessierenden Bereiches liegt.

⁵⁷ Autobahn, welche von der in Österreich liegenden Anschlussstelle mit der A4 praktisch senkrecht zur Donau in Richtung Norden verläuft

Abb. 6.19 HWS-Anlagen im Raum Bratislava - Lagesituation



Zu einem möglichen Einfluss des rechtsufrigen Hochwasserschutzdammes auf die Spiegellagen in NÖ sind folgende Punkte festzuhalten:

- Wie aus Abbildung 6.17 deutlich zu sehen ist, wird durch die Linienführung des rechtsufrigen Hochwasserschutzdammes zwar ein Teil der früheren Überflutungsgebiete vom Hochwasserabfluss ausgenommen. Der rechtsufrige Abfluss war aber – wenn auch ca. 2 km weiter im Osten - auch früher durch die topographische Situation eingeschränkt.
- Da das hydrodynamische Modell der Donau einige km vor den Bauten endet⁵⁸, können mit dem Modell keine Vergleichsrechnungen für die Situation vor und nach Errichtung des Hochwasserschutzdammes durchgeführt werden. Eine Berechnung mit geschätzten oder synthetischen Daten wäre zwar grundsätzlich denkbar, der Aufwand ist aber gleich groß, wie jener für die Erweiterung des Modells mit realen Daten. Umgekehrt wäre die Aussagekraft der Berechnungen wegen der Unsicherheit bei den zu treffenden Annahmen aber relativ groß. Für aussagekräftige Vergleichsrechnungen müssten die erforderlichen Daten (Vorland und Stromschlauch der Donau in der Slowakei) bei den slowakischen Behörden angefordert werden um das Modell zu ergänzen.

⁵⁸ Das 1D-Modell endet bei km 1874.800

Aktuelle Aktivitäten zur Verbesserung des Hochwasserschutzdammes

Gegenwärtig wird der Bratislava Hochwasserschutz durch Fertigstellung von Hochwasserschutzlinien auf beiden Seiten der Donau behandelt.

Im Stadtteil Bratislava – Petržalka endet die neuerstellte Hochwasserschutzmauer direkt am Beginn des gegenständlichen rechtsufrigen Hochwasserschutzdammes der Donau. Die Höhe der Mauer liegt auf der Kota 140,55 m über Baltikum und die Dammkrone im Anschluss auf der Kota 140,17 m über Baltikum.

Beim Vergleich des HQ1000 = 13500 m³/s mit der Krone des bestehenden Dammes ist klar, dass in einigen Abschnitten die Dammkrone 15 – 40 cm tiefer liegt, als das Niveau der Hochwasserspiegellagen, vor dem der Stadtteil Bratislava – Petržalka geschützt werden soll.

Abb. 6.20 Detailplan zur Änderung der Koten am Donau-nah verlaufenden Teil des Dammes

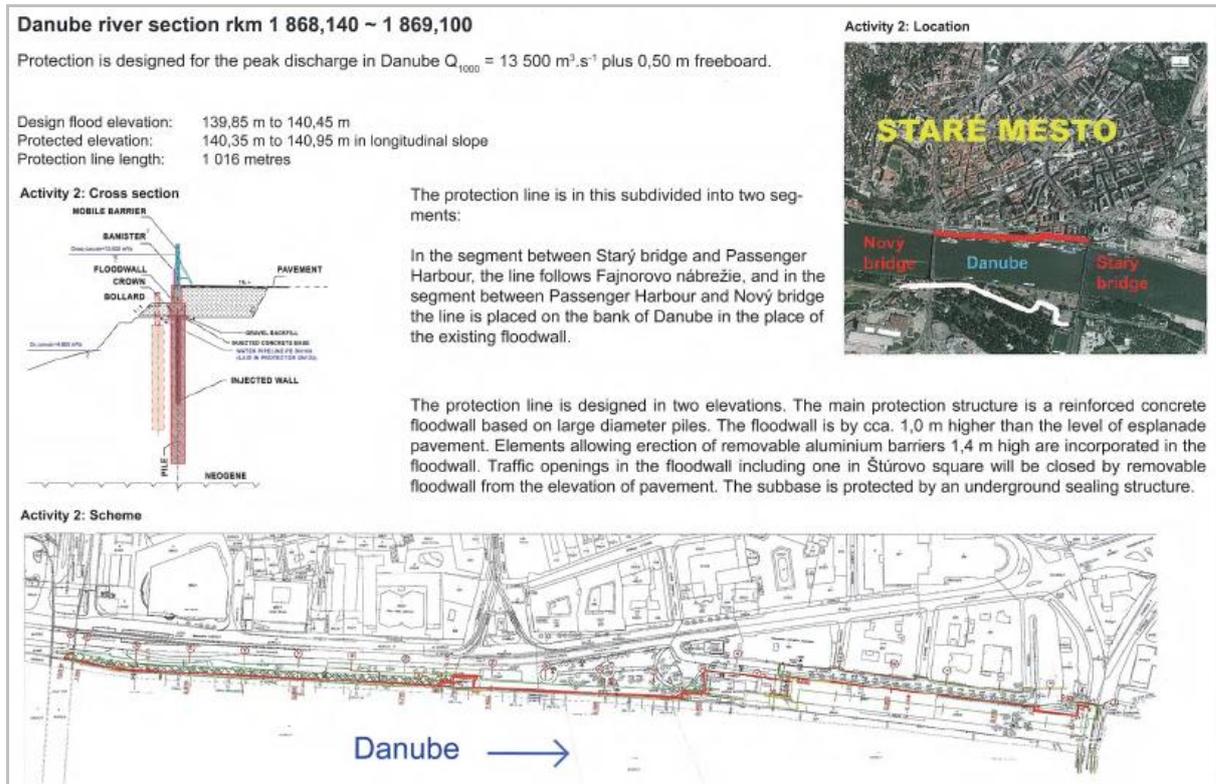


6.10.2 Linksufriger Hochwasserschutz

Der linksufrige Hochwasserschutzdamm von Bratislava hat eine Länge von etwa 950 m (Abb.6.21).

Nachdem dieser Damm keine Flächen abtrennt, die aus Sicht des Hochwasserabflusses hydraulisch relevant sind, ergeben sich durch den Damm lokal kaum Änderungen auf die Wasserstände und die Fließgeschwindigkeiten.

Abb. 6.21 Linksufriger Hochwasserschutzdamm Bratislava - Lagesituation



6.10.3 Hochwasserschutz in Devin:

Der Hochwasserschutz ist ausgelegt auf $HQ_{100} = 11\,000 \text{ m}^3/\text{s}$. Er ist ca. 800m lang und hat eine Kote von 143,00 bis 143,20 m über Baltikum⁵⁹.

Eine in einem Bericht von SVP⁶⁰ enthaltene Auflistung der wesentlichen hydraulischen Parameter für drei Querprofile im Bereich des Dammes zeigt, dass sich die Wasserstände gar nicht ändern und dass sich die anderen hydraulischen Parameter kaum ändern (Tab.6.2).

⁵⁹ Höhe über Baltikum ist 0,6747m höher als Höhe über Adria.

⁶⁰ Slovenske Vodohospodarsky Podnik (2008): Beurteilung der Entwicklung der neuen HWS-Linie auf die Hochwasserspiegellagen der Donau in Devin

Abb. 6.22 Lagesituation und konstruktive Eckpunkte

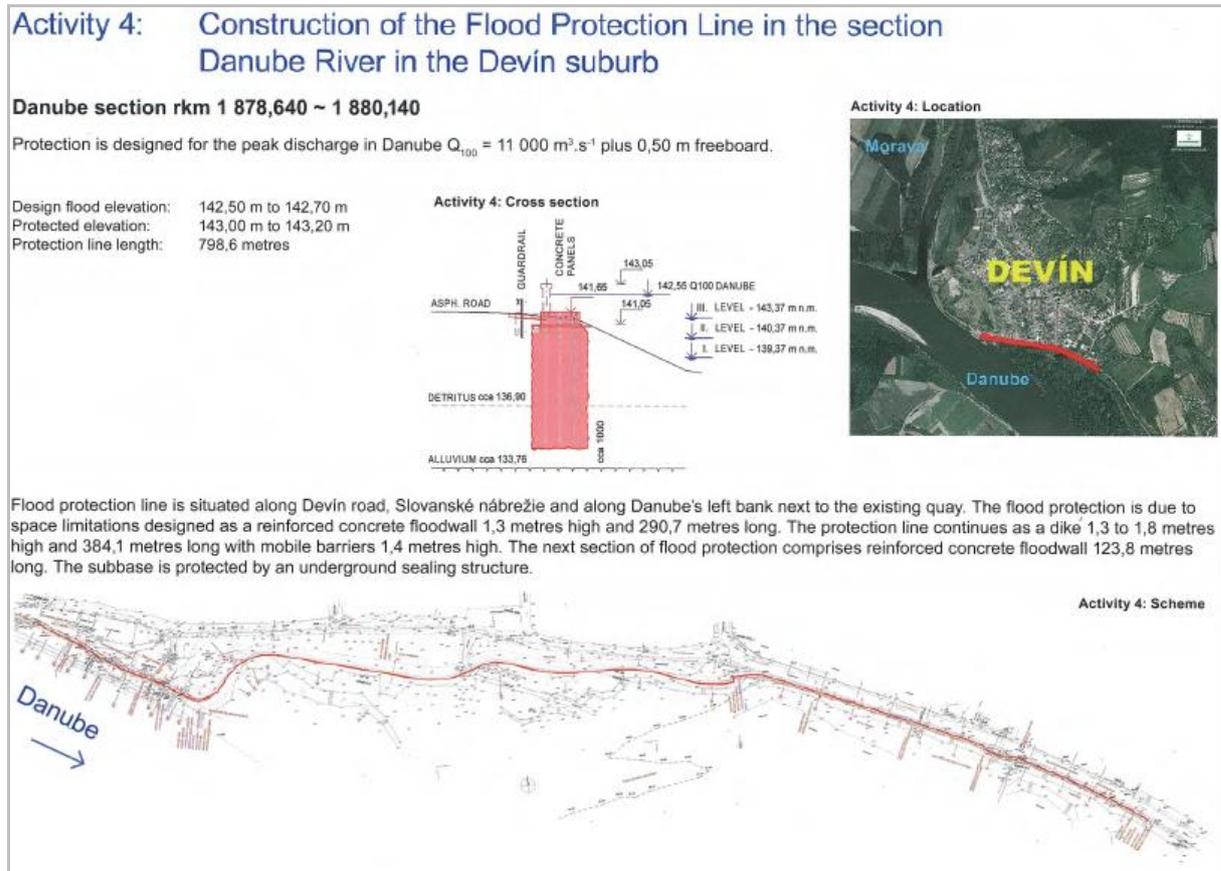
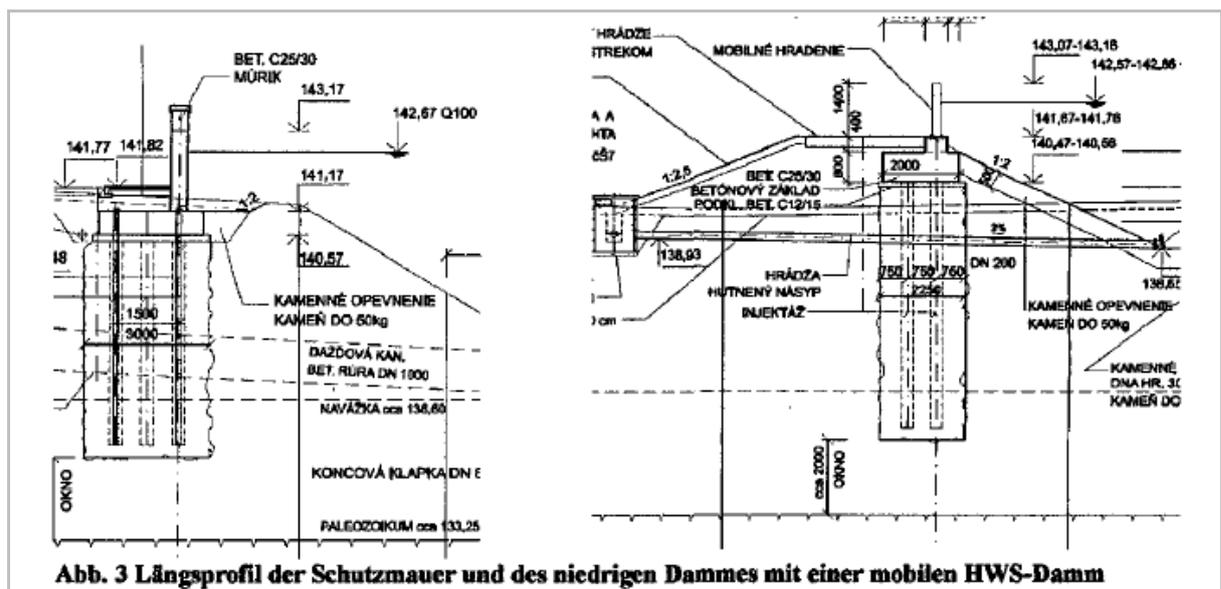


Abb. 6.23 Schnitt durch den HWS-Damm bei Devín



Tab. 6.2 *Hydraulische Auswirkungen des Baues der HWS-Linie bei Devin*

Tabelle 1. Hydraulische Auswirkung des Baues der HWS –Linie am linken Donauufer bei Devin bei einem Abfluss von $HQ_{\text{max},100} = 11\,000\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$

Profil		PF 0,15800		PF 0,52701		PF 0,748310	
Größe	Einheit	Ist Zustand	nach Bau	Ist Zustand	nach Bau	Ist Zustand	nach Bau
H (Wasserspiegel)	[m n. m.]	142.54		142.57		142.68	
S (Abflussfläche)	[m ²]	6 248.21	6 239.97	5 557.17	5 451.12	5 093.38	5 088.15
R (hydraulischer Radius)	[m]	5.31	5.36	5.85	6.02	5.49	5.55
C (Geschwindigkeitskoeff.)	[m ^{1/2} ·s ⁻¹]	31.48	31.36	32.77	32.14	29.93	29.76
K (Abflussmodul)	[m ³ ·s ⁻¹]	$4.534\cdot 10^3$	$4.532\cdot 10^3$	$4.405\cdot 10^3$	$4.371\cdot 10^3$	$3.573\cdot 10^3$	$3.567\cdot 10^3$
i_p (Gefälle der Energielinie)	[-]	$5.885\cdot 10^{-4}$	$5.891\cdot 10^{-4}$	$6.236\cdot 10^{-4}$	$6.333\cdot 10^{-4}$	$9.479\cdot 10^{-4}$	$9.512\cdot 10^{-4}$
Δi_p (Gefälleänderung i_p)	[%]	0.11		1.55		0.34	

6.10.4 Resümee

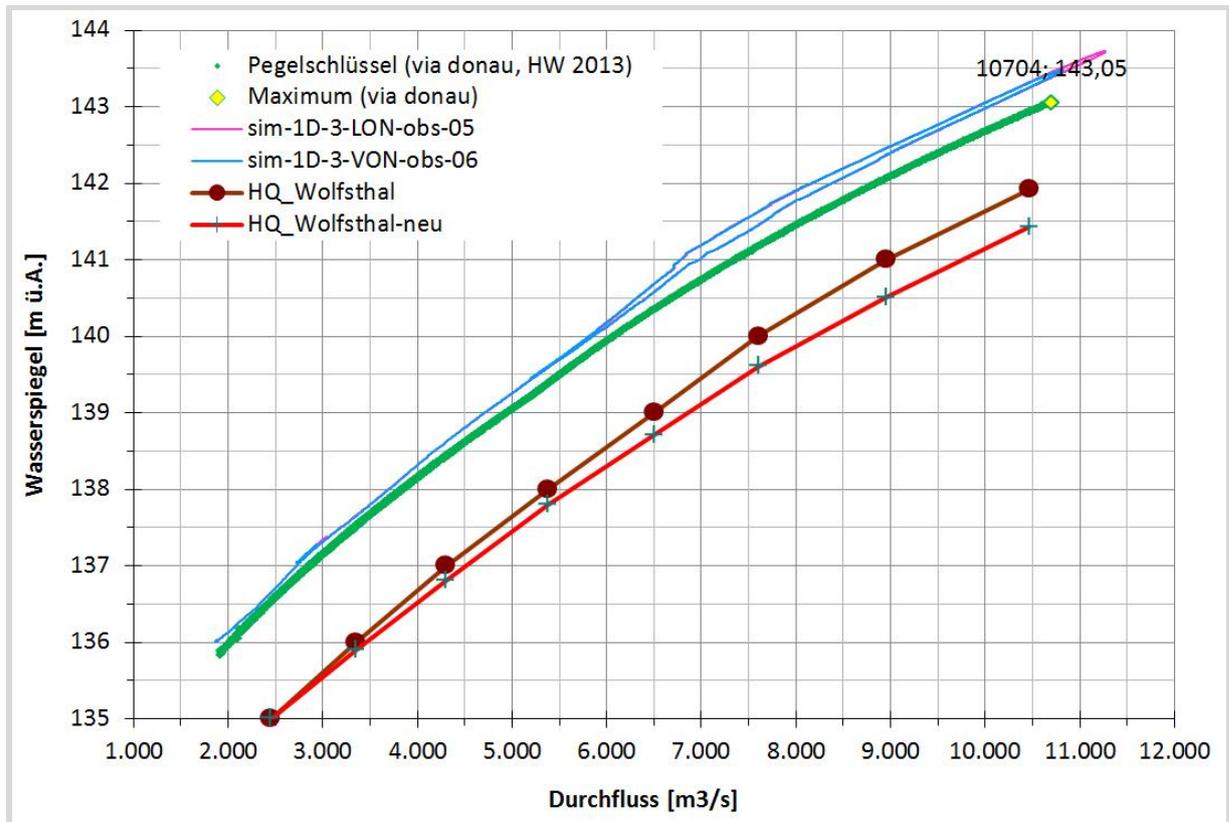
Aus den vorliegenden Unterlagen ist keine negative Auswirkung durch die Hochwasserschutzanlagen abzuleiten.

Aus den Berechnungen, die im Rahmen der Analyse und Modellierung des Hochwassers vom Juni 2013 durchgeführt wurden, kann grundsätzlich gesehen werden, dass die aufgetretenen Wasserstände beim Ereignis niedriger waren, als sie bei der Erstellung des 1D-Modells angenommen wurde:

Bei den Berechnungen musste die W-Q-Beziehung bei km 1874.800 um ca. 50 cm abgesenkt werden, um die aufgetretenen Wasserspiegel zu reproduzieren (Abb.6.24). Die ursprüngliche W-Q-Beziehung war aus Beobachtungsdaten von früheren Hochwasserereignissen erstellt worden, wobei bei der nötigen Anpassung offen ist, welcher Anteil der W-Änderung sich durch Änderungen der Stromsohle ergibt und wie sich Effekte der Eintiefung und der HWS-Bauten überlagern. Eine umfassende Aussage daher ist nur möglich, wenn das bestehende 1D-Modell um ca. 5 km erweitert wird.

Zur Frage, ob und wie stark der HWS-Damm entlang der Autobahn D2 den Abfluss/Rückfluss aus dem Vorland verändert, können ohne vertiefende Auswertungen keine Aussagen gemacht werden. Als Basis für diese Auswertungen müssten Geländeinformationen in Form von topographischen Karten oder Laserscan-Daten ausgewertet werden.

Abb. 6.24 Nötige Änderungen der W-Q-Beziehungen und Auswirkungen in Thebnerstrassl und Wolfsthal



Die Abbildung zeigt die ursprüngliche (braune Linie mit Kreisen) und die neue W-Q-Beziehung (rote Linie mit Kreuzen) am unteren Modellrand von TM3. Die Anpassung war nötig, weil die ersten Berechnungen für diesen Bereich zu hohe Wasserstände ergeben haben (blaue und – zum Teil verdeckte – violette Linie versus grünem Pegelschlüssel).

6.11 Ermittlung Auflandemengen – Einfluss auf Abflusssituation und HW-Spiegel

Hintergrund zu dieser Frage sind die z.T. beträchtlichen Anlandungen in den Vorländern und die Frage, wie und ob sich diese auf künftige Hochwasserspiegel auswirken können.

Zur Höhe der Auflandemengen ist festzuhalten, dass es – nach aktuellen Informationen – keine vollständige und flächendeckende Aufnahme der Ablagerungen im Vorland gibt.

In Teilbereichen gibt es Aufnahmen durch die Landwirtschaftskammer und durch VHP, wobei diese Aufnahmen im Zusammenhang mit möglichen Entschädigungszahlungen und –ansprüchen stehen und kein flächendeckendes, homogenes Bild geben.

Weitere Informationen sind durch angedachte/geplante Laser-Scans zu erwarten (z.B. Eferdinger Becken, Machland) doch ist auch hier kein vollständiges und homogenes Bild zu erwarten.

In Hinblick auf die Ermittlung von Auflandemengen mit Hilfe von angedachten/geplanten Laser-Scans ist festzuhalten, dass es kaum möglich sein wird, durch den Vergleich - d.h. Differenzbildung - zwischen aktuellen Laser-Scandaten mit früheren Aufnahmen ein exaktes, flächendeckendes Bild der Ablagerungen im Vorland zu ermitteln:

Aus Auswertungen, die in unterschiedlichsten Projekten durchgeführt wurden, hat sich gezeigt, dass der Einfluss der Methodik der Laser-Scan-Aufnahmen mitunter größere Auswirkungen ergibt, als das Ausmaß der Anlandungen. Entsprechend ist hier ggf. regional stark zu differenzieren und die geeignete Methode zu wählen.

Aufgrund von konkreten Fragen wurden im Rahmen des Projektes exemplarische Berechnungen im Machland und für den Nationalpark durchgeführt (vgl. Pkt.4.4.3 und Pkt.6.9).

Diese zeigen, dass die Auswirkungen in der Regel relativ gering sind, wobei eine Vertiefung der Untersuchungen dahingehend empfohlen wird, als die bisherigen Berechnungen nur vereinfachend und exemplarisch durchgeführt wurden.

Bei vertiefenden Untersuchungen sollte insbesondere auf die heterogene Verteilung der Anlandungen und auf die dabei charakteristischen Struktur-Bildungen entlang der Donau eingegangen werden

Die Untersuchungen sollten/könnten als Basis das bestehende 2D-Modell der Donau verwenden. 1D-Berechnungen werden – wegen der o.a. heterogenen Struktur der Anlandungen – für die vertiefenden Berechnungen nicht als zielführend angesehen.

6.12 Überprüfung neue und bestehende HWS-Maßnahmen (Freibord)

Grundsätzliche Überlegungen

Die Frage der Überprüfung von neuen und bestehenden HWS-Maßnahmen subsummiert mehrere Themenbereiche, wobei folgende Teil-Fragen abgeleitet werden können:

- Sind die Bemessungsdurchflüsse auch aus heutiger Sicht angemessen?
- Waren die Wasserspiegel so, wie sie bei der Projektierung erwartet worden sind?
- Waren die Freiborde so wie sie erwartet worden sind?
- Welchen Einfluss kann es durch Änderungen der Stromsohlen geben?
- Hat es Änderungen der Stromsohlen gegeben und wie haben sich diese ausgewirkt?

Für alle diese Fragen sind Kenntnisse über die aufgetretenen Durchflüsse und Wasserstände sowie über die Änderungen der Stromsohle erforderlich.

Daten und methodische Überlegungen

Aus der hydrologischen Analyse und Modellierung hat sich ergeben, dass die Durchflüsse an fast der gesamten NÖ Donau über $HQ100_{\text{BEMESSUNG}}$, ab etwa Tulln sogar über $HQ300_{\text{BEMESSUNG}}$ waren. Lediglich im Bereich zwischen Grein und Ybbs liegen die aufgetretenen Maximaldurchflüsse knapp unter dem für $HQ100$ -Bemessungswerten.

Zu den Wasserständen liegen auch für die gesamte Donau die Ergebnisse aus der Modellrechnung vor, doch hat sich bei den Simulationen gezeigt, dass die Wasserstände doch mit größeren Unsicherheiten behaftet sind. Dies ergibt sich vor allem daraus, dass die Querprofile/Stromgrunddaten, die in der aktuellen Modellversion implementiert sind nicht mehr aktuell sind und dass es auch beim Ereignis relevante Änderungen der Querprofilgeometrie gegeben hat: Die Vergleiche an ausgewählten Donauegeln haben

gezeigt, dass im NÖ Bereich der Donau die Rechenwerte im Bereich von etwa +/- 50 cm korrigiert werden mussten, um die beobachteten Wasserstände abzubilden (vgl.4.3.1.3).

Als weitere Informationen liegen entlang der gesamten Donau beobachtete Maximalwasserstände vor (vgl.Pkt.2.1). Diese Daten decken oft den Bereich der HWS-Anlagen ab, in Hinblick auf die Güte der Daten sind sie aber noch als ungeprüfte Rohdaten zu sehen. Dies ist insofern von Bedeutung, als beobachtete Maximalwasserstände häufig auch von lokalen Effekten beeinflusst sind (z.B. Rückstau, Kehrströmungen, Wellenschlag) so dass unklar ist, wie - und für welchen Bereich - die Daten repräsentativ sind.

In Hinblick auf diese Punkte wird daher vorgeschlagen, die Überprüfung der Freiborde mit einem überarbeiteten 1D-Modell durchzuführen, in welchen zunächst die Stromsohlen zu aktualisieren sind und welches danach mit den o.a. Beobachtungsdaten neu kalibriert wird.

Aufgrund der großen Änderungen der Stromsohlen wird empfohlen, die Berechnungen der Wasserspiegel auch mit unterschiedlichen Sets (Szenarien) von Stromgrunddaten durchzuführen um die Sensitivität der Aussagen in Hinblick auf Stromgrundänderungen darzustellen.

Erste Schritte für die Überprüfung der HWS-Anlagen

Als erste Schritte für die Überprüfung der HWS-Anlagen in NÖ sind die Eckpunkte der Anlagen und die Daten zum Ereignis zusammengestellt:

In Tab.6.4 sind dazu für alle Anlagen die Bemessungswerte für HQ100 und HQ300 sowie die aufgetretenen Durchflüsse (konsolidierte Werte lt. Hydrologischem Längenschnitt) aufgelistet. Dargestellt ist auch um wie viele m³/s die Bemessungswerte HQ100 und HQ300 über bzw. unterschritten wurden.

Eine durchgängige Darstellung der Freiborde war in den ersten Grob-Analysen aus mehreren Gründen nicht möglich:

- (1) Aufgrund der oben beschriebenen Unsicherheiten bei den Angaben der aufgetretenen Wasserstände sind die errechneten Freiborde mit großen Unsicherheiten behaftet.
- (2) Die bisherigen Angaben sind jeweils auf die Mitte der Anlage bezogen. Eine Überprüfung der Anlagen und der Freiborde sollte aber differenziert im Längenschnitt erfolgen.
- (3) Die Auswertungen basieren auf jenen Bauwerksdaten, die im Zuge der Grob-Analyse verfügbar waren. Eine vollständige Analyse sollte auf vollständige Planunterlagen, die den endgültigen Zustand nach Bauabschluss zeigen, aufbauen.

Tab. 6.3 Erste Grob-Überprüfung der HWS-Anlagen an der NÖ Donau – Durchflüsse

HWS-Projekt	Stationierung Fkm			Linkes / Rechtes Ufer	HQ100 Bemessung [m3/s]	HQ300 Bemessung [m3/s]	HQ2013 konsolidiert [m3/s]	delta HQ2013- HQ100 [m3/s]	delta HQ2013- HQ300 [m3/s]
	von	bis	Mitte						
St Pantaleon - Erla	2107,0	2104,0	2105,5	R	11168	11758	11389	221	-368
Ardagger Markt			2084	R	11050	11600	11072	22	-528
Wallsee	2093,6	2093,4	2093,5	R	11099	11665	11212	113	-453
Persenbeug	2059,9	2058,8	2059,4	L	11050	11600	11000	-50	-600
Gottsdorf - Hagsdorf	2057,9	2053,0	2055,5	L	11170	11750	11400	230	-350
Ybbs an der Donau	2058,8	2057,6	2058,2	R	11050	11600	11000	-50	-600
Marbach	2050,8	2047,5	2049,1	L	11170	11750	11400	230	-350
Melk Winden	2037,0	2036,6	2036,8	R	11170	11750	11400	230	-350
Emmersdorf Luberegg	2037,3	2036,9	2037,1	L	11170	11750	11400	230	-350
Emmersdorf	2037,0	2034,0	2035,5	L	11170	11750	11401	231	-349
Aggsbach Markt	2026,0	2027,5	2026,8	L	11170	11750	11422	252	-328
Schönbühel - Aggstein	2032,6	2024,3	2028,5	R	11170	11750	11418	248	-332
Spitz an der Donau	2020,0	2018,6	2019,3	L	11170	11750	11440	270	-310
Rosatz - Arndorf	2020,6	2019,9	2020,3	R	11170	11750	11438	268	-312
Weißenkirchen	2015,9	2012,9	2014,4	L	11171	11752	11450	279	-302
Rosatz - Ruhrsorf	2013,0	2012,1	2012,6	R	11175	11758	11450	275	-308
Rosatz - Rosatzbach	2009,6	2008,2	2008,9	R	11182	11770	11450	268	-320
Dürnstein	2009,5	2005,5	2007,5	L	11185	11775	11450	265	-325
Mautern - Hundsheim	2005,5	2004,7	2005,1	R	11190	11783	11450	260	-333
Krems - Stein	2003,7	2002,1	2002,9	L	11194	11790	11450	256	-340
Tullnerfeld Nord I Beginn	1990,0	1990,0	1990,0	L	11062	11662	11399	337	-263
Tullnerfeld Nord II Ende	1953,0	1953,0	1953,0	L	10552	11152	11209	657	57
Zwentendorf	1975,2	1974,7	1975,0	R	10854	11454	11322	467	-133
Höflein	1947,0	1946,5	1946,8	R	10466	11066	11177	711	111
Klosterneuburg	1939,7	1939,6	1939,7	R	10400	11000	11147	747	147
Klosterneuburg Industriegebiet	1938,9	1938,6	1938,8	R	10400	11000	11146	746	146
Korneuburg	1943,7	1941,8	1942,8	L	10410	11010	11156	746	146
Fischamend	1910,2	1908,8	1909,5	R	10378	10956	11102	724	147
Bad Deutsch - Altenburg	1887,1	1886,9	1887,0	R	10350	10900	11000	650	100
Hainburg	1884,0	1883,5	1883,8	R	10350	10900	10979	629	79

Bedeutung der Spalten von links nach rechts:

- (a) HWS-Projekt Bezeichnung der HWS-Anlage
- (b) von/bis/Mitte Beginn und Ende und rechnerische Mitte der HWS-Anlage
- (c) Linkes/rechtes Ufer Lage der Anlage an der Donau (linksufrig/rechtsufrig)
- (d) HQ₁₀₀/HQ₃₀₀-Bemessung Bemessungswerte aus dem aktuellen hydrologischen Längenschnitt der Donau von via donau
- (e) HQ₂₀₁₃_{KONSOLIDIERT} konsolidierter Durchfluss für das Ereignis 06/2013
- (f) delta HQ₂₀₁₃-HQ₁₀₀ Differenz aus Bemessungswert HQ₁₀₀ und dem Durchfluss HQ₂₀₁₃_{KONSOLIDIERT}
positive Werte (rote Balken) zeigen, dass bzw. wieviel der aufgetretene Wert über HQ₁₀₀ war
negative Werte (blaue Balken) zeigen, dass bzw. wieviel der aufgetretene Wert unter HQ₁₀₀ war
- (g) delta HQ₂₀₁₃-HQ₃₀₀ Differenz aus Bemessungswert HQ₃₀₀ und dem Durchfluss HQ₂₀₁₃_{KONSOLIDIERT}
Darstellung/Interpretation analog zu (f)

Tab. 6.4 Erste Grob-Überprüfung der HWS-Anlagen an der NÖ Donau – Freiborde

HWS-Projekt	Stationierung Fkm			Linkes / Rechtes Ufer	HQ100 Bemessung [m3/s]	HQ2013 Konsolidiert [m3/s]	delta HQ2013-HQ100 [m3/s]	Wmax, Sim [m u.A.]	Wmax, obs extern [m u.A.]	OK HWS OW	OK HWS Mitte	OK HWS UW	min. Freibord zu OK HWS SIM, KORR	min. Freibord zu OK HWS OBS	Bewertung Symbol	
	von	bis	Mitte													
St Pantaleon - Erla	2107,0	2104,0	2105,5	R	11168	11389	221	242,17	242,17							✓
Ardagger Markt			2084	R	11050	11072	22	236,10	236,10							⚠
Wallsee	2093,6	2093,4	2093,5	R	11099	11212	113	237,15	237,15	237,50	237,00	237,00	0,45	-0,15		⚠
Persenbeug	2059,9	2058,8	2059,4	L	11050	11000	-50	221,39	221,62	222,73	222,49	222,30	1,10	0,88		✓
Gottsdorf - Hagsdorf	2057,9	2053,0	2055,5	L	11170	11400	230	220,00	220,42	221,99	220,32	219,99	0,72	-0,09		✓
Ybbs an der Donau	2058,8	2057,6	2058,2	R	11050	11000	-50	221,31	221,31	223,80	221,95	221,80	1,04	0,64		✓
Marbach	2050,8	2047,5	2049,1	L	11170	11400	230	217,65	217,65							✓
Melk Winden	2037,0	2036,6	2036,8	R	11170	11400	230	212,58	212,82	212,78	212,78	212,78	0,60	-0,04		✓
Emmersdorf Luberegg	2037,3	2036,9	2037,1	L	11170	11400	230	212,82	212,82							✓
Emmersdorf	2037,0	2034,0	2035,5	L	11170	11401	231	212,46	212,46							✓
Aggsbach Markt	2026,0	2027,5	2026,8	L	11170	11422	252	209,54	209,54							✓
Schönbühl - Aggstein	2032,6	2024,3	2028,5	R	11170	11418	248	210,21	210,44							✓
Spitz an der Donau	2020,0	2018,6	2019,3	L	11170	11440	270	206,77	206,86	207,31	207,01	206,71	0,44	0,15		✓
Rossatz – Arndorf	2020,6	2019,9	2020,3	R	11170	11438	268	207,18	207,18	207,49	207,10	207,00	0,12	-0,08		✓
Weißkirchen	2015,9	2012,9	2014,4	L	11171	11450	279	204,46	204,51	205,58	204,98	204,53	0,17	0,47		✓
Rossatz - Ruhrsdorf	2013,0	2012,1	2012,6	R	11175	11450	275	203,64	203,64	204,95	204,48	204,42	0,49	0,84		✓
Rossatz - Rossatzbach	2009,6	2008,2	2008,9	R	11182	11450	268	201,68	201,83							✓
Dürnstein	2009,5	2005,5	2007,5	L	11185	11450	265	201,08	201,08							✓
Mautern - Hundsheim	2005,5	2004,7	2005,1	R	11190	11450	260	199,70	199,70	200,77	200,48	200,40	0,43	0,78		✓
Krems - Stein	2003,7	2002,1	2002,9	L	11194	11450	256	198,35	198,56	200,28	199,70	198,80	1,00	1,14		✓
Tullnerfeld Nord I Beginn	1990,0	1990,0	1990,0	L	11062	11399	337	193,98	193,98	190,40	190,40	190,40	n/a	n/a		✓
Tullnerfeld Nord II Ende	1953,0	1953,0	1953,0	L	10552	11209	657	177,26	177,26	173,28	173,28	173,28	n/a	n/a		✓
Zwentendorf	1975,2	1974,7	1975,0	R	10854	11322	467	182,30	182,40							✓
Höflein	1947,0	1946,5	1946,8	R	10466	11177	711	169,84	169,84	169,00	169,00	169,00	-0,94	-0,84		✗
Klosterneuburg	1939,7	1939,6	1939,7	R	10400	11147	747	167,07	167,07	167,65	167,60	167,50	0,53	0,53		✓
Klosterneuburg Industriegebiet	1938,9	1938,6	1938,8	R	10400	11146	746	166,31	166,31	167,42	167,20	166,30	0,89	0,89		✓
Korneuburg	1943,7	1941,8	1942,8	L	10410	11156	746	168,09	168,09	169,00	169,00	169,00	0,81	0,91		✓
Fischamend	1910,2	1908,8	1909,5	R	10378	11102	724	154,69	154,69	153,33	153,33	153,33	-0,76	-1,36		✗
Bad Deutsch - Allenburg	1887,1	1886,9	1887,0	R	10350	11000	650	145,91	145,91							✗
Hainburg	1884,0	1883,5	1883,8	R	10350	10979	371	144,81	144,90							✓

Bedeutung der Spalten von links nach rechts:

- (a) HWS-Projekt Bezeichnung der HWS-Anlage
- (b) von/bis/Mitte Beginn und Ende und rechnerische Mitte der HWS-Anlage
- (c) Linkes/rechtes Ufer Lage der Anlage an der Donau (linksufrig/rechtsufrig)
- (d) HQ₁₀₀ -Bemessung Bemessungswerte aus dem aktuellen hydrologischen Längenschnitt der Donau von via donau
- (e) HQ₂₀₁₃_{KONSOLIDIERT} konsolidierter Durchfluss für das Ereignis 06/2013
- (f) delta HQ₂₀₁₃-HQ₁₀₀ Differenz aus Bemessungswert HQ₁₀₀ und dem Durchfluss HQ₂₀₁₃_{KONSOLIDIERT}
positive Werte (rote Balken) zeigen, dass bzw. wieviel der aufgetretene Wert über HQ₁₀₀ war
negative Werte (blaue Balken) zeigen, dass bzw. wieviel der aufgetretene Wert unter HQ₁₀₀ war
- (g) delta HQ₂₀₁₃-HQ₃₀₀ Differenz aus Bemessungswert HQ₃₀₀ und dem Durchfluss HQ₂₀₁₃_{KONSOLIDIERT}
Darstellung/Interpretation analog zu (f)
- (h) Wmax, Sim Maximaler Wasserstand aus Simulation
- (i) Wmax, obs. Extern Maximaler Wert aus Beobachtungen – interpoliert für die Stationierung der HWS-Anlage
- (j) OK_{HWS} – OW, Mitte, UW Oberkante der HWS-Anlage: oberwasserseitig (OW), Mitte und unterwasserseitig (UW)
- (k) min.. Freibord ...Sim, korr Minimales Freibord berechnet aus korrigiertem, berechnetem Wasserstand und OK_{HWS}
- (l) min.. Freibord ...obs Minimales Freibord berechnet aus interpoliertem beobachtetem Wasserstand und OK_{HW}
- (m) Bewertung Symbol Keine Bewertung der Anlage sondern Hinweis auf das ermittelte Freibord:
grün = positives Freibord, gelb = leicht negativ, rot = deutlich negativ

Resümee

Für eine Bewertung der HWS-Anlagen sind zwei Punkte von zentraler Bedeutung, nämlich (1) die Aktualisierung der Stromgrunddaten im 1D-Modell und (2) die Neu-Berechnung der Wasserstände mit einem nachkalibrierten Modell.

Aus den bisher vorliegenden Auswertungen von Stromgrunddaten ist erkennbar, dass es beim Ereignis - und auch insgesamt in den letzten 10-20 Jahren – nennenswerte Umlagerungen an den Stromsohlen gegeben hat. Im Sinnen einer nachhaltigen Überprüfung sollten diese Änderungen in Form von Sensitivitätsanalysen in die Bewertung einbezogen werden.

Mit Blick auf das Ereignis von Juni 2013 ist festzuhalten, dass bei fast allen NÖ HWS-Anlagen HQ_{100,BEMESSUNG}, und bei vielen sogar HQ_{300,BEMESSUNG} überschritten wurde. Durch die Tatsache, dass (1) die aufgetretenen Wasserstände oft unter den erwarteten

Wasserständen lagen und (2) bei den Hochwasserlagen die Oberkanten auf HW_{100} + Freibord ausgelegt sind, haben praktisch alle HWS-Anlagen ihren Schutzzweck erfüllt, obwohl die aufgetretenen Durchflüsse bei fast allen Anlagen deutlich über den Bemessungsdurchflüssen lagen:

- Im Bereich aller HWS-Anlagen außer Ardagger, Persenbeu und Ybbs lag das $Q_{06/2013}$ über $HQ_{100, BEMESSUNG}$.
- Bei acht HWS-Anlagen lag $Q_{06/2013}$ sogar über $HQ_{300, BEMESSUNG}$.
- Die Prüfung der Freiborde ergab, dass bei allen Anlagen – aus Sicht des Ereignisses – bei HQ_{100} ein ausreichendes Freibord gegeben ist.

Umgekehrt erscheint es von besonderer Bedeutung, die Auswirkungen von Stromgrundänderungen auf die Spiegellagen und die zu erwartenden Entwicklungen der Stromgrundänderungen vertiefend zu analysieren:

Prioritär ist dabei, ob – im Gegensatz zu den Verhältnissen beim aktuellen Ereignis – bei gegebenen Durchflüssen auch mit höheren Wasserständen zu rechnen ist, als sie der Auslegung der HWS-Anlagen zugrunde gelegt wurden.

Festzuhalten ist auch, dass die zusammenfassende Grob-Überprüfung in Tab.6.4 nur als erster Anhaltspunkt zu sehen ist. Genauere Aussagen sind mit einem nachkalibrierten Modell möglich.

6.13 Sedimentsituation im VHP-Bereich (Stauräume, Unterwasser)

Von VHP wurde unmittelbar nach dem Ereignis mit der Vermessung der Stromgrundsohle begonnen. Die Messungen sind inzwischen für alle Stauräume abgeschlossen.

Ebenfalls weitgehend abgeschlossen ist die Auswertung dieser Daten, wobei diese von via donau durchgeführt wurde. Die Auswertungen werden - gemeinsam mit den Daten für die Wachau und die freie Fließstrecke östlich von Freudenau – im sog. Gewässeraufsichtsbericht publiziert werden.

Die bisher verfügbaren Auswertungen sind im vorliegenden Bericht in Kap. 4.5 beschrieben. Aus diesem Kapitel seien folgende Eckpunkte herausgestrichen:

- Aus den Auswertungen der Stromgrundaufnahmen zeigt sich, dass es beim Ereignis im Juni 2013 in allen Stauräumen außer Ottensheim und Altenwörth einen Abtrag von Material gegeben hat.
- Der Abtrag war in den Stauräumen Jochenstein (1.8 Mio. m³) und Aschach (5.6 Mio. m³) am größten.
- Die größten Anlandungen gab es im Stauraum Ottensheim (2.4 Mio. m³).

Die vollständigen Auswertungen von via donau finden sich in Anhang D.

6.14 Geänderte Flussmorphologie -u.a. verursacht durch Hochwasserschutzbauten und Überlaufstrecken im Machland

Der Hintergrund zu dieser Frage war die Überlegung, wie weit durch die neuen HWS-Bauten und dabei insbesondere durch den Machland-Damm die Fließverhältnisse so stark verändert werden, dass sie für die Hochwasser-Prognose relevant sind.

Als möglicher Einfluss wurden dabei z.B. die Änderungen der Fließzeit durch das Ausströmen von Wasser in das Hinterland und das verzögerte Rückströmen in die Donau gesehen.

Aus den durchgeführten Analysen geht klar hervor, dass die Änderungen in den Fließstrukturen („Flussmorphologie“) für die Hochwasserprognose keine Bedeutung haben, weil – selbst bei einem Hochwasser wie im Juni 2013 - viele andere Aspekte größere Unsicherheiten implizieren. Exemplarisch genannt seien die Fragen zu den Pegelschlüsseln, zu Stromgrunddaten, die Implementierung der Vorländer samt Preissmann-Schlitzten aber z.B. auch der Verzicht auf die Abbildung von Pumpwerken und den genauen Betriebsordnungen von Poldern.

Bei Hochwässern, welche das Ereignis von 06/2013 übersteigen gewinnen die Effekte durch das Ausströmen in das Hinterland an Bedeutung, doch ist auch hier davon auszugehen, dass die Prognosegenauigkeit durch andere Einflüsse ungleich mehr limitiert wird, als durch das Vernachlässigen der genauen Abbildung dieser Effekte: Als weitere Beispiele seien hier die zu erwartenden Überströmungen von Dämmen, mögliche Dammbüche und insbesondere die Unsicherheit von Online-Daten genannt.

Ungeachtet der Tatsache, dass kein Handlungsbedarf für die Prognose besteht, wird aber empfohlen die neuen HWS-Anlagen im Modell nachzuführen⁶¹, so dass langfristig gesehen, wie der ein aktuelles Modell zur Verfügung steht.

Abb. 6.25 Überblick Machland-Schutzdamm - schematisch



⁶¹ Als wichtiger Schritt wird dabei gesehen, dass die Objekte und Betriebsordnungen soweit implementiert sind, als es aus hydraulischer Sicht nötig ist. Dabei sind allfällige Vereinfachungen und Annahmen zu beschreiben um auch aus Sicht der Dokumentation ein nachhaltig vertrauenswürdiges Modell zu haben.

6.15 HQ100 Neuberechnung mit neuen Sohlaufnahmen

Grundsätzliche Überlegungen und Erkenntnisse

Die Frage, ob eine HQ-Neuberechnung mit neuen Sohlaufnahmen durchgeführt werden soll, wird aufgrund der durchgeführten Analysen und der inzwischen vorliegenden Informationen klar mit „ja“ beantwortet.

Als Basis für diese Entscheidung seien folgende Punkte herausgestrichen:

- Beim aktuellen Ereignis waren die Wasserstände in mehreren Bereichen niedriger, als sie aufgrund der Berechnungen mit den aktuellen Modellen erwartet worden waren.
- Die Unterschiede zwischen gemessenen und beobachteten Wasserständen korrespondieren in vielen Bereichen mit Änderungen der Stromsohle (Eintiefungen).
- Es gibt aber auch die Frage, wie weit sich auch die Rauheiten in den Querprofilen geändert haben, so daß neben der Aktualisierung der Querprofil-Geometrie auch eine Überprüfung/Überarbeitung der Kalibrierung wichtig erscheint.
- Die durchgeführten Analysen und auch frühere Berechnungen zum Hochwasser 08/2002 (siehe Details dazu unten) zeigen, dass die Berechnung der Durchflüsse von allfälligen Änderungen der Stromsohle relativ wenig beeinflusst werden und dass bei der österreich-weiten Rekonstruktion des Ereignisses z.B. der Zufluss von den Zubringern sicher eine größere Unsicherheit darstellt.
Entsprechend impliziert die Verwendung älterer Stromgrunddaten für die Rekonstruktion in Hinblick auf die Durchflüsse keine relevanten Unsicherheiten.
- Umgekehrt war es im Rahmen der Analysen nötig, zur Interpretation von Berechnungen die Wasserstände durch Parallelverschieben zu korrigieren (vgl. Pkt. 4.3.1.3).
Dies hat einerseits die Analysen und derer Interpretation sehr erschwert. Andererseits ist es als Stand der Technik anzusehen, die oben angeregte Aktualisierung des Modells durchzuführen, um bei den Wasserständen Ergebnisse zu gewinnen, die keiner Korrektur bedürfen.
- Die o.a. Einschätzung, dass die Aktualität der Stromgrunddaten bei extremen Hochwässern an der Donau auf die Durchflüsse/Durchflussganglinien einen untergeordneten Einfluss hat, wird auch durch eine im Jahr 2003 durchgeführte Nachrechnung des Ereignisses 08/2002 gestützt⁶²:
Aus der Nachrechnung zeigte sich, dass die Verwendung von Stromgrunddaten aus 1991 und früher im Vergleich zu Daten von 2000 bis 2002 praktisch überhaupt keinen Einfluss auf die Durchflussganglinien ergab, wobei bei dieser Nachrechnung auch der Einfluss auf die Wasserstände mit wenigen Ausnahmen nur etwa +/- 10 cm betrug⁶³.

⁶² Nachrechnung des Hochwassers vom August 2002 mit dem bestehenden mathematischen Modell der NÖ Donau für den Bereich Mauthausen bis Krems: SCIE TEC Flussmanagement GmbH im Auftrag des Amtes der NÖ Landesregierung, Abt. WA2 (2003).

⁶³ Die Ausnahme stellt der Bereich von km 2111 bis 2108, wobei dieser Bereich durch überdurchschnittliche Änderungen der Stromsohle charakterisiert war (mittlere Änderungen im Querprofil von 2-3 m).

- Zu der 2003 durchgeführten Nachrechnung für 08/2002 seien auch die Ergebnisse zu den Wasserständen festgehalten, da sie in Bezug auf das aktuelle Ereignis von besonderer Bedeutung erscheinen:
Bei der Nachrechnung, die für den Abschnitt Mauthausen bis Krems durchgeführt wurde, wurden die Wasserstände tendenziell unterschätzt, wobei sich – je nach Abschnitt - Abweichungen von 20-80 cm ergaben.
In Hinblick darauf, dass (1) beim aktuellen Ereignis die aufgetretenen Wasserstände teilweise niedriger waren als die erwarteten/berechneten und dass (2) die aktuellen Modelle tendenziell mit Daten von 08/2002 kalibriert sind, stellt sich die Frage, welchen Einfluss neben den Stromgrunddaten die Kalibrierung der Modelle hat.

Vorgeschlagene Vorgehensweise

Aufgrund der Erkenntnisse bei den Analysen und aufgrund der heterogenen Änderungen der Stromgrundsohle wird empfohlen, eine HQ100-Neuberechnung mit unterschiedlichen „Sets“ von Stromgrundsohlen durchzuführen, um die Sensitivität der Berechnungen zu überprüfen.

Für eine Neuberechnung wird ein Vorgehen in zwei Schritten empfohlen:

- (1) Sensitivitätsanalyse um zu überprüfen, wie sich die Änderungen der Stromsohle in den unterschiedlichen Bereichen der Donau auswirken.
- (2) Neuberechnung für all jene Bereiche, in welchen relevante Einflüsse durch die Änderung der Stromsohle erkannt wurden.

Als Basis für die Berechnungen wird eine Re-Kalibrierung des Modells vorgeschlagen, wobei die o.a. Erkenntnisse aus der Nachrechnung des Ereignisses von 08/2002 eibezogen werden sollten. Konkret auch sollte verglichen werden, welchen Einfluss die Kalibrierung hat und welche Effekte sich aus der unterschiedlichen Kombination von Rauheiten (Kalibrierung) und Stromgrunddaten ergeben.

Ein Richtwert für die zu erwartenden Änderung der Spiegellagen ergibt sich durch die Korrekturen, die bei den Wasserständen nötig waren (vgl. Pkt. 4.3.1.3). Im NÖ Abschnitt der Donau lagen diese zwischen max. +/- 50 cm (maximale Werte in Greifenstein und Grein; vgl. Tab.4.6).

7 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

7.1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Im Juli 2013 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 beauftragt.

Wenngleich die beiden Beauftragungen formal unabhängig zu sehen sind, ergibt sich sowohl inhaltlich als auch von der Zielsetzung eine so enge Überschneidung, dass vereinbart wurde, die bisherigen Arbeiten zur Analyse und Rekonstruktion des Hochwassers in einem gemeinsamen Bericht zusammenzufassen.

Neben der engen inhaltlichen Überschneidung ist festzuhalten, dass der Auftrag der NÖ Landesregierung als bewusster erster, rascher Schritt die Ziele hatte, (a) jene Fragen zu klären, die (relativ) rasch behandelt werden konnten und (b) jene Fragen festzuhalten und zu schärfen, die kurzfristig nicht lösbar sind.

Der Auftrag der OÖ Landesregierung umfasste demgegenüber neben der Analyse und Rekonstruktion des Ereignisses (Phase I) bereits auch die Verbesserung des 2D-Modells für das Eferdinger Becken (Phase II) sowie die Neuberechnung von Spiegellagen, Überflutungsflächen und Wassertiefen (Phase III).

Der vorliegende Bericht deckt demnach zum Auftrag des Landes NÖ die gesamten beauftragten Leistungen ab, während zum Auftrag des Landes OÖ noch Teile der Phase II sowie die gesamte Phase III offen sind.

Bei der Konzeption und Beauftragung des Projektes war man bewusst von einer raschen Grob-Analyse und zunächst einer Bearbeitungszeit von 6-10 Wochen ausgegangen. Nach den ersten Analysen und Berechnungen haben sich relativ rasch und wiederholt wichtige Fragen und zum Teil auch größere Unsicherheiten in den Datengrundlagen ergeben. Aus diesem Grund wurde daher mehrmals beschlossen, die Projektlaufzeit zu verlängern um die Bearbeitungstiefe erhöhen 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 die Präsentation in NÖ am 07.10.2013 und 20.12.2013 (St. Pölten) sowie die Unterstützung von Pressekonferenzen in OÖ am 06.09.2013 und 25.02.2014 (Linz). Zusätzlich wurden Teilergebnisse in mehreren Kurzberichten und Memos zusammengefasst und dienten als Zwischeninformation für die Auftraggeber sowie als Unterlagen für unterschiedlichste Besprechungen und Informationsveranstaltungen.

7.2 Zusammenfassung der durchgeführten Arbeiten

Die durchgeführten Arbeiten lassen sich in folgende Teilbereiche gliedern:

- *Zusammenstellung der vorliegenden Datenbasis*
Die Zusammenstellung umfasste eine einheitliche Darstellung aller von Land OÖ, Land NÖ, via donau und VHP zur Verfügung gestellten Daten zum Ereignis.

- *Numerische Modellierung mit 1D- und 2D-Modellen*

Die instationären Berechnungen dienten zum einen der Rekonstruktion des Ereignisses per se sowie der Untersuchung von spezifischen Fragen, wie z.B. den Auswirkungen von Anlandungen oder dem Einfluss geänderter Rauigkeit durch eine Änderung der Vegetation im Nationalpark Donau-Auen.

Bei vielen der Berechnungen war ein wichtiger Aspekt, durch Sensitivitätsanalysen die Auswirkungen von Annahmen und Unsicherheiten auf die Ergebnisse bei der Rekonstruktion des Hochwasserereignisses zu untersuchen. Dabei ergaben sich – quasi nebenbei – wichtige Erkenntnisse darüber, wie das Hochwassergeschehen von unterschiedlichen Faktoren beeinflusst wird bzw. durch welche Faktoren es nicht beeinflusst werden kann.
- *Diskussion und Abstimmung von Daten und Zwischenergebnissen*

Aufgrund der Tatsache, dass parallel zur Analyse der Daten im gegenständlichen Projekt auch umfassende Arbeiten von via donau, den hydrographischen Diensten und von VHP durchgeführt wurden, wurde der Abstimmung und Diskussion von Ergebnissen und Erkenntnissen von Anbeginn besonderes Augenmerk beigemessen.

Für diese Abstimmung wurden im Rahmen des Projektes etwa 40 Besprechungen, Präsentationen und Veranstaltungen durchgeführt, wobei die abschließende Abstimmung der Maximal-Durchflüsse zwischen PÖYRY Energy und via donau Ende Jänner d.J. stattfand.
- *Beantwortung der Fragen laut Katalog des Landes NÖ*

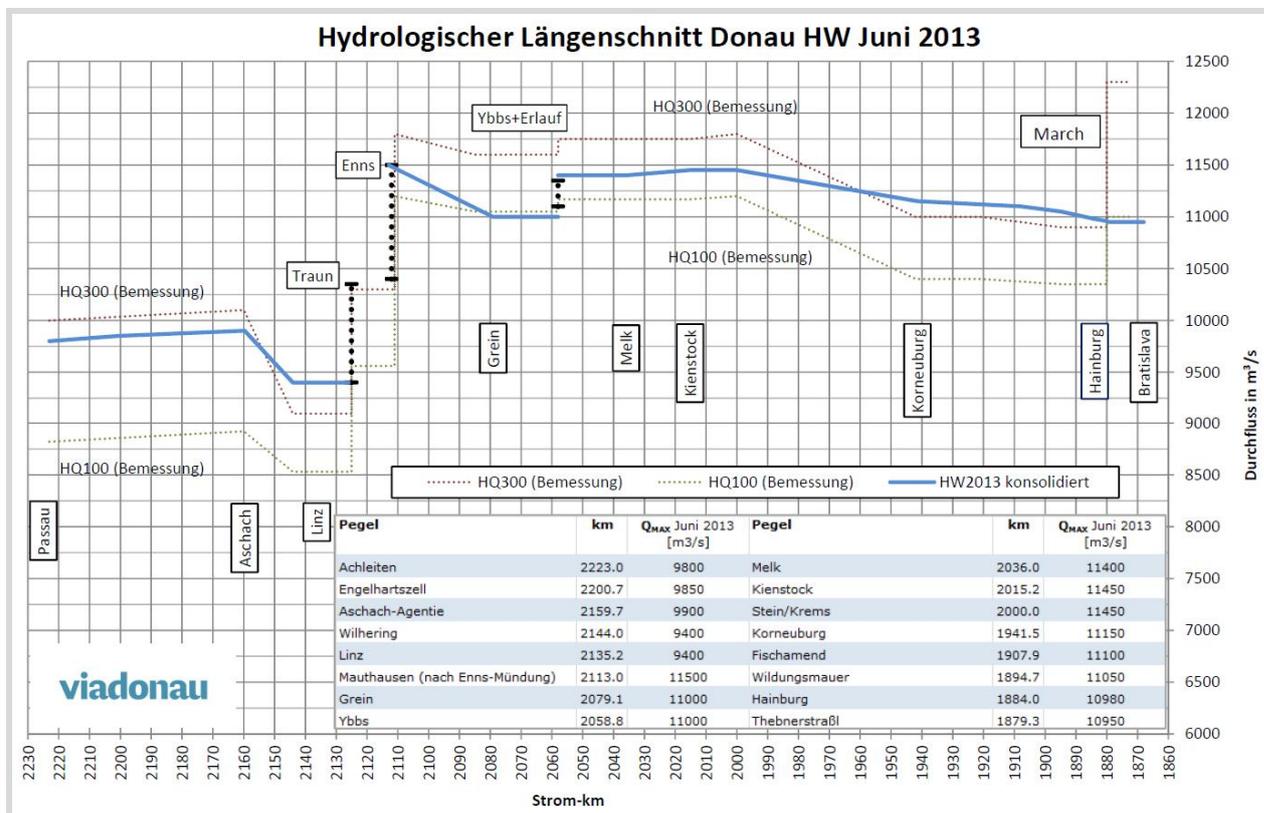
Im Rahmen des Ereignisses haben sich unterschiedlichste Fragen ergeben, die im Vorfeld u.a. von Land NÖ gesammelt worden waren.

Im Hinblick auf die z.T. sehr unterschiedlichen Fragen war von Anbeginn auch von heterogenen Antworten ausgegangen worden. Dazu war festgelegt, dass nicht alle Fragen vollständig und detailliert beantwortet werden sollten, sondern dass bei einigen Fragen nur sehr allgemeine und grundsätzliche Antworten angedacht waren.

Der Tatsache, dass bei vielen Fragen zunächst von eher raschen Antworten ausgegangen worden war, wurde dadurch Rechnung getragen, dass die Fragen zu einem großen Teil schon während der Bearbeitungsphase beantwortet wurden und dass zu Teilaspekten für Besprechungen oder Präsentationen eigene Unterlagen ausgearbeitet wurden.

7.3 Zentrale Ergebnisse und Erkenntnisse

Als ein zentrales Ergebnis des Projektes liegt der hydrologische Längenschnitt für das Hochwasserereignis vom Juni 2013 vor. Dieser Längenschnitt stellt die mit via donau abgestimmten maximalen Durchflüsse entlang der Donau dar.



Als weitere Ergebnisse liegen Durchflusszeitreihen und Auswertungen und Erkenntnisse zu unterschiedlichsten Fragestellungen vor. Von diesen seien zusammenfassend folgende herausgestrichen:

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 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 war die Retention im Machland stärker als aufgrund von bisherigen Erfahrungen erwartet worden sind, wobei sich dies durch die spezifische Überlagerung von Donau- und Enns-Hochwasser erklärt.

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 hatte.
- Festgehalten sei aber, dass insbesondere bei schmälere Hochwasserwellen der Einfluss der Überströmstrecken stärker sein kann.
- Entsprechend sind für Phase II vertiefende Analysen zu den Überströmstrecken im Eferdinger Becken vorgesehen.

Querprofile und Stromsohlen

- Die exemplarische Analyse einzelner Querprofile und die gesamthafte Auswertung der Stromgrundaufnahmen durch via donau zeigt zum Teil sehr starke und heterogene Umlagerungen.
- Die Auswertung dieser Umlagerungen für die vergangenen 2 Jahrzehnte zeigt ebenfalls eine hohe Dynamik auf, so dass empfohlen wird, den Einfluss der Stromsohlen-Änderungen auf die Wasserspiegel gesamthafte für die österreichische Donau zu untersuchen. Diese Untersuchung könnte/sollte auch eine Überprüfung der Spiegellagen bei HWS-Anlagen sowie die Darstellung der Sensitivität insbesondere im Bereich von HWS-Anlagen umfassen.

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 deutliche Unterschiede im Verlauf der Pegelschlüssel.
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 aktuell mit dem Modell errechneten W-Q-Beziehungen wegen der o.a. Unsicherheiten in den Querprofilen noch eine gewisse Unsicherheit haben.
Entsprechend wird empfohlen, die W-Q-Beziehungen nach einer Aktualisierung der Querprofile und nach erfolgter Nachkalibrierung neu zu bestimmen.

Modellierung – Nachbildung des Ereignisses

- Die Analysen 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 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 zu aktualisieren und die Modelle zumindest in jenen Bereichen, in welchen dann noch größere Differenzen bleiben, neu zu kalibrieren.
- Aufgrund von methodischen Ansätzen (Preissmann-Schlitz) wird in 1D-Modellen in den Bereichen, in welchen das Vorland als eigener Ast abgebildet wird, 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 HW_{30} - und HW_{100} -Überflutungsflächen

- Beim Ereignis von Juni 2013 waren die Wasserstände in vielen Bereichen unter den für derartige Durchflüsse erwarteten Wasserständen. Daraus ergibt sich, dass - aus heutiger Sicht - die HW_{30} - und HW_{100} -Überflutungsflächen als konservative Ausweisung zu sehen sind.
- 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.