

**Untersuchungen zu den Wehrbetriebsordnungen
für die Staustufen im Donauabschnitt
Passau bis Wallsee-Mitterkirchen**

Auftraggeber:

Amt der oberösterreichischen Landesregierung
Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft
Abteilung Oberflächengewässerwirtschaft / Schutzwasserwirtschaft

Bearbeitung:

Dipl.-Ing. U. Theobald
Dipl.-Ing. S. Dettmann
Prof. Dr.-Ing. S. Theobald

Kassel, Juli 2015

Inhalt

1	Veranlassung und Aufgabenstellung	4
2	Verwendete Unterlagen	5
3	Grundlagen	7
3.1	HN-Verfahren	7
3.2	Absolut- und Relativbetrachtung bei Simulationsverfahren	10
4	Erstellung der HN-Modelle	12
4.1	Modellierung des Flussschlauchs	12
4.2	Modellierung der Vorländer	13
4.2.1	Vorlanddotation	13
4.2.2	Abflussweitergabe im Vorland	16
4.3	Betriebsreglements – modelltechnische Umsetzung	18
4.3.1	Randbedingung: Wasserstand vorgegeben	18
4.3.2	Randbedingung: Abfluss vorgegeben	18
4.3.3	Randbedingung: Abflussvorgabe durch einen Regler / Umsetzung von Wehrbetriebsordnungen	18
4.4	Zu- und Nebenflüsse	19
5	Einfluss der Morphologie auf den Wasserhaushalt nach WBO	20
5.1	Morphologie und WBO in der Stauhaltung Jochenstein	21
5.2	Morphologie und WBO in der Stauhaltung Aschach	23
5.3	Morphologie und WBO in der Stauhaltung Ottensheim-Wilhering	28
5.4	Morphologie und WBO in der Stauhaltung Abwinden-Asten	33
5.5	Morphologie und WBO in der Stauhaltung Wallsee-Mitterkirchen	37
5.6	Fazit zum Einfluss der Morphologie auf den Wasserhaushalt nach WBO	42
6	Übereinstimmung Modell – Messwerte	44
6.1	Übereinstimmung Modell – Messwerte: Stauhaltung Jochenstein	44
6.2	Übereinstimmung Modell – Messwerte: Stauhaltung Aschach	46
6.3	Übereinstimmung Modell – Messwerte: Stauhaltung Ottensheim-Wilhering	48
6.4	Übereinstimmung Modell – Messwerte: Stauhaltung Abwinden-Asten	53
6.5	Übereinstimmung Modell – Messwerte: Stauhaltung Wallsee-Mitterkirchen	55
6.6	Fazit zur Übereinstimmung Modell – Messwerte	56

7	Untersuchungen zu den WBOs	57
7.1	Auswirkungen von Abweichungen von den WBOs beim HW 2013	57
7.1.1	Aschach: Abweichung im Wiederanstau	57
7.1.2	Ottensheim-Wilhering: Abweichung bezüglich Wasserstand	57
7.1.3	Wallsee: Überschreitung der zulässigen Absenkgeschwindigkeit	60
7.2	WBO Ottensheim-Wilhering, Vorschlag „Feldkirchen“	63
7.3	Auswirkung der Änderung der WBO Abwinden-Asten auf den Rückstau im Unterwasser Ottensheim-Wilhering	65
8	Optimierungspotential bezüglich der WBOs im Hinblick auf das Stauraummanagement	71
8.1	Prinzip	71
8.2	Verwendete Ganglinien	73
8.3	Optimierungspotential in der Stauhaltung Aschach	74
8.3.1	Verfügbare Volumina	75
8.3.2	Sensitivität bezüglich des Anstauzeitpunkts	78
8.3.3	Sensitivität bezüglich des Anstaugradienten	82
8.3.4	Ergebnisse der Sensitivitätsuntersuchungen	86
8.3.5	Untersuchungen für weitere Ganglinien	86
8.4	Optimierungspotential in der Stauhaltung Jochenstein	90
8.5	Fazit bezüglich des Optimierungspotentials	93
9	Zusammenfassung	96
	Anhang: Zusätzliche Abbildungen	I

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Das Hochwasser vom Juni 2013 hat in Oberösterreich schwere Schäden angerichtet. Dies regte zu einer intensiven Diskussion über verschiedene hochwasserbezogene Fragestellungen an.

- Eine Überprüfung der Wasserstands- und Abflussaufzeichnungen an verschiedenen Pegeln ergab, dass es beim Betrieb der Staustufen der Donau während des Hochwassers zu Abweichungen von den Wehrbetriebsordnungen (WBO) gekommen ist. Die Auswirkungen der festgestellten Abweichungen bezüglich des Oberwasserstandes Ottensheim-Wilhering sowie der Absenkgeschwindigkeit an der Stauanlage Wallsee-Mitterkirchen werden daher modelltechnisch quantifiziert.
- Im Jahre 2008 wurde die WBO der Stauanlage Abwinden-Asten dahingehend geändert, dass während eines Hochwasserereignisses der Oberwasserstand weniger stark abgesenkt wird. Es ist zu untersuchen, ob diese Änderung zu einem erhöhtem Rückstau ins Eferdinger Becken geführt hat.
- Die Flusssohle der Donau unterliegt in Oberösterreich fortwährenden Änderungen durch morphologische Prozesse. Das Sohlmaterial wird kontinuierlich und insbesondere während Hochwasserereignissen transportiert und umgelagert. Im Modell soll in einer Grobanalyse abgeschätzt werden, inwieweit die veränderliche Sohlgeometrie die Regelungen der WBOs beeinflusst und sich somit auf das Abflussgeschehen im Hochwasserfall auswirkt.
- Die in den WBOs festgehaltene Betriebsstrategie der Stauanlagen bestimmt maßgeblich die Abflussweitergabe. Zu untersuchen ist, ob es ein Optimierungspotential für den Hochwasserfall gibt, um durch ein geändertes Stauraummanagement die Hochwasserspitze zu verringern. Dies könnte z.B. durch frühzeitige Vorabsenkung und Wiederanheben des Wasserspiegels geschehen. Im Focus steht dabei die theoretische Analyse, ob Potential vorhanden ist.

Zur Bearbeitung der vorgenannten Fragestellungen war in diesem Auftrag ursprünglich vorgesehen, das bei der Fa. Pöyry Energy GmbH vorhandene 1D-HN-Modell zu nutzen. Dieses wurde als Prognosemodell erstellt und umfasst die gesamte österreichische Donau, weshalb es auf kurze Rechenzeiten und stabiles Verhalten hin optimiert ist. Es weist verhältnismäßig große Querprofilabstände von 500 m und eine stark vereinfachte Abbildung der Regelungen an den Stauanlagen auf.

Im Laufe der Bearbeitung stellte sich heraus, dass dieses Modell zur zuverlässigen Beantwortung der aktuell aufgeworfenen Fragen aufgrund seiner Vereinfachungen nicht geeignet ist. Eine Weiterentwicklung des Modells wäre mit sehr hohem Aufwand verbunden bzw. hinsichtlich einiger modelltechnischer Umsetzungen gar nicht möglich gewesen, weshalb ein eigenes 1D-HN-Modell erstellt wurde. Dies ist in Kapitel 4 ausführlich beschrieben.

2 Verwendete Unterlagen

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung konnte auf folgende Unterlagen zurückgegriffen werden.

Berichte

- Kontrolle des Wehrbetriebs der Kraftwerke an der österr. Donau für das Hochwasserereignis im Juni 2013; viadonau; ergänzte Version vom 10.07.2013 – incl. digitaler Daten (Excel-Datei zu Wasserstands- und Abflussganglinien der Donau)
- Hochwasserbericht, Bericht über die Einhaltung der Wehrbetriebsordnungen während des Hochwassers vom 30. Mai bis 5. Juni 2013 an der österreichischen Donau; Lebensministerium, August 2013
- Kurzbericht zum Einfluss der Kraftwerke Aschach und Ottensheim auf das Hochwassereschehen im Eferdinger Becken, Rohfassung, Pöyry, 18.08.2013
- Hochwasser 2013, Grob-Analyse und Modellierung, Endbericht, Pöyry, 16.06.2014
- Hochwasser 2013, Numerische Modellierung zur Erstellung von vertiefenden Grundlagen für HW-Management, Alarmplanung und Hochwasserschutz, Vorbericht, Pöyry, 29.05.2015
- Kraftwerk Abwinden-Asten, Hydraulische Berechnungen zur Änderung der Wehrbetriebsordnung, Verbund Austrian Hydro Power, November 2007
- Überprüfung der Einhaltung der Wehrbetriebsordnungen an der oberösterreichischen Donau beim Hochwasserereignis Juni 2013, Dettmann & Theobald, November 2013

Wehrbetriebsordnungen

- Donaukraftwerk Jochenstein, Allgemeine Betriebsvorschrift und Wehrbetriebsordnung, 24.10.2006
- Donaukraftwerk Aschach, Vorläufige Wehrbetriebsordnung, 4. Fassung, Wien, Mai 2009
- Donaukraftwerk Ottensheim-Wilhering, Vorläufige Wehrbetriebsordnung, 4. Fassung, 9.7.2008
- Donaukraftwerk Abwinden-Asten, Vorläufige Wehrbetriebsordnung, 3. Fassung, 9.7.2008
- Donaukraftwerk Wallsee-Mitterkirchen, Vorläufige Wehrbetriebsordnung, 6. Fassung, 9.7.2008
- Donaukraftwerk Abwinden-Asten, Vorläufige Wehrbetriebsordnung, 2. Fassung, 4.12.1978

Vermessungsdaten

- Querprofile in einem Rechtswert-Hochwert-Höhe-Format für die Stauhaltungen Aschach, Ottensheim-Wilhering, Abwinden-Asten und Wallsee-Mitterkirchen, Sohlgeometrien „nach HW“, WBO“ und „angelandet“, Verbund
- Querprofile der Stauhaltung Jochenstein in Gauß-Krüger-Koordinaten + Höhe, Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (Deutschland)
- Querprofile der Stauhaltung Jochenstein in einem Rechtswert-Hochwert-Höhe-Format, viadonau
- Flächenhafte Darstellung von Sohlpeilungen auf Orthofotos mit Stromkilometrierung, viadonau
- Massenbilanzen des Verbund
- Massenbilanzen der viadonau

Pegeldaten (Abfluss- und Wasserstandsmessungen)

- Excel-Datei zu Wasserstands- und Abflussganglinien der Donau für das Hochwasserereignis im Juni 2013 (Kraftwerke und Wendepegel), viadonau, s.o
- Excel-Datei zu Wasserstandsganglinien an weiteren Pegeln der Donau, viadonau
- Abflusskurven vom Hochwasserereignis 2013 von den wichtigsten oberösterreichischen Donauzubringern, Amt der öö. Landesregierung, Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft

Auswertungen aus dem 2D-HN-Modell der Fa. Pöyry

- Ergebnisse des 2D-HN-Modells für unterschiedliche Zuflussganglinien, ausgewertet speziell für die Dotation der Vorländer, Fa. Pöyry
- Differenzendarstellung bzgl. der maximalen Wasserstände im Eferdinger Becken bei verschiedenen Wasserstandsganglinien am KW Ottensheim-Wilhering, ermittelt mit dem 2D-HN-Modell, Fa. Pöyry

Sonstiges

- Wehrkennlinien der Stauanlagen Jochenstein, Aschach und Ottensheim-Wilhering, Verbund
- Hydrologischer Längenschnitt der Donau, viadonau

3 Grundlagen

3.1 HN-Verfahren

Die Untersuchungsmethode muss sich auf ein Modell stützen, das die Wechselwirkung zwischen dem Betrieb der Kontrollbauwerke an der Staustufe und den Strömungsverhältnissen im Stauraum quantifizieren kann. Kernbaustein des Modells ist ein eindimensionales, instationäres hydrodynamisch-numerisches Verfahren zur Berechnung der Strömungsverhältnisse in einem Fließgewässer. Der Gewässerverlauf wird hierzu in Form von Querprofilen abgebildet, das System wird allgemein als hydrodynamisch-numerisches (HN-)Modell bezeichnet. Mit diesem HN-Modell können die Wechselwirkungen zwischen Zufluss, Abfluss und den Wasserständen berechnet sowie die Betriebsvorgaben an den Staustufen hinsichtlich ihrer Wirkung auf Wasserstand und Abfluss überprüft werden.

Das im Rahmen dieser Untersuchung eingesetzte 1D-HN-Modell löst die eindimensionalen Saint-Venant-Gleichungen mittels eines Finite-Differenzen-Verfahrens nach Preissmann. Das Programm berechnet im Untersuchungsgebiet zeitabhängige, über die durchströmte Fläche gemittelte Wassertiefen und Durchflüsse, wodurch Aussagen über Wasserspiegel- und Abflussverhalten sowie Fließgeschwindigkeiten möglich sind. Die Modellgeometrie wird in einzelnen Stationen mit variablen Abständen in Abhängigkeit des Flusssystems in Form von Querprofilen dargestellt. In Bereichen, in denen es aus hydraulischer Sicht erforderlich ist, wird ein geringerer Abstand gewählt. In Abbildung 3.1 sind die relevanten Strömungsgrößen eines eindimensionalen Abflussvorgangs in einem Gerinne zusammengestellt.

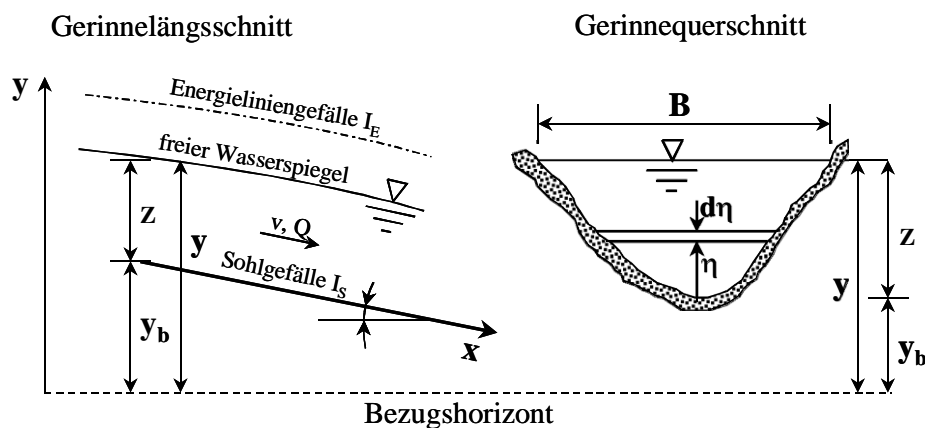


Abbildung 3.1: Strömungsgrößen des eindimensionalen Abflussvorgangs in einem Gerinne

Die Grundgleichungen, nach denen eindimensionale, instationäre Bewegungen von Fluiden in offenen Gerinnen beschrieben werden, basieren auf der Erhaltung von Masse und Impuls an einem Kontrollvolumen. Die Massenerhaltung wird über die nachfolgend dargestellte Kontinuitätsgleichung beschrieben.

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad \text{mit:} \quad B = \frac{\partial A}{\partial z}$$

A	Durchströmte Querschnittsfläche [m ²]
y	Wasserspiegelkote [m]
t	Zeit [s]
x	Koordinate in Fließrichtung [m]
Q	Durchfluss [m ³ /s]

Die Impulsgleichung basiert auf der Newton'schen Bewegungsgleichung $F = m \times a$ und lautet

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\beta v^2}{2} \right) + g \frac{\partial y}{\partial x} + g \frac{Q|Q|}{K^2} = 0$$

mit: β Korrekturbeiwert für die ungleichförmige Geschwindigkeitsverteilung [-]
 K Conveyance $K = K_{st} R^{2/3} A$ [m³/s]
 k_{st} Rauheitsparameter nach Strickler [m^{1/3}/s]

Diese 1D-Saint-Venant-Gleichungen stellen ein System partieller Differentialgleichungen dar, für das bis heute keine analytische Lösung existiert. Voraussetzung einer hydrodynamisch-numerischen (HN-)Simulation ist somit ihre Diskretisierung, d.h. das Überführen der kontinuierlichen Differentialgleichungen in diskrete Gleichungen mit einer endlichen Anzahl Stützstellen in Raum und Zeit. Dabei wird das untersuchte Gewässer in eine endliche Anzahl diskreter, räumlicher Berechnungspunkte unterteilt. Die Simulationsdauer wird ebenso in eine endliche Anzahl von diskreten Zeitschritten gegliedert.

Bei dem eingesetzten Verfahren erfolgt die Diskretisierung mit der Methode der Finiten Differenzen. Dabei werden die in den Gleichungen auftretenden Differentialquotienten mittels Taylorreihenentwicklungen zu Differenzenquotienten angenähert, wobei die Terme höherer Ordnung in den Taylorentwicklungen vernachlässigt werden. Für die partiellen Ableitungen einer Strömungsgröße Φ in Raum- und Zeitrichtung ergeben sich somit folgende Näherungen:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial x} \approx \theta \frac{\Phi_{j+1}^{n+1} - \Phi_j^{n+1}}{\Delta x} + (1 - \theta) \frac{\Phi_{j+1}^n - \Phi_j^n}{\Delta x}$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} \approx \psi \frac{\Phi_{j+1}^{n+1} - \Phi_{j+1}^n}{\Delta t} + (1 - \psi) \frac{\Phi_j^{n+1} - \Phi_j^n}{\Delta t}$$

Eine eindeutige Zuordnung der berechneten Strömungsgrößen nach Ort und Zeit erfolgt über den Ortsindex j sowie den Zeitindex n . Die Parameter θ und ψ stellen räumliche und zeitliche Wichtungsgroßen dar, mit denen das Verhältnis der Nachbarknoten bei der Lösung beeinflusst wird. Bei dem eingesetzten Preissmann-Schema gilt: $0,5 \leq \theta \leq 1$ und $\psi = 0,5$.

Die diskreten Grundgleichungen werden anschließend mittels Potenzreihenentwicklung sowie Vernachlässigung von Termen höherer Ordnung linearisiert. Das entstandene lineare Gleichungssystem zur Bestimmung der Strömungsgrößen an allen Knoten des Berechnungsgebietes und für jeden Zeitschritt der Berechnungsdauer wird mittels der Double-Sweep-Methode gelöst. Dabei wird die Bandstruktur entlang der Diagonalen der Koeffizientenmatrix ausgenutzt, so dass die Rechenzeit nur proportional zur Knotenzahl ansteigt.

Mathematisch betrachtet stellt die Berechnung der 1D-Saint-Venant-Gleichungen für ein begrenztes Untersuchungsgebiet und eine bestimmte Simulationsdauer ein sogenanntes Anfangsrandwertproblem dar. Die eindeutige Lösung des Gleichungssystems ist somit erst durch Vorgabe von Anfangs- und Randbedingungen möglich. Physikalisch betrachtet stellen die Anfangsbedingungen den Strömungszustand (Wasserstände/Geschwindigkeiten im gesamten Modellgebiet) zu Beginn der numerischen Simulation dar, während die Randbedingungen über die gesamte Simulationsdauer den Zustand an den Modellgebietsgrenzen beschreiben. Im einfachsten Fall eines 1D-Modellgebiets ohne seitliche Zuflüsse werden die Randbedingungen an einem (oberen) Zufluss- und einem (unteren) Abflussquerschnitt definiert. Als obere Randbedingung werden bei 1D-HN-Modellen immer Durchflussvorgaben gewählt, als untere Randbedingung meist Wasserstände; es können jedoch auch Durchflüsse vorgegeben werden.

Vom numerischen Modell müssen die im Untersuchungsgebiet auftretenden Verluste an Strömungsenergie berücksichtigt werden. Dabei wird zwischen kontinuierlichen Energieverlusten, verursacht z.B. durch die von Korngrößen und Korngrößenverteilungen abhängige Oberflächenrauheit oder die von Transportkörpern, Bewuchsdichte und Hindernissen beeinflusste Formrauheit, und lokalen Energieverlusten an z.B. Brücken oder Durchlässen unterschieden. Die kontinuierlichen Verluste werden bei 1D-HN-Modellen über den Rauheitsbeiwert (k_{st} -Wert) pauschal berücksichtigt, lokale Verluste können durch empirische Verlustbeiwerte an einzelnen Berechnungsstützstellen in funktionalem Zusammenhang von der Geschwindigkeitshöhe abgebildet werden.

3.2 Absolut- und Relativbetrachtung bei Simulationsverfahren

Jede Simulation stellt nur ein Abbild der Wirklichkeit dar und beinhaltet somit gewisse Ungenauigkeiten. Zur korrekten Interpretation von Berechnungsergebnissen ist zwischen der absoluten und relativen Genauigkeit zu unterscheiden.

Absolute Genauigkeit

Die absolute Genauigkeit bezeichnet die Qualität der Übereinstimmung eines berechneten Ergebnisses mit einem Messwert.

Abbildung 3.2 illustriert dies am Beispiel von Wasserständen. Bei einem Abfluss von ca. $Q = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$ wurden in der Natur an unterschiedlichen Punkten innerhalb der Stauhaltung Wasserstandsmesswerte (Fixierungen) aufgenommen, diese sind in der Grafik durch blaue Punkte dargestellt. Im Modell wurde für den gleichen Abfluss die Wasserspiegellage in der Stauhaltung berechnet (blaue Linie). An einigen Messpunkten stimmt die Berechnung gut mit den Fixierungen überein, an anderen treten Abweichungen auf.

Bei Vergleichen von Berechnungsergebnissen mit Naturmesswerten muss berücksichtigt werden, dass die in der Realität aufgenommenen Messwerte ungenau oder gar mit Fehlern behaftet sein können. Zudem stellt das Modell eine vereinfachte Abbildung der Natur dar; die absolute Genauigkeit einer berechneten Wasserstandsangabe (in m ü. A.) ist daher im Dezimeterbereich anzunehmen.

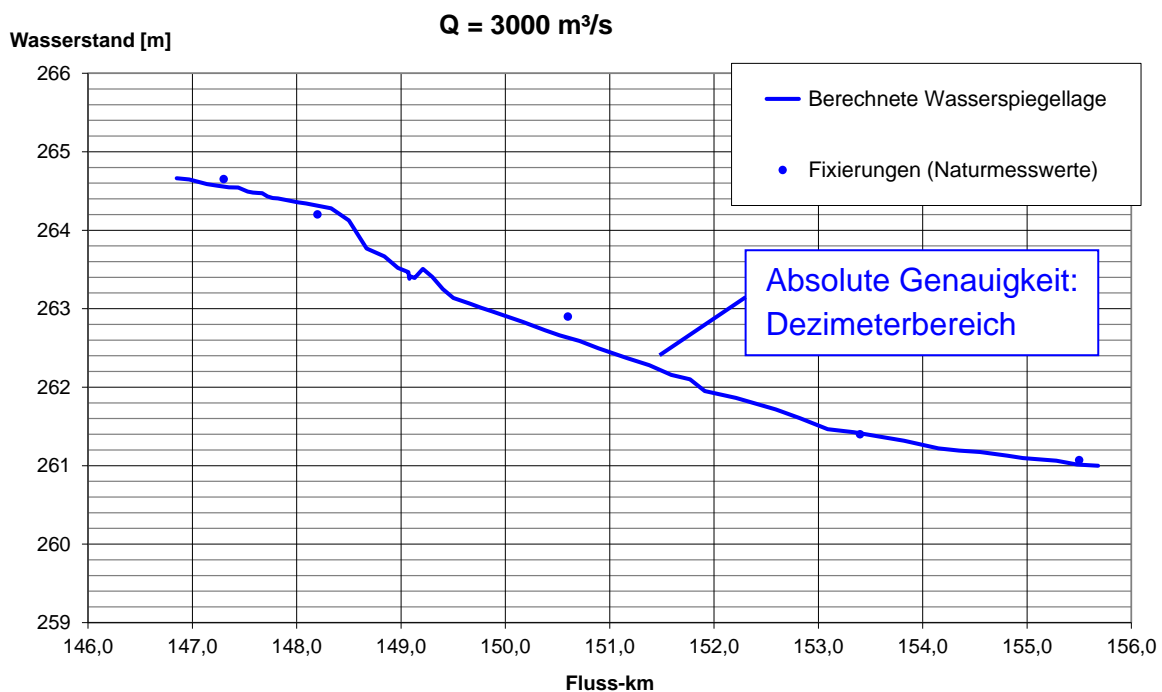


Abbildung 3.2: Absolute Genauigkeit

Relative Genauigkeit

Die relative Genauigkeit bezieht sich auf den Vergleich zweier Berechnungen mit unterschiedlichen Randbedingungen (z. B. bauliche Maßnahmen im Untersuchungsgebiet, veränderte Zuflüsse, geändertes Betriebsreglement).

Als Beispiel hierzu sind in Abbildung 3.3 die Wasserspiegellagen in einer Stauhaltung für zwei verschiedene Oberwasserstände an der Stauanlage aufgetragen. Während die Absolutwerte der berechneten Wasserspiegellagen mit der zuvor beschriebenen absoluten Genauigkeit im Dezimeterbereich zu beurteilen sind, können die Differenzen zwischen den berechneten Wasserspiegellagen mit einer relativen Genauigkeit im Zentimeterbereich angegeben werden. Diese deutlich höhere Genauigkeit wird erzielt, da beide Wasserspiegellagen mit dem gleichen Modell ermittelt wurden. Eventuelle Ungenauigkeiten durch Modellvereinfachungen kommen daher in beiden Berechnungen gleichermaßen vor.

Die Auswirkungen von Veränderungen jeglicher Art können daher im Modell sehr gut ermittelt und als Differenz gegenüber einem Ausgangszustand mit hoher Genauigkeit angegeben werden.

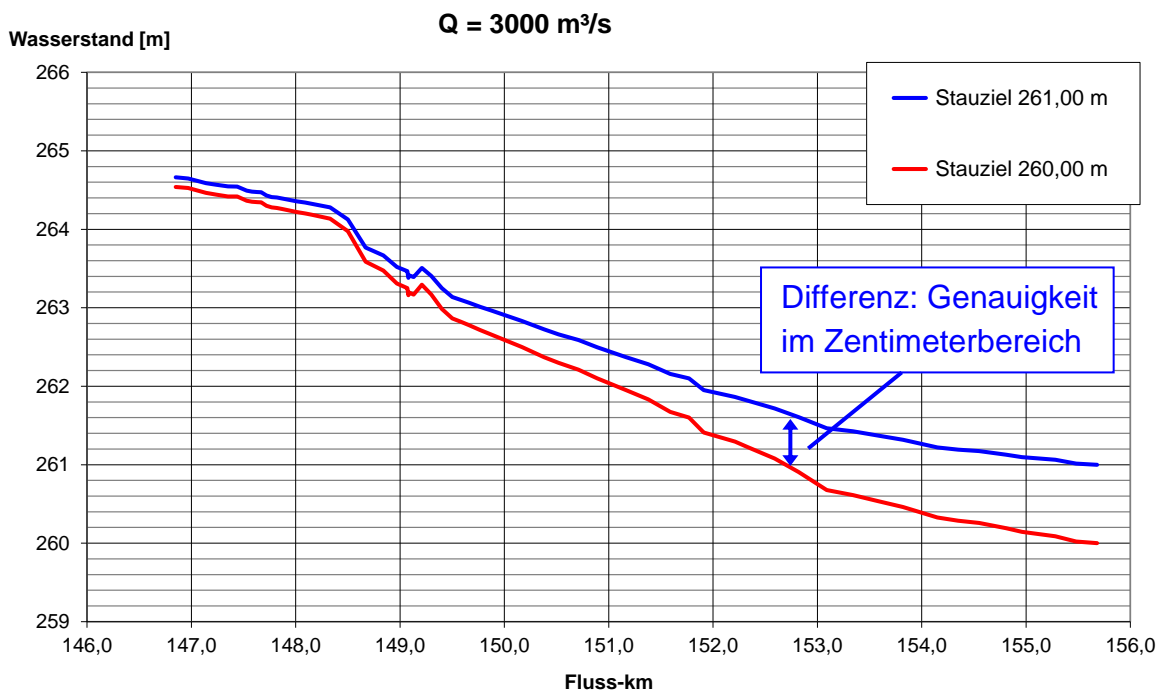


Abbildung 3.3: Relative Genauigkeit

4 Erstellung der HN-Modelle

Zur zuverlässigen Beantwortung der aktuell aufgeworfenen Fragestellungen war es erforderlich, ein eigenes 1D-HN-Modell des relevanten Abschnitts der Donau zu erstellen. Dieser ist in Abbildung 4.1 dargestellt.

Der oberstromige Modellrand befindet sich beim Pegel Achleiten nahe Passau. Die Donau gliedert sich im Untersuchungsgebiet in die Stauhaltungen Jochenstein, Aschach, Ottensheim-Wilhering, Abwinden-Asten und Wallsee-Mitterkirchen. Bei letzteren drei werden die Stauanlagen bei hohen Abflüssen über die Vorländer umströmt, was im Modell mit separaten Strängen für die Vorländer abgebildet wird (vgl. Abschnitt 4.2). Diese sind in der Übersicht hellblau dargestellt.



Abbildung 4.1: Übersicht über das Untersuchungsgebiet

4.1 Modellierung des Flussschlauchs

Das neu erstellte HN-Modell arbeitet mit Querprofilen im Abstand von 200 m. Dies ist ein der Größe des Flusses, der zu bearbeitenden Fragestellungen und der Rechenzeit angemessener Wert.

Um den Einfluss von morphologischen Veränderungen wie z.B. Anlandungen in den Stauräumen auf die Wasserspiegellagen und Abflüsse untersuchen zu können, wurden Querprofile aus verschiedenen Sohlpeilungen verwendet. Für jede Stauhaltung (ausgenommen Jochenstein) wird ein Geometriezustand nach dem Hochwasser 2013, der für Berechnung zur Einreichung der WBO 2008 verwendete Geometriezustand sowie ein Geometriezustand mit starken

Sedimentablagerungen modelliert. Die Querprofilaten wurden von Verbund Hydro Power GmbH (VHP) bzw. viadonau GmbH zur Verfügung gestellt.

Die Vorschriften der WBOs zum Betrieb der Stauanlagen wurden als Modellbausteine formuliert und mit den HN-Modellen der Stauhaltungen verknüpft. Dabei konnten auch verschiedene Absenckziele, die maximal zulässige Absenckgeschwindigkeit etc. detailgenau umgesetzt werden. Die modelltechnische Umsetzung des Betriebs der Stauanlagen ist in Abschnitt 4.3 näher erläutert.

4.2 Modellierung der Vorländer

Unterstrom des mit der Stauanlage Aschach endenden Durchbruchstals tritt die Donau bei Hochwasser in großen Bereichen über die Ufer. Gebiete wie das Eferdinger Becken und das Machland waren bereits vor dem Bau der Donaustaustufen natürliche Überschwemmungsgebiete.

Die Stauanlagen Ottensheim-Wilhering und Wallsee-Mitterkirchen werden bei Hochwasser beidseitig umströmt. Die Stauanlage Abwinden-Asten wird bei Hochwasser linksufrig umströmt; rechtsufrig existiert ein ausgedehntes Gebiet, das vom Unterwasser Abwinden-Asten her rückgestaut wird. Eindeichungen beiderseits der Donau, jeweils oberstrom der Stauanlagen, sorgen dafür, dass das an den Überströmstrecken ausgetretene Wasser von der Donau getrennt durch die Vorländer Eferdinger Becken, Steyregg bzw. Machland fließt und erst unterstrom der jeweiligen Stauanlagen in die Donau zurückfließen kann. Diese mehrere Kilometer langen Fließstrecken im Vorland werden im Modell jeweils als eigene, neben der Donau verlaufende Abschnitte modelliert.

Ein 1D-HN-Modell vereinfacht die betrachtete Strömung zu einer dominanten Hauptströmung, Querströmungen werden vernachlässigt. Daher ist in Gebieten mit großen Ausuferungsbereichen die 1D-HN-Simulation mit Schwierigkeiten verbunden. Solche Bereiche sind die breiten, flachen Vorländer mit ihren vielfältigen Geländestrukturen. Um den komplexen Strömungsverhältnissen in diesen Bereichen Rechnung zu tragen, hat die Fa. Pöyry das Abflussverhalten durch die Vorländer nach unseren Vorgaben mit einem 2D-HN-Modell untersucht. Die Ergebnisse der 2D-HN-Simulation wurden bei der 1D-HN-Modellierung eingebunden. Hierdurch konnte sichergestellt werden, dass die Abbildung der Verzögerung und Verformung der Abflussganglinie durch das Vorland mit der Realität bestmöglich übereinstimmt.

4.2.1 Vorlanddotation

In mehreren Stauhaltungen der oberösterreichischen Donau sind abschnittsweise Überströmstrecken in den Dämmen ausgebildet. Diese oft mehrere Kilometer langen Abschnitte sind niedriger als die übrigen Dämme und baulich für eine Überströmung ausgelegt. Steigt im Hochwasserfall der Donauwasserstand über die Höhe der Dammkrone an den Überströmstrecken, kommt es zum Abfluss aus der Donau in die Vorländer, was als Vorlanddotation be-

zeichnet wird. Abflussmesswerte für die tatsächlich ins Vorland abgegebenen Wassermengen können in der Natur nicht erfasst werden.

Im 1D-HN-Modell erfolgt die Vorlanddotations, d.h. die Bestimmung der Abflussmenge in die Vorländer hinein, über eine Funktion des Wasserstandes an den Überströmstrecken. Hierzu ist tabellarisch eine Beziehung zwischen der Abflussmenge in das jeweilige Vorland und dem Donauwasserstand an einem Referenzpunkt in der Überströmstrecke hinterlegt.

Da zur Ermittlung dieser Wasserstand-Vorlandabfluss-Beziehung keine Messwerte aus der Natur vorliegen, wurden von der Fa. Pöyry mit einem 2D-HN-Modell verschiedene Simulationen durchgeführt und diesbezüglich ausgewertet. Als Zuflussinformation kamen die Ganglinie des Hochwassers 2013 zum Einsatz sowie eine darauf basierende gestauchte Ganglinie, bei der die Zeitachse mit dem Faktor 0,7 multipliziert wurde, so dass das Hochwasser bei gleichem Maximalabfluss schneller abläuft. Durch die Verwendung verschiedener Ganglinien mit unterschiedlich steil ansteigenden Hochwasserwellen wird der Einfluss des Gradienten des Hochwasseranstiegs auf die ermittelten Wasserstands-Abfluss-Beziehungen ermittelt bzw. deren Allgemeingültigkeit aufgezeigt.

Aus den Simulationsergebnissen wurden für jeden Zeitpunkt Donauwasserstand und Vorlandabfluss in Beziehung gesetzt, was in Abbildung 4.2 exemplarisch für das Eferdinger Becken Nord graphisch aufgetragen ist. Die entsprechenden Grafiken für die übrigen Überströmstrecken befinden sich im Anhang (Abb. A 1 bis Abb. A 4). In Abbildung 4.2 sind die Wertepaare Donauwasserstand/ Vorlandabfluss der Simulation mit der realen Ganglinie des Hochwassers 2013 durch blaue Punkte gekennzeichnet, die roten Punkte bilden die Ergebnisse der Berechnung mit der beschleunigten Ganglinie ab.

Zu erkennen ist, dass die Zuordnung eines Vorlandabflusses zu einem Wasserstand nicht eindeutig ist. Bei Ansteigen des Hochwassers, gekennzeichnet durch den aufwärts gerichteten Pfeil, ist der zu einem Wasserstand gehörige Abfluss geringer als bei Rückgang des Hochwassers. Dieser Effekt wird als Hysterese bezeichnet. Im 1-D Modell wird die durch die grüne Linie dargestellte Mittelung verwendet.

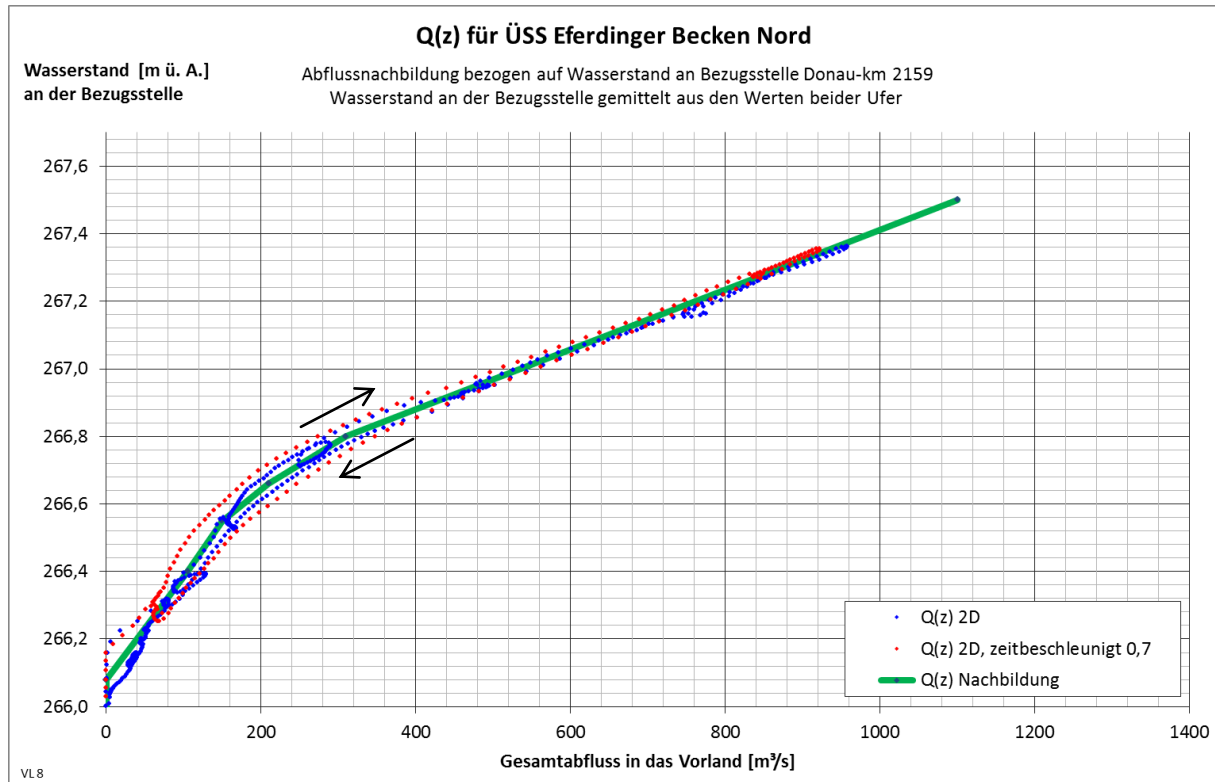


Abbildung 4.2: Vorlanddotation an der Überströmstrecke Eferdinger Becken Nord

4.2.2 Abflussweitergabe im Vorland

Die Vorlandströmung wurde von der Fa. Pöyry mit dem 2D-HN-Modell berechnet. Für die Abbildung des Vorlandabflusses im 1D-HN-Modell ist von Interesse, inwiefern sich die Ganglinie des an der Überströmstrecke in das Vorland ausgetretenen Abflusses bis zum Zurückfließen in die Donau verändert.

Abbildung 4.3 stellt die im 2D-HN-Modell ausgewerteten Kontrollquerschnitte für den Vorlandabfluss im Bereich der Überströmstrecke sowie im Bereich des Rückströmens in die Donau dar.

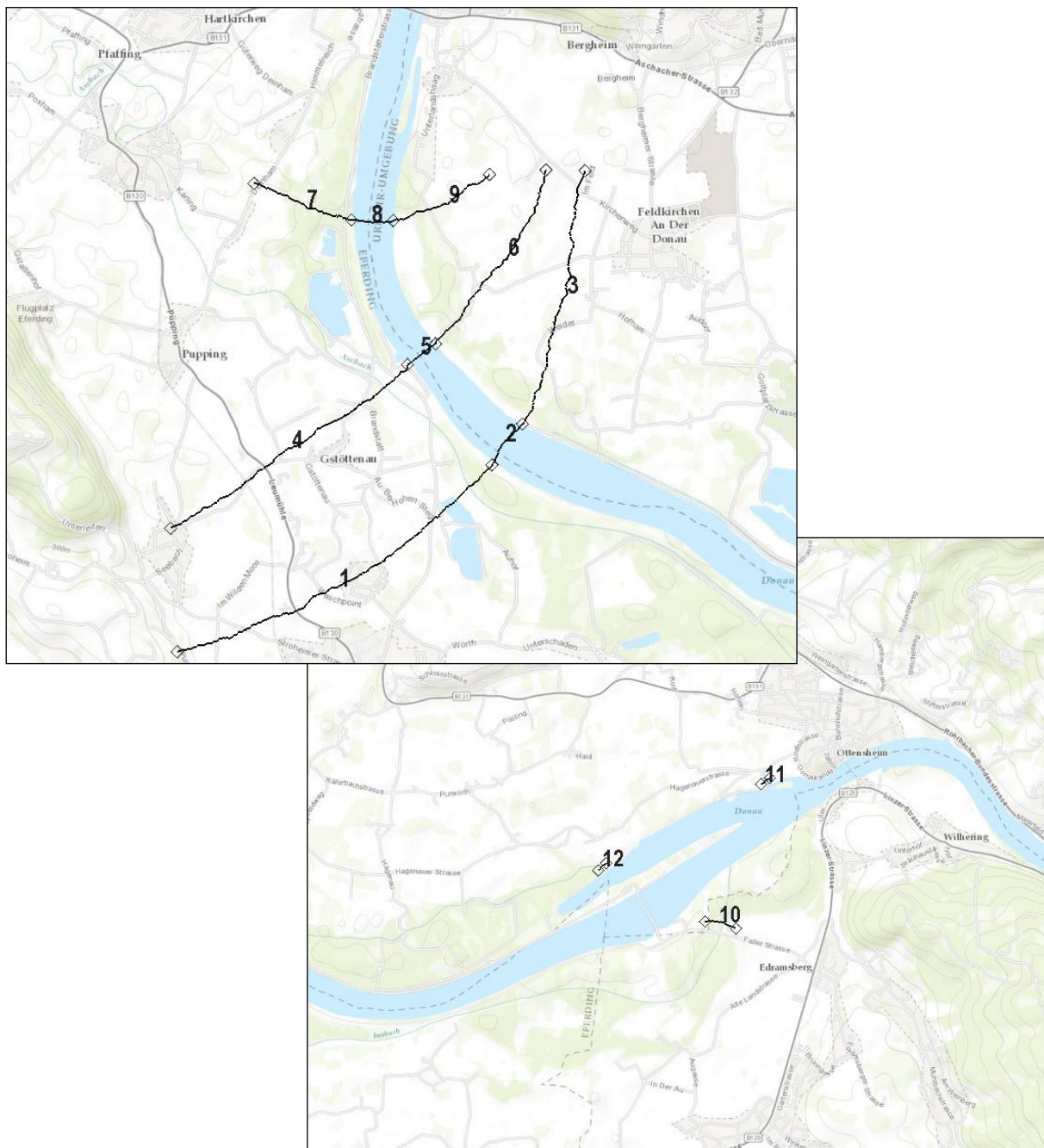


Abbildung 4.3: Kontrollquerschnitte für den Vorlandabfluss (Eferdinger Becken)

In der folgenden Abbildung 4.4 sind exemplarisch für das Eferdinger Becken (Nord) Zufluss- und Abflussganglinien gegenübergestellt. In schwarz aufgetragen ist der Zufluss in das Vorland hinein, wie er im 2D-HN-Modell am Kontrollquerschnitt 3 knapp unterhalb der Überströmstrecke auftritt. Türkis dargestellt ist die mit dem 2D-HN-Modell ermittelte Abflussganglinie am Rückfluss in die Donau (Kontrollquerschnitte 11 und 12), wobei im Vorland selbst die Bäche Pesenbach und Große Rodl als Nebenzubringer berücksichtigt sind.

Im vorliegenden 1D-HN-Modell wurde der Vorlandabschnitt in Parametern und Geometrie so angepasst, dass die Abflussganglinie am Rückfluss in die Donau weitgehend mit derjenigen des 2D-HN-Modells übereinstimmt. Die Abflussganglinie des 1D-HN-Modells ist in Abbildung 4.4 rot dargestellt.

Die Übereinstimmung ist für den hier vorgesehenen Zweck ausreichend genau. Um die Allgemeingültigkeit der Modellierung der Abflussweitergabe zu testen, wurde für jedes der Vorländer eine Berechnung mit einer beschleunigten Welle durchgeführt. Das Ergebnis dieser Simulation findet sich im Anhang, ebenso die Ergebnisse für die übrigen Vorländer (s. Abb. A 5 bis Abb. A 8).

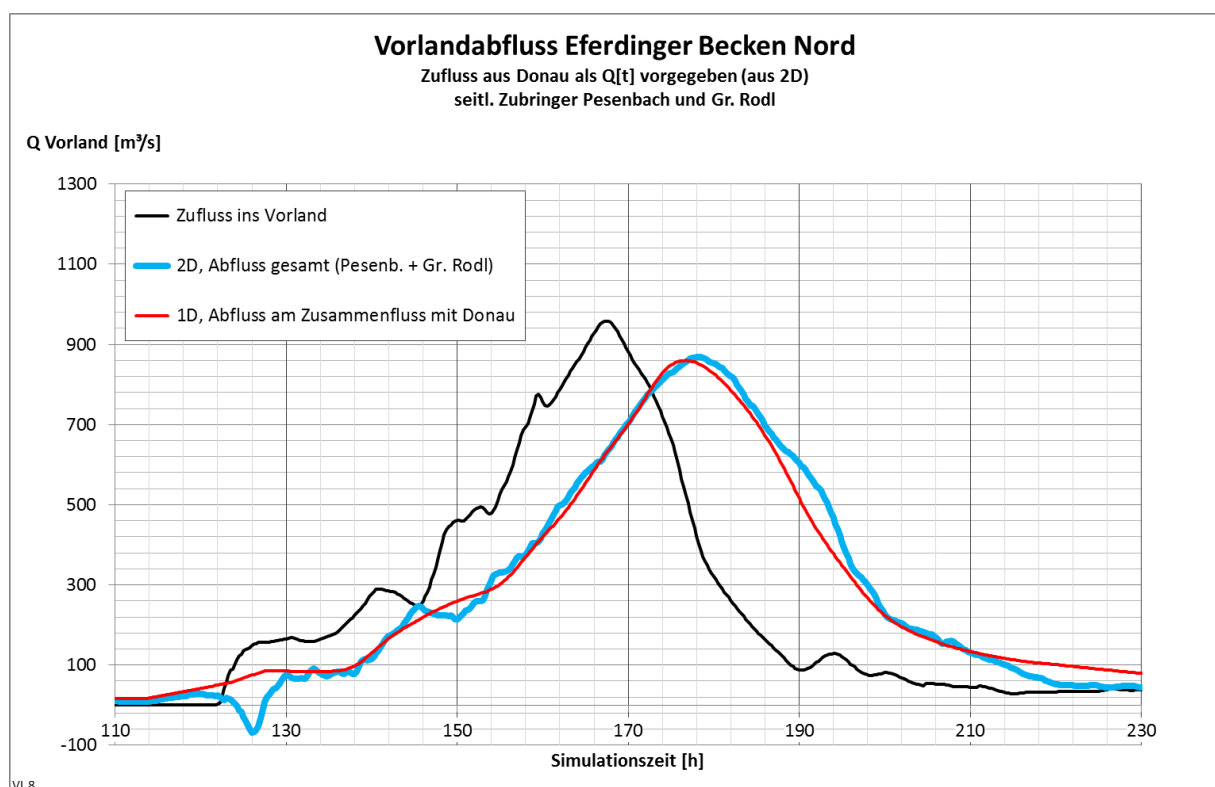


Abbildung 4.4: Abflussweitergabe für das Eferdinger Becken Nord

4.3 Betriebsreglements – modelltechnische Umsetzung

Für ein eindimensionales HN-Modell einer Stauhaltungskette wird ein Fluss in mehrere Abschnitte unterteilt, die an sogenannten Knoten miteinander verbunden sind. Hierbei wird zwischen ungesteuerten Knoten (z.B. Verzweigungen, Anknüpfung der Vorländer) und gesteuerten Knoten (z.B. Stauanlagen) unterschieden. Bei den gesteuerten Knoten können im Modell wahlweise ein Wasserstand oder ein Abfluss vorgegeben werden. Der jeweils zugehörige Abfluss respektive Wasserstand wird durch das Modell ermittelt.

4.3.1 Randbedingung: Wasserstand vorgegeben

Mit Hilfe der Stauanlagen – Wehre und Kraftwerke – werden der Abfluss und der Oberwasserstand geregelt und in das natürliche Fließgeschehen eingegriffen. Im Modell wird dies durch Vorgabe einer Randbedingung an der Stauanlage entsprechend umgesetzt.

Eine Möglichkeit hierzu ist die Vorgabe einer Ganglinie für den Oberwasserstand. Dies wird beispielsweise benutzt, um das in der Realität erfolgte Regelungsverhalten nachzubilden, da der Wasserstandsmesswert i.d.R. eine zuverlässige Größe ist. Die Abflussganglinie an der Stauanlage ergibt sich in diesem Fall aus der Berechnung.

4.3.2 Randbedingung: Abfluss vorgegeben

Alternativ zur Vorgabe des gemessenen Wasserstandes könnten theoretisch auch die gemessenen Abflüsse als Randbedingung vorgeben und die sich daraus ergebenden Wasserstände ermittelt werden. Da die Abflussmessung in der Natur jedoch mit erheblichen Ungenauigkeiten behaftet ist, stellt sich diese Methode in der Praxis als wenig tauglich dar.

4.3.3 Randbedingung: Abflussvorgabe durch einen Regler / Umsetzung von Wehrbetriebsordnungen

An der oberösterreichischen Donau definieren die Wehrbetriebsordnungen der Stauanlagen einen Sollwasserstand als Stauziel, der im Normalbetrieb innerhalb einer gewissen Toleranz zu halten ist. Im Hochwasserfall steigen die Wasserstände in der Stauhaltung mit zunehmendem Abfluss zunächst etwas an, bis der Wasserstand an einem definierten Wendepiegel einen gewissen Grenzwert erreicht, welcher dann i.d.R. gemäß WBO zu halten ist. Um dies zu ermöglichen, wird der Wasserstand an der Stauanlage abgesenkt, bis der Oberwasserstand einen weiteren Grenzwert, das sogenannte Absenkziel erreicht. Daraufhin gilt als neue Vorschrift, den Oberwasserstand auf diesem Absenkziel konstant zu halten.

An der Stauanlage Wallsee-Mitterkirchen wird zusätzlich mit einem zweiten, tieferen Absenkziel gearbeitet. An der Stauanlage Aschach wird in der WBO anstelle eines konstanten Absenkziels die Absenkung in Abhängigkeit vom Wasserstand am Pegel Engelhartzell vor-

gegeben. Im Modell wird bei der Umsetzung der so ermittelten Absenkung durch eine eigens hierzu programmierte Reglerkomponente die maximal zulässige Absenkgeschwindigkeit berücksichtigt.

Zur Nachbildung einer Regelung nach den Vorschriften der WBOs wird im Modell ein PI-Regler eingesetzt, der in der Lage ist, einen gewünschten Sollwasserstand durch Abgabe eines entsprechenden Abflusses einzustellen. Für die in der WBO vorgesehenen Wechsel von Stauziel auf Wendepiegel bzw. Absenkziel wurde der Wechsel auf die passenden Führungsgrößen und Sollwerte programmiert und modelltechnisch umgesetzt.

Die Parametrierung des PI-Reglers und der zugehörigen regelungstechnischen Bausteine wie z.B. PT1-Glieder und Totzeitglieder erfolgte im Hinblick auf eine robuste Lauffähigkeit des Modells.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass somit die WBOs der einzelnen Stauanlagen vollständig im Simulationsverfahren enthalten sind.

4.4 Zu- und Nebenflüsse

Für das gesamte Modell der Stauhaltungskette wurden verschiedene Zuflüsse berücksichtigt. Als Hauptzufluss (oberer Modellrand) wurde der Abfluss am Pegel Achleiten gewählt.

Als seitliche Zuflüsse sind die Traun in der Stauhaltung Abwinden-Asten und die Enns in der Stauhaltung Wallsee-Mitterkirchen modelltechnisch abgebildet. Im südlichen Eferdinger Becken sind die Aschach und der Innbach modelliert sowie im nördlichen Eferdinger Becken der Pesenbach und die Rodl.

5 Einfluss der Morphologie auf den Wasserhaushalt nach WBO

Wie aus den regelmäßigen Sohlpeilungen durch Verbund und viadonau bekannt ist, finden in den betrachteten Stauhaltungen sowohl kontinuierlich als auch insbesondere bei Hochwasserabfluss Umlagerungen des Sohlmaterials der Donau statt. Diese morphologischen Veränderungen wirken sich auf die Wasserspiegellagen aus.

Da die WBOs Vorschriften zur Wasserhaushaltsregelung – wie z.B. Absenkvorgänge - aus Wasserständen an bestimmten (Wende-)Pegeln ableiten, können die morphologischen Veränderungen möglicherweise den Wasserhaushalt beeinflussen. Des Weiteren beeinflussen Anlandungen bzw. die damit einhergehenden höheren Wasserspiegellagen die Beaufschlagung der Vorländer; das Verhältnis zwischen Donauabfluss und Vorlandabfluss verschiebt sich. Zu untersuchen ist, inwieweit dieser Sachverhalt im Hinblick auf das Abflussverhalten nach unterstrom in den WBOs berücksichtigt werden sollte.

Bei den vorliegenden Untersuchungen handelt es sich nicht um hydromorphologische Studien, d.h. es wurden keine Modelle mit beweglicher Sohle verwendet, die den Sedimenttransport modellieren. Um den Einfluss von morphologischen Veränderungen abzuschätzen, wurden lediglich Querprofilaten aus verschiedenen Sohlpeilungen verwendet, um verschiedene Geometriezustände im HN-Modell abzubilden. Somit dienen die hier vorgestellten Wasserspiegellagenberechnungen vor allem der Abschätzung möglicher Zustände.

Das vorliegende Kapitel 5 beschäftigt sich mit den Auswirkungen der morphologischen Veränderungen im Kontext zur WBO. Hierzu wurden für die Stauhaltungen Aschach, Ottensheim-Wilhering, Abwinden-Asten und Wallsee-Mitterkirchen Berechnungen mit drei Geometriezuständen für die Hochwasserganglinie 2013 durchgeführt, bei denen die Abflussmengen an den Stauanlagen jeweils über einen Regler gesteuert wurden, der die jeweilige WBO abbildet (vgl. Abschnitt 4.3.3).

Im Folgenden werden viele Grafiken mit Wasserstands- und Abflussganglinien dargestellt, in denen Wasserstände an Pegeln bzw. Abflüsse an den entsprechenden Stauanlagen über die Simulationszeit aufgetragen sind. Dabei entspricht die Simulationszeit von 48 h dem Zeitpunkt 30.05.2013 0:00 Uhr, jeder Teilstrich entspricht einem Tag. Somit ist der 03.06.2013 0:00 Uhr mit der Simulationszeit 144 h wiedergegeben.

5.1 Morphologie und WBO in der Stauhaltung Jochenstein

In Abbildung 5.1 ist die Lage der Stauhaltung Jochenstein dargestellt. Das Staubauwerk befindet sich bei Donau-km 2203,3, der für die Regelung des Oberwasserstandes Jochenstein gemäß WBO relevante Wendepiegel Erlau liegt bei Donau-km 2214,5. Das obere Ende der Modellstrecke wurde beim Pegel Achleiten (Donau-km 2223,05) nahe Passau festgelegt. Die Modellstrecke umfasst somit eine Länge von ca. 20 km.

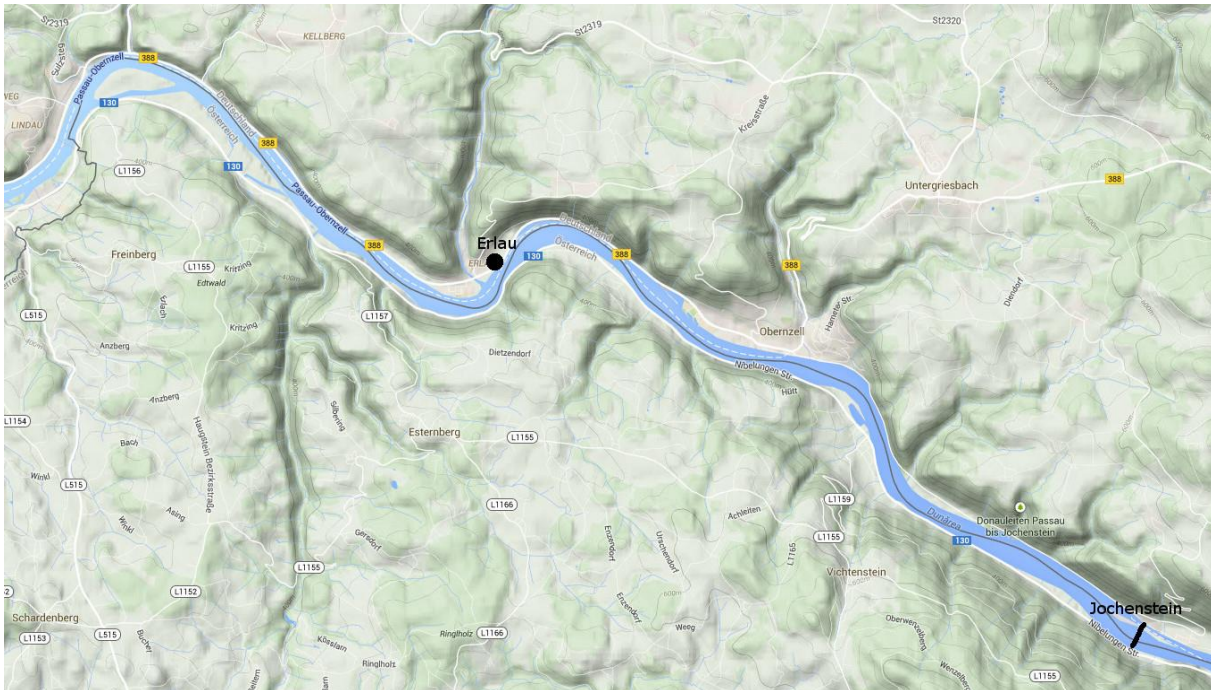


Abbildung 5.1: Lage der Stauhaltung Jochenstein

Für die Erstellung des Modells der Stauhaltung Jochenstein standen folgende Daten zur Verfügung:

- Querprofile der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (Deutschland) im Abstand von 100 m (Sohlpeilung von 2009)
- Querprofile von viadonau im Abstand von 50 m (Sohlpeilung vom Januar 2014)

Die Daten beider Sohlpeilungen wurden auf Abstände von 200 m ausgedünnt weiterverwendet.

Abbildung 5.2 gibt die Abflussganglinien am Pegel Achleiten sowie an der Stauanlage Jochenstein wieder. Bei beiden Geometriezuständen wird die Hochwasserwelle zeitlich verzögert, ansonsten jedoch unverändert weitergegeben. Unterschiede zwischen den beiden Geometriezuständen sind in der Abflussganglinie Jochenstein so minimal, dass sie in der vorliegenden Auflösung der Grafik nicht zu erkennen sind.

Da eine weitere Differenzierung der beiden Geometriezustände für die anstehenden Fragestellungen somit nicht erforderlich schien, wurden für sämtliche folgenden Betrachtungen im Gesamtmodell der oberösterreichischen Donau für die Stauhaltung Jochenstein die Querprofilaten von viadonau verwendet.

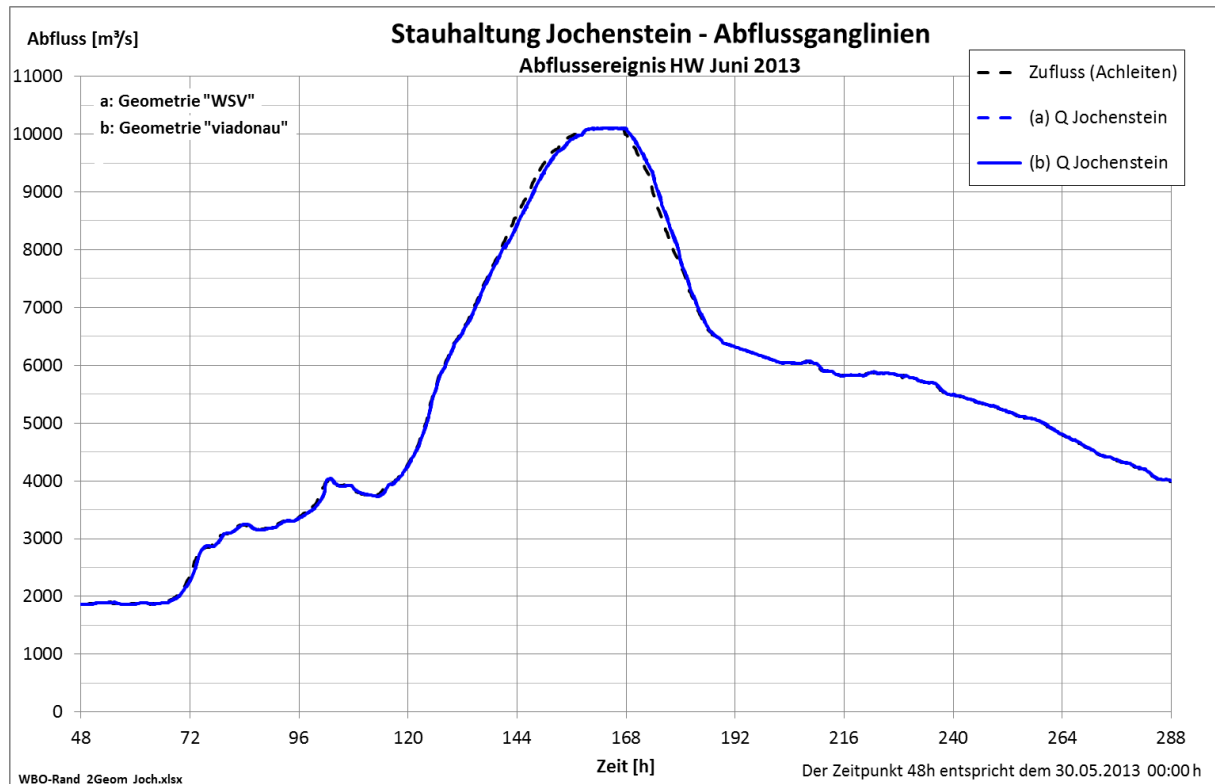


Abbildung 5.2: Einfluss von morphologischen Veränderungen auf die Abflussganglinien an der Stauanlage Jochenstein

5.2 Morphologie und WBO in der Stauhaltung Aschach

In Abbildung 5.3 ist die Lage der Stauhaltung Aschach dargestellt. Sie erstreckt sich von der Stauanlage Jochenstein bei Donau-km 2203,3 bis zur Stauanlage Aschach bei Donau-km 2162,7 und umfasst eine Länge von ca. 40 km. Für die Regelung des Oberwasserstandes an der Stauanlage Aschach sind gemäß der WBO der Wasserstand am Wendepunkt Schlögen, Donau-km 2186,8, sowie der Wasserstand am Pegel Engelhartzell, Donau-km 2200,7, relevant.



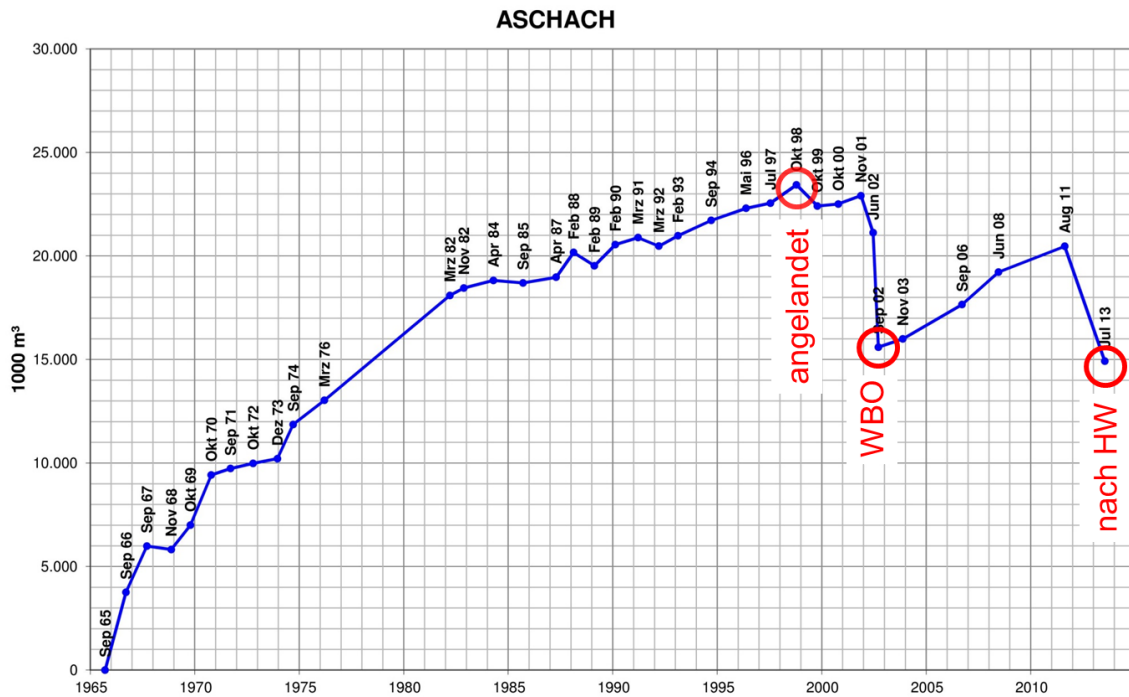
Abbildung 5.3: Lage der Stauhaltung Aschach

Für die Erstellung des Modells der Stauhaltung Aschach wurden von VHP Querprofile im Abstand von 100 m aus unterschiedlichen Sohlpeilungen zur Verfügung gestellt:

- Sohlpeilung von Okt. 1998, stark angelandeter Zustand („angelandet“)
- Sohlpeilung von Sept. 2002; Zustand, der den Berechnungen zur Einreichung der WBO 2008 zugrunde gelegt wurde („WBO“)
- Sohlpeilung von Juli 2013, erste Sohlpeilung nach dem Hochwasserereignis von Juni 2013 („nach HW“)

Die Querprofildaten wurden für die Modellierung auf Abstände von 200 m ausgedünnt weiterverwendet.

Die Massenbilanzen der Sohlpeilungen sind in Abbildung 5.4 dargestellt, wobei es sich hierbei um Veränderungen gegenüber dem Zustand von 1965 handelt.



Quelle: Verbund

Abbildung 5.4: Massenbilanz der Stauhaltung Aschach zu unterschiedlichen Peilungszeitpunkten

Die Sohlpeilungen „WBO“ und „nach HW“ weisen einen ähnlichen Verlandungszustand bzgl. der Massenbilanz auf (vgl. Abbildung 5.4), die Peilung „angelandet“ repräsentiert einen Zustand mit wesentlich stärkeren Anlandungen.

Die folgende Abbildung 5.5 stellt einen Längsschnitt der maximal auftretenden Wasserspiegellagen für die drei genannten Geometriezustände dar. Als Zufluss in die Stauhaltungskette wurde jeweils die Abflussganglinie des Hochwassers 2013 am Pegel Achleiten verwendet. Links bei Donau-km 2203,3 befindet sich die Stauanlage Jochenstein, rechts bei Donau-km 2162,7 die Stauanlage Aschach. Zusätzlich sind für die Pegel Engelhartzell (Donau-km 2200,7) und Schlögen (Donau-km 2186,8) die während des Hochwasserereignisses 2013 maximal gemessenen Wasserstände eingetragen.

Die vorgenannten Unterschiede der Sohlgeometrien spiegeln sich deutlich in den maximalen Wasserspiegellagen wider. Mit den Querprofilaufnahmen „WBO“ und „nach HW“ ergeben sich ähnliche maximale Wasserspiegellagen, im stark angelandeten Zustand liegen diese deutlich höher. Hierbei ist darauf hinzuweisen, dass das 1D-HN-Verfahren mit einer stabilen, auch bei Hochwasser unbeweglichen Sohle rechnet. Dass starke Sedimentablagerungen von feinkörnigem Material in einem Stauraum bei einem Hochwasserereignis mit zunehmendem Abfluss auch verstärkt remobilisiert werden, wird im verwendeten Modell nicht berücksichtigt, weshalb die maximale Wasserspiegellage bei der Sohlgeometrie „angelandet“ tendenziell

überschätzt wird, wie die Messwerte der Wasserspiegellagen 2013 zeigen. Die grundsätzlichen Aussagen zu den Auswirkungen der Sohlgeometrie auf den Betrieb der Stauanlage gemäß WBO sowie die sich hieraus ergebende Abflussweitergabe an die Unterlieger sind hiervon unbeeinträchtigt gültig.

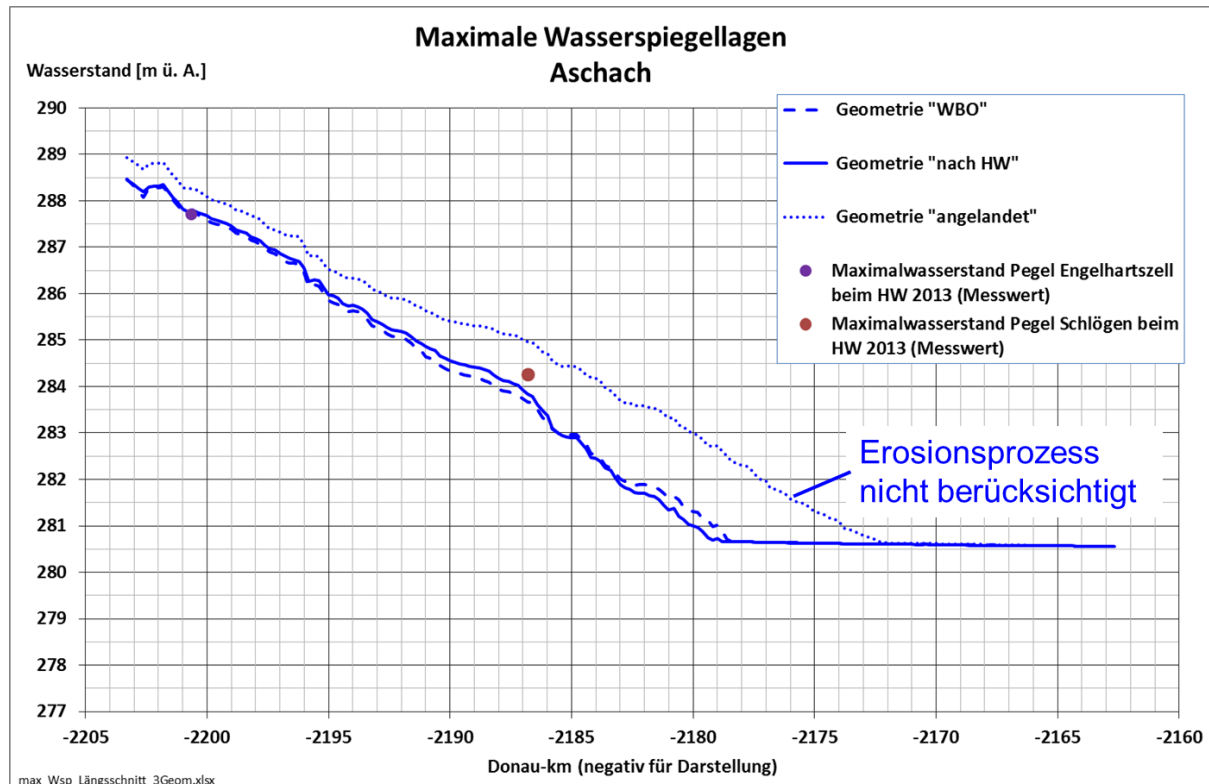


Abbildung 5.5: Einfluss von morphologischen Veränderungen auf die maximalen Wasserspiegellagen in der Stauhaltung Aschach

Um die Auswirkungen der veränderten Sohlgeometrie auf den Betrieb gemäß WBO zu beurteilen ist maßgeblich der Wasserstand am Pegel Engelhartzell zu betrachten, da die Stauanlage Aschach im Hochwasserfall nach dem Wasserstand an diesem Pegel gesteuert wird. Der Wasserstand am Pegel Engelhartzell unterscheidet sich bei den Sohlgeometrien „WBO“ und „nach HW“ kaum, liegt jedoch bei der Sohlgeometrie „angelandet“ deutlich höher. Gleiches gilt für den Pegel Schlögen, wie auch in Abbildung 5.6 zu erkennen ist. Dort sind die berechneten Wasserstandsganglinien für verschiedene Pegelstellen in der Stauhaltung Aschach für die einzelnen Geometriezustände dargestellt.

Der bei Sohlgeometrie „angelandet“ höhere Wasserstand am Pegel Engelhartzell führt durch die Regelung nach WBO zu einem anderen Verlauf des Oberwasserstandes an der Stauanlage Aschach als bei den Sohlgeometrien „WBO“ und „nach HW“. Im ansteigenden und abfallenden Ast der Abflussganglinie ergeben sich hierdurch geringfügige Unterschiede im Abflussverlauf; während des Hochwasserscheitels hingegen hat die Sohlgeometrie keinen Einfluss auf die Abflüsse, wie in Abbildung 5.7 zu erkennen. Diese stellt den Einfluss der morphologi-

schen Veränderungen auf die Abflussganglinie an der Stauanlage Aschach dar. Über die Zeit aufgetragen sind in blau der Zufluss zur Stauhaltung Aschach, d.h. der Abfluss an der Stauanlage Jochenstein, sowie die sich bei den verschiedenen Geometriezuständen einstellenden Abflussganglinien an der Stauanlage Aschach in schwarz, rot und orange.

Es wird deutlich, dass die morphologischen Veränderungen zwar einen wesentlichen Einfluss auf die Wasserspiegellagen haben, sich jedoch nicht auf den Abflussscheitel auswirken. Starke Sedimentablagerungen in der Stauhaltung Aschach führen nicht zu höheren Abflüssen nach unterstrom. Eine Anpassung der WBO an veränderte morphologische Zustände ist somit zum Schutz der Unterlieger nicht erforderlich.

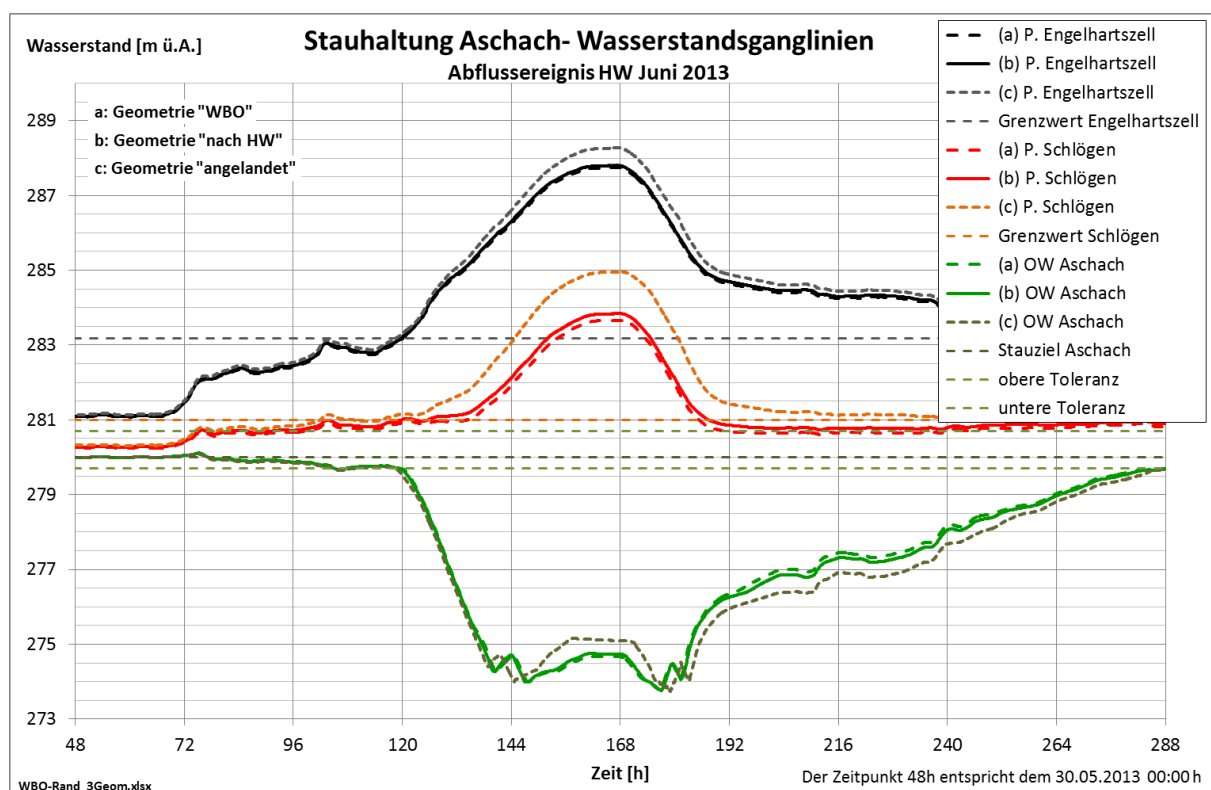


Abbildung 5.6: Einfluss von morphologischen Veränderungen auf die Wasserstandsganglinien in der Stauhaltung Aschach

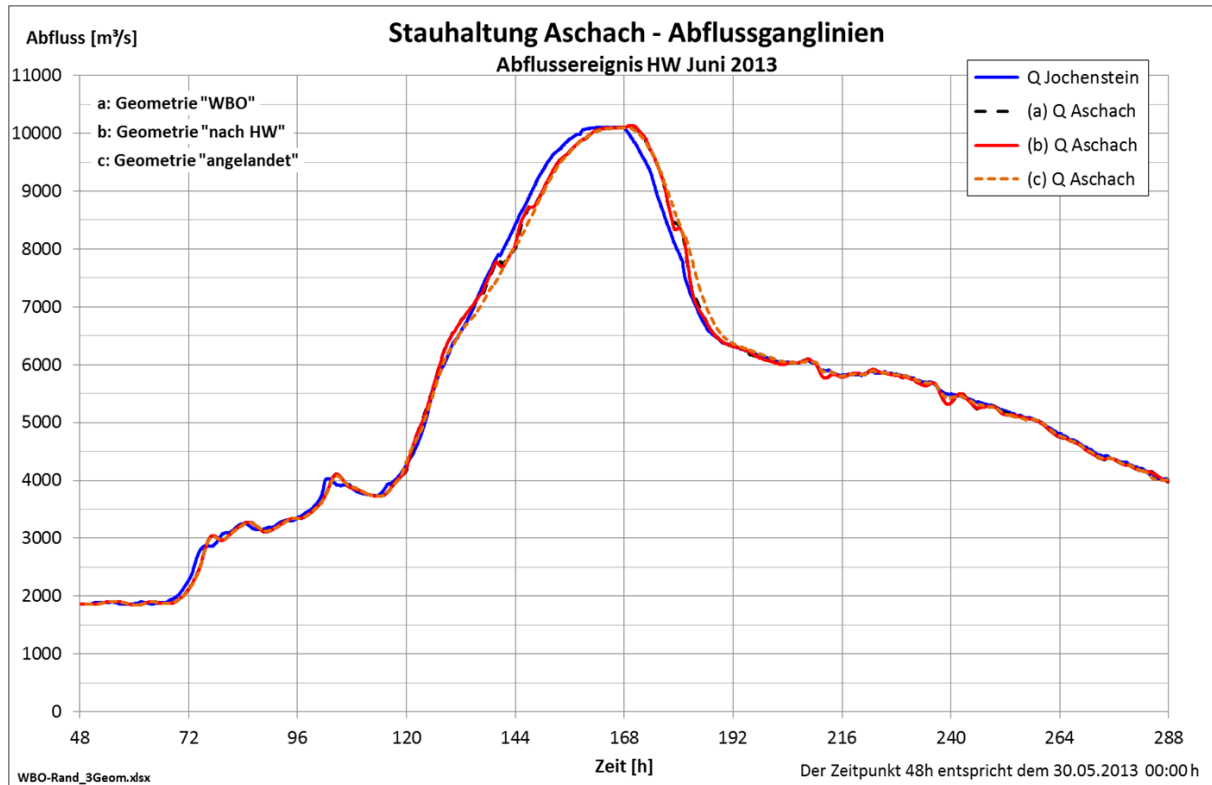


Abbildung 5.7: Einfluss von morphologischen Veränderungen auf die Abflussganglinien an der Stauanlage Aschach

5.3 Morphologie und WBO in der Stauhaltung Ottensheim-Wilhering

In Abbildung 5.8 ist die Lage der Stauhaltung Ottensheim-Wilhering dargestellt. Sie erstreckt sich von der Stauanlage Aschach bis zur Stauanlage Ottensheim-Wilhering bei Donau-km 2146,7 und umfasst eine Länge von ca. 16 km. Gemäß WBO ist für den Wasserhaushalt neben dem Oberwasserstand an der Stauanlage Ottensheim-Wilhering auch der Wasserstand am Wendepunkt Christl bei Donau-km 2156,0 relevant. Mit steigenden Abflüssen ist dieser auf einem Grenzwert von 265,10 m ü. A. zu halten, bis der Oberwasserstand das Absenksziel von 263,70 m ü. A. erreicht. Dieses Absenksziel ist so lange zu halten, bis der Wasserstand am Wendepunkt mit abnehmenden Abflüssen wieder auf seinen Grenzwert fällt. Anschließend wird dieser gehalten, bis der Oberwasserstand auf das Stauziel gesunken ist.

Eine Besonderheit der Stauhaltung Ottensheim-Wilhering ist die Umströmung der Stauanlage bei Hochwasser. Bei stark erhöhten Wasserständen werden die beiderseits der Donau als Überströmstrecken ausgebildeten Dammschnitte zwischen Donau-km 2159 und 2156 überströmt, sodass ein Teil des Abflusses über das Vorland, das Eferdinger Becken (Nord und Süd), abgeführt wird. Dieser Vorlandabfluss fließt erst unterhalb der Stauanlage Ottensheim-Wilhering wieder in die Donau zurück, wie schematisch in Abbildung 5.8 dargestellt.

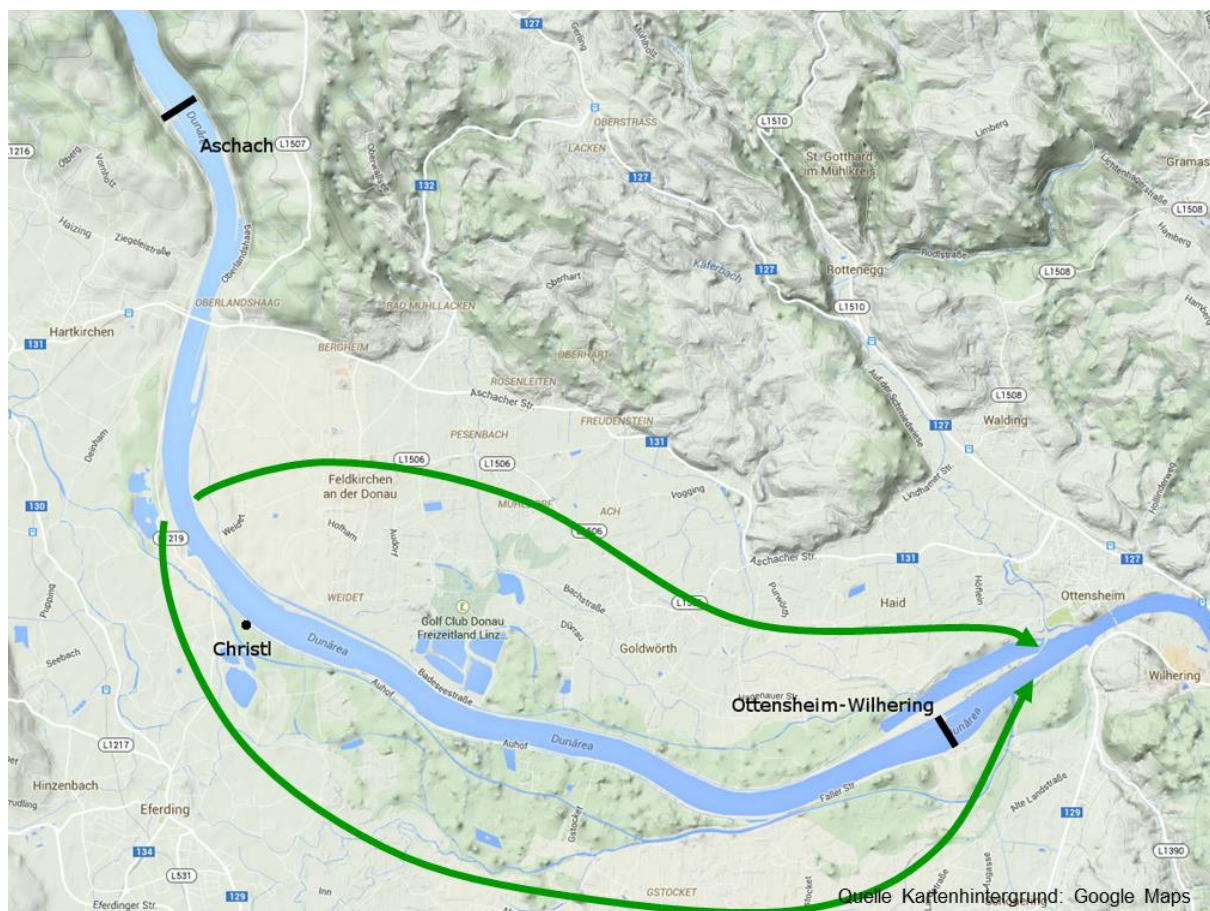


Abbildung 5.8: Lage der Stauhaltung Ottensheim-Wilhering

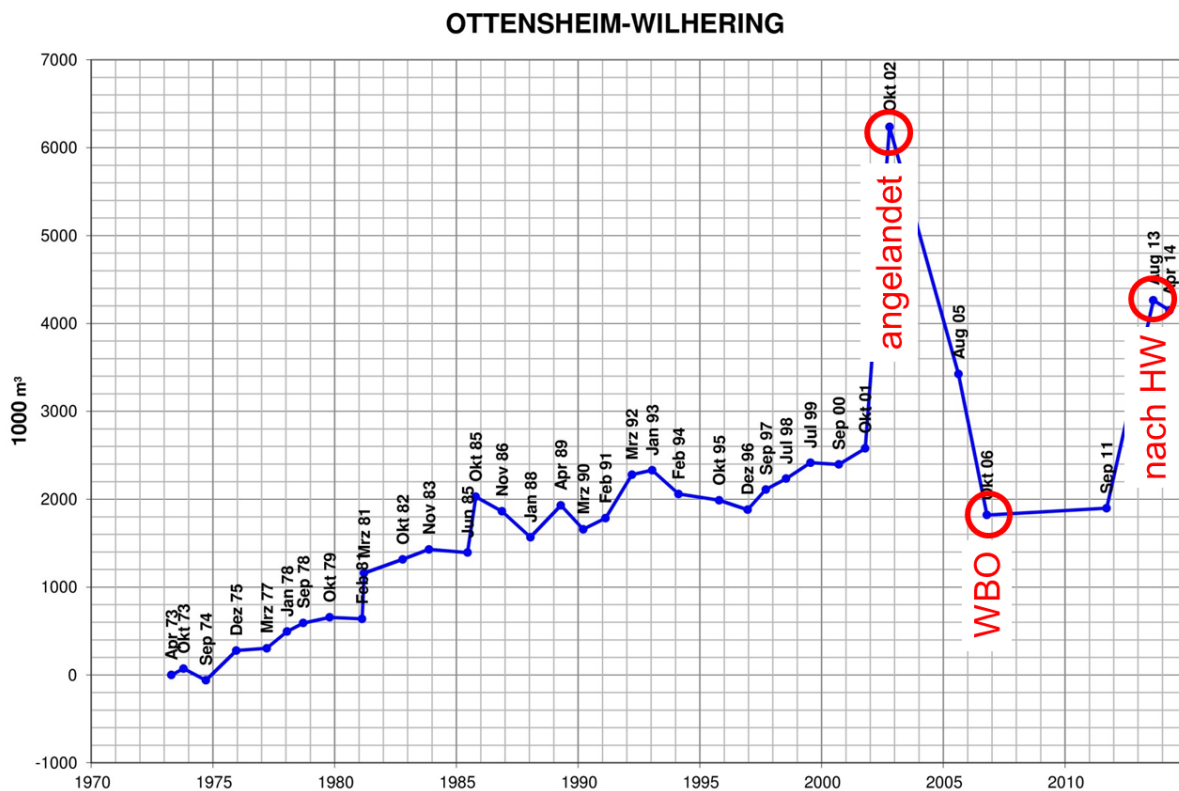
Im 1D-HN-Modell werden die Vorländer als neben der Donau separat verlaufende Abschnitte modelliert. Damit wird das grundsätzliche Fließverhalten zwischen dem Austritt aus der Donau (Überströmstrecke) und dem Zurückfließen in die Donau unterstrom der Stauanlage Ottensheim-Wilhering hinsichtlich der zeitlichen Verzögerung und der Wellenverformung abgebildet. Weitere Ausführungen zur Modellierung des Vorlandabflusses finden sich in Abschnitt 4.2.

Für die Erstellung des Modells der Stauhaltung Ottensheim-Wilhering wurden von VHP Querprofile des Flussschlauchs und des Vorlands im Abstand von 100 m aus unterschiedlichen Sohlpeilungen zur Verfügung gestellt:

- Sohlpeilung von Okt. 2002, stark angelandeter Zustand („angelandet“)
- Sohlpeilung von Sept. 2006; Zustand, der den Berechnungen zur Einreichung der WBO 2008 zugrunde gelegt wurde („WBO“)
- Sohlpeilung von Juli 2013, erste Sohlpeilung nach dem Hochwasserereignis von Juni 2013 („nach HW“)

Die Querprofildaten wurden für die Modellierung auf Abstände von 200 m ausgedünnt weiterverwendet.

Die Massenbilanzen der Flussschlauch-Peilungen sind in Abbildung 5.9 dargestellt, wobei es sich hierbei um Veränderungen gegenüber dem Zustand von 1973 handelt.



Quelle: Verbund

Abbildung 5.9: Massenbilanz der Stauhaltung Ottensheim-Wilhering zu unterschiedlichen Peilungszeitpunkten

Die folgende Abbildung 5.10 stellt einen Längsschnitt der maximal auftretenden Wasserspiegellagen für die drei genannten Geometriezustände bei Berechnung mit der Abflussganglinie des Hochwassers 2013 dar. Links bei Donau-km 2162,7 befindet sich die Stauanlage Aschach, rechts bei Donau-km 2146,7 die Stauanlage Ottensheim-Wilhering.

Die bereits genannten starken Sohlveränderungen durch den Sedimenttransport zeigen sich deutlich in den Wasserspiegellagen. Mit dem Geometriezustand „WBO“ ergeben sich deutlich niedrigere Wasserspiegellagen im mittleren Bereich der Stauhaltung als mit dem Geometriezustand „nach HW“. Zum oberen Ende der Stauhaltung hin nähern sich die Wasserspiegellagen dieser beiden Geometriezustände einander wieder an. In „angelandetem“ Zustand befindet sich der Wasserspiegel über weite Strecken der Stauhaltung noch deutlich höher. Auch hier muss darauf hingewiesen werden, dass mögliche Erosionsprozesse während des Hochwasserereignisses im Modell nicht berücksichtigt werden.

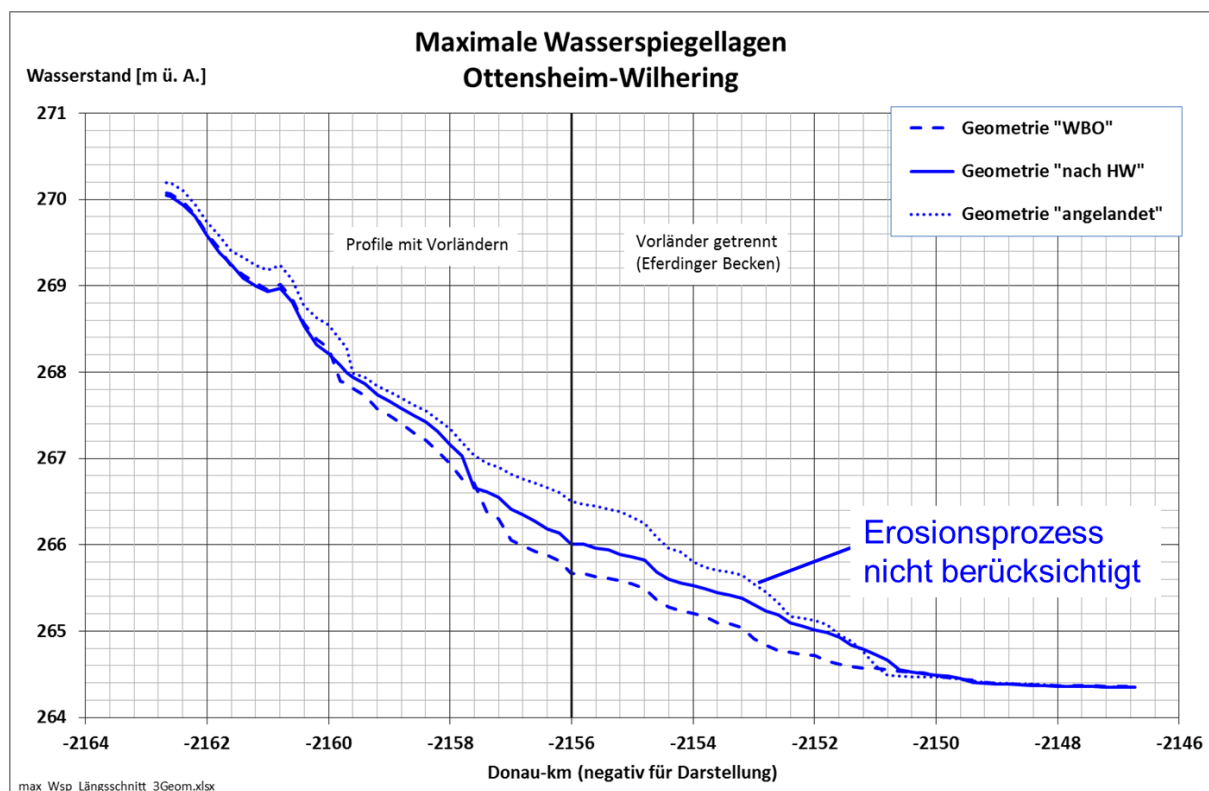


Abbildung 5.10: Einfluss von morphologischen Veränderungen auf die maximalen Wasserspiegellagen in der Stauhaltung Ottensheim-Wilhering

Die berechneten Wasserstandsganglinien für verschiedene Pegelstellen in der Stauhaltung Ottensheim-Wilhering sind für die verschiedenen Geometriezustände in Abbildung 5.11 dargestellt. Im Unterwasser der Stauanlage Aschach, in der Grafik schwarz markiert, zeigt sich nur ein geringer Einfluss der untersuchten Sohlgeometrien.

Am Pegel Christl (blau dargestellt) hat die Morphologie einen großen Einfluss. Der Wasserstandsverlauf liegt in der Geometrie „nach HW“ deutlich über dem der Geometrie „WBO“,

noch wesentlich höher liegt der Wasserstandsverlauf bei „angelandeter“ Sohlgeometrie. Bei hohen Abflüssen, also während des Hochwasserscheitels (Simulationszeit ca. 120 bis 192 h), unterscheiden sich die Wasserstände für die verschiedenen Sohlgeometrien stärker als bei geringeren Abflüssen.

Da der Absenkvorgang für den Oberwasserstand Ottensheim-Wilhering in der WBO in Funktion des Wasserstands am Wendepiegel Christl vorgegeben wird (Einhalten bzw. Überschreitung des Grenzwerts für den Wendepiegel), ergeben sich aus den unterschiedlichen Wasserstandsverläufen am Pegel Christl auch unterschiedliche Absenk- und Wiederaufstau-Vorgänge im Oberwasser Ottensheim-Wilhering. Während der Abflussspitze wird jedoch unabhängig vom morphologischen Zustand das Absenkziel von 263,70 m ü. A. konstant gehalten.

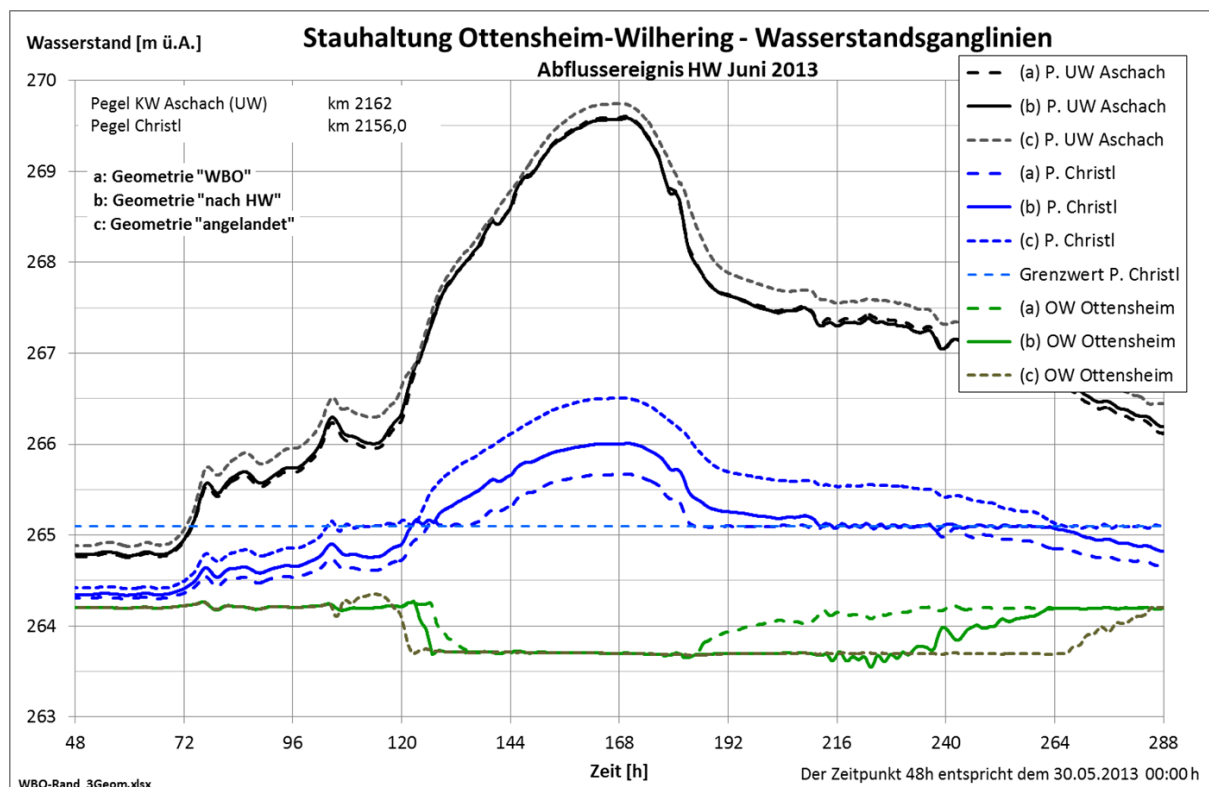


Abbildung 5.11: Einfluss von morphologischen Veränderungen auf die Wasserstandsganglinien in der Stauhaltung Ottensheim-Wilhering

Abbildung 5.12 stellt den Einfluss der morphologischen Veränderungen auf die Abflussganglinie bei Ottensheim-Wilhering dar. Über die Zeit aufgetragen sind in rot/orange der Zufluss zur Stauhaltung Ottensheim-Wilhering, d.h. der Abfluss an der Stauanlage Aschach, sowie die sich bei den verschiedenen Geometriezuständen einstellenden Abflussganglinien an der Stauanlage Ottensheim-Wilhering in schwarz. Zusätzlich in violett eingetragen sind die Ganglinien des Gesamtabflusses unterstrom der Stauanlage Ottensheim-Wilhering, d.h. am Zusam-

menfluss, wo die Vorländer wieder in die Donau münden. In blau und grün sind die Abflüsse an den Überströmstrecken in die Vorländer – Eferdinger Becken Süd und Nord - dargestellt.

Die durch morphologische Veränderungen unterschiedlichen Wasserstände im Bereich der Überströmstrecke (Donau-km 2156 bis 2159) wirken sich auf die Abflüsse in die Vorländer aus. Festzuhalten ist jedoch, dass auch bei einem Zustand mit relativ wenig Anlandungen der Gesamtabfluss in das Eferdinger Becken (Nord und Süd) ca. $Q = 1800 - 1900 \text{ m}^3/\text{s}$ beträgt. Höhere Abflüsse in den Vorländern reduzieren die Abflüsse an der Stauanlage Ottensheim-Wilhering selbst. Der Gesamtabfluss unterstrom von Ottensheim-Wilhering wird von den morphologischen Veränderungen wenig beeinflusst. Zu Aussagen bezüglich der Auswirkungen auf die Wasserstände im Eferdinger Becken sowie zum Gesamtabfluss unterstrom von Ottensheim-Wilhering wäre auf Berechnungen mit einem 2D-HN-Modell zurückzugreifen.

Da der Grad der Verlandung Einfluss auf die Beaufschlagung der Vorländer hat, ist das in der WBO angewendete Prinzip mit Berücksichtigung eines Wendepiegels sinnvoll und sollte beibehalten werden. Wichtig ist daher, dass der in Abhängigkeit eines Abflusses gewählte Bemessungswasserstand für die Überströmstrecken nicht überschritten wird.

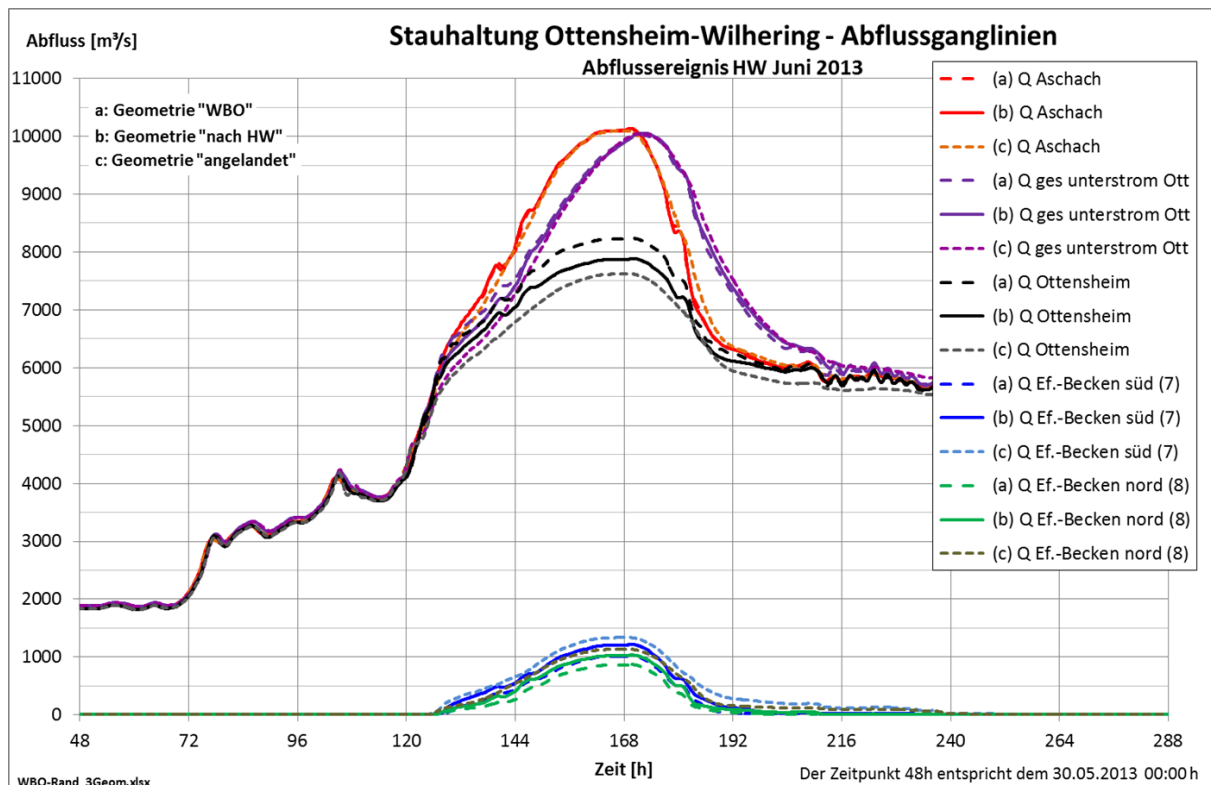


Abbildung 5.12: Einfluss von morphologischen Veränderungen auf die Abflussganglinien an der Stauanlage Ottensheim-Wilhering

5.4 Morphologie und WBO in der Stauhaltung Abwinden-Asten

In Abbildung 5.13 ist die Lage der Stauhaltung Abwinden-Asten dargestellt. Sie erstreckt sich von der Stauanlage Ottensheim-Wilhering bis zur Stauanlage Abwinden-Asten bei Donau-km 2119,6 und umfasst eine Länge von ca. 27 km. Für die Regelung des Wasserhaushaltes ist neben dem Oberwasserstand an der Stauanlage Abwinden-Asten gemäß WBO der Wasserstand am Wendepunkt Handelshafen bei Donau-km 2130,6 relevant. Im Hochwasserfall ist dieser mit steigenden Abflüssen auf einem Grenzwert von 251,60 m ü. A. zu halten, bis der Oberwasserstand das Absenkeziel von 250,50 m ü. A. erreicht. Dieses Absenkeziel ist so lange zu halten, bis der Wasserstand am Wendepunkt mit abnehmenden Abflüssen wieder auf seinen Grenzwert fällt. Anschließend wird dieser gehalten, bis der Oberwasserstand auf das Stauziel gesunken ist.



Abbildung 5.13: Lage der Stauhaltung Abwinden-Asten

Auch die Stauanlage Abwinden-Asten wird bei Hochwasser umströmt. Bei stark erhöhten Wasserständen wird der linksseitig der Donau als Überströmstrecke ausgebildete Damm stromaufwärts von Donau-km 2129 überströmt, sodass Abfluss über das Vorland bei Steyregg abgeführt wird. Aufgrund der Eindeichungen entlang der Donau kann dieser Abfluss erst unterhalb der Stauanlage Abwinden-Asten wieder in die Donau zurückfließen, wie schematisch in Abbildung 5.13 dargestellt. Im 1D-HN-Modell wird das Vorland Steyregg als neben der Donau separat verlaufender Strang modelliert (vgl. Abschnitt 4.2).

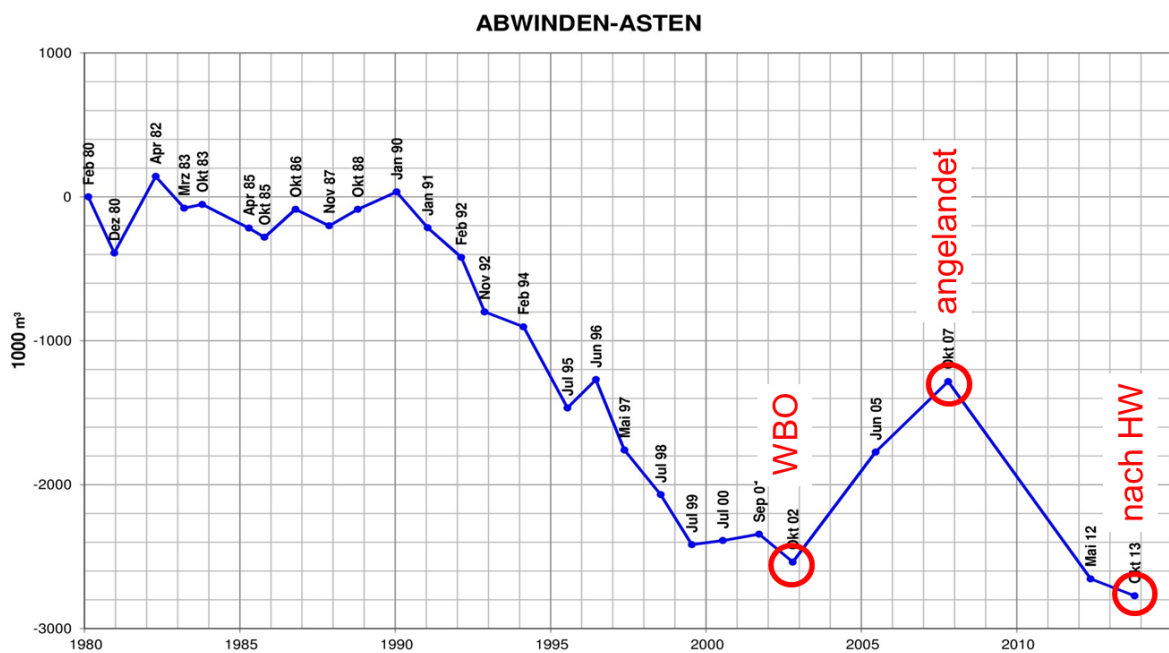
Der rechtsufrige Bereich zwischen Traun-Mündung und der Stauanlage Abwinden-Asten wird von unterstrom überschwemmt und ist somit retentionswirksam. Auch dieser ist als eigener Strang modelliert, hat jedoch keine direkte Verbindung zur Stauhaltung Abwinden-Asten, sondern gehört strömungstechnisch zur Stauhaltung Wallsee-Mitterkirchen.

Für die Erstellung des Modells der Stauhaltung Abwinden-Asten wurden von VHP Querprofile im Abstand von 100 m aus unterschiedlichen Sohlpeilungen zur Verfügung gestellt:

- Sohlpeilung von Okt. 2002, stark angelandeter Zustand („angelandet“)
- Sohlpeilung von Okt. 2007; Zustand, der den Berechnungen zur Einreichung der WBO 2008 zugrunde gelegt wurde („WBO“)
- Sohlpeilung von Okt. 2013, erste Peilung nach dem Hochwasserereignis von Juni 2013 („nach HW“)

Die Querprofildaten wurden für die Modellierung auf Abstände von 200 m ausgedünnt weiterverwendet.

Die Massenbilanzen der Sohlpeilungen sind in Abbildung 5.14 dargestellt, wobei es sich hierbei um Veränderungen gegenüber dem Zustand von 1980 handelt. Im Vergleich zu den Stauhaltungen Aschach und Ottensheim-Wilhering sind die Volumina der Massenbewegungen in der Stauhaltung Abwinden-Asten wesentlich geringer.



Quelle: Verbund

Abbildung 5.14: Massenbilanz der Stauhaltung Abwinden-Asten zu unterschiedlichen Peilungszeitpunkten

Die folgende Abbildung 5.15 stellt einen Längsschnitt der maximal auftretenden Wasserspiegellagen für die drei genannten Geometriezustände und die Abflussganglinie des Hochwassers 2013 dar. Links bei Donau-km 2146,7 befindet sich die Stauanlage Ottensheim-Wilhering, rechts bei Donau-km 2119,6 die Stauanlage Abwinden-Asten.

Die in der Massenbilanz festgestellten verhältnismäßig geringen Volumenänderungen in der Stauhaltung Abwinden-Asten zeigen sich auch hier in nur geringfügigen Unterschieden der maximalen Wasserspiegellagen für die verschiedenen Geometriezustände.

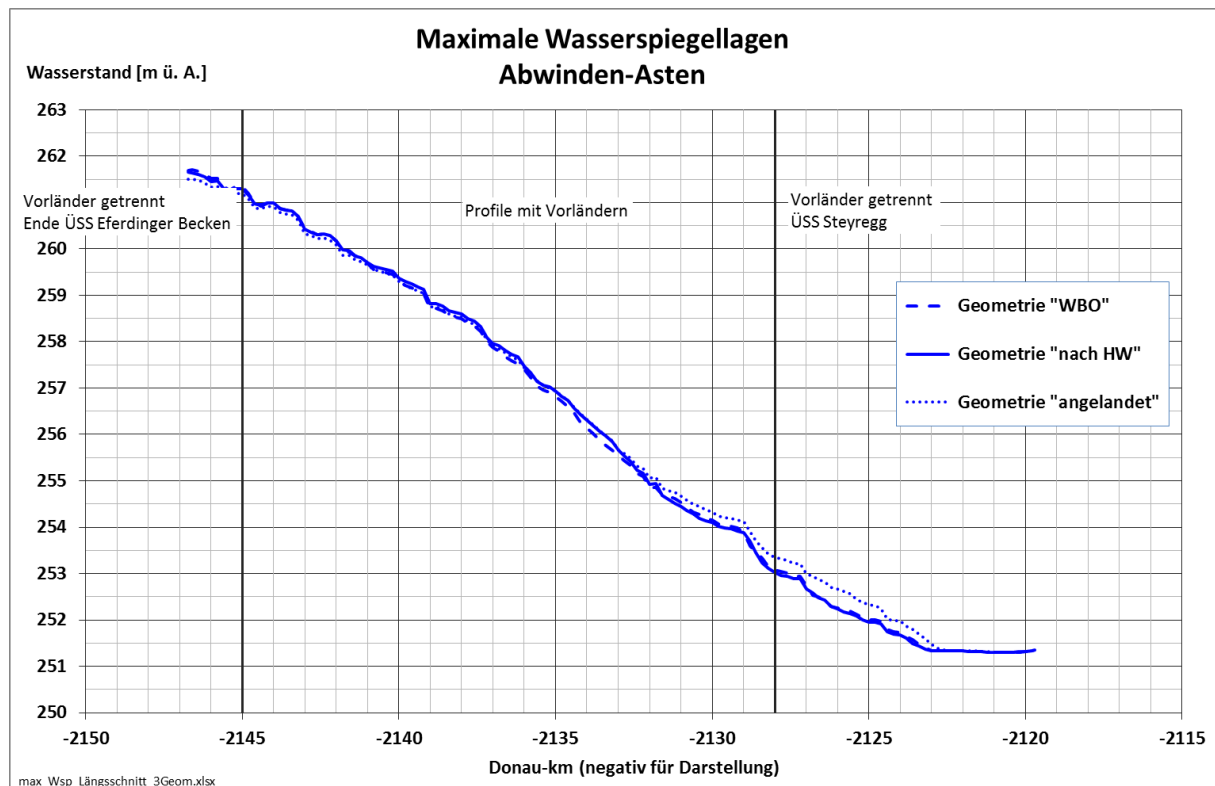


Abbildung 5.15: Einfluss von morphologischen Veränderungen auf die maximalen Wasserspiegellagen in der Stauhaltung Abwinden-Asten

Der Einfluss der morphologischen Veränderungen auf die Wasserstandsganglinien an den Pegeln Linz-Handelshafen und Unterwasser Ottensheim-Wilhering ist in Abbildung 5.16 dargestellt. Die Veränderungen der Sohlgeometrie haben in der Stauhaltung Abwinden-Asten nur einen verhältnismäßig geringen Einfluss auf die Wasserstände.

Abbildung 5.17 gibt die Abflussganglinien an der Stauanlage Abwinden-Asten (rot), den Gesamtabfluss unterstrom von Ottensheim-Wilhering (violett) und den Gesamtabfluss unterstrom von Abwinden-Asten (blau) wieder. Ebenfalls dargestellt sind die Abflussganglinie der Traun und der Abfluss in das Vorland Steyregg.

Im Geometriezustand „angelandet“ sind die Wasserstände im Bereich der Überströmstrecke und somit der Abfluss in das Vorland Steyregg größer, entsprechend ist der Abfluss an der umströmten Stauanlage Abwinden-Asten geringer. Die morphologischen Veränderungen haben nur geringen Einfluss auf den Gesamtabfluss.

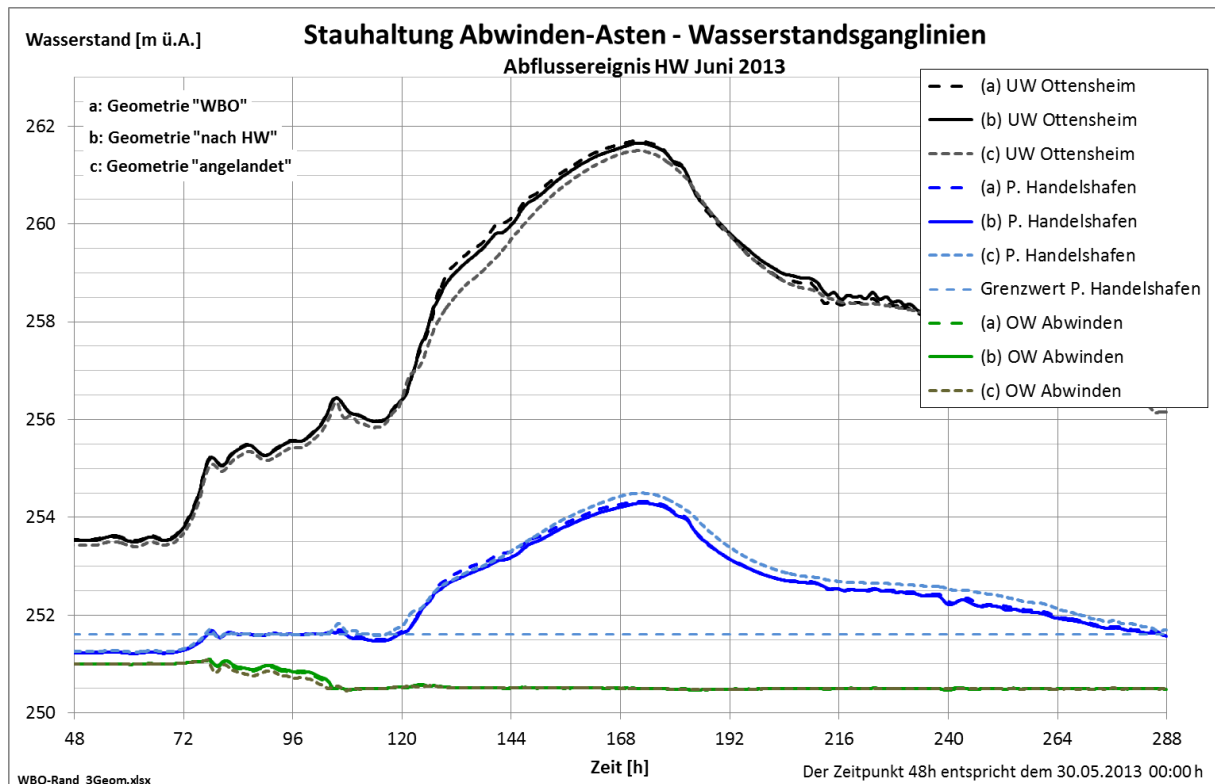


Abbildung 5.16: Einfluss von morphologischen Veränderungen auf die Wasserstandsganglinien in der Stauhaltung Abwinden-Asten

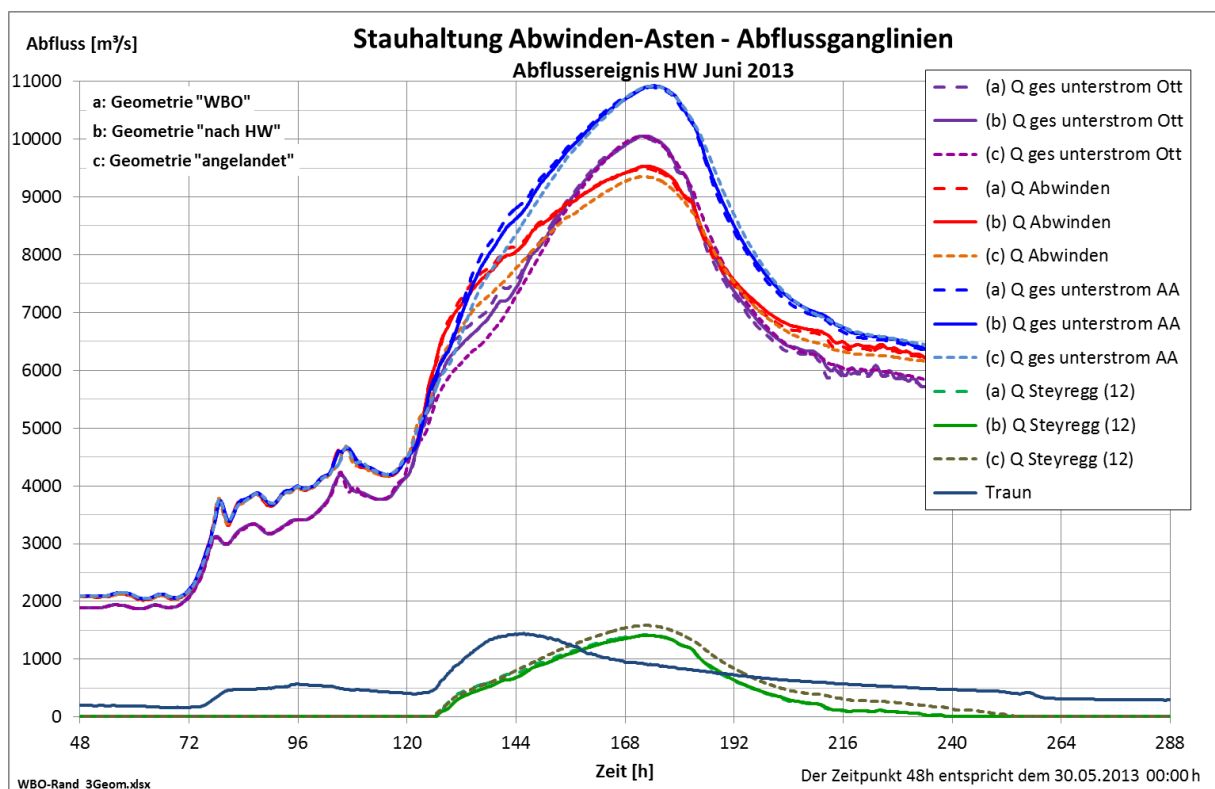


Abbildung 5.17: Einfluss von morphologischen Veränderungen auf die Abflussganglinien an der Stauanlage Abwinden-Asten

5.5 Morphologie und WBO in der Stauhaltung Wallsee-Mitterkirchen

In Abbildung 5.18 ist die Lage der Stauhaltung Wallsee-Mitterkirchen dargestellt. Sie erstreckt sich von der Stauanlage Abwinden-Asten bis zur Stauanlage Wallsee-Mitterkirchen bei Donau-km 2095,6 und umfasst eine Länge von ca. 24 km. Für die Regelung des Wasserhaushalts ist gemäß WBO neben dem Oberwasserstand an der Stauanlage Wallsee-Mitterkirchen auch der Wasserstand am Wendepunkt Au bei Donau-km 2106,9 relevant. Im Hochwasserfall ist mit steigenden Abflüssen zunächst der Wendepunkt auf einem Grenzwert von 240,40 m ü. A. zu halten, bis der Oberwasserstand das Absenkziel 1 von 239,00 m ü. A. erreicht. Steigt daraufhin der Wasserstand am Wendepunkt weiter an, so ist er bei einem zweiten Grenzwert von 242,10 m ü. A. zu halten, bis der Oberwasserstand auf das Absenkziel 2 von 238,00 m ü. A. gesunken ist. Dieses Absenkziel ist so lange zu halten, bis der Wasserstand am Wendepunkt mit abnehmenden Abflüssen wieder auf seinen Grenzwert fällt. Anschließend wird dieser gehalten, bis der Oberwasserstand auf das Stauziel gesunken ist.

Auch die Stauanlage Wallsee-Mitterkirchen wird bei Hochwasser umströmt. Bei stark erhöhten Wasserständen wird der Damm im Bereich von Donau-km 2106,9 bis 2103,8 beidseitig überströmt, sodass ein Teil des Abflusses über das Machland (Nord und Süd), abgeführt wird. Diese Vorlandabflüsse fließen erst unterhalb der Stauanlage Wallsee-Mitterkirchen wieder in die Donau zurück. Da die Modellstrecke an der Stauanlage Wallsee-Mitterkirchen endet, sind die Abflüsse in die Vorländer als seitliche Entnahme modelliert.

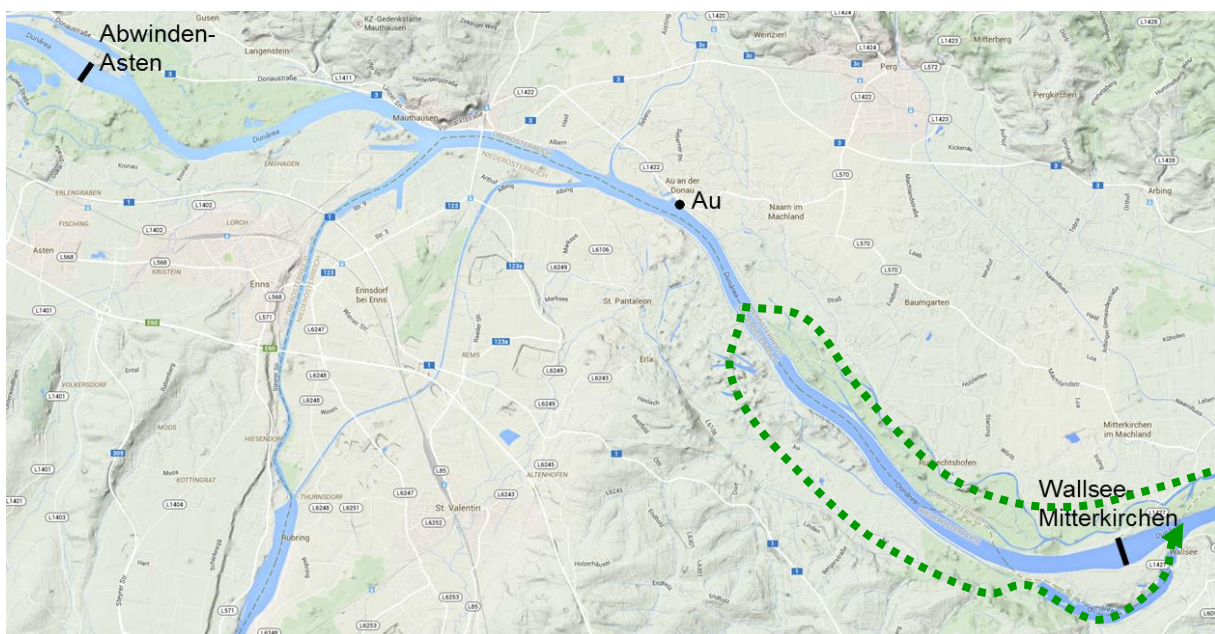


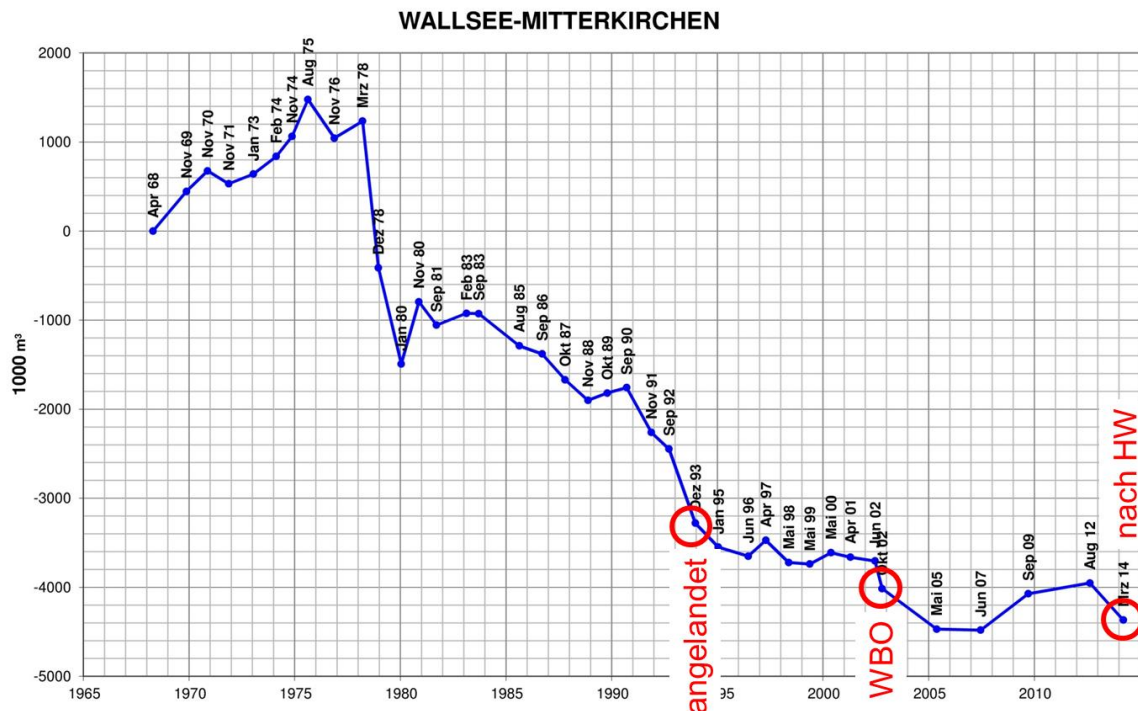
Abbildung 5.18: Lage der Stauhaltung Wallsee-Mitterkirchen

Für die Erstellung des Modells der Stauhaltung Wallsee-Mitterkirchen wurden von VHP Querprofile im Abstand von 100 m aus unterschiedlichen Sohlpeilungen zur Verfügung gestellt:

- Sohlpeilung von Dez. 1993, stark angelandeter Zustand („angelandet“)
- Sohlpeilung von Okt. 2002; Zustand, der den Berechnungen zur Einreichung der WBO 2008 zugrunde gelegt wurde („WBO“)
- Sohlpeilung von März 2014, erste Peilung nach dem Hochwasserereignis von Juni 2013 („nach HW“)

Für die Modellierung wurden die Querprofile auf Abstände von 200 m ausgedünnt.

Die Massenbilanzen der Sohlpeilungen sind in Abbildung 5.19 dargestellt, wobei es sich hierbei um Veränderungen gegenüber dem Zustand von 1968 handelt. Die Volumina der Massenbewegungen in der Stauhaltung Wallsee-Mitterkirchen sind zwar etwas größer als diejenigen in der Stauhaltung Abwinden-Asten, jedoch im Vergleich zu den Stauhaltungen Aschach und Ottensheim-Wilhering wesentlich geringer.



Quelle: Verbund

Abbildung 5.19: Massenbilanz der Stauhaltung Wallsee-Mitterkirchen zu unterschiedlichen Peilungszeitpunkten

Die folgende Abbildung 5.20 stellt einen Längsschnitt der maximal auftretenden Wasserspiegellagen für die drei genannten Geometriezustände und die Abflussganglinie des Hochwassers 2013 dar. Links bei Donau-km 2119,6 befindet sich die Stauanlage Abwinden-Asten, rechts bei Donau-km 2095,6 die Stauanlage Wallsee-Mitterkirchen.

Die in der Massenbilanz festgestellten verhältnismäßig geringen Volumenänderungen in der Stauhaltung Wallsee-Mitterkirchen zeigen sich auch hier in eher geringfügigen Unterschieden der maximalen Wasserspiegellagen für die verschiedenen Geometriezustände.

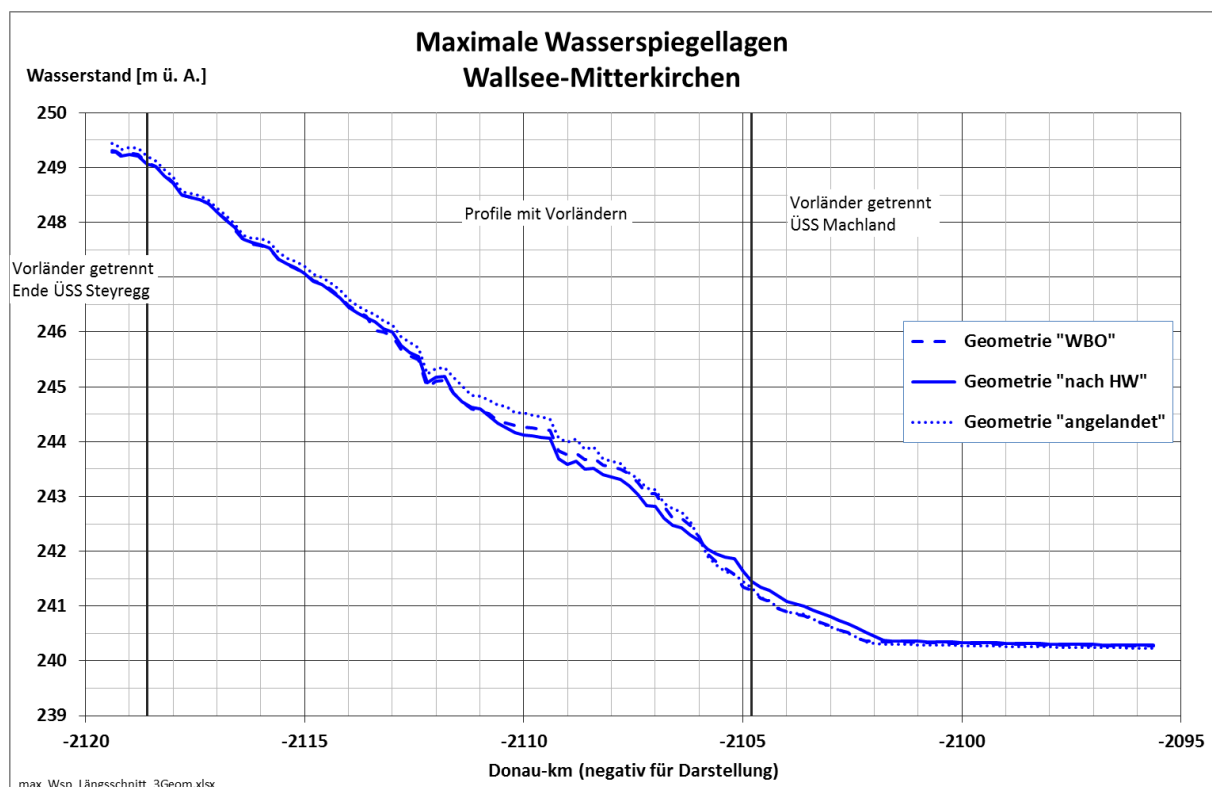


Abbildung 5.20: Einfluss von morphologischen Veränderungen auf die maximalen Wasserspiegellagen in der Stauhaltung Wallsee-Mitterkirchen

Der Einfluss der morphologischen Veränderungen auf die Wasserstandsganglinien an den Pegeln Au und Unterwasser Abwinden-Asten ist in Abbildung 5.21 dargestellt. Die Verläufe des Wasserstands an den Pegelstellen unterscheiden sich für die verschiedenen Geometriezustände eher wenig. Abbildung 5.22 gibt die zugehörigen Abflussganglinien wider. Trotz der eher geringen Wasserstandsunterschiede an der Überströmstrecke unterstrom von Pegel Au (Donau-km 2106,9 bis 2103,8) wirken sich diese deutlich auf die Abflüsse in den Vorländern Machland Süd und Nord (blau und grün) aus. Höhere Vorlandabflüsse durch höhere Wasserstände führen zu geringeren Abflüssen an der Stauanlage Wallsee-Mitterkirchen selbst (schwarz).

Da die Vorlandströmungen im Machland und der Zusammenfluss mit der Donau unterstrom der Stauanlage Wallsee-Mitterkirchen im 1D-HN-Modell nicht modelliert sind, wurde hierfür

eine Näherung verwendet. Aus den von Fa. Pöyry zur Verfügung gestellten Ergebnissen des 2D-HN-Modells wurde abgeschätzt, welcher zeitliche Versatz in den Machland-Vorländern zwischen den Überströmstrecken am oberen Vorlandende und dem Zusammenfluss mit der Donau am unteren Vorlandende auftritt. Der an den Überströmstrecken in die Vorländer abgegebene Abfluss wurde um diesen Zeitversatz verschoben zum Abfluss an der Stauanlage Wallsee-Mitterkirchen addiert, was eine gute Näherung für den Gesamtabfluss unterstrom von Wallsee-Mitterkirchen liefert. Eventuell durch die Näherung auftretende Ungenauigkeiten in der Bestimmung dieses Gesamtabflusses spielen zur Bewertung der vorliegenden Fragestellung keine Rolle. In Abbildung 5.22 ist zu erkennen, dass der Gesamtabfluss unterstrom des Machlandes (braun) durch die Aufteilung des Abflusses zwischen den Machland-Vorländern und der Donau beim vorliegenden Extremereignis nur mehr relativ wenig beeinflusst wird. Für Detailaussagen bezüglich des Gesamtabflusses unterstrom des Machlandes sollten Berechnungen mit einem 2D-HN-Modell durchgeführt werden.

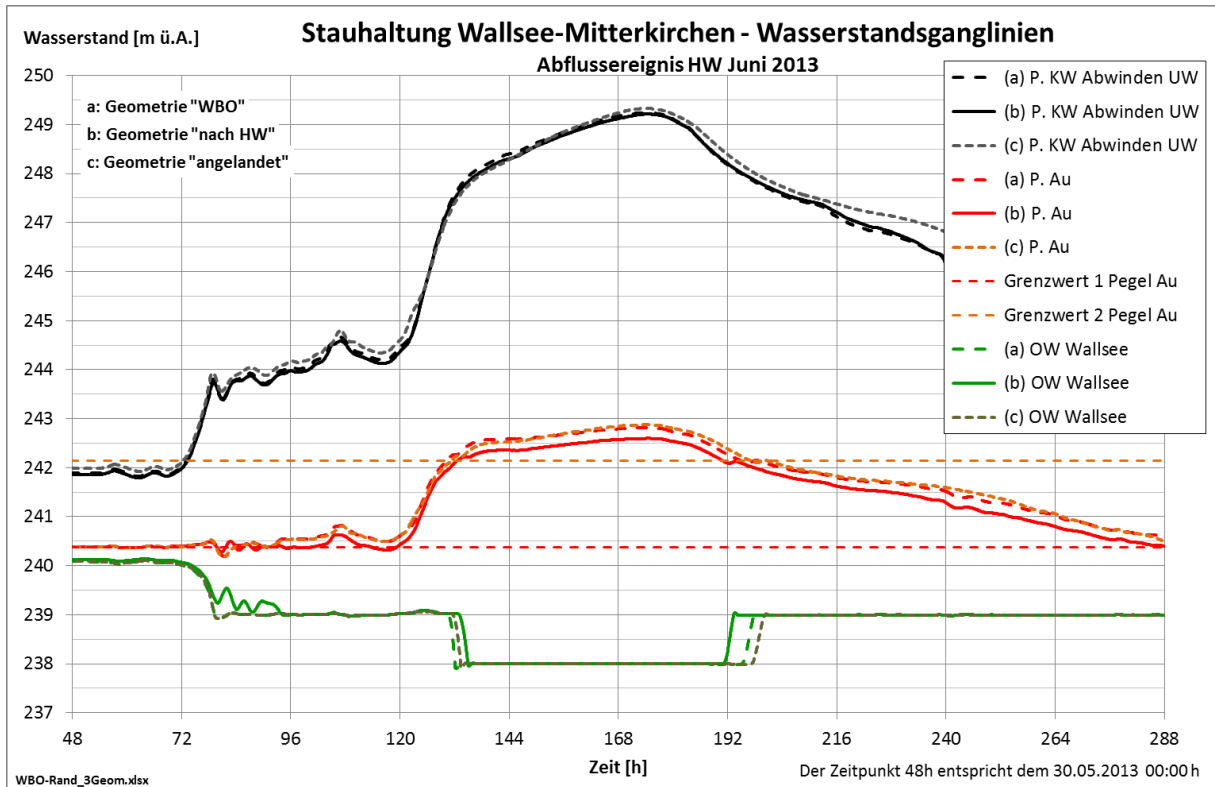


Abbildung 5.21: Einfluss von morphologischen Veränderungen auf die Wasserstandsganglinien in der Stauhaltung Wallsee-Mitterkirchen

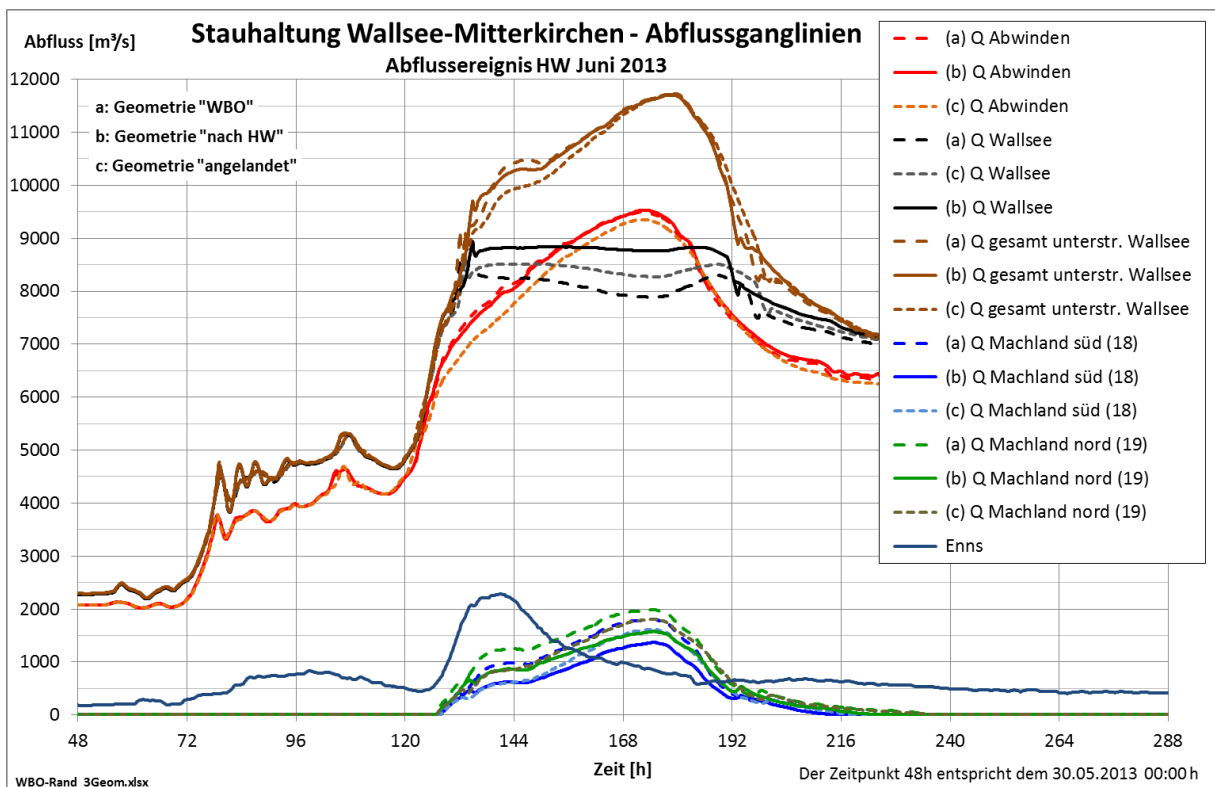


Abbildung 5.22: Einfluss von morphologischen Veränderungen auf die Abflussganglinien an der Stauanlage Wallsee-Mitterkirchen

5.6 Fazit zum Einfluss der Morphologie auf den Wasserhaushalt nach WBO

In der vorliegenden Studie standen drei Sohlgeometrien mit unterschiedlichen Anlandungszuständen zur Verfügung. Das verwendete Modell der oberösterreichischen Donau kombiniert die hydraulischen 1D-HN-Berechnungen mit der Steuerung der Stauanlagen nach WBO und zeigt somit auf, inwieweit die Unterschiede in den Sohlgeometrien die Wasserstände an den Referenzpegeln und damit die Regulierung des Wasserhaushalts beeinflussen.

Dabei arbeitet das Modell mit einer festen, unbeweglichen Flusssohle. Insbesondere im Geometriezustand „angelandet“ werden dadurch die maximalen Wasserspiegellagen während des Hochwasserereignisses tendenziell überschätzt, da Erosionsprozesse nicht berücksichtigt werden. Die Quantifizierung der maximalen Wasserspiegellagen war nicht Gegenstand dieser Untersuchung, da hierfür eine Berücksichtigung der Umlagerungsprozesse während des Ereignisses mit Hilfe von separaten morphodynamischen Untersuchungen zum Sedimenttransport erforderlich wäre.

Wie die aus den regelmäßigen Sohlpeilungen erstellten Massenbilanzen belegen, weist die Flusssohle in den Stauhaltungen Aschach und Ottensheim-Wilhering eine große Mobilität auf. In den Stauräumen Abwinden-Asten und Wallsee-Mitterkirchen treten dagegen wesentlich geringere Veränderungen der Sohlgeometrien auf. Die Veränderungen der Sohlgeometrie spiegeln sich in Veränderungen der Wasserstände deutlich wider.

Bezüglich des Abflussverhaltens ist zu unterscheiden zwischen Stauhaltungen ohne Umströmung (Aschach) und Stauhaltungen mit Überströmstrecken, bei denen die Stauanlagen umströmt werden (Ottensheim-Wilhering, Abwinden-Asten und Wallsee-Mitterkirchen).

An der Stauanlage Aschach wird der Oberwasserstand ohne konstantes Absenkziel in Abhängigkeit vom Wasserstand am Pegel Engelhartzell vorgegeben, wodurch Sohlveränderungen einen gewissen Einfluss auf den Oberwasserstand an der Stauanlage Aschach haben. Die vor dem Hochwasserereignis 2013 gemessene Sohlgeometrie hat jedoch während des Abflussscheitels keinen Einfluss auf den Abfluss, so dass auch eine deutliche Verlandung des Stauräume Aschach mit Feinsediment keine nachteiligen Folgen für die Unterlieger hat.

Bei den Stauanlagen Ottensheim-Wilhering, Abwinden-Asten und Wallsee-Mitterkirchen wird durch die Veränderung der Wasserstände an den Referenzpegeln (Wendepegeln) der Grenzwasserstand für ein Umschalten gemäß WBO zwischen Oberwasserstand, Wendepegel oder Absenkziel zu einem anderen Zeitpunkt bzw. bei einem anderen Abfluss erreicht. Während der Hochwasserspitze selbst besteht kein Einfluss auf den zu haltenden Oberwasserstand, da die WBO ein konstantes Absenkziel vorschreibt.

An den Überströmstrecken zu den Vorländern beeinflusst die Veränderung der Wasserstände jedoch die Abflussaufteilung zwischen Vorländern und Flussschlauch. Der Einfluss der morphologischen Veränderungen auf den Gesamtabfluss ist dagegen gering. Für detaillierte Aussagen zum Gesamtabfluss im Vorland wären Berechnungen mit einem 2D-HN-Modell erforderlich.

Grundsätzlich werden an manchen Pegeln Schlüsselkurven, d.h. Wasserstands-Abfluss-Beziehungen, verwendet. Das bedeutet, dass

- einem gemessenen Wasserstand ein bestimmter Abfluss zugeordnet wird
- bei einer Abflussvorhersage ein zugehöriger Wasserstand vorhergesagt wird.

Aufgrund der variierenden morphologischen Situation in der oberösterreichischen Donau gibt es hier keine festen Wasserstands-Abfluss-Beziehungen. Diese müssen den Veränderungen der Sohlgeometrie immer wieder angepasst werden, weshalb solche Kurven nur für ausgewählte Pegelstandorte mit verhältnismäßig geringen Sohlveränderungen verwendet werden sollten. Wegen der starken Umlagerungsprozesse ist es daher für manche Pegel schwierig, Wasserstände vorherzusagen.

6 Übereinstimmung Modell – Messwerte

Um zu überprüfen, ob das verwendete Modell die hydraulischen Verhältnisse in der Natur angemessen wiedergibt, werden in den folgenden Abschnitten die Wasserstandsmesswerte vom Hochwasser 2013 den zugehörigen Berechnungsergebnissen gegenübergestellt und die Übereinstimmung derselben analysiert.

Hierzu wurden im Modell jeweils die beobachteten Wasserstandsganglinien an den Stauanlagen als Randbedingung vorgegeben (vgl. Abschnitt 4.3.1). Die Sohlgeometrie im Donau-Flussbett ist während des Hochwasserereignisses veränderlich und dadurch naturgemäß unbekannt.

Bei einem Kalibrierungsvorgang wird oft die Geometrie nach einem Hochwasser als maßgeblich genommen und mit der Wahl der Rauheitsbeiwerte k_{St} nach Strickler versucht, eine möglichst gute Übereinstimmung zwischen berechneten und gemessenen Wasserständen zu erzielen. Hierbei besteht die Gefahr, dass teilweise nicht plausible Rauheitsbeiwerte k_{St} gewählt werden. Kann eine gute Übereinstimmung nicht mit realistisch rauhen oder glatten Beiwerten erzielt werden, ist von diesem Vorgehen Abstand zu nehmen; stattdessen ist es erforderlich, sich der Fragestellung bezüglich der maßgeblichen Geometrie zuzuwenden.

In der vorliegenden Studie wurde aufgrund von Überlegungen zu Ver- bzw. Entlandungsvorgängen während des Hochwasserereignisses jeweils ein Geometriezustand als der am ehesten maßgebende ausgewählt und hierzu plausible Rauheitsbeiwerte gewählt.

Zusätzlich zu den Wasserstandsmesswerten wurden von viadonau Aufzeichnungen der Abflüsse an den Stauanlagen zur Verfügung gestellt. Üblicherweise werden diese aus gemessenen Ober- und Unterwasserständen, den Stellpositionen der Wehre und zugehörigen Wehrbezugskurven ermittelt und sind erfahrungsgemäß – insbesondere im Hochwasserfall – mit sehr großen Unsicherheiten behaftet (Abweichungen von mehreren Prozent). Die Vergleiche zwischen den Abflussaufzeichnungen und den berechneten Abflüssen dienen als zusätzlicher Anhaltspunkt für das generelle Wellenablaufverhalten und ein besseres Systemverständnis. Zur Beurteilung der Übereinstimmung des Modells mit den Messwerten ist der Focus auf die Wasserstände zu setzen.

6.1 Übereinstimmung Modell – Messwerte: Stauhaltung Jochenstein

Wie bereits in Abschnitt 5.1 erläutert, wurde für das Modell der Stauhaltung Jochenstein die Querprofilpeilung der viadonau vom Januar 2014 verwendet.

Die folgende Abbildung 6.1 stellt den Verlauf des Wasserstands über die Zeit an den Pegeln Achleiten und Erlau dar. Jeweils gestrichelt sind die Messwerte aufgetragen, mit durchgezogenen Linien sind die Berechnungsergebnisse dargestellt. Für den Oberwasserstand Jochenstein wurden die Messwerte in der Berechnung als Randbedingung vorgegeben.

Am Pegel Achleiten treten während der Hochwasserspitze Abweichungen von bis zu ca. 40 cm auf, ansonsten ist eine sehr gute Übereinstimmung der Berechnung mit den Messwerten festzustellen. Der Pegel Erlau war nach Durchgang der Hochwasserspitze temporär ausgefallen (Simulationszeit 170 – 188 h). Unmittelbar anschließend sind die Messwerte möglicherweise noch fehlerbehaftet, da das in der Grafik deutlich sichtbare plötzliche Abfallen des Wasserstands am Pegel Erlau zum Zeitpunkt 207 h nicht plausibel ist. Der Pegel Achleiten zeigt zu diesem Zeitpunkt einen gleichmäßigen Verlauf mit annähernd konstantem Wasserstand und somit keine starke Abflussänderung. Insgesamt liegt am Pegel Erlau eine sehr gute Übereinstimmung der berechneten mit den gemessenen Wasserständen vor.

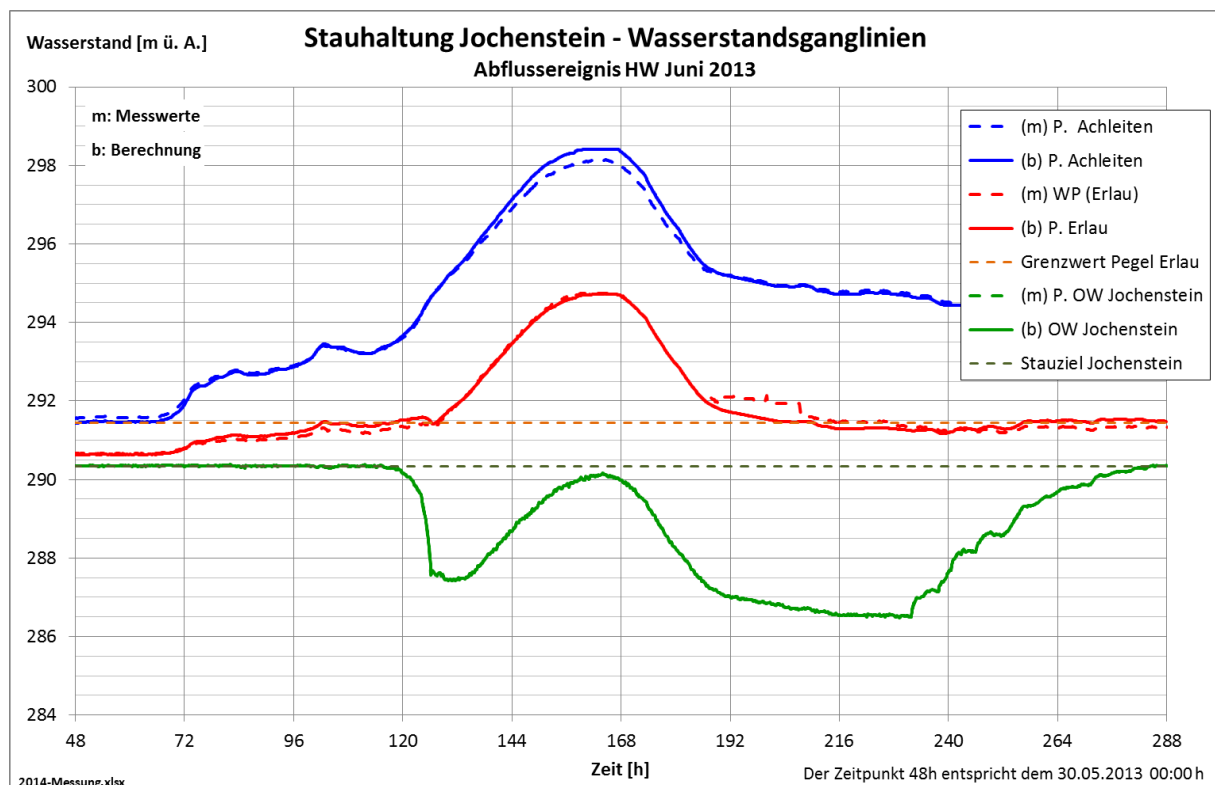


Abbildung 6.1: Wasserstandsganglinien an verschiedenen Pegeln in der Stauhaltung Jochenstein – Vergleich der Berechnung mit Messwerten

Die Abflussganglinien am Pegel Achleiten als Zufluss in das Modell sowie an der Stauanlage Jochenstein sind in Abbildung 6.2 dargestellt. Zu den für den Abfluss Jochenstein aufgezzeichneten Werten ist anzumerken, dass während des Hochwasserereignisses 2013 die automatische Abflussaufzeichnung nicht den Gesamtabfluss erfasst hat und dieser rechnerisch ergänzt wurde.

In der Grafik zu erkennen ist, dass der Abfluss innerhalb der Stauhaltung Jochenstein mit geringer zeitlicher Verzögerung im Wesentlichen unverändert weitergegeben wird. Die Abflussberechnung im Modell stimmt gut mit den ergänzten Abflussaufzeichnungen überein. Zu

betonen ist, dass diese Abflussaufzeichnungen nur als Anhaltspunkt dienen können, da sie selbst eine rückgerechnete Größe sind.

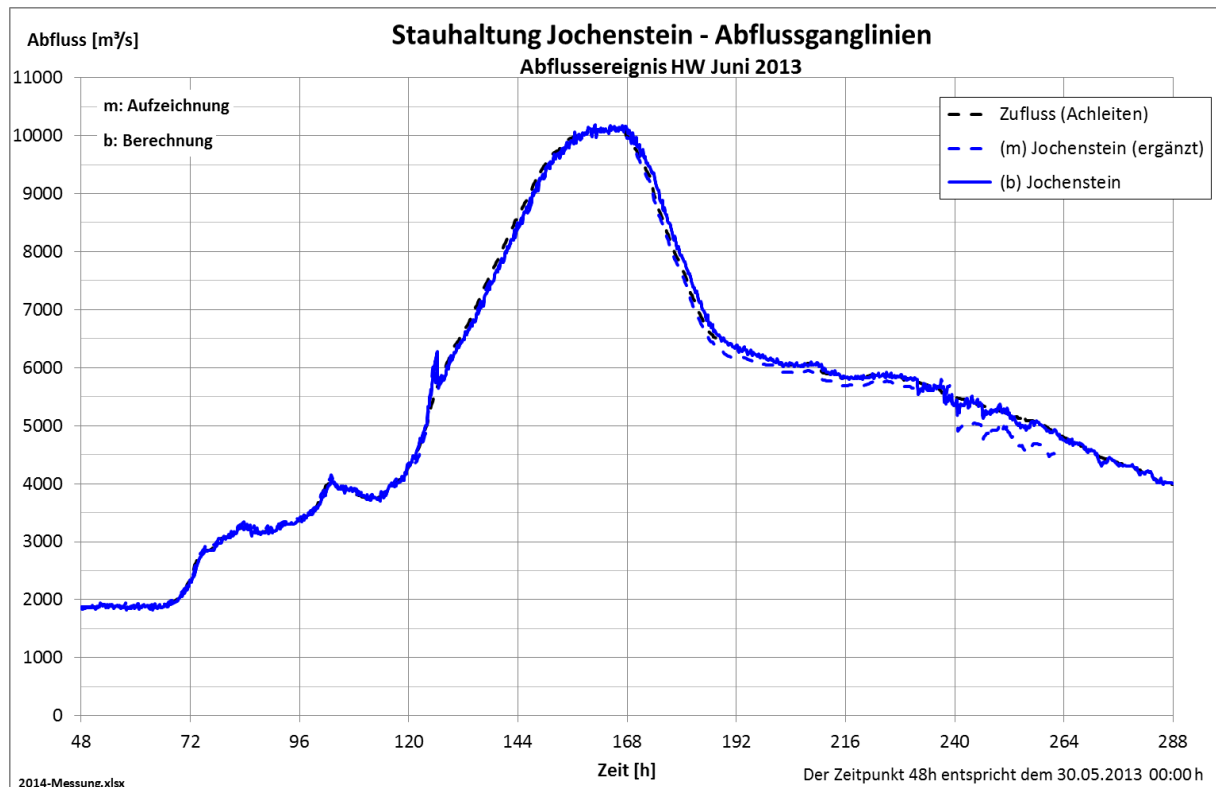


Abbildung 6.2: Abflussganglinien in der Stauhaltung Jochenstein – Vergleich der Berechnung mit Aufzeichnungen

6.2 Übereinstimmung Modell – Messwerte: Stauhaltung Aschach

Wie bereits in Abschnitt 5.2 dargelegt, weisen die Sohlpeilungen „WBO“ und „nach HW“ einen ähnlichen Verlandungszustand bzgl. der Massenbilanz (vgl. Abbildung 5.4) auf; die Sohlpeilung „angelandet“ repräsentiert einen Zustand mit wesentlich stärkeren Anlandungen. Während des Hochwasserereignisses 2013 hat in der Stauhaltung Aschach – ausgehend von einem Zustand mit erheblichen Anlandungen – ein deutlicher Erosionsprozess stattgefunden, wie die Massenbilanz belegt. Es ist davon auszugehen, dass bereits mit dem Anstieg der Hochwasserwelle ein wesentlicher Teil dieser Erosion stattgefunden hat, so dass während der Hochwasserspitze bereits ein erodierter Zustand ähnlich der Geometrie „nach HW“ vorlag. Daher stellen die folgenden Abbildungen die Berechnungen auf Grundlage der Sohlpeilung „nach HW“ dar.

Abbildung 6.3 stellt den Verlauf des Wasserstands über die Zeit an den Pegeln Obermühl, Schlögen, Vornwald, Ronthal und Engelhartzell dar, wobei zur Berechnung die Messwerte des Oberwasserpegels Aschach als Randbedingung vorgegeben wurden. Es zeigt sich eine relativ gute Übereinstimmung des Modells mit den Verhältnissen in der Natur.

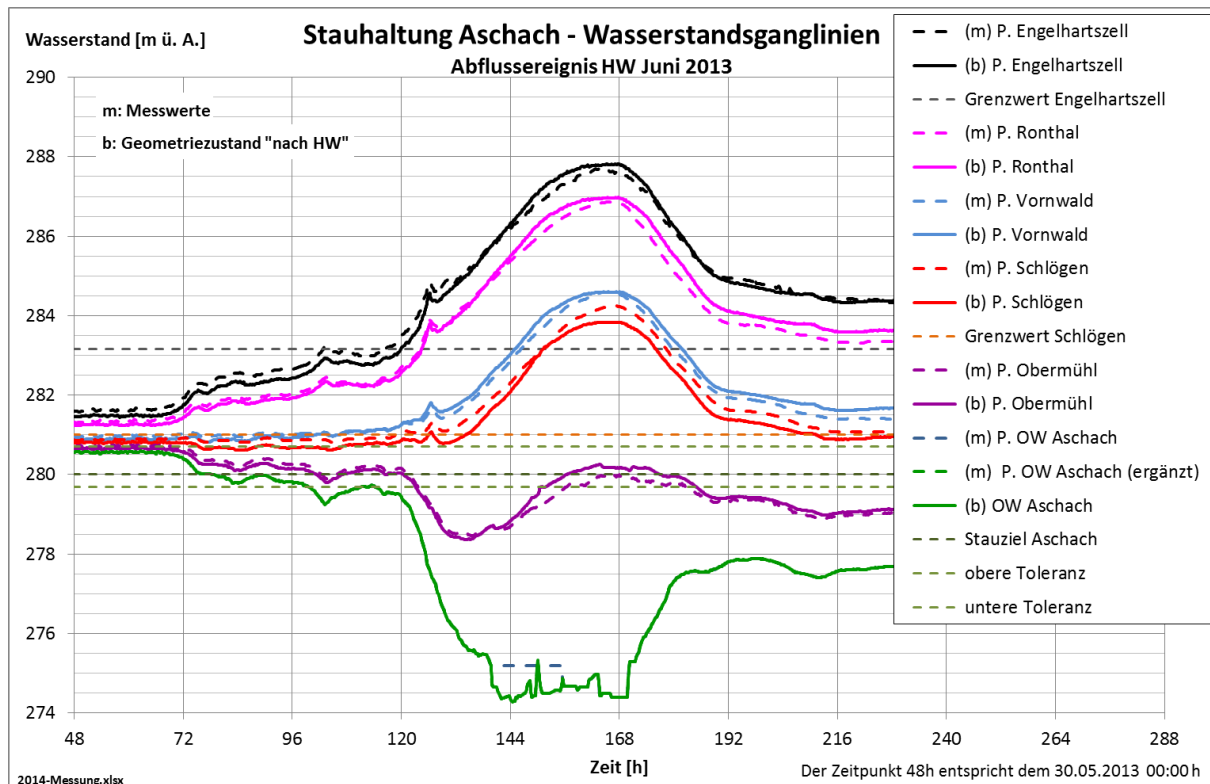


Abbildung 6.3: Wasserstandsganglinien an verschiedenen Pegeln in der Stauhaltung Aschach – Vergleich der Berechnung (Geometriezustand „nach HW“) mit Messwerten

Die Abflussganglinien an den Stauanlagen Jochenstein und Aschach sind in der folgenden Abbildung 6.4 aufgetragen. Während des Abflussscheitels waren an der Stauanlage Aschach die Schleusen zur Hochwasserabfuhr geöffnet. An der Form der aufgezeichneten Abflusswerte in diesem Zeitraum ist deutlich zu erkennen, dass der Abfluss durch die Schleusen bei der Abflussermittlung nicht berücksichtigt und somit nicht der Gesamtabfluss ermittelt wurde.

Nach dem Hochwasserscheitel liegen die für den Abfluss bei Aschach aufgezeichneten Werte im Vergleich mit den Werten bei Jochenstein und Ottensheim-Wilhering (vgl. Abbildung 6.4 und Abbildung 6.7) zu niedrig. Dies ist vermutlich der grundsätzlich vorhandenen Ungenauigkeit bei der Ermittlung von Abflüssen geschuldet.

Ein Vergleich der berechneten Abflussganglinien bei Aschach und Jochenstein zeigt, dass prinzipiell der Abfluss in der Stauhaltung Aschach mit geringen Veränderungen weitergegeben wird. Dem überlagert sind kurzfristige Abflussschwankungen, die durch die schnellen und heftigen Wasserstandsschwankungen bei der Regelung der Stauanlage Aschach hervorgerufen werden. Hierzu ist anzumerken, dass während des Hochwasserereignisses 2013 Unsicherheiten bei der Aufzeichnung der Wasserstände im Oberwasser Aschach aufgetreten sind. Durch die Vorgabe von möglicherweise nicht für den gesamten Querschnitt repräsentativen Wasserstandswerten werden diese kurzfristigen Abflussschwankungen modelltechnisch tendenziell überschätzt.

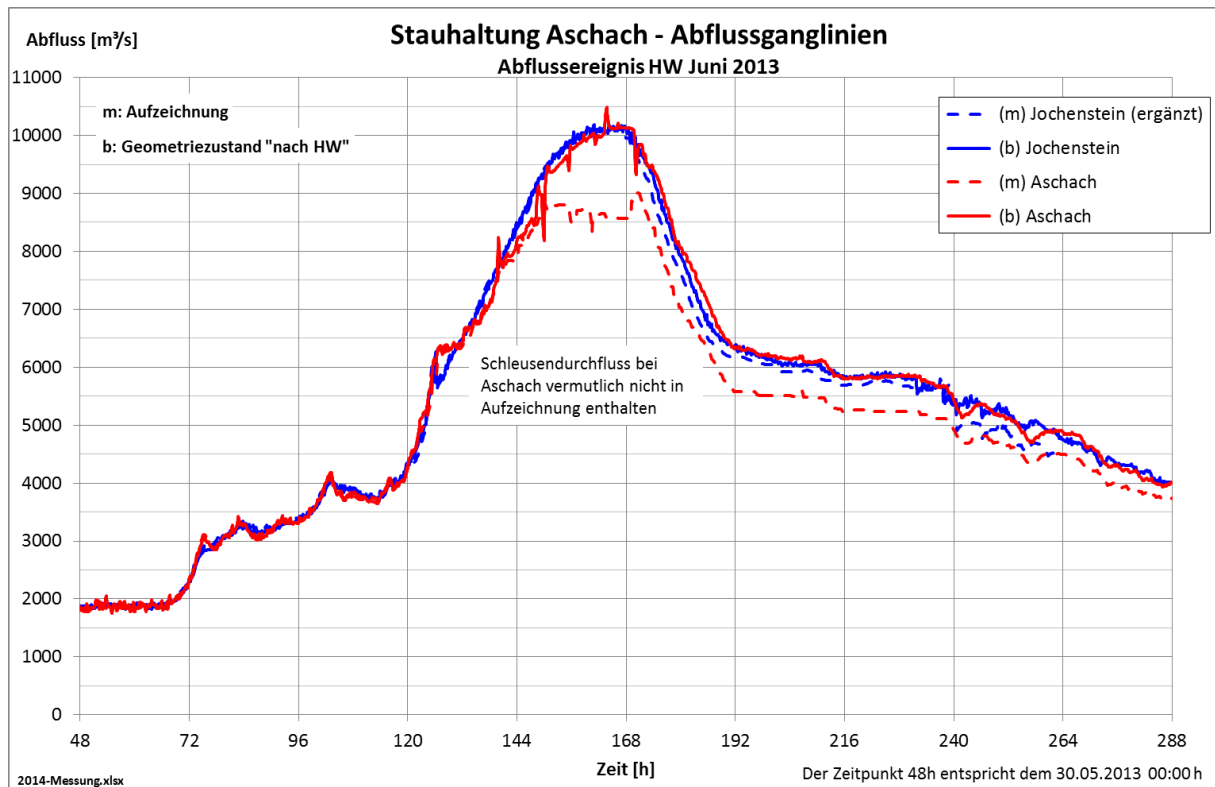


Abbildung 6.4: Abflussganglinien in der Stauhaltung Aschach – Vergleich von Berechnung (Geometriezustand „nach HW“) und Aufzeichnung

6.3 Übereinstimmung Modell – Messwerte: Stauhaltung Ottensheim-Wilhering

In der Stauhaltung Ottensheim-Wilhering finden ebenfalls in größerem Maße morphologische Umlagerungen statt, wie bereits in Abschnitt 5.3 erläutert. Während des Hochwassers 2013 hat – insbesondere in der unteren Hälfte der Stauhaltung – eine deutliche Anlandung, d.h. eine Ablagerung von Sohlmaterial, stattgefunden. Aufgrund der Annahme, dass diese Ablagerungen insbesondere mit abnehmenden Durchflüssen und somit geringer werdenden Schubspannungen und Fließgeschwindigkeiten stattgefunden haben, werden in diesem Abschnitt die Berechnungen mit der Sohlgeometrie „WBO“ vorgestellt, welche den Zustand zu Beginn des Hochwassers am ehesten abbildet.

Bezüglich des Vergleichs von Messwerten mit Berechnungsergebnissen ist zu betonen, dass plausible Rauheitsbeiwerte gewählt wurden ohne eine Kalibrierung des Modells im Hinblick auf eine größtmögliche Übereinstimmung mit einem der zur Verfügung stehenden Geometriezustände durchzuführen.

Die Messwerte an den Pegeln Strombauleitung, Aschach Agentie und Brandstatt zeigen einen Wasserstandsverlauf mit ausgeprägter Spitze; nach Umrechnung über die Wasserstands-Abfluss-Beziehungen der Pegel ergibt sich somit eine Abflussganglinie mit ebenso ausgeprägter Spitze. Die Simulationen hingegen sowohl mit dem 1D-HN-Modell der Fa. Pöyry

(vgl. deren Bericht „Grob-Analyse und Modellierung“, Abschnitt 4.3.2.4) als auch mit dem hier beschriebenen 1D-HN-Modell führen zu einem rundlichen Verlauf der Abfluss- und Wasserstandsganglinien. Diese ergeben sich in den Modellen aus der Zuflussganglinie bei Achleiten und dem über die Oberwasserstands-Messwerte abgebildeten Betrieb der Stauanlage Aschach.

Aufgrund der hierdurch erkannten Unsicherheiten bezüglich des Abflusses in diesem Bereich wurde nach eingehenden Untersuchungen von viadonau in ihrer Funktion als hydrografische Stelle für die Donau eine offizielle Abflussganglinie für Aschach erstellt (vgl. Bericht der Fa. Pöyry „Numerische Modellierung ...“, Abschnitt 2.5.1.1). Daher wurden in der vorliegenden Untersuchung für die Stauhaltung Ottensheim-Wilhering sowohl Simulationen mit der offiziellen Ganglinie von viadonau an einem Einzelmodell der Stauhaltung als auch Simulationen mit dem Gesamtmodell der oberösterreichischen Donau durchgeführt.

Die beiden folgenden Abbildungen stellen jeweils die Wasserstands-Messwerte an den Pegeln Unterwasser Aschach, Strombauleitung, Agentie, Brandstatt und Christl im Vergleich mit den an diesen Pegelstellen berechneten Wasserstandsverläufen dar. Dabei wurden zur Berechnung die Messwerte des Oberwasserpegels Ottensheim-Wilhering als Randbedingung vorgegeben. Die Ergebnisse für die rundliche Abflussganglinie, berechnet mit dem Gesamtmodell, sind in Abbildung 6.5 aufgetragen, diejenigen für die spitze Abflussganglinie, berechnet mit einem Einzelmodell der Stauhaltung Ottensheim-Wilhering, sind in Abbildung 6.6 dargestellt.

Im ansteigenden Ast der Hochwasserganglinie (vor 120 h) werden die Messwerte des Pegels Christl im Gesamtmodell gut abgebildet, während die Wasserstände der oberstromigen Pegel eher unterschätzt werden. Im Einzelmodell werden die Wasserstände aller Pegel etwas unterschätzt, da die offizielle Zuflussganglinie in diesem Zeitraum etwas geringere Werte vorgibt, als sich im Gesamtmodell ergeben.

Im abfallenden Ast (nach 192 h) werden im Gesamtmodell die Wasserstände an den Pegeln Brandstatt und Agentie unterschätzt, an den Pegeln Christl, Strombauleitung und Unterwasser Aschach dagegen gut abgebildet. Das Einzelmodell berechnet wiederum aufgrund des etwas geringeren Zuflusses niedrigere Wasserstände als die Messwerte aufzeigen.

Während des Hochwasserscheitels (Simulationszeit ca. 140 - 180 h) wird mit der spitzen Ganglinie von viadonau im Einzelmodell (Abbildung 6.6) der charakteristische Verlauf des Wasserstands an den Pegeln Brandstatt, Agentie, Strombauleitung und Unterwasser Aschach grundsätzlich gut wiedergegeben. Im Gesamtmodell (Abbildung 6.5) werden durch den rundlichen Verlauf der Zuflussganglinie die Wasserstände zum Teil über-, zum Teil unterschätzt.

Unter Berücksichtigung der Unsicherheiten, welche bezüglich der Sohlgeometrie während des Hochwasserereignisses sowie bezüglich der Zuflussganglinie zur Stauhaltung Ottensheim-Wilhering vorliegen, ist die prinzipielle Übereinstimmung des Modells mit den Verhältnissen in der Natur gegeben. Die in den folgenden Abschnitten zu konkreten Fragestellungen getroffenen Aussagen ergeben sich aus Relativbetrachtungen, d.h. dem Vergleich verschiedener Simulationen und sind somit zulässig.

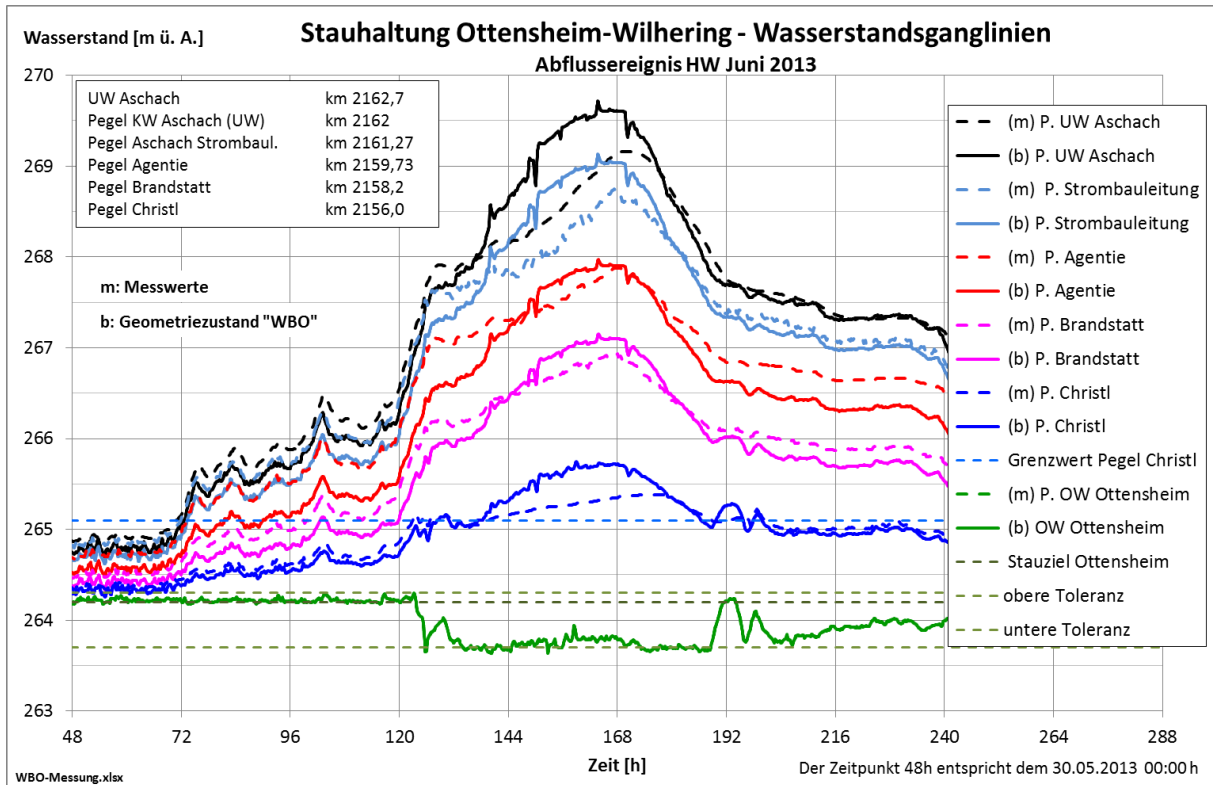


Abbildung 6.5: Wasserstandsganglinien in der Stauhaltung Ottensheim-Wilhering – Vergleich der Berechnung (Gesamtmodell, Geometrie „WBO“) mit Messwerten

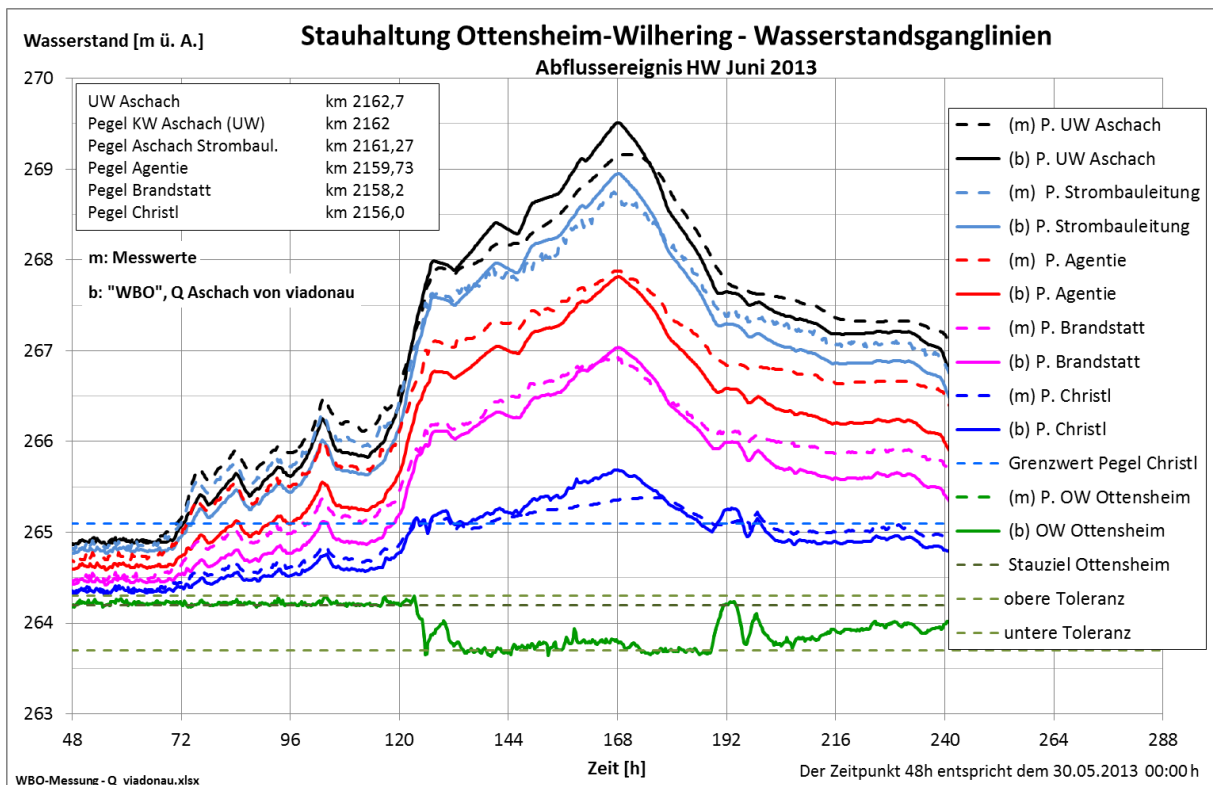


Abbildung 6.6: Wasserstandsganglinien in der Stauhaltung Ottensheim-Wilhering – Vergleich der Berechnung (Einzelmodell, Zuflussganglinie von viadonau, Geometrie „WBO“) mit Messwerten

Die aufgezeichneten und berechneten Abflussganglinien an den Stauanlagen Aschach und Ottensheim-Wilhering sind für die Simulation mit dem Gesamtmodell in Abbildung 6.7 wiedergegeben, diejenigen für das Einzelmodell der Stauhaltung Ottensheim-Wilhering mit der offiziellen Zuflussganglinie von viadonau in Abbildung 6.8 dargestellt.

Zusätzlich sind die berechneten Abflüsse an den Überströmstrecken ins Eferdinger Becken (Nord und Süd) eingetragen, hierfür existieren naturgemäß keine Aufzeichnungen. Durch die Umströmung der Stauanlage Ottensheim-Wilhering ist der Maximalabfluss an derselben wesentlich geringer als an der Stauanlage Aschach.

Beide Simulationen treffen im ansteigenden und abfallenden Ast die Abflussaufzeichnungen an der Stauanlage Ottensheim-Wilhering gut. Während des Hochwasserscheitels unterscheiden sich die Abflussganglinien aufgrund der verschiedenen Zuflussganglinien bei Aschach. Unter Berücksichtigung der generellen Unsicherheiten bei der Bestimmung von Abflüssen im Hochwasserfall ist die Übereinstimmung mit den Aufzeichnungen in beiden Simulationen angemessen.

Sofern für die vorliegende Studie die Weitergabe des Abflusses innerhalb der Stauhaltungskette im Vordergrund stand, wurden die weiterführenden Untersuchungen mit dem Gesamtmodell der oberösterreichischen Donau und somit mit der rundlichen Abflussganglinie bei Aschach durchgeführt (vgl. Abschnitt 7.2). Bei Betrachtungen, die nur die Stauhaltung Ottensheim-Wilhering betreffen (vgl. Abschnitt 7.1.1), wurde das Einzelmodell mit der spitzen Ganglinie verwendet. Die Unterschiede zwischen der rundlichen und spitzen Ganglinie sind nicht so gravierend, als dass die verwendete Ganglinie einen relevanten Einfluss auf das Ergebnis bezüglich des Vergleichs verschiedener Betriebsweisen hätte.

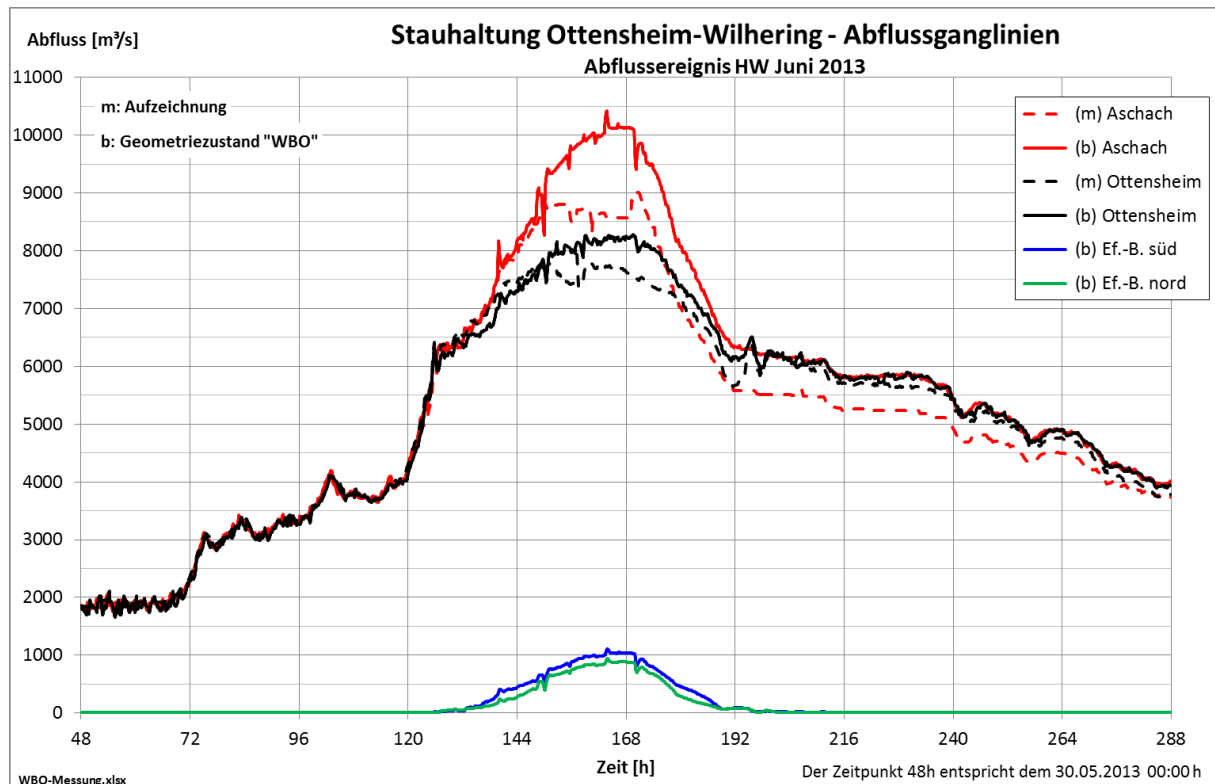


Abbildung 6.7: Abflussganglinien in der Stauhaltung Ottensheim-Wilhering – Vergleich von Berechnung (Gesamtmodell, Geometrie „WBO“) und Aufzeichnung

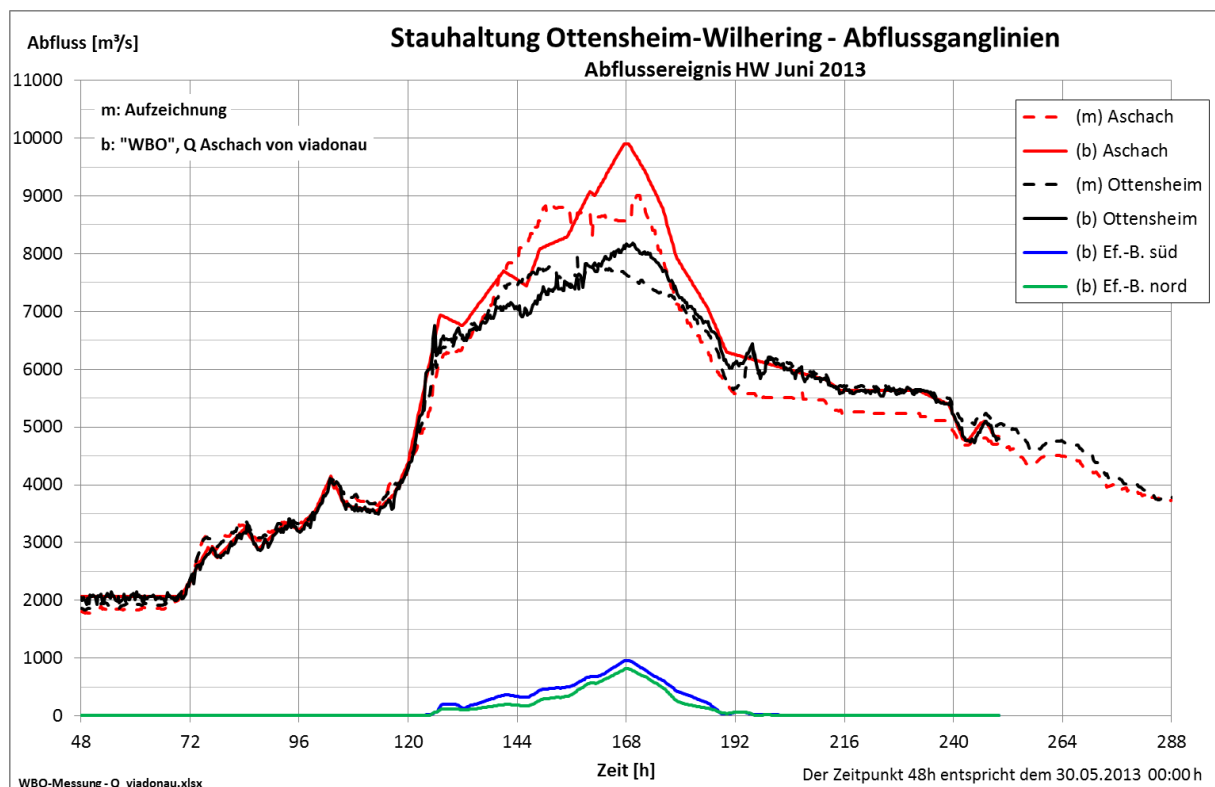


Abbildung 6.8: Abflussganglinien in der Stauhaltung Ottensheim-Wilhering – Vergleich von Berechnung (Einzelmodell, Zuflussganglinie von viadonau, Geometrie „WBO“) und Aufzeichnung

6.4 Übereinstimmung Modell – Messwerte: Stauhaltung Abwinden-Asten

In der Stauhaltung Abwinden-Asten haben in den vergangenen Jahren nur verhältnismäßig geringe Veränderungen der Flusssohle stattgefunden, wie die Massenbilanz in Abbildung 5.14 belegt. Da die Berechnungsergebnisse auf Grundlage der drei Sohlpeilungen „WBO“, „nach HW“ und „angelandet“ einander ähnlich sind, ist hier exemplarisch der Geometriezustand „nach HW“ dargestellt.

Abbildung 6.9 stellt den Verlauf des Wasserstands über die Zeit an den Pegeln Unterwasser Ottensheim-Wilhering, Pegel Wilhering, Kürnberg, Linz und Linz-Handelshafen dar, wobei zur Berechnung die Messwerte des Oberwasserpegels Abwinden-Asten als Randbedingung vorgegeben wurden. Es zeigt sich eine relativ gute Übereinstimmung des Modells mit den Verhältnissen in der Natur.

Die Abflussganglinien an der Stauanlage Abwinden-Asten sind in Abbildung 6.10 als Vergleich der Aufzeichnungen mit den Berechnungsergebnissen aufgetragen. Hierbei handelt es sich nur um den Abfluss an der Stauanlage selbst, diese wird im Hochwasserfall umströmt. Zusätzlich dargestellt ist die Zuflussganglinie der Traun, die in der Stauhaltung Abwinden-Asten in die Donau mündet und im Modell als seitlicher Zufluss berücksichtigt wird. Des Weiteren aufgetragen ist der im Modell ermittelte Abfluss über das Vorland Steyregg, für den naturgemäß keine Aufzeichnungen vorliegen.

In der Form der Abflussganglinie an der Stauanlage Abwinden-Asten während des Hochwasserscheitels besteht ein grundsätzlicher Unterschied zwischen den Aufzeichnungen und der Berechnung. Dieser ist auf die Umströmung sowohl der Stauanlage Ottensheim-Wilhering durch das Eferdinger Becken als auch der Stauanlage Abwinden-Asten durch das Vorland Steyregg und die hiermit einhergehenden Unsicherheiten zurückzuführen. Für die grundsätzlich gute Qualität des Modells besteht hierdurch keine Einschränkung.

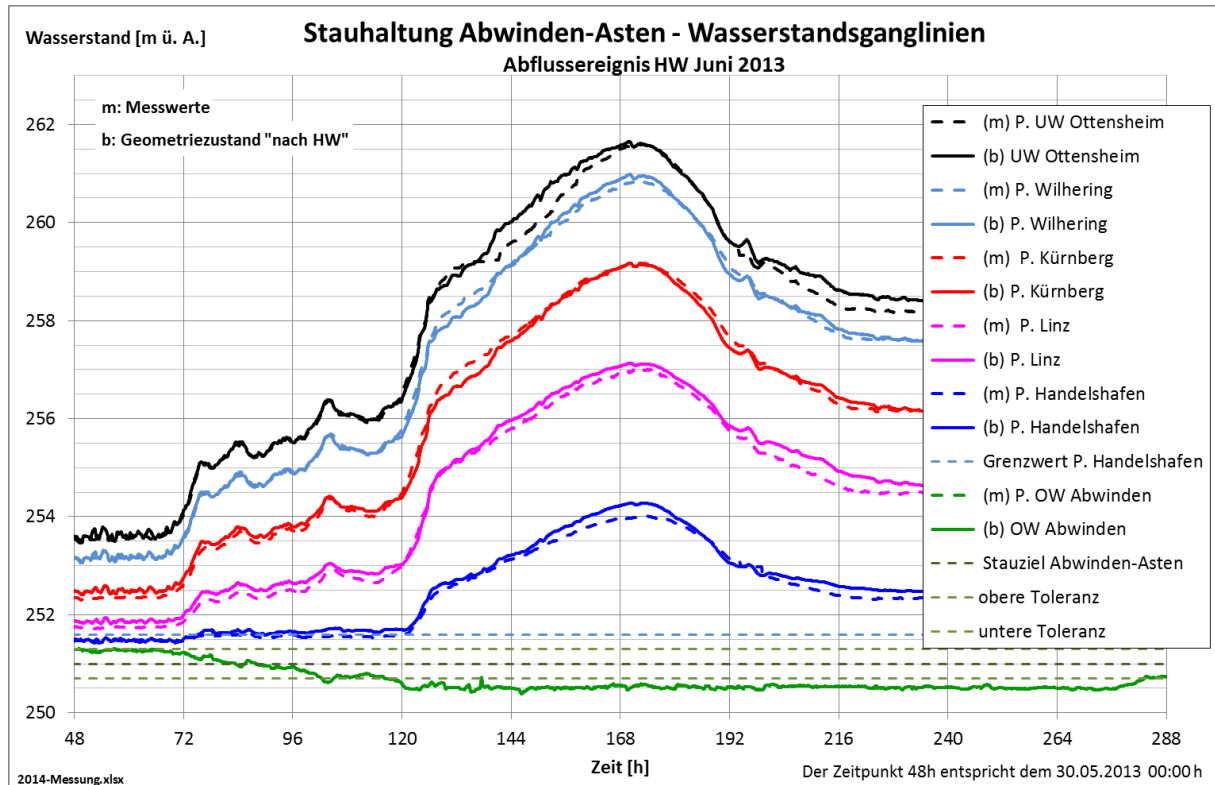


Abbildung 6.9: Wasserstandsganglinien an verschiedenen Pegeln in der Stauhaltung Abwinden-Asten – Vergleich der Berechnung (Geometriezustand „nach HW“) mit Messwerten

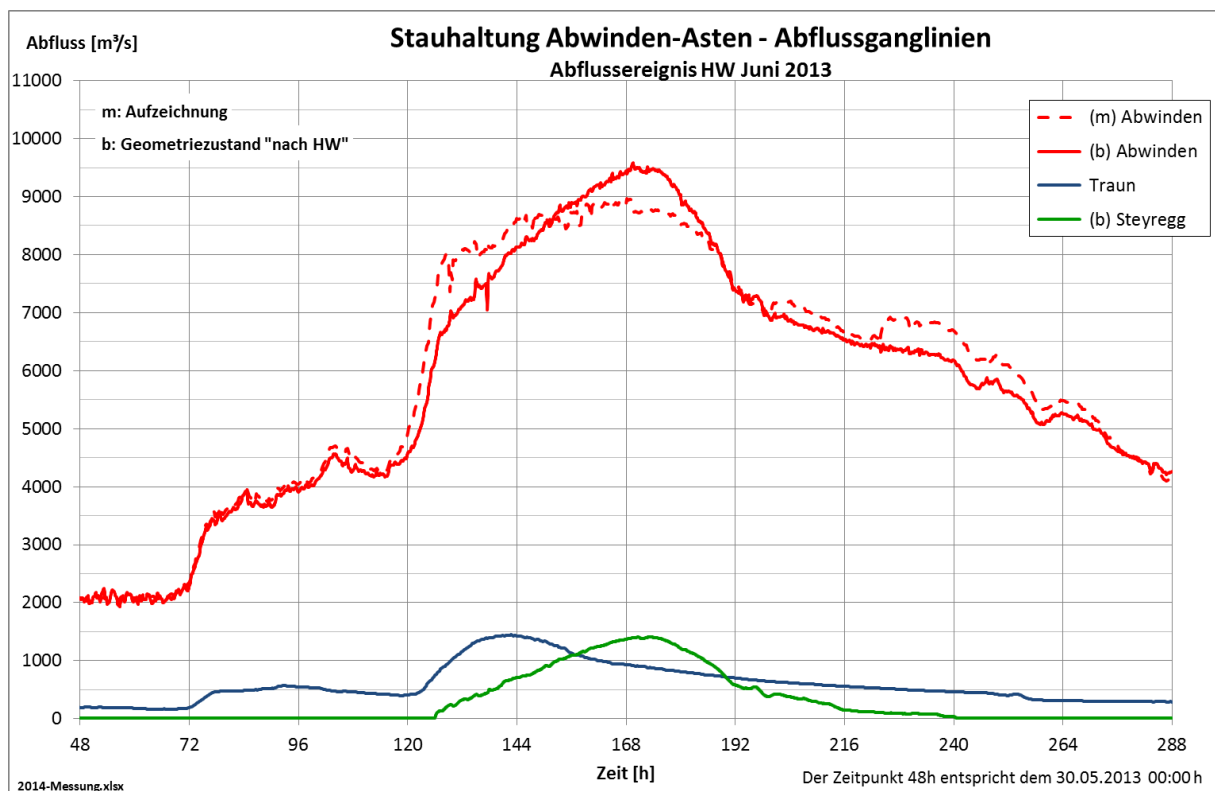


Abbildung 6.10: Abflussganglinien in der Stauhaltung Abwinden-Asten – Vergleich von Berechnung (Geometriezustand „nach HW“) und Aufzeichnung

6.5 Übereinstimmung Modell – Messwerte: Stauhaltung Wallsee-Mitterkirchen

In der Stauhaltung Wallsee-Mitterkirchen haben in den vergangenen Jahren nur verhältnismäßig geringe Veränderungen der Flusssohle stattgefunden, wie die Massenbilanz in Abbildung 5.19 belegt. Da die Berechnungsergebnisse auf Grundlage der drei Sohlpeilungen „WBO“, „nach HW“ und „angelandet“ einander ähnlich sind, ist hier exemplarisch der Geometriezustand „WBO“ dargestellt.

Abbildung 6.11 stellt den Verlauf des Wasserstands über die Zeit an den Pegeln Unterwasser Abwinden-Asten, Schwarzholz und Au dar, wobei zur Berechnung die Messwerte des Oberwasserpegels Wallsee-Mitterkirchen als Randbedingung vorgegeben wurden. An den Pegeln Au und Schwarzholz zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung von Modell und Natur. Der Unterwasserpegel am Kraftwerk Abwinden-Asten wird zum Teil über-, zum Teil unterschätzt mit teilweise größeren Abweichungen.

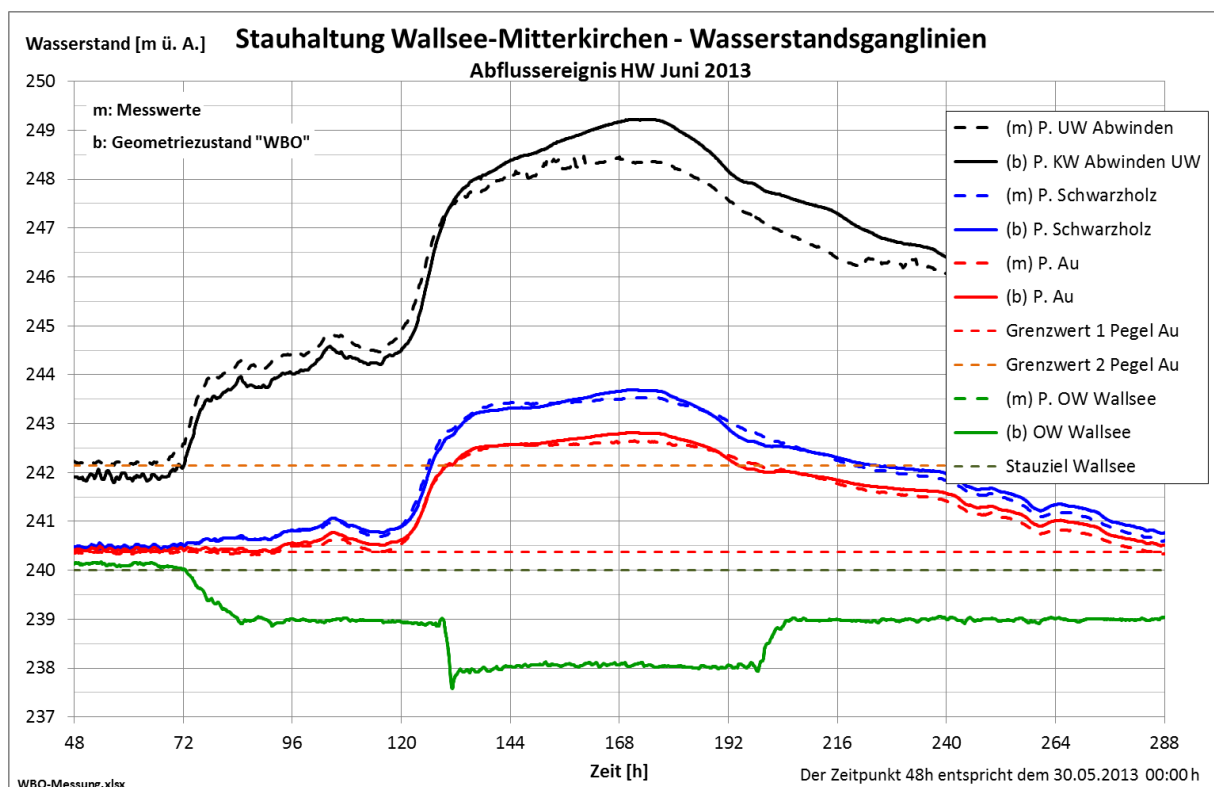


Abbildung 6.11: Wasserstandsganglinien an verschiedenen Pegeln in der Stauhaltung Wallsee-Mitterkirchen – Vergleich der Berechnung (Geometriezustand „WBO“) mit Messwerten

Die Abflussganglinien an der Stauanlage Wallsee-Mitterkirchen sind in Abbildung 6.12 im Vergleich der Aufzeichnungen mit den Berechnungsergebnissen aufgetragen. Hierbei handelt es sich nur um den Abfluss an der Stauanlage selbst; diese wird im Hochwasserfall umströmt.

Zusätzlich dargestellt ist die Zuflussganglinie der Enns, die im Bereich der Stauhaltung Wallsee-Mitterkirchen in die Donau mündet und im Modell als seitlicher Zufluss berücksichtigt wird. Des Weiteren aufgetragen sind die im Modell ermittelten Abflüsse in das Machland (Nord und Süd), für die naturgemäß keine Aufzeichnungen vorliegen.

Es besteht eine gute Übereinstimmung der berechneten und aufgezeichneten Abflussganglinien an der Stauanlage Wallsee-Mitterkirchen.

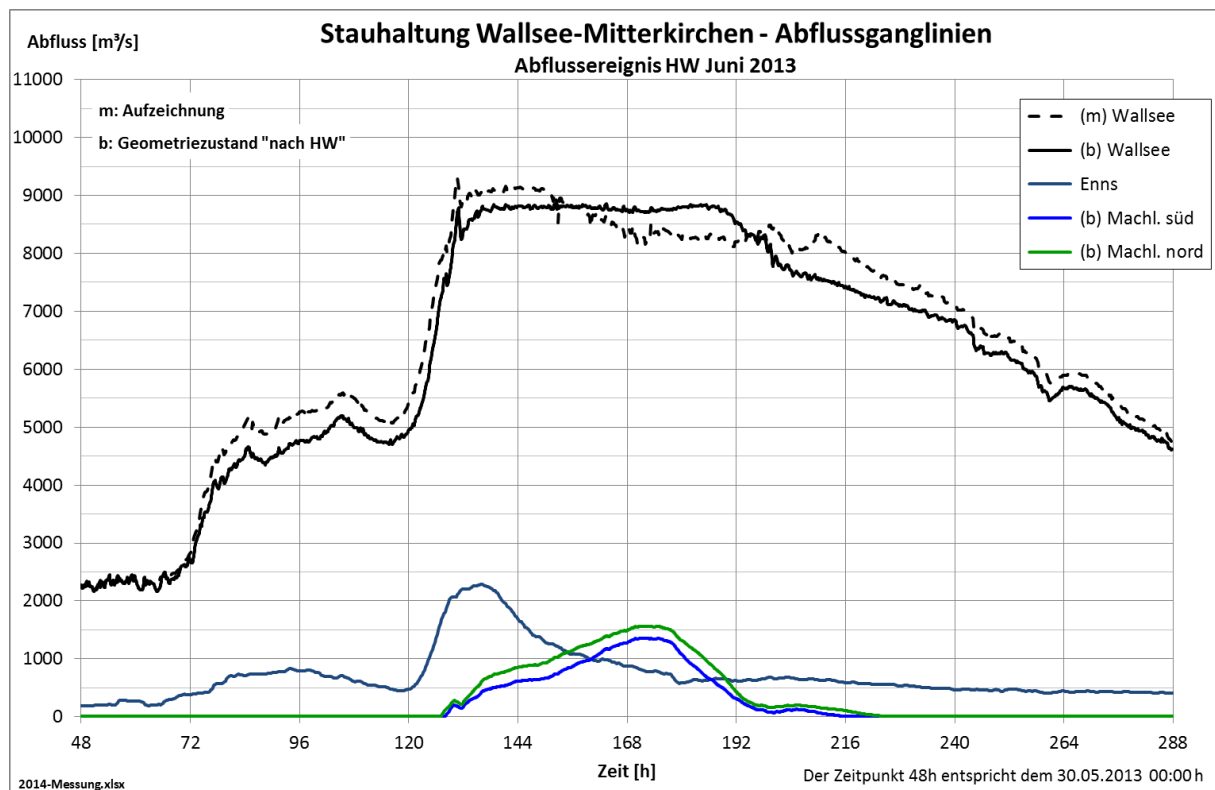


Abbildung 6.12: Abflussganglinien in der Stauhaltung Ottensheim-Wilhering – Vergleich von Berechnung (Geometriezustand „nach HW“) und Aufzeichnung

6.6 Fazit zur Übereinstimmung Modell – Messwerte

In Anbetracht der veränderlichen Sohle und der somit unbekanntenen tatsächlichen Sohlgeometrie während des Hochwasserereignisses vom Juni 2013 ist es nicht angemessen, ein HN-Modell mit einer festen Sohlgeometrie möglichst genau auf die Messwerte hinzukalibrieren. Stattdessen muss auf plausible Rauheitsbeiwerte geachtet werden.

Die Berechnungen zeigen an den meisten Pegeln nur verhältnismäßig geringe Abweichungen zwischen den berechneten und aufgezeichneten Wasserständen im Bereich weniger Dezimeter auf. Auch wenn an einzelnen Pegeln größere Abweichungen zwischen Berechnung und Messwerten vorhanden sind, liegt insgesamt eine gute Übereinstimmung des beschriebenen HN-Modells mit den Strömungsprozessen in der Realität vor. Das Modell ist für die vorliegenden Fragestellungen durchweg geeignet.

7 Untersuchungen zu den WBOs

7.1 Auswirkungen von Abweichungen von den WBOs beim HW 2013

7.1.1 Aschach: Abweichung im Wiederanstau

An der Stauanlage Aschach wurde der zuvor abgesenkte Oberwasserstand nach dem Durchgang des Hochwasserscheitels 2013 deutlich schneller wieder angehoben als gemäß WBO Aschach vorgesehen. Da aufgrund des abnehmenden Durchflusses die Wasserspiegellagen in der Stauhaltung Aschach in diesem Zeitraum trotz steigenden Oberwasserstandes gesunken sind (vgl. Abbildung 6.3), ist durch den schnellen Wiederanstau kein Nachteil für den Stauraum Aschach entstanden. Für die Unterlieger, insbesondere das Eferdinger Becken, ist der frühe Wiederanstau bei Aschach von Vorteil, da hierdurch der nach unterstrom weitergegebene Abfluss reduziert wurde.

7.1.2 Ottensheim-Wilhering: Abweichung bezüglich Wasserstand

Wie bereits in unserem Gutachten vom November 2013 dargelegt, wurde an der Stauanlage Ottensheim-Wilhering das Absenkziel von 263,70 m ü. A. während des Hochwasserscheitels über mehrere Stunden um durchschnittlich 10 cm, kurzfristig maximal 25 cm überschritten. Um die Auswirkungen dieser Abweichung zu quantifizieren, wurden im 1D-HN-Modell zwei Berechnungsläufe durchgeführt und verglichen. Zum einen wurde der tatsächliche Oberwasserstands-Verlauf vorgegeben (in den folgenden Grafiken mit (a) bezeichnet), zum anderen wurde der Oberwasserstand unter exakter Einhaltung des Absenkziels mit anschließender allmählicher Rückkehr zum Stauziel vorgegeben (mit (b) bezeichnet). Als Zuflussganglinie wurde dabei die von viadonau erstellte Ganglinie verwendet (vgl. Abschnitt 6.3).

Die folgende Abbildung 7.1 stellt die genannten Oberwasserstands-Verläufe in grau (a, tatsächlicher Verlauf) und grün (b) dar. Die sich am Pegel Christl ergebenden Wasserstandsganglinien sind in schwarz und blau aufgetragen. Zur detaillierteren Analyse der Unterschiede wurden in Abbildung 7.2 Differenzen gebildet.

Die für potentielle Überschwemmungen maßgeblichen Abweichungen des Oberwasserstandes während des Hochwasserscheitels (Simulationszeit ca. 144 h – 168 h) bewirken am Pegel Christl noch auf ca. 5 cm reduzierte höhere Wasserstände infolge des tatsächlichen Betriebes gegenüber einem exakten Halten des Absenkzieles. In der oberstrom des Pegels Christl gelegenen Überströmstrecke verringert sich der Einfluss der Abweichungen weiter.

Da die Auswirkungen in der Fläche des Eferdinger Beckens mit dem 1D-HN-Modell nicht beurteilt werden können, wurden von der Fa. Pöyry mit dem vorhandenen 2D-HN-Modell ebenfalls die beschriebenen Berechnungsläufe durchgeführt. Hieraus konnten jeweils die maximalen Wasserstände in der Fläche ermittelt und daraus Differenzen gebildet werden, welche in Abbildung 7.3 wiedergegeben sind. Die Farbe dunkelblau steht für Änderungen von weni-

ger als einem Zentimeter, mittelblau für weniger als zwei Zentimeter und türkis für weniger als drei Zentimeter. Die durch die Abweichungen vom exakten Absenkziel hervorgerufenen Wasserstandsänderungen im Eferdinger Becken sind somit minimal, meist unter zwei Zentimeter.

Bei den vorgestellten Simulationen zur Einhaltung der WBO wurde dabei keine Toleranz berücksichtigt, d.h. der OW-Wasserstand Ottensheim-Wilhering wurde exakt auf dem Absenkziel von 263,70 m ü. A. gehalten. In der Realität kann ein Wasserstand nicht exakt gehalten werden, es kommt immer zu Abweichungen. Würde eine Toleranz in der Simulation berücksichtigt, wären die Differenzen noch geringer.

Die Abweichungen von der WBO an der Stauanlage Ottensheim-Wilhering sind somit nicht für die Hochwasserkatastrophe 2013 im Eferdinger Becken verantwortlich zu machen.

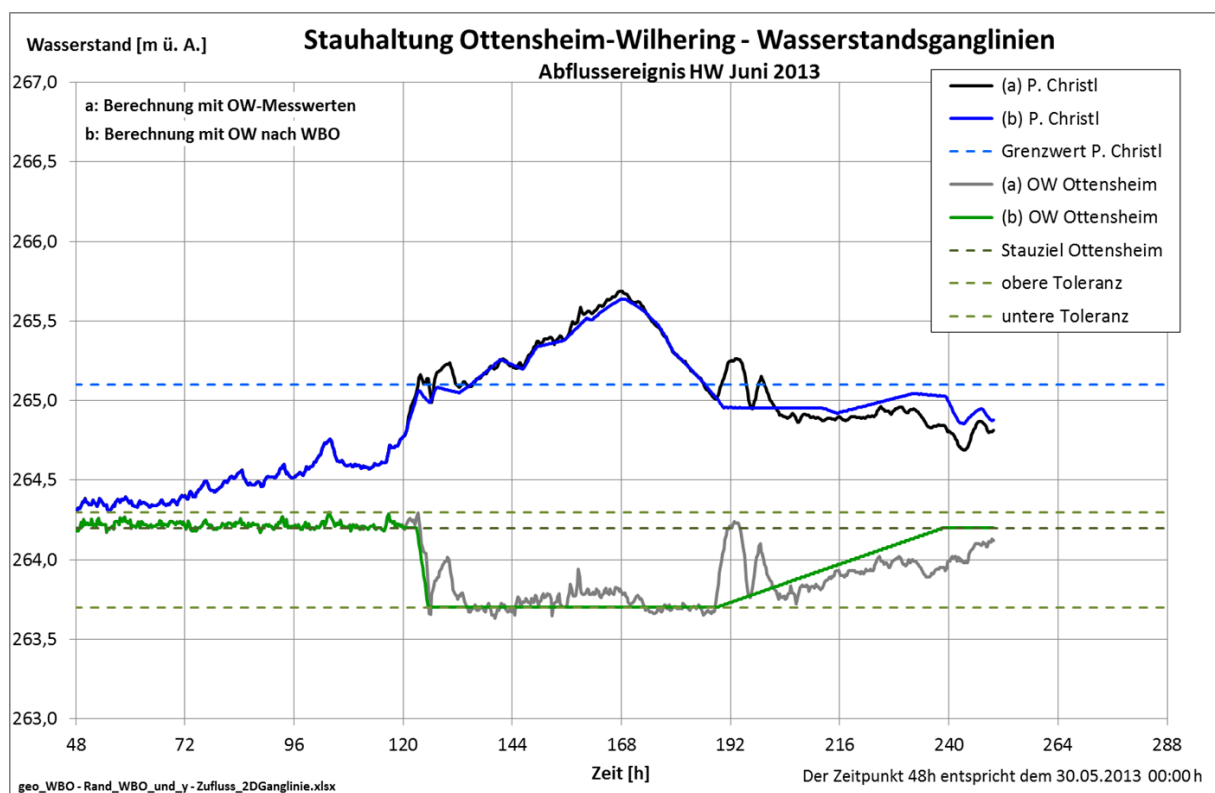


Abbildung 7.1: Wasserstandsvorgaben im Oberwasser Ottensheim-Wilhering und resultierende Wasserstandsganglinien am Pegel Christl

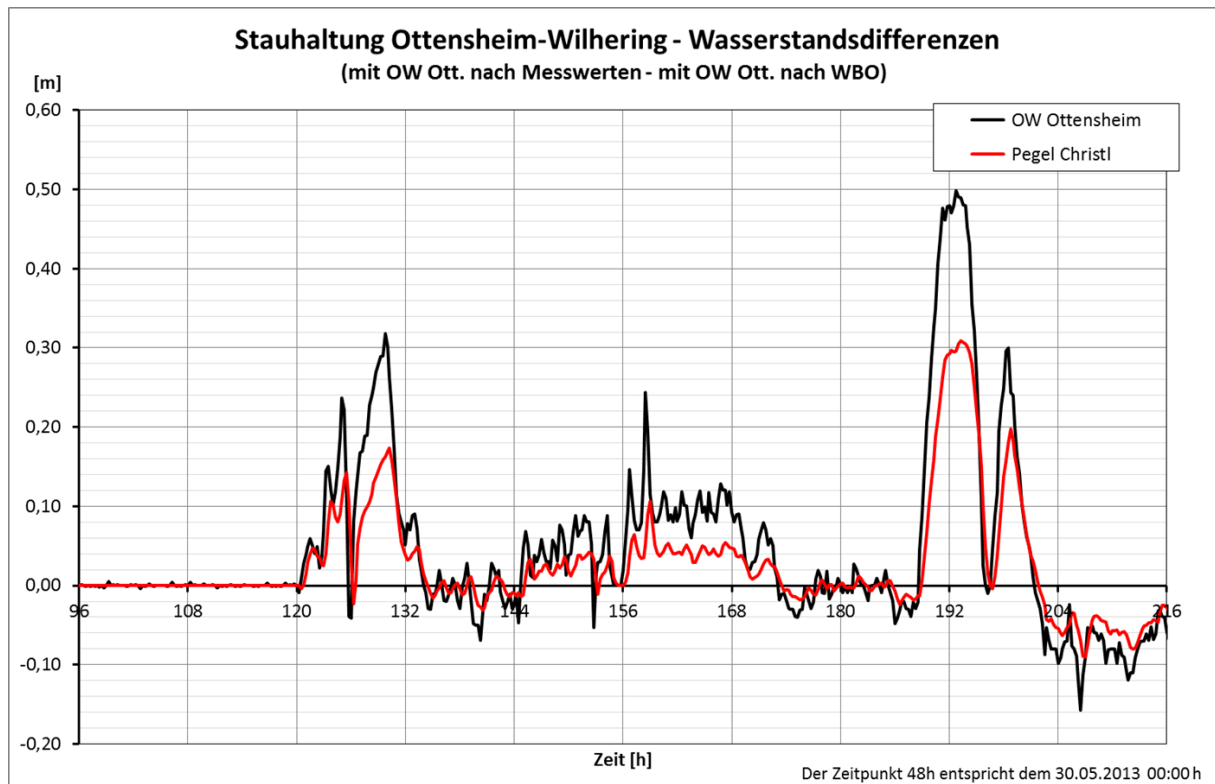
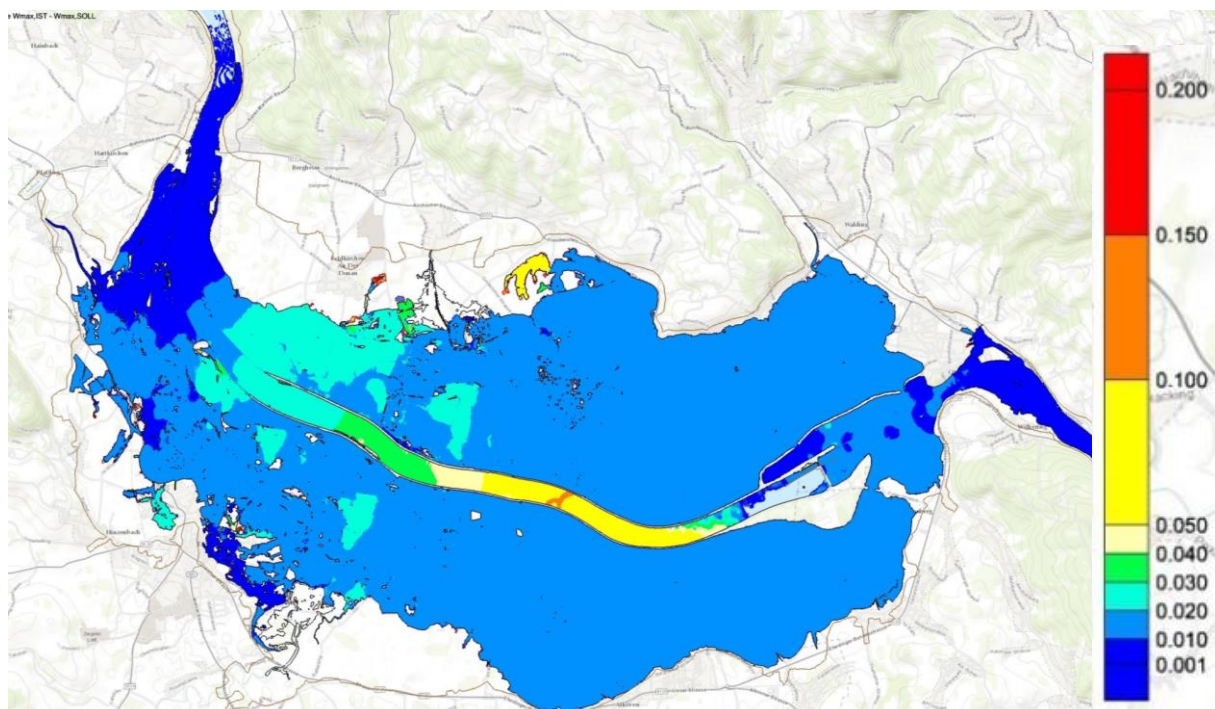


Abbildung 7.2: Differenz der Wasserstandsganglinien im Oberwasser Ottensheim-Wilhering und am Pegel Christl



Quelle: Pöyry

Abbildung 7.3: Differenzen der maximalen Wasserstände (Ergebnis von Berechnungen mit dem 2D-HN-Modell, Fa. Pöyry)

7.1.3 Wallsee: Überschreitung der zulässigen Absenkgeschwindigkeit

Die gültige WBO Wallsee-Mitterkirchen von 2008 sieht im Hochwasserfall in Abhängigkeit vom Wasserstand am Wendepunkt Au eine stufenweise Absenkung des Oberwasserstandes vor. Hierbei darf eine Absenkgeschwindigkeit von 30 cm/h nicht überschritten werden.

Diese Absenkgeschwindigkeit wurde beim HW 2013 während des Absenkvorgangs von Absenkziel 1 (239,00 m ü. A.) auf Absenkziel 2 (238,00 m ü.A.) deutlich überschritten¹ (s. Abbildung 7.4). Hieraus ergab sich die Frage, ob das schnelle Absenken eine für die Unterlieger ungünstige Abflussspitze ausgelöst hat.

Um dieser Frage nachzugehen, wurden zwei Berechnungsläufe durchgeführt und verglichen:

- Zum einen wurde der tatsächliche Oberwasserverlauf mit der zu schnellen Absenkung vorgegeben (in Abbildung 7.5 und Abbildung 7.6 mit b) bezeichnet).
- Zum anderen wurde der tatsächliche Oberwasserverlauf so modifiziert, dass die maximale Absenkgeschwindigkeit eingehalten wird (in den Abbildungen mit a) bezeichnet).

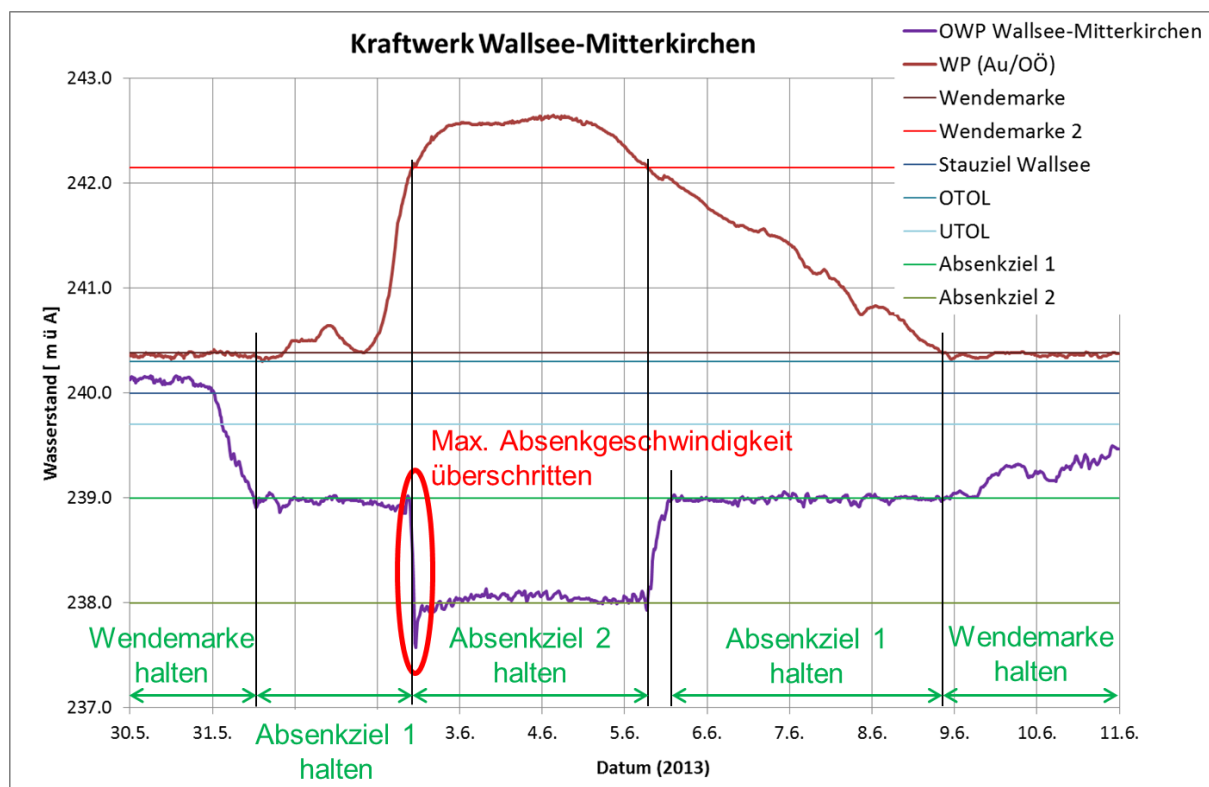


Abbildung 7.4: Wasserstandsverlauf am KW Wallsee-Mitterkirchen – Überschreitung der maximal zulässigen Absenkgeschwindigkeit in der Realität beim HW 2013

¹ „Kontrolle des Wehrbetriebs“ von viadonau, „Überprüfung der Einhaltung der Wehrbetriebsordnungen“ von Dettmann & Theobald. Für detaillierte Angaben zu den einzelnen Berichten vgl. Abschnitt 2

Abbildung 7.5 stellt die im Modell vorgegebenen Oberwasserverläufe a) und b) dar. Die sich damit ergebenden Abflussganglinien am KW Wallsee-Mitterkirchen sowie unterstrom des Zusammenflusses von Donau und Machland (Nord und Süd) sind in Abbildung 7.6 aufgetragen. Da die Vorlandströmungen im Machland und der Zusammenfluss mit der Donau unterstrom der Stauanlage Wallsee-Mitterkirchen im 1D-HN-Modell nicht modelliert sind, wurde hierfür wie bereits in Abschnitt 5.5 beschrieben eine Näherung verwendet.

In der Abflussganglinie des KW Wallsee-Mitterkirchen (schwarz) ist die durch den schnellen Absenkvorgang hervorgerufene Abflussspitze deutlich zu erkennen (Simulationszeit ca. 130 h). Für den kurzen Donauabschnitt zwischen KW Wallsee-Mitterkirchen und dem Zusammenfluss von Donau und Machland stellt diese Abflussspitze tatsächlich das Abflussmaximum dar.

Unterstrom des Machlandes tritt die Abflussspitze zu einem späteren Zeitpunkt durch die Überlagerung des Abflusses am KW Wallsee-Mitterkirchen und der Vorlandabflüsse durch das Machland auf und ist vom Absenkvorgang am KW Wallsee-Mitterkirchen unbeeinflusst.

Somit hatte die Überschreitung der zulässigen Absenkgeschwindigkeit am KW Wallsee-Mitterkirchen beim HW 2013 keine negativen Auswirkungen auf die Abflussverhältnisse unterstrom des Machlands.

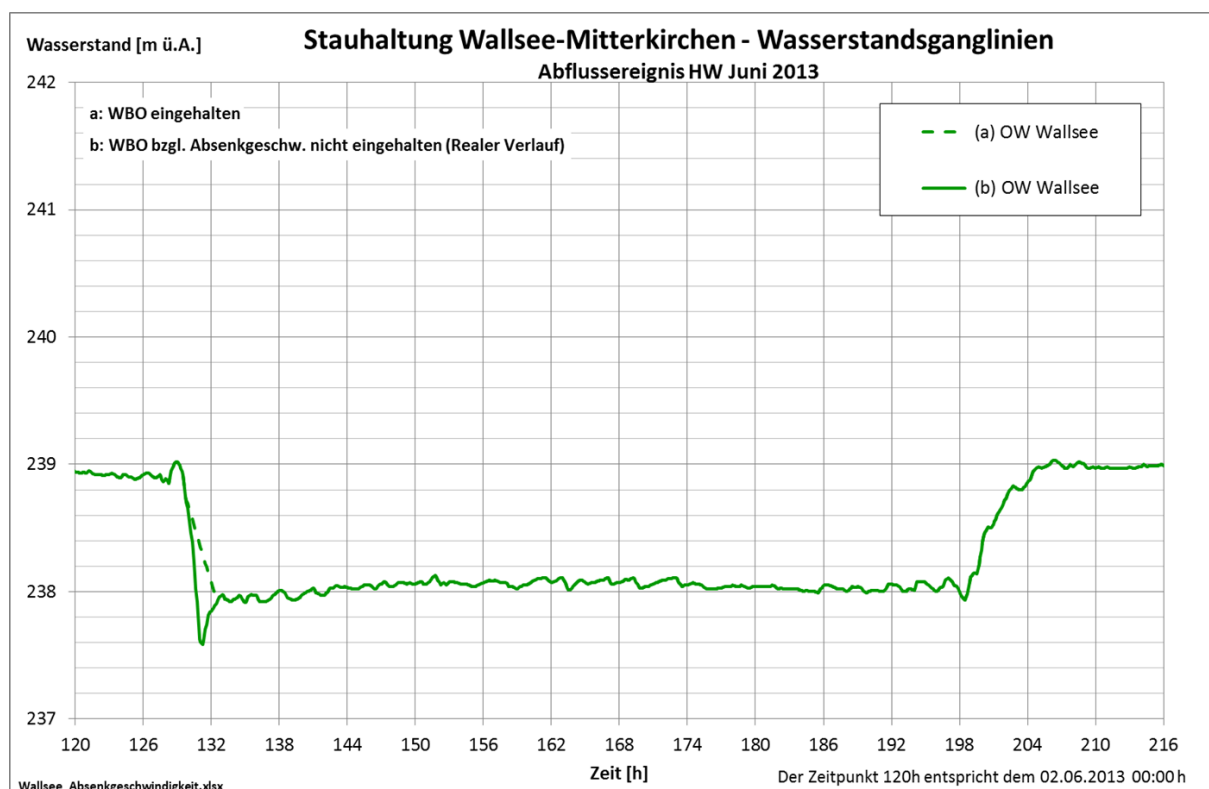


Abbildung 7.5: Wasserstandsverlauf am KW Wallsee-Mitterkirchen – Tatsächlicher Verlauf und korrigierter Verlauf als Randbedingungen für die Berechnungen

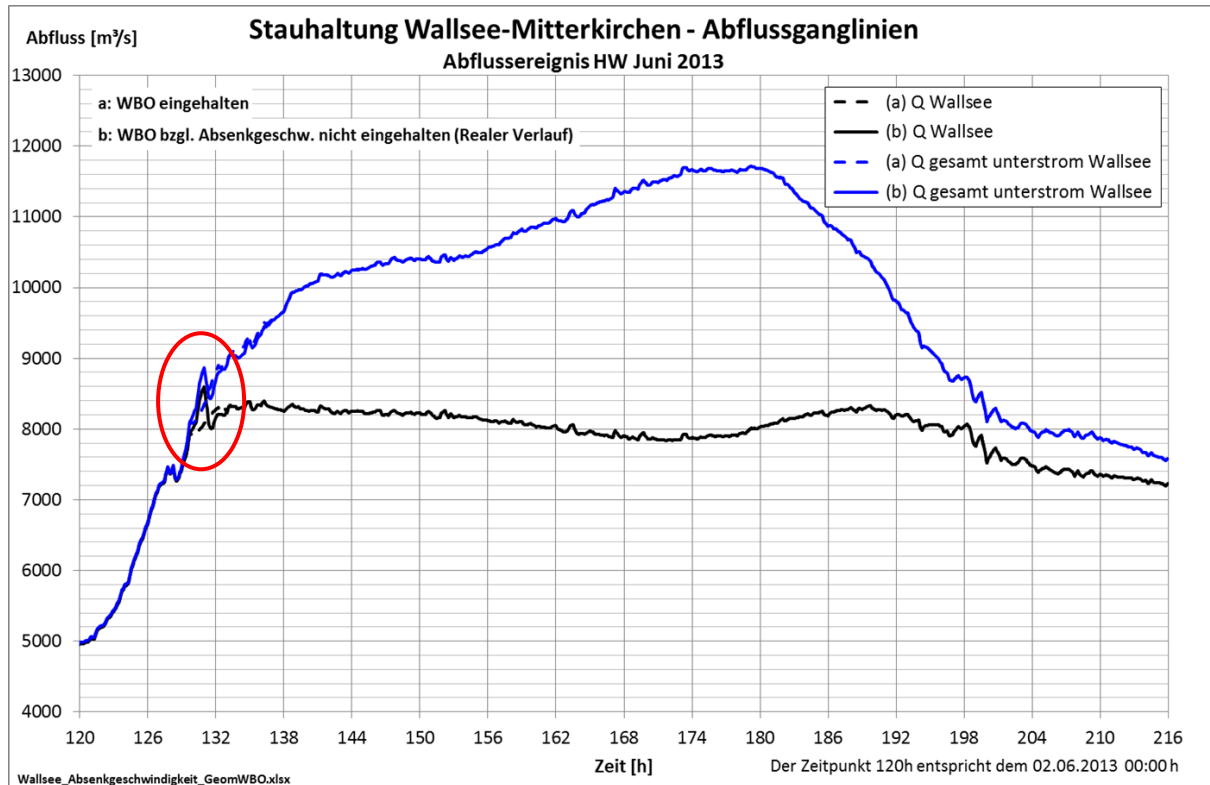


Abbildung 7.6: Abflussganglinien am KW Wallsee-Mitterkirchen und am Zusammenfluss von Donau und Machland mit und ohne Überschreitung der maximal zulässigen Absenkgeschwindigkeit

7.2 WBO Ottensheim-Wilhering, Vorschlag „Feldkirchen“

Die WBO Ottensheim-Wilhering sieht folgende Regelung vor:

- Stauziel 264,20 m ü. A.
- Wenn der Wendepiegel Christl auf 265,10 m ü. A. steigt, wird der Oberwasserstand auf 263,70 m ü. A. abgesenkt.

Die Marktgemeinde Feldkirchen hat folgenden Änderungsvorschlag unterbreitet:

- Wenn der Wendepiegel Christl auf 264,70 m ü. A. steigt, ist der Oberwasserstand Ottensheim-Wilhering so weit zu senken, dass der Pegel Christl auf 264,20 m ü. A. fällt.
- „Diese 264,20 sind so lange zu halten, bis bei den Unterliegern eine nachteilige Situation eintritt.“

Um die Auswirkungen dieses Vorschlags zu analysieren, wurde eine diesbezügliche Simulation durchgeführt. Dazu wurde der Oberwasserstand an der Stauanlage Ottensheim-Wilhering auf 262,80 m ü. A. abgesenkt und gehalten. Bei hohen Abflüssen ist dieser Oberwasserstand in der Realität nicht umsetzbar, weil aufgrund der vorhandenen Querschnittsgeometrie der Wehranlage in Kombination mit dem steigenden Unterwasserstand der Oberwasserstand ansteigt. Das Szenario mit einem Oberwasserstand von 262,80 m ü. A. wurde dennoch gewählt, um die Auswirkungen des Vorschlags „Feldkirchen“ generell abschätzen zu können.

Abbildung 7.7 stellt den Verlauf der Wasserstände an den Pegeln Brandstatt, Christl, Oberwasser und Unterwasser Ottensheim-Wilhering für den Betrieb der Anlage nach WBO (gestrichelt) und nach Vorschlag „Feldkirchen“ (durchgezogen) dar. An der Stauanlage Ottensheim-Wilhering wird in der Simulation nach Vorschlag „Feldkirchen“ während des Hochwasserscheitels ein gegenüber dem Betrieb nach WBO um 90 cm niedrigerer Oberwasserstand gehalten. Im Bereich der Überströmstrecke, welche sich zwischen den Pegeln Brandstatt und Christl befindet, reduziert sich die Differenz der Wasserstände der beiden Betriebsarten bei hohen Abflüssen deutlich. Sie beträgt am Pegel Christl noch ca. 35 cm, am oberen Ende der Überströmstrecke ca. 5 - 10 cm.

Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass es in der Realität auf Grund des Rückstaus durch das Unterwasser nicht möglich ist, bei hohen Abflüssen einen so niedrigen Oberwasserstand zu halten. Daher ist der Einfluss der Betriebsweise in der Überströmstrecke geringer als hier errechnet.

In Abbildung 7.8 sind die Abflussganglinien an der Stauanlage Ottensheim-Wilhering und unterstrom des Eferdinger Beckens aufgetragen sowie die Abflüsse in die Vorländer (Eferdinger Becken Nord und Süd). Die veränderten Wasserstände im Bereich der Überströmstrecke bewirken nach Vorschlag „Feldkirchen“ dennoch Abflüsse in die Vorländer in der Größen-

ordnung um $Q = 900 \text{ m}^3/\text{s}$ (Süd) bzw. knapp $800 \text{ m}^3/\text{s}$ (Nord). Diese sind rechnerisch um ca. $\Delta Q = 85 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $\Delta Q = 70 \text{ m}^3/\text{s}$ geringer als bei Betrieb nach aktueller WBO.

Diese Zahlenangaben beruhen auf der hier eingesetzten 1D-HN-Modellierung. Wie schon erwähnt, sind für genauere Betrachtungen der Abflussmengen und Wasserstände im Eferdinger Becken Berechnungen mit einem 2D-HN-Modell erforderlich.

Generell ist anzumerken, dass die Retentionswirkung des Eferdinger Beckens nach unterstrom geringer wird, wenn weniger Abfluss in das Eferdinger Becken erfolgt. Bei Überlegungen zu Veränderungen der Betriebsweise der Stauanlage Ottensheim-Wilhering muss daher die Hochwasserneutralität berücksichtigt werden.

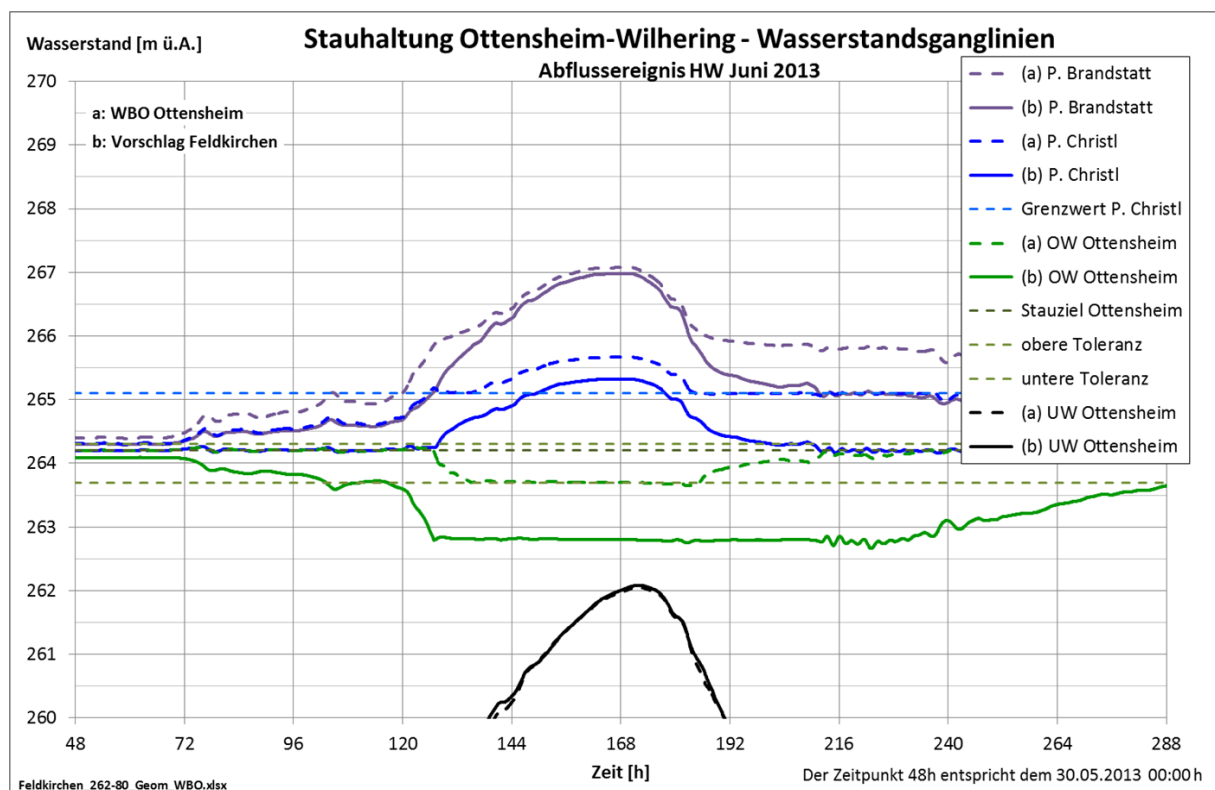


Abbildung 7.7: Wasserstandsganglinien an Pegeln im Bereich der Stauanlage Ottensheim-Wilhering nach WBO und nach Vorschlag „Feldkirchen“

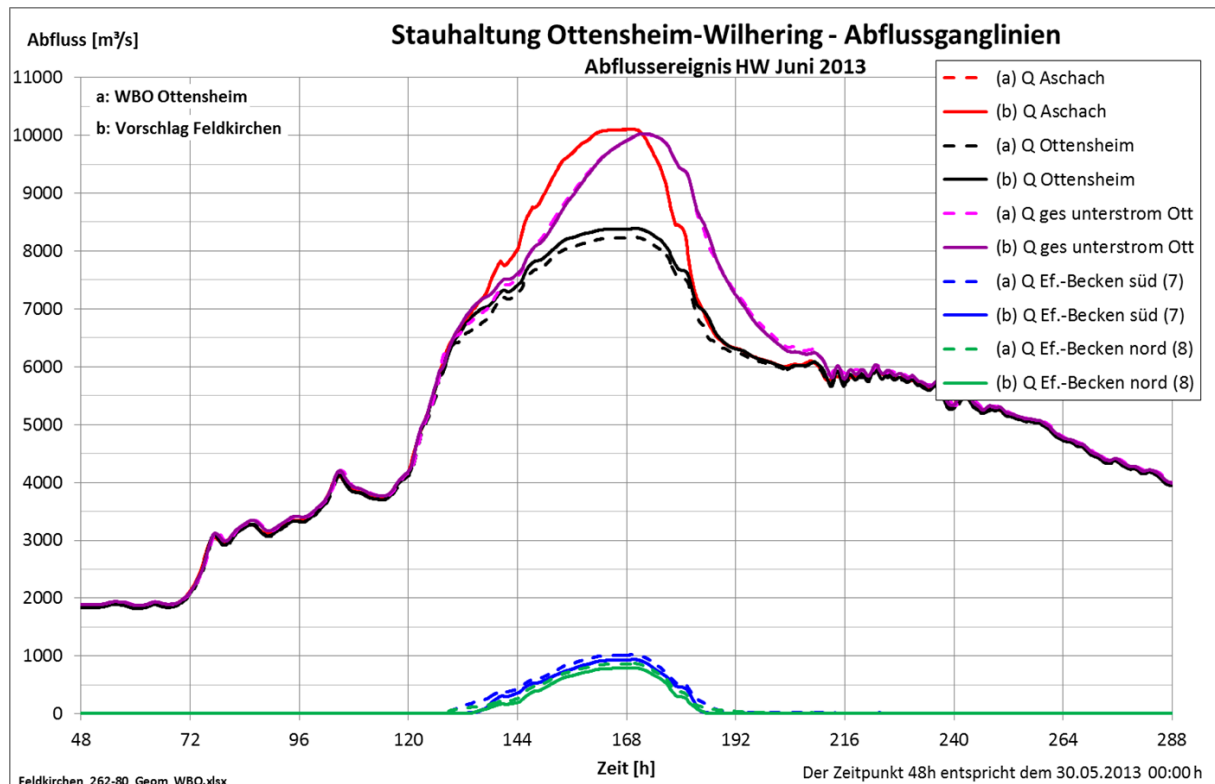


Abbildung 7.8: Abflussganglinien am KW Ottensheim-Wilhering und unterstrom des Eferdinger Beckens nach WBO und nach Vorschlag „Feldkirchen“

7.3 Auswirkung der Änderung der WBO Abwinden-Asten auf den Rückstau im Unterwasser Ottensheim-Wilhering

Die WBO von 1978 regelte die Öffnung der Wehrfelder bei Hochwasser in Abhängigkeit vom Durchfluss, wie folgender Auszug wiedergibt:

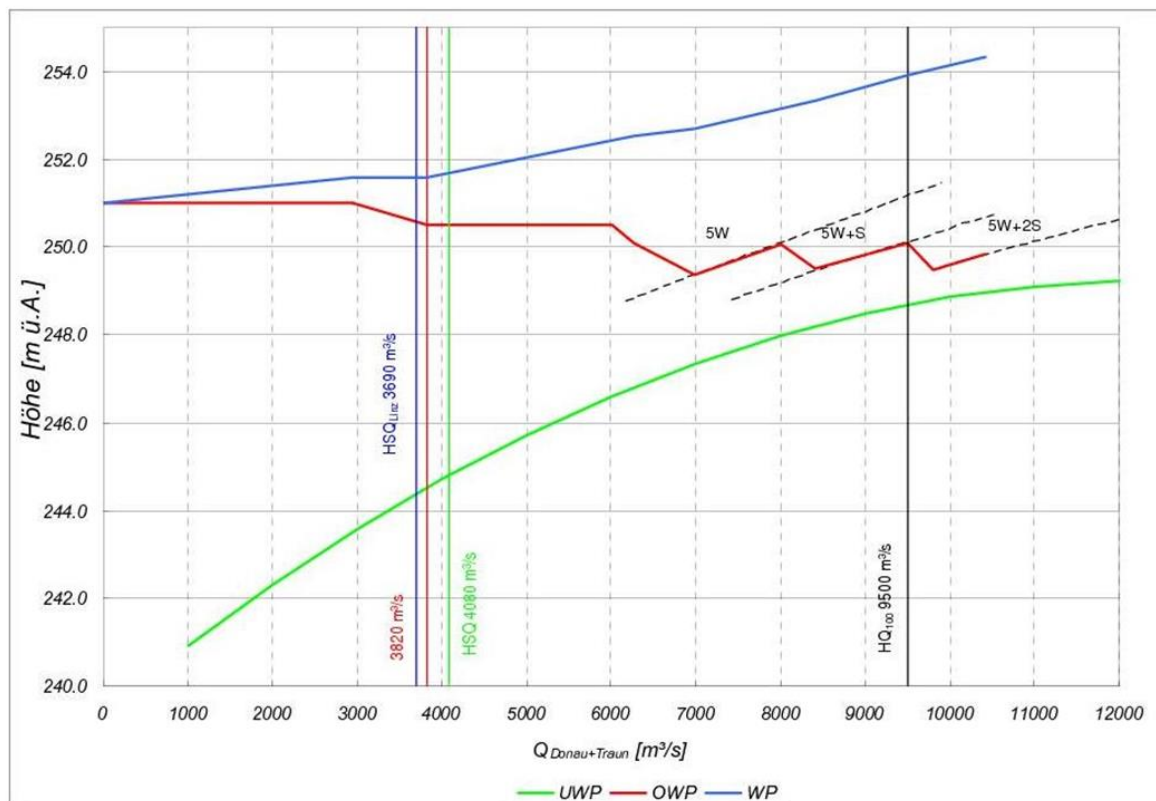
3.1.1 Als Stauziel gilt 251,00 m ü. A. Dieses Stauziel ist ... solange zu halten, bis beim Pegel Handelshafen ... das Staumaß 251,60 m ü. A. erreicht ist. Sodann ist der Oberwasserspiegel so abzusenken, daß bis zu einem Durchfluß von 3820 m³/s das Staumaß 251,60 m ü. A. am Pegel Handelshafen nicht überschritten wird.

Der bei diesem Durchfluß ... gegebene Oberwasserspiegel („Vorabsenkziel“) wird bei weiter ansteigender Donauwasserführung bis zu einem Durchfluß von etwa 6000 m³/s möglichst genau eingehalten.

Dann beginnt die weitere Staulegung an der Wehrstelle Abwinden-Asten. Dabei ist ... eine Absenkgeschwindigkeit von 30 cm/h nicht zu überschreiten. Von 7000 m³/s bis 8000 m³/s müssen fünf Durchflußöffnungen freigegeben sein, zwischen 8400 m³/s und 9500 m³/s müssen sechs Durchflußöffnungen und ab etwa 9800 m³/s müssen sieben Durchflußöffnungen freigegeben sein.

Alle Durchflußangaben bedeuten den Gesamtabfluß (Donau + Traun + linkes Vorland).

Gemäß der Unterlagen des Verbund von 2007 ergeben sich damit die in Abbildung 7.9 rot dargestellten Wasserstände am KW Abwinden-Asten.



Quelle: Hydraulische Berechnungen zur Änderung der Wehrbetriebsordnung, Verbund, Nov. 2007

Abbildung 7.9: Wasserstand in Abhängigkeit vom Abfluss, wie er sich bei Regelung nach WBO 1978 ergibt

Die aktuell gültige WBO Abwinden-Asten von 2008 bezieht sich bewusst auf einen Wasserstand (Wendepiegel Handelshafen) zur Regelung des Wehrbetriebs, da Abflussmessungen im Hochwasserfall mit großen Unsicherheiten behaftet sind und während eines Hochwassers häufig nicht direkt zur Verfügung stehen.

Folgender Auszug aus der Wehrbetriebsordnung befasst sich mit der Stauregelung:

3. Als Stauziel gilt 251,00 m ü. A.

Dieses Stauziel ist beim Oberwasserpegel nach Maßgabe der nachstehenden Punkte 3.3 bis 3.9 mit einer Toleranz von ± 30 cm so lange zu halten, bis beim Wendepiegel Handelshafen 251,60 m ü. A. erreicht ist. Dann ist der Wendepiegel möglichst solange auf 251,60 m ü. A. zu halten, bis der Oberwasserpegel 250,50 m ü. A. erreicht wird. Dieser Oberwasserpegel ist bis zur völligen Freigabe aller verfügbaren Durchflussöffnungen (Wehrfelder und Schleusen) zu halten.

Die Wehrfelder sind möglichst gleichmäßig zu beaufschlagen, um Durchflusskonzentrationen zu vermeiden.

Bei einer allenfalls notwendigen Staulegung ist der Oberwasserpegel möglichst gleichmäßig abzusenken, wobei eine Absenkgeschwindigkeit von 30 cm/h nicht überschritten

werden darf. Falls es zur Einhaltung der maximalen Absenkgeschwindigkeit notwendig ist, dürfen die oben genannten Pegelgrenzwerte vorübergehend überschritten werden.

Die folgende Tabelle 1 fasst die Übereinstimmungen und wesentlichen Unterschiede der WBOs von 1978 und 2008 zusammen.

Tabelle 1: WBO Abwinden-Asten 1978 und 2008

	WBO 1978	WBO 2008
Stauziel	251,00 m ü. A.	
Grenze Wendepiegel	251,60 m ü. A.	
Absenkvorgang	von $Q = 3280 \text{ m}^3/\text{s}$ bis $6000 \text{ m}^3/\text{s}$ Vorabsenkziel (aktueller OW-Stand) halten	Absenkziel 250,50 m ü. A.
	über $Q = 6000 \text{ m}^3/\text{s}$ Staulegung, Absenkung auf ca. 249,2 bis 249,9 m ü. A.	
Max. Absenkgeschw.	30 cm/h	

Aufgrund der Tatsache, dass während eines Hochwassers der Oberwasserstand am KW Abwinden-Asten nach aktueller WBO 2008 höher gehalten wird, als es nach der alten WBO 1978 der Fall gewesen wäre, entstand bei einigen Anrainern die Befürchtung, dies habe beim HW 2013 zu erhöhten Wasserständen im Bereich unterstrom des KW Ottensheim-Wilhering und somit zu einem erhöhten Rückstau in das Eferdinger Becken geführt.

Zur Untersuchung dieses Sachverhalts wurden instationäre Berechnungen für die Stauhaltung Abwinden-Asten für beide WBOs durchgeführt.

Wie in Abschnitt 4.3.3 erläutert, wird zur Modellierung der WBO ein Regler eingesetzt, der den Wasserstand im Oberwasser des KW Abwinden-Asten bzw. am Wendepiegel Handelshafen durch Abgabe einer entsprechenden Abflussmenge auf dem gewünschten Wert hält. Für die WBO 2008 wurden hierzu die in Tabelle 1 aufgeführten Werte für Stauziel, Wendepiegel und Absenkziel vorgegeben.

Um die Öffnung der Wehrfelder gemäß WBO 1978 im Modell abzubilden, wurde ab einem Gesamtabfluss (Donau + Traun + Vorland Steyregg) von $Q = 6000 \text{ m}^3/\text{s}$ ein mittlerer Wasserstand von 249,55 m ü. A. angenommen (Vgl. Abbildung 7.9).

Hierbei muss darauf hingewiesen werden, dass bei Abflüssen über $Q = 9500 \text{ m}^3/\text{s}$ alle Wehrfelder und Schleusen geöffnet sind, der Wasserstand somit nicht mehr steuerbar ist. Mit steigenden Abflüssen über ca. $10\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ steigt der Oberwasserstand über den im Modell angenommenen Wert von $249,55 \text{ m ü. A.}$; beim Maximalabfluss des Hochwassers 2013 von $Q \approx 11\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ hätte sich laut Abbildung 7.9 ein Oberwasserstand über $250,0 \text{ m ü. A.}$ eingestellt. Somit werden die Wasserstände für den Maximalabfluss in der Berechnung für die WBO 1978 unterschätzt, also vom Modell niedriger ermittelt als sie in der Realität aufgetreten wären.

Die folgende Abbildung 7.10 stellt den Verlauf der Wasserstände an verschiedenen Pegeln innerhalb der Stauhaltung Abwinden-Asten dar, wie er sich bei der Ganglinie des HW 2013 bei einer Wehrsteuerung gemäß WBO 2008 bzw. WBO 1978 ergeben hätte. In beiden Fällen wird anfangs das Stauziel gehalten (grün). Bei Erreichen des Grenzwerts für den Wasserstand am Wendepiegel Handelshafen wird dieser Wert gehalten (blau, Simulationszeit ca. 80 - 100 h). Anschließend wird der Oberwasserstand abgesenkt, nach WBO 1978 (grün gestrichelt) auf einen in der Simulation um 95 cm tieferen Wert als nach WBO 2008.

Mit zunehmender Entfernung vom KW Abwinden-Asten (in Richtung oberstrom) nimmt der Einfluss der Änderung des Oberwasserstandes ab. Dies ist zum einen in Abbildung 7.10 zu erkennen, zum anderen wird dieser Sachverhalt durch Abbildung 7.11 anschaulich belegt. Letztere stellt einen Längsschnitt der Wasserspiegellage in der Stauhaltung Abwinden-Asten zum Zeitpunkt des Hochwasserscheitels (Simulationszeit 172 h) dar. Am rechten Rand der Grafik bei Donau-km 2119,7 befindet sich die Stauanlage Abwinden-Asten, wo der Oberwasserstand nach WBO 1978 um 95 cm tiefer liegt als nach WBO 2008. Am linken Rand befindet sich die Stauanlage Ottensheim-Wilhering; das unterstromige Ende des Eferdinger Beckens ist zusätzlich mit einer schwarzen vertikalen Linie markiert. Hier ist der Unterschied der Wasserspiegellagen bei Regelung nach WBO 2008 oder WBO 1978 so gering, dass er in dieser Grafik nicht erkennbar ist.

Da die Unterschiede zwischen den beiden Simulationen in den Abbildungen 7.10 und 7.11 für die Pegel Linz, Kürnberg und Wilhering sowie das Unterwasser Ottensheim während des Hochwasserscheitels nicht erkennbar sind, ist in Abbildung 7.12 ein Detail zur genaueren Analyse aufgetragen. Dieses stellt die Differenzen der Wasserstandsganglinien an den Pegelstellen während des Hochwasserscheitels dar. Am Pegel Handelshafen ergibt sich zum Zeitpunkt des maximalen Abflusses bzw. Wasserstands eine Differenz von ca. 18 cm. Am Pegel Wilhering, welcher unterstrom des Ausflusses aus dem Eferdinger Becken liegt, beträgt die rechnerische Differenz für Abflüsse über $Q = 8000 \text{ m}^3/\text{s}$ weniger als 3 cm, während des Hochwasserscheitels liegt sie bei ca. 1 cm.

Wie bereits erläutert liegt der Oberwasserstand am KW Abwinden-Asten bei Wehrsteuerung gemäß WBO 1978 in der Realität höher als in der Simulation, so dass die genannten Differenzen tendenziell in der Realität noch geringer wären. Somit kann festgehalten werden, dass die Änderung der WBO Abwinden-Asten im Jahr 2008 beim Hochwasser 2013 nicht zu einem erhöhten Rückstau in das Eferdinger Becken geführt hat.

Ergänzend soll hier erwähnt werden, dass die dargestellten Wasserspiegellagen im Vergleich zu Naturmessdaten eine absolute Genauigkeit im Dezimeterbereich aufweisen, die in Abbildung 7.12 aufgetragenen Differenzen jedoch eine Relativbetrachtung zwischen zwei Berechnungsläufen mit dem gleichen Modell sind und somit eine Genauigkeit im Zentimeterbereich vorliegt (vgl. Abschnitt 3.2).

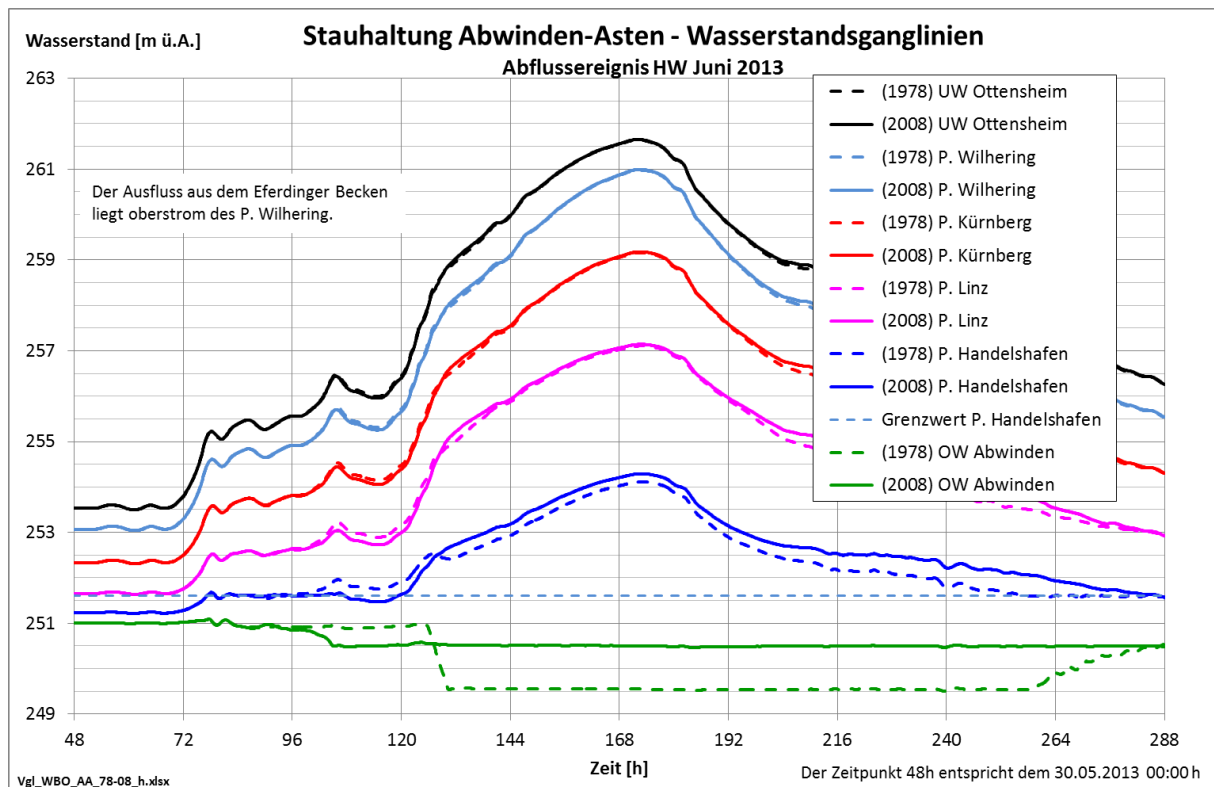


Abbildung 7.10: Wasserstandsganglinien an verschiedenen Pegeln der Stauhaltung Abwinden-Asten bei Regelung nach WBO 2008 und WBO 1978

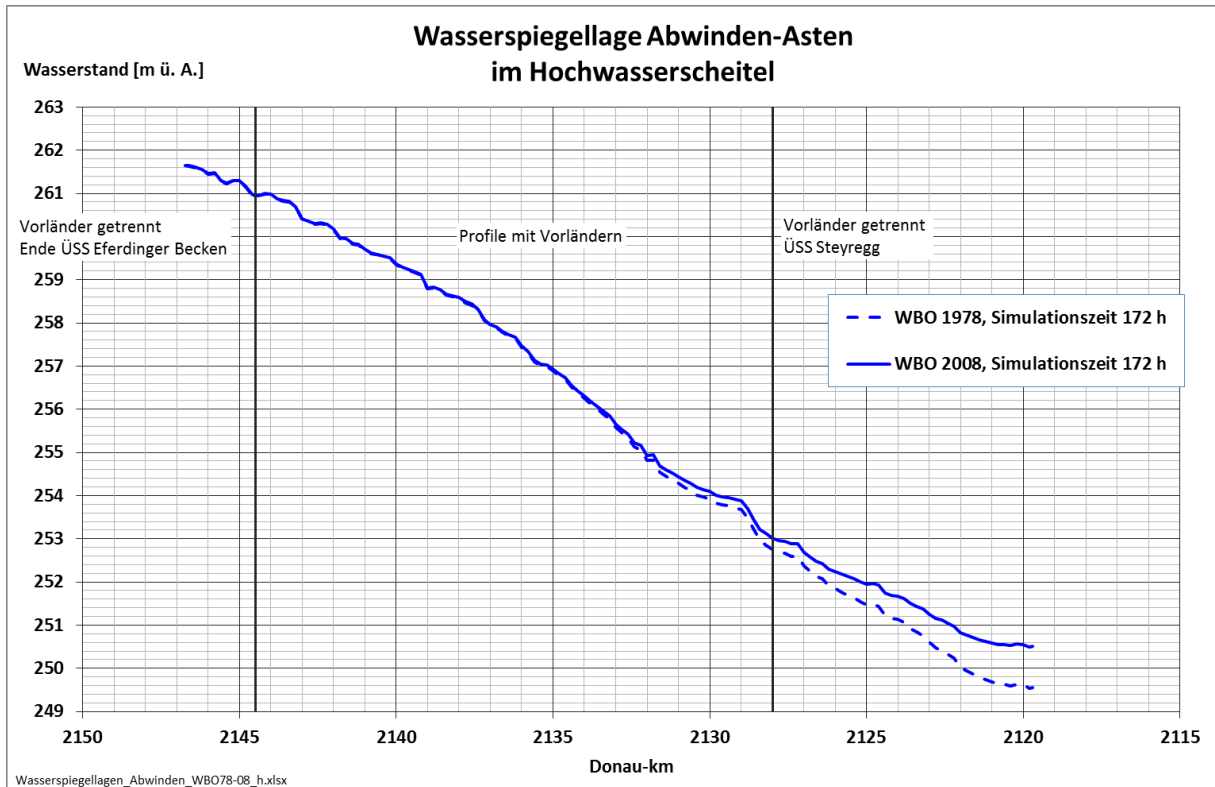


Abbildung 7.11: Wasserspiegellage (Längsschnitt) in der Stauhaltung Abwinden-Asten zum Zeitpunkt des Hochwasserscheitels bei Regelung nach WBO 2008 und WBO 1978

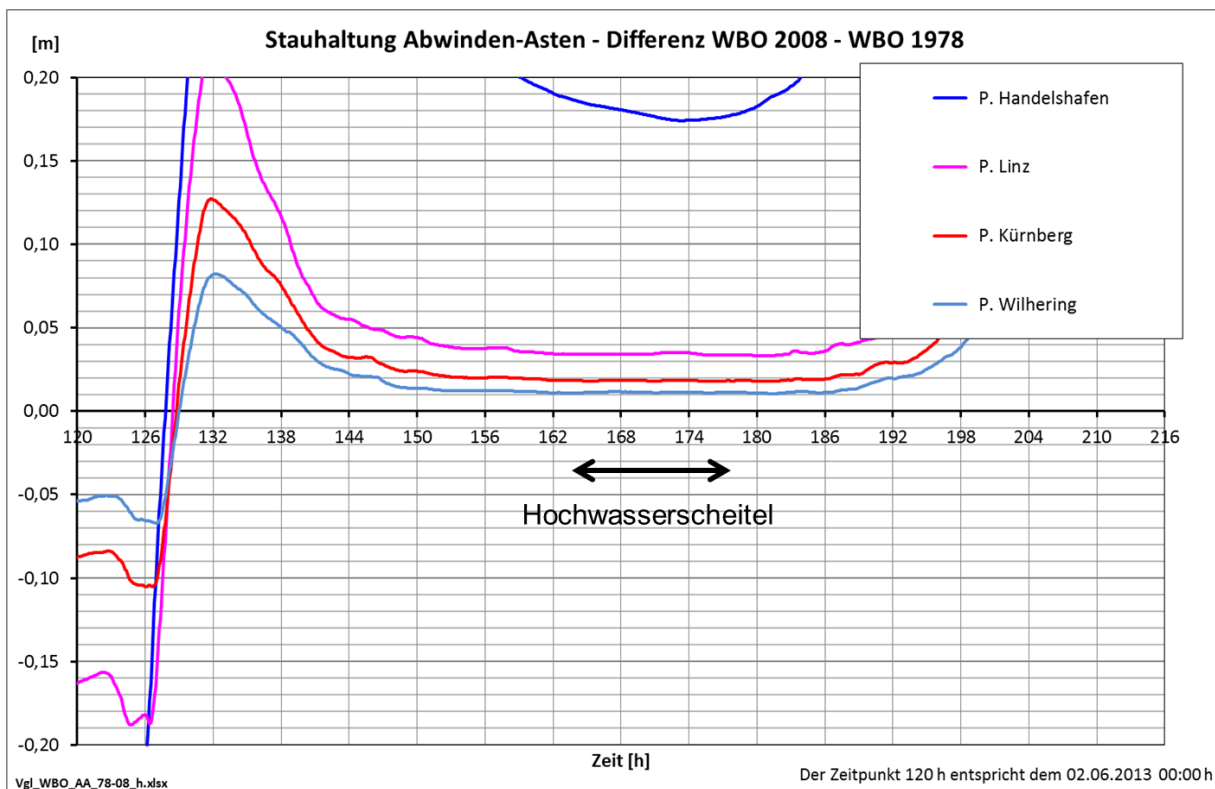


Abbildung 7.12: Differenzen zwischen den Wasserstandsganglinien an verschiedenen Pegeln (WBO 2008 – WBO 1978)

8 Optimierungspotential bezüglich der WBOs im Hinblick auf das Stauraummanagement

8.1 Prinzip

Grundsätzlich sollte jede Stauregelung darauf ausgelegt sein, im Hochwasserfall den Scheitelabfluss zumindest nicht zu verstärken. Ein Negativbeispiel einer Verstärkung über mehrere Staustufen hinweg (an einem kleinen Fluss) ist exemplarisch in Abbildung 8.1 gegeben. Dargestellt ist die Zuflussganglinie in schwarz sowie die Abflussganglinien an den einzelnen Stauanlagen, von oberstrom nach unterstrom in rot, blau, grün, braun und pink. Im betrachteten Flussabschnitt gibt es keine seitlichen Zuflüsse. Zu erkennen ist zum einen der zeitliche Ablauf, zum anderen die Verstärkung des Hochwasserscheitels von Stauanlage zu Stauanlage durch ungünstige Regelung der einzelnen Stauanlagen. Diese Betriebsweise ist auf jeden Fall zu vermeiden.

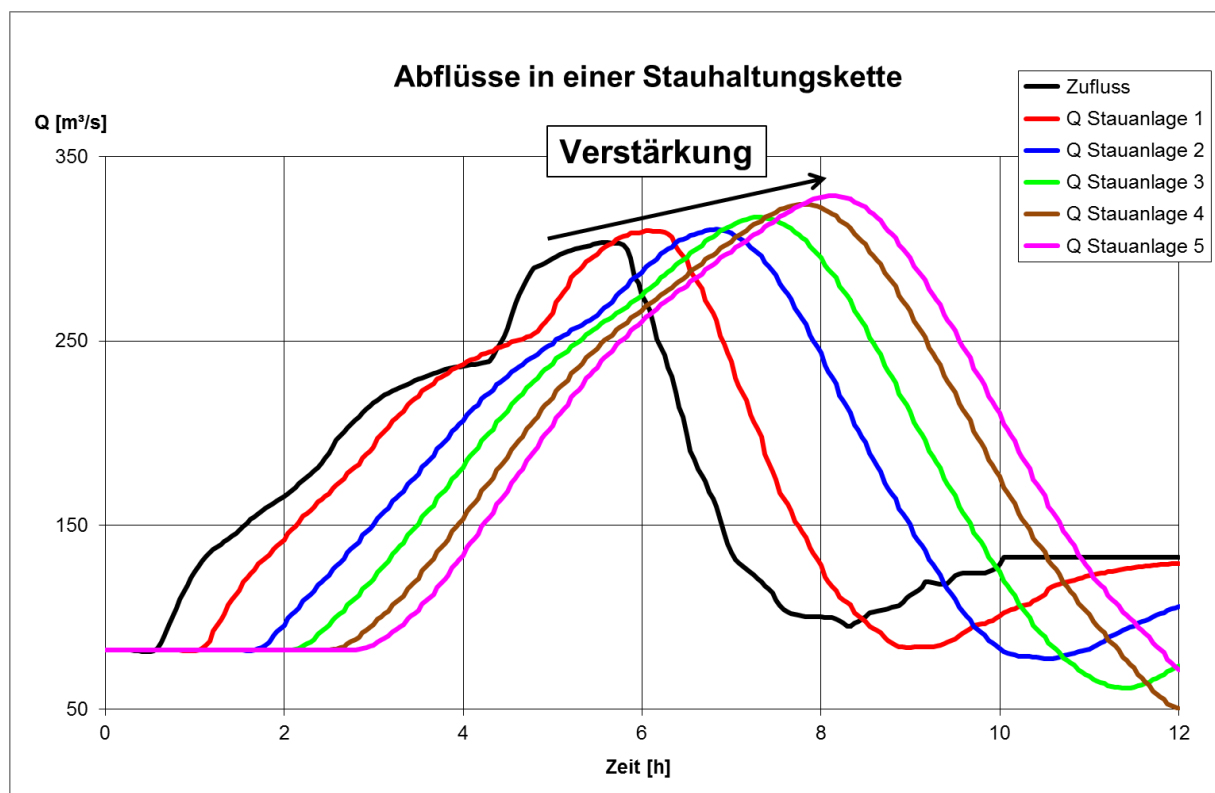


Abbildung 8.1: Verstärkung eines Hochwasserscheitels durch ungünstige Regelung

Die bisherige Regelung an den Stauanlagen Jochenstein und Aschach zeigt eine weitgehend unveränderte, nicht verstärkte Weitergabe der Hochwasserabflüsse (vgl. Abbildung 5.2, Abbildung 5.7). Es liegt also keine Betriebsweise wie in Abbildung 8.1 vor.

Im Sinne der Anrainer unterstrom einer Stauanlage wäre es optimal, wenn die Stauanlage den Hochwasserscheitel nicht nur unverändert weitergeben, sondern dämpfen könnte. Ein Beispiel

einer Dämpfung über mehrere Stauanlagen hinweg ist exemplarisch in Abbildung 8.2 dargestellt. Die gleiche Zuflussganglinie (schwarz) wie im vorangegangenen Beispiel wird an den nun mit verbesserter Regelungsstrategie betriebenen Stauanlagen bezüglich des Scheitelabflusses von Stauanlage zu Stauanlage gedämpft. An der am weitesten unterstrom gelegenen Anlage der betrachteten Stauhaltungskette (pink) liegt der Maximalabfluss bei dämpfendem Betrieb unter dem Maximalabfluss bei ungünstiger Regelung.

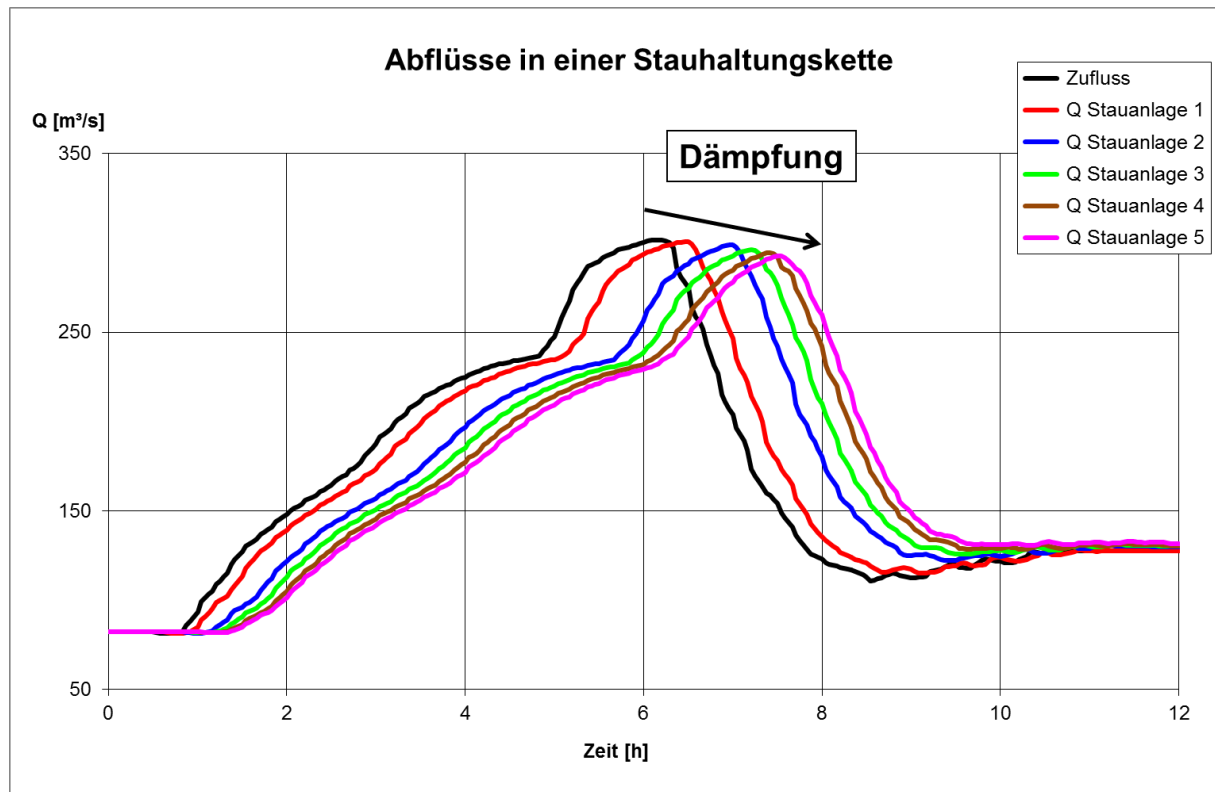


Abbildung 8.2: Dämpfung eines Hochwasserscheitels

Um eine solche Reduzierung des Spitzenabflusses zu erreichen, ist es erforderlich, während des Hochwasserscheitels weniger Wasser aus der Stauhaltung abzugeben, als zeitgleich hineinfließt.; Dies bedeutet, dass ein gewisses Volumen eingelagert werden muss, was über ein Anheben des Oberwasserstandes während des Hochwasserscheitels geschehen kann. Dabei muss selbstverständlich auf potentielle Schäden im betrachteten Stauraum selbst Rücksicht genommen werden.

An der oberösterreichischen Donau kommen für dieses Konzept vor allem die Stauanlagen Aschach und Jochenstein in Frage. An diesen sehen die aktuellen WBOs bereits deutliche Absenkungen des Oberwasserstandes bei Hochwasser vor. Eventuell zusätzliches Potential durch weiteres Absenken, insbesondere aber durch geschickte Wahl des Zeitpunktes und der Geschwindigkeit für das Anheben des Oberwasserstandes ist zu untersuchen.

Die Stauanlagen Ottensheim-Wilhering, Abwinden-Asten und Wallsee-Mitterkirchen weisen geringere Fallhöhen auf und können daher nicht so stark abgesenkt werden; zudem müssen sie im Betrieb auf die Überströmungen in die Vorländer Rücksicht nehmen. An ihnen kann daher nicht mit dem Prinzip des Aufstaus während des Hochwasserscheitels gearbeitet werden.

In der vorliegenden Grundsatzuntersuchung wurde mit vollständig bekannten Zuflussganglinien gearbeitet, um zunächst die prinzipielle Möglichkeit der Abflussreduktion zu analysieren. In der Realität kann jedoch nur mit einer Abflussvorhersage, beruhend auf Messwerten an oberstrom gelegenen Stauanlagen, gearbeitet werden. Die daraus resultierenden Unsicherheiten, wie sich eine Hochwasserganglinie in der Zukunft entwickeln wird, müssen durch entsprechende Sicherheitstoleranzen berücksichtigt werden. Diese werden das Potential der Abflussreduktion gegenüber den hier vorliegenden theoretischen Werten verringern.

8.2 Verwendete Ganglinien

Das Hochwasser vom Juni 2013 stellt ein Extremereignis mit einem Maximalabfluss bei Achleiten von ca. $Q = 10\,100\text{ m}^3/\text{s}$ dar. Zur Untersuchung des Optimierungspotentials ist es sinnvoll, auch Szenarien mit anderen Ganglinien und geringeren Maximalabflüssen zu analysieren, da die Einlagerungsmöglichkeiten und damit die Einflussmöglichkeiten auf die Hochwasserspitze bei geringeren Abflüssen größer sind. Im Folgenden werden daher neben der Ganglinie vom Juni 2013 auch Ganglinien mit einem reduzierten Abfluss verwendet. Zur Erstellung derselben wurde die Ganglinie vom Juni 2013 sowohl in der Höhe der Abflüsse als auch in der Dauer (Zeitachse) mit einem Faktor von 0,9 bzw. 0,8 multipliziert. Die hierdurch erzeugten Ganglinien mit Maximalabflüssen von ca. $Q = 8080$ bzw. $9090\text{ m}^3/\text{s}$ sind in Abbildung 8.3 dargestellt.

Als weiteres Beispiel wurde das Hochwasserereignis vom August 2002 mit einem Spitzenabfluss in Höhe von ca. $Q = 7400\text{ m}^3/\text{s}$ verwendet.

Gemäß des hydrologischen Längenschnitts von viadonau können die genannten Abflussganglinien bezüglich der Jährlichkeit des jeweiligen Spitzenabflusses wie folgt eingeordnet werden. Das Hochwasser 2002 liegt etwas unter $HQ_{30} = 7600\text{ m}^3/\text{s}$; ein Abfluss von $Q = 8080$ bzw. $9090\text{ m}^3/\text{s}$ tritt statistisch gesehen einmal in 50 bzw. 100 Jahren auf ($HQ_{50} = 8290\text{ m}^3/\text{s}$, $HQ_{100} = 8920\text{ m}^3/\text{s}$). Das Hochwasser 2013 war etwa ein dreihundertjähriges Ereignis.

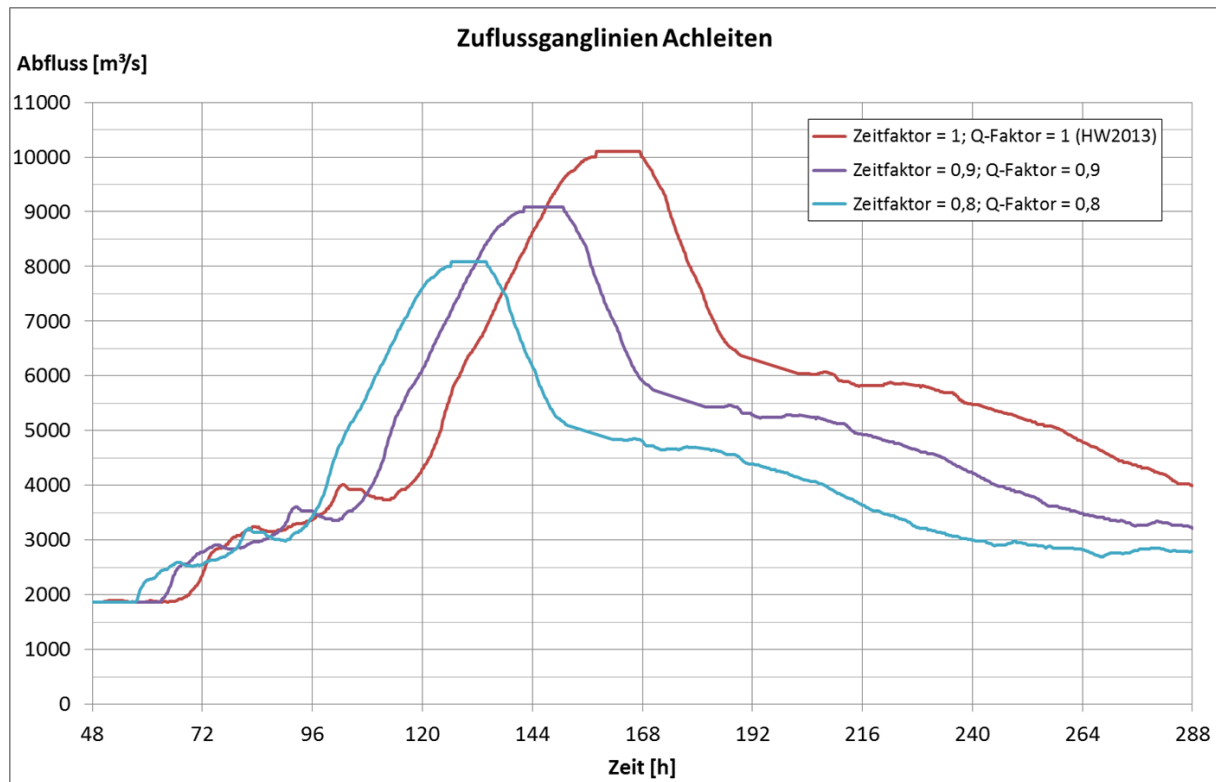


Abbildung 8.3: Original-Zuflussganglinie und reduzierte Ganglinien

8.3 Optimierungspotential in der Stauhaltung Aschach

Um den Spitzenabfluss einer Hochwasserganglinie zu reduzieren, muss ein Teil des in der Spitze zuströmenden Wassers eingelagert werden. Dies erfolgt durch ein Anheben des Oberwasserspiegels während des Hochwasserscheitels, was ein vorheriges Absenken desselben voraussetzt. Ausmaß und Zeitpunkt der Absenk- und Wiederanstauvorgänge unterliegen außerdem gewissen technischen und operativen Einschränkungen, welche bei den folgenden Überlegungen teilweise mit berücksichtigt werden.

Zunächst ist die technische Machbarkeit der Absenkung bei Aschach zu prüfen, wofür u.a. die Wehrkennlinien des Verbund herangezogen wurden. Diese geben in Abhängigkeit vom Abfluss an, welcher Oberwasserstand sich bei vollständiger Öffnung aller fünf Wehrfelder bzw. mit zusätzlich ein oder zwei Schleusen ergibt. Durch die in Abschnitt 8.3.1 beschriebenen Voruntersuchungen wurde festgestellt, dass zur Nutzung des Potentials eine Absenkung bis z.B. 274,0 m ü. A. ausreichend ist. Bei Betrieb nach WBO ist eine ähnlich tiefe Absenkung vorgesehen. Die Wehrkennlinien wurden bei der Festlegung der Absenkvorgänge berücksichtigt, so dass festgehalten werden kann, dass sich durch die Prämisse der technischen Umsetzbarkeit keine Einschränkung für die vorgeschlagenen Absenkvorgänge ergibt.

Des Weiteren muss auf die Schifffahrt Rücksicht genommen werden. Solange Schifffahrtsverkehr und Schleusungsvorgänge stattfinden, darf der Oberwasserstand an der Stauanlage Aschach nicht zu tief abgesenkt werden, um die Schifffahrt nicht zu beeinträchtigen. Bei

Hochwasser wird nach Aussage von viadonau die Schifffahrt bei Abflüssen von ca. $Q = 4500 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\pm 10 \%$) eingestellt. Beim Hochwasser 2013 war dies bei einem Oberwasserstand an der Stauanlage Aschach von 278,55 m ü. A. der Fall; d.h. bis zu diesem Wasserstand kann die Schifffahrt ohne Beeinträchtigung durch den abgesenkten Oberwasserstand stattfinden. In den Simulationen wurde dies folgendermaßen berücksichtigt: Der Absenkvorgang bis 278,55 m ü. A. kann während des Schifffahrtsbetriebs eingeleitet werden, erst bei Abflüssen über $Q = 4500 \text{ m}^3/\text{s}$ erfolgt die weitere Absenkung auf 274,0 m ü. A.

8.3.1 Verfügbare Volumina

An der Stauanlage Aschach sieht die gültige WBO im Hochwasserfall ein Absenken des Oberwasserstandes bis auf 273,93 m ü. A. vor. Um einen Überblick zu erhalten, welche Wasserstände sich in der Stauhaltung Aschach bei verschiedenen Abflüssen und den damit einhergehenden Absenkungen des Oberwasserstandes ergeben, wurden stationäre Wasserspiegellagenberechnungen durchgeführt. Diese sind in Abbildung 8.4 im Längsschnitt aufgetragen. Am linken Rand der Grafik bei Donau-km 2203,3 befindet sich die Stauanlage Jochenstein, rechts bei Donau-km 2162,7 die Stauanlage Aschach.

Durch die instationären Vorgänge während der Hochwasserwelle ergeben sich im ansteigenden und abfallenden Ast der Ganglinie bei gleichem Abfluss z.T. unterschiedliche Oberwasserstände. Daher sind für diese Abflüsse jeweils zwei Wasserspiegellagen eingetragen, welche die tatsächlichen Wasserspiegellagen annähern. Deutlich zu erkennen ist außerdem das mit zunehmenden Abflüssen steigende Fließgefälle.

Als rote Punkte eingetragen sind die von Verbund zur Verfügung gestellten sogenannten „Kritischen Knoten“. Hierfür wurden die Höhenlagen von durch Hochwasser gefährdeten Objekten aufgenommen (z.B. Türschwellen) und in Bezug zur Donaukilometrierung gesetzt. Es fällt auf, dass bei einigen Objekten bereits bei relativ geringen Hochwässern (ab $Q = 6000 \text{ m}^3/\text{s}$, im Einzelfall sogar knapp über $Q = 4000 \text{ m}^3/\text{s}$) mit Schäden gerechnet werden muss. Zum Vergleich: Das statistisch alle fünf Jahre auftretende Hochwasser HQ_5 ist von viadonau mit $Q = 5580 \text{ m}^3/\text{s}$ angegeben, das zehnjährliche Hochwasser HQ_{10} mit $Q = 6110 \text{ m}^3/\text{s}$.

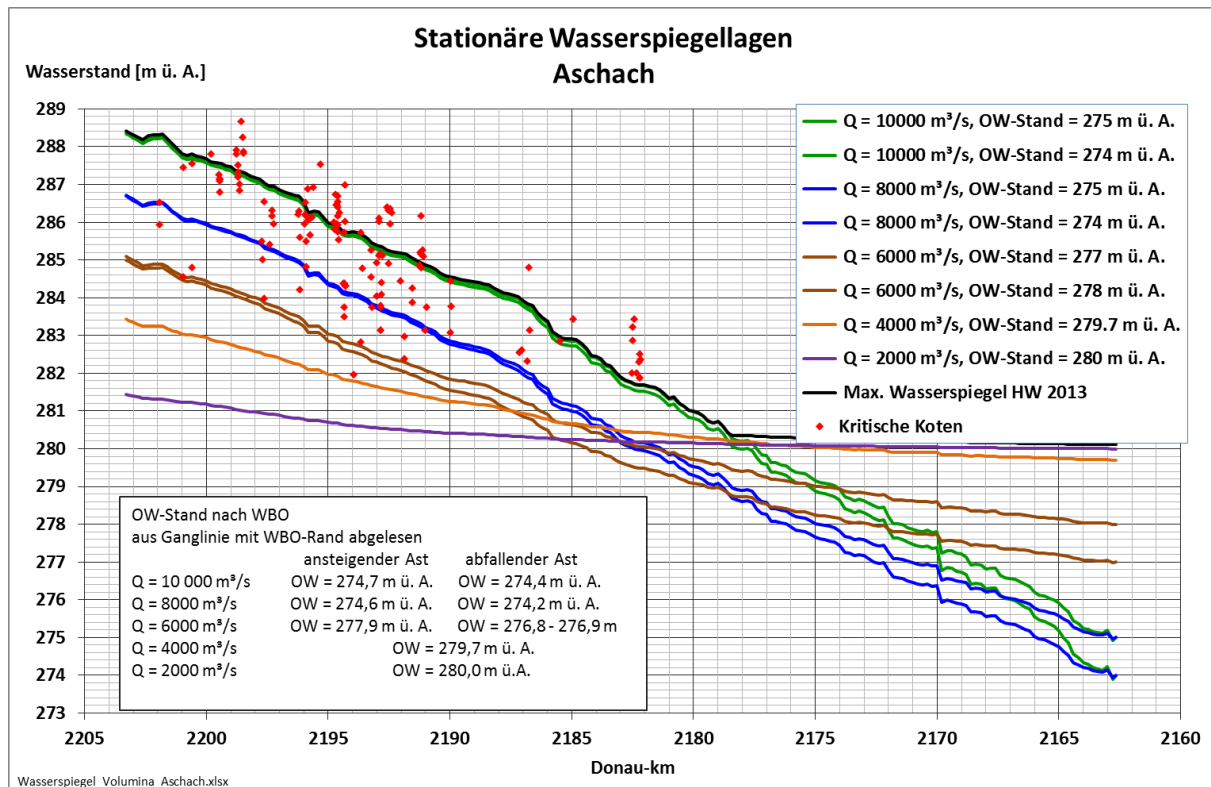


Abbildung 8.4: Wasserspiegellagen in der Stauhaltung Aschach für verschiedene Abflüsse und zugehörige Oberwasserstände nach WBO

Soll während des Hochwasserscheitels ein Anheben des Oberwasserstandes erfolgen, so sind die sich dadurch ergebenden Wasserspiegellagen insbesondere an den kritischen Punkten zu berücksichtigen. Aus diesem Grund wurden umfangreiche stationäre Berechnungen mit verschiedenen Abflüssen ($Q = 2000 \text{ m}^3/\text{s}$, $4000 \text{ m}^3/\text{s}$, $6000 \text{ m}^3/\text{s}$, $8000 \text{ m}^3/\text{s}$, $10\,000 \text{ m}^3/\text{s}$) und zahlreichen Oberwasserständen zwischen 270 m ü. A. und 281 m ü. A. durchgeführt. Diese liefern einen Anhaltspunkt für die sich möglicherweise ergebenden Wasserspiegellagen, so dass Schäden durch ein zu starkes Anheben des Oberwasserstandes während eines Hochwasserereignisses vermieden werden können. Exemplarisch sind in Abbildung 8.5 die Wasserspiegellagen in der Stauhaltung Aschach für einen Abfluss von $Q = 6000 \text{ m}^3/\text{s}$ und Oberwasserstände zwischen $281,0 \text{ m ü. A.}$ und $270,0 \text{ m ü. A.}$ dargestellt. Als zusätzliche Bezugsgröße, die allen Betroffenen noch präsent ist, ist der maximale Wasserstand, der beim Hochwasserereignis 2013 aufgetreten ist, eingezeichnet.

In der Grafik ist somit ersichtlich, dass ein Anheben des Oberwasserstandes bis auf 279 m ü. A. bei $Q = 6000 \text{ m}^3/\text{s}$ in keinem Bereich der Stauhaltung höhere Wasserstände als beim HW 2013 hervorruft. Wird der Maximalwasserstand des HW 2013 als maximal zulässiger Wasserstand definiert, kann durch ein Anheben des Oberwasserstandes bis auf 279 m ü. A. während des Hochwasserscheitels ein Teil des Spitzenabflusses eingelagert und dieser damit reduziert werden. Der Maximalwasserstand des HW2013 soll für die folgenden Volumenbetrachtungen als Referenzwert dienen. Bei den instationären Betrachtungen in den

folgenden Abschnitten wurde der sich bei Betrieb nach aktueller WBO ergebende Maximalwasserstand als Referenzgröße verwendet.

Einen tatsächlich vertretbaren Maximalwasserstand zu ermitteln ist nicht Gegenstand der hier vorgestellten Untersuchungen. Hierzu müssen die einzelnen gefährdeten Objekte genauer untersucht und zur Nutzung des Potentials möglicherweise in Einzelfällen lokale Schutzmaßnahmen ergriffen werden.

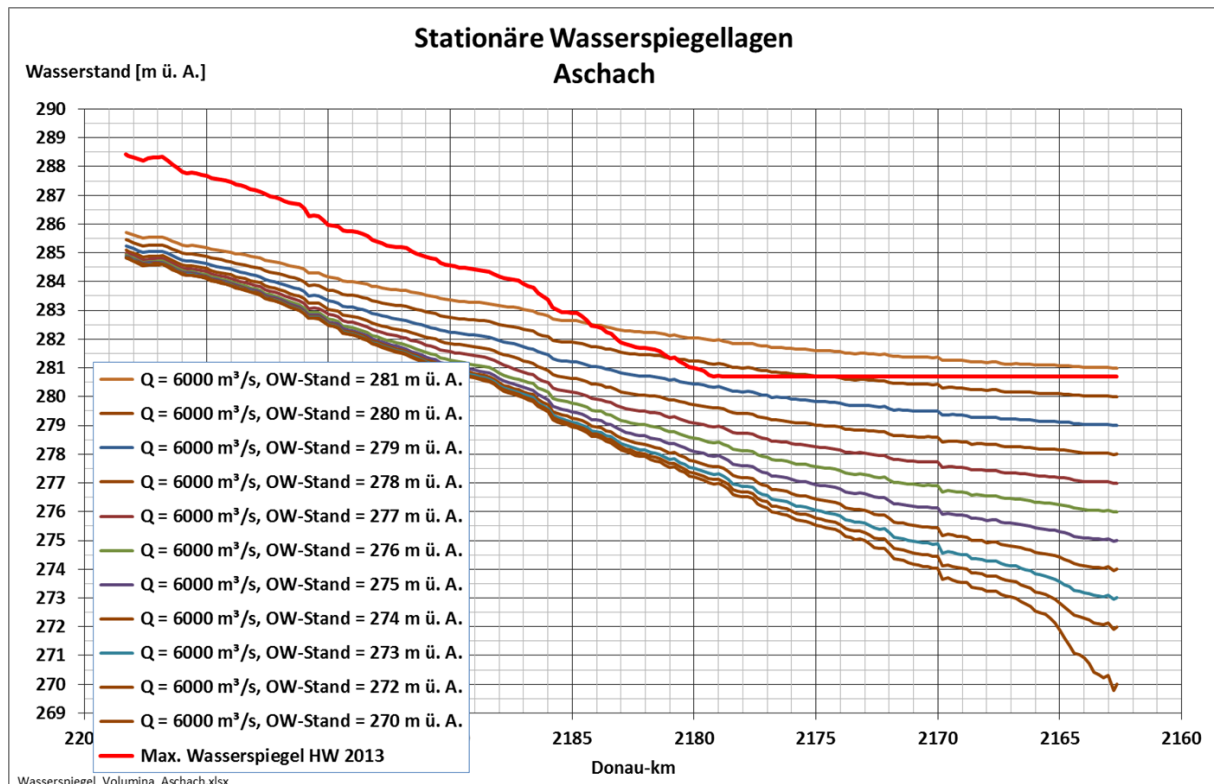


Abbildung 8.5: Wasserspiegellagen in der Stauhaltung Aschach bei einem Abfluss von $Q = 6000 \text{ m}^3/\text{s}$ für verschiedene Oberwasserstände

Zu jeder der in Abbildung 8.5 dargestellten stationären Berechnungen wurde das sich dabei in der Stauhaltung Aschach befindliche Wasservolumen berechnet. Dies dient als Anhaltspunkt für das durch Variation des Oberwasserstandes nutzbare Volumen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Rot eingetragen sind dabei jeweils die Volumina, die sich bei Betrieb nach aktueller WBO bei den entsprechenden Abflüssen im Stauraum befinden. Gelb hinterlegt sind die Zustände, bei denen die Wasserspiegellage sich gerade noch unter der maximalen Wasserspiegellage vom Hochwasser 2013 befindet. Orange hinterlegt ist die tiefste sinnvolle Absenkung. Darunter sind die Volumenunterschiede so gering, dass ein tieferes Absenken des Oberwasserstandes nicht zu einer Reduzierung des Spitzenabflusses beiträgt.

Tabelle 2: Volumina der Stauhaltung Aschach

Volumina der Stauhaltung Aschach [Mio. m ³]					
Q [m ³ /s]	2000	4000	6000	8000	10000
OW-Stand [m ü. A.]					
281,00	112	119	129	140	152
280,00	102	108 110	120	132	145
279,00	93	102	113	125	139
278,00	85	95	103 106	119	133
277,00	77	89	101	114	129
276,00	71	83	96	110	125
275,00	65	78	92	106	121
274,00	60	74	88	104 103	120 119
273,00	55	70	85	101	117
272,00	51		83	100	116
271,00			82	99	115
270,00	46	64	81	98	
Legende:	rot		nach WBO		
	gelb hinterlegt		HW 2013		

8.3.2 Sensitivität bezüglich des Anstauzeitpunkts

In der Realität wird aufgrund einer Abflussvorhersage entschieden werden müssen, wann der Anstau beginnen soll, der eine Reduktion der Abflussspitze bewirkt. Um zu analysieren, welchen Einfluss die Entscheidung für einen früheren oder späteren Zeitpunkt des Anstaus hat, wurde folgende Sensitivitätsuntersuchung am Beispiel der mit dem Faktor 0,8 reduzierten Abflussganglinie durchgeführt.

Mit dem jeweils gleichen Anstaugradienten von 20 cm/h wurde der Anstau zu vier verschiedenen Zeitpunkten, jeweils um 2 Stunden versetzt, begonnen. Die sich somit ergebenden Ganglinien des Oberwasserstandes Aschach und der Pegel Schlögen und Engelhartzell sind in der folgenden Abbildung 8.6 aufgetragen. Zum Vergleich ebenfalls dargestellt sind die Ganglinien, die sich im Modell bei Betrieb nach WBO ergeben.

Der Absenkvorgang beginnt in den Szenarien zur Abflussreduktion wenige Stunden früher als nach WBO vorgesehen, die Absenkung erfolgt dabei auf ein ähnliches Maß – 274,0 m ü. A. – wie nach WBO. Das Wiederanheben des Oberwasserstandes wird zur Reduktion des Spitzenabflusses wesentlich früher, nämlich noch während des Hochwasserscheitels, begonnen.

Die sich aus den verschiedenen Szenarien ergebenden maximalen Wasserspiegellagen im Stauraum Aschach sind in Abbildung 8.7 violett gestrichelt aufgetragen. Zum Vergleich dargestellt sind die maximale Wasserspiegellage des Hochwasserereignisses 2013 (rot) und die maximale Wasserspiegellage, die sich bei der reduzierten Ganglinie bei Betrieb nach WBO ergibt (grün).

Zu erkennen ist, dass die Anhebung des Oberwasserstandes zur Verminderung des Spitzenabflusses die maximalen Wasserstände insbesondere im Bereich zwischen Donau-km 2180 und 2190 erhöht, nach oberstrom wird der Einfluss geringer. Je früher mit dem Anstau begonnen wurde, desto höher liegt die maximale Wasserspiegellage.

Zur genaueren Analyse sind die Differenzen zwischen der maximalen Wasserspiegellage, die sich bei Betrieb nach WBO ergibt, und den maximalen Wasserspiegellagen der verschiedenen Szenarien in Abbildung 8.8 aufgetragen. Je nach Zeitpunkt des Anstaubeginns liegen die Wasserspiegel im Bereich um Donau-km 2184 um ca. 16 - 50 cm höher als bei Betrieb nach WBO. Nach oberstrom nimmt die Anhebung des Wasserspiegels ab; unterhalb von Donau-km 2182 wird der maximale Wasserspiegel durch den Anstauvorgang nicht erhöht.

Die Abbildung 8.9 und Abbildung 8.10 (Detail) stellen die Abflussganglinien für die verschiedenen Szenarien dar. Blau aufgetragen ist der Zufluss an der Stauanlage Jochenstein, rot durchgezogen der Abfluss bei Aschach bei Betrieb nach WBO. Gestrichelt eingezeichnet sind die Abflussganglinien bei Aschach für die Varianten mit Anhebung des Oberwasserstandes. Zusätzlich eingetragen sind die Differenzen zwischen den Abflussmaxima beim Betrieb nach WBO und der jeweiligen Variante. Es erfolgt eine Reduzierung des Spitzenabflusses in der Größenordnung zwischen $\Delta Q = 130 \text{ m}^3/\text{s}$ und ca. $\Delta Q = 220 \text{ m}^3/\text{s}$.

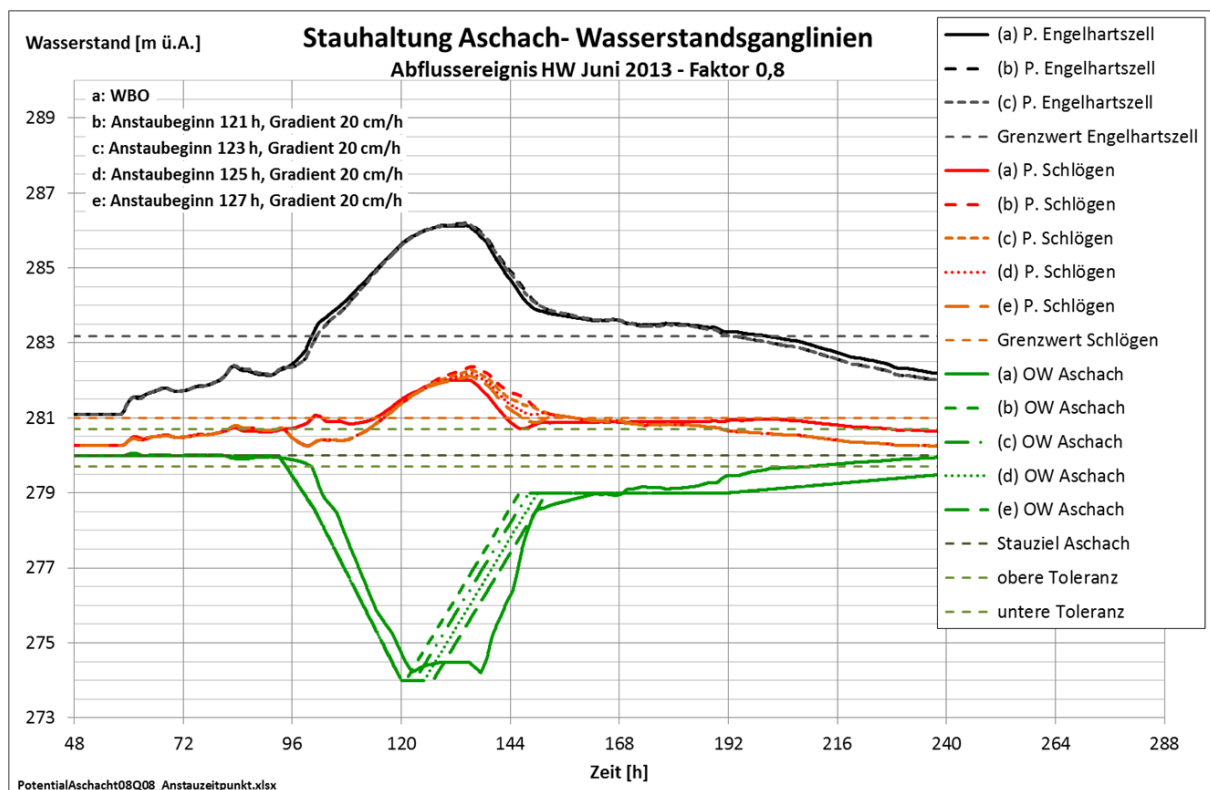


Abbildung 8.6: Wasserstandsganglinien in der Stauhaltung Aschach – Sensitivitätsuntersuchung bezüglich des Anstauzeitpunktes

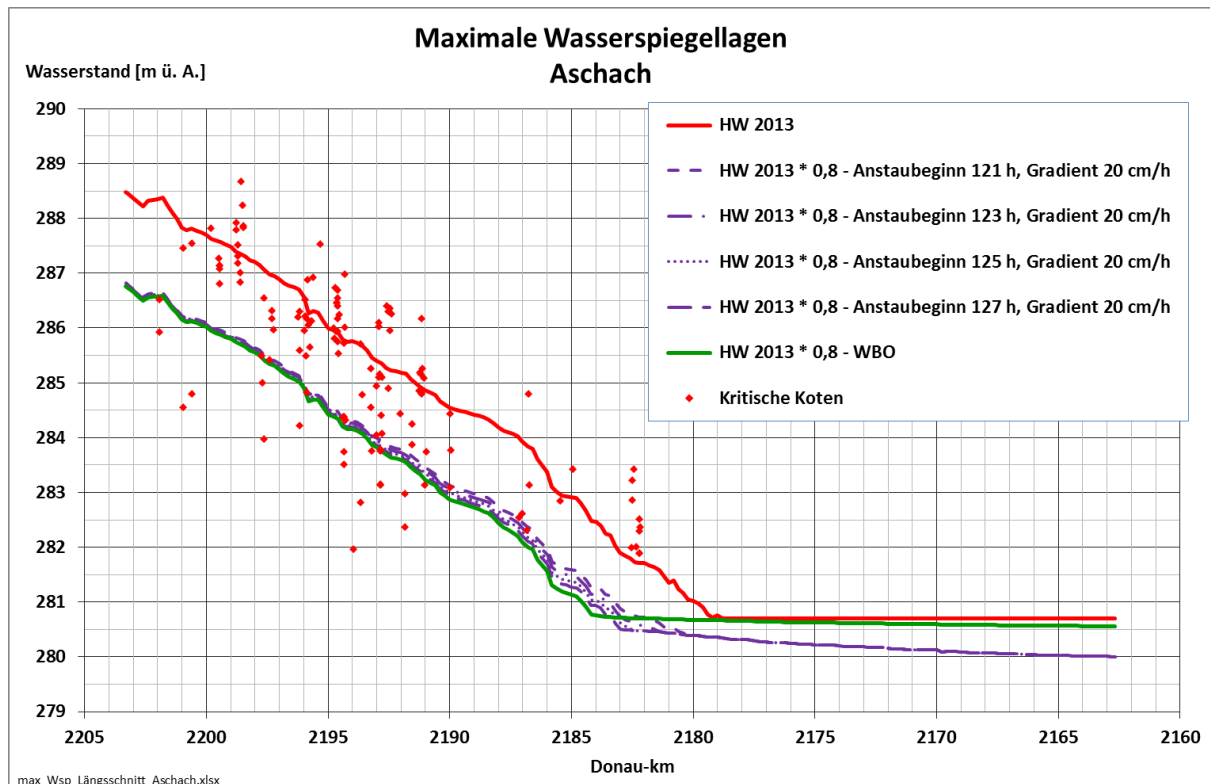


Abbildung 8.7: Maximale Wasserspiegellagen in der Stauhaltung Aschach – Sensitivitätsuntersuchung bezüglich des Anstauzeitpunktes

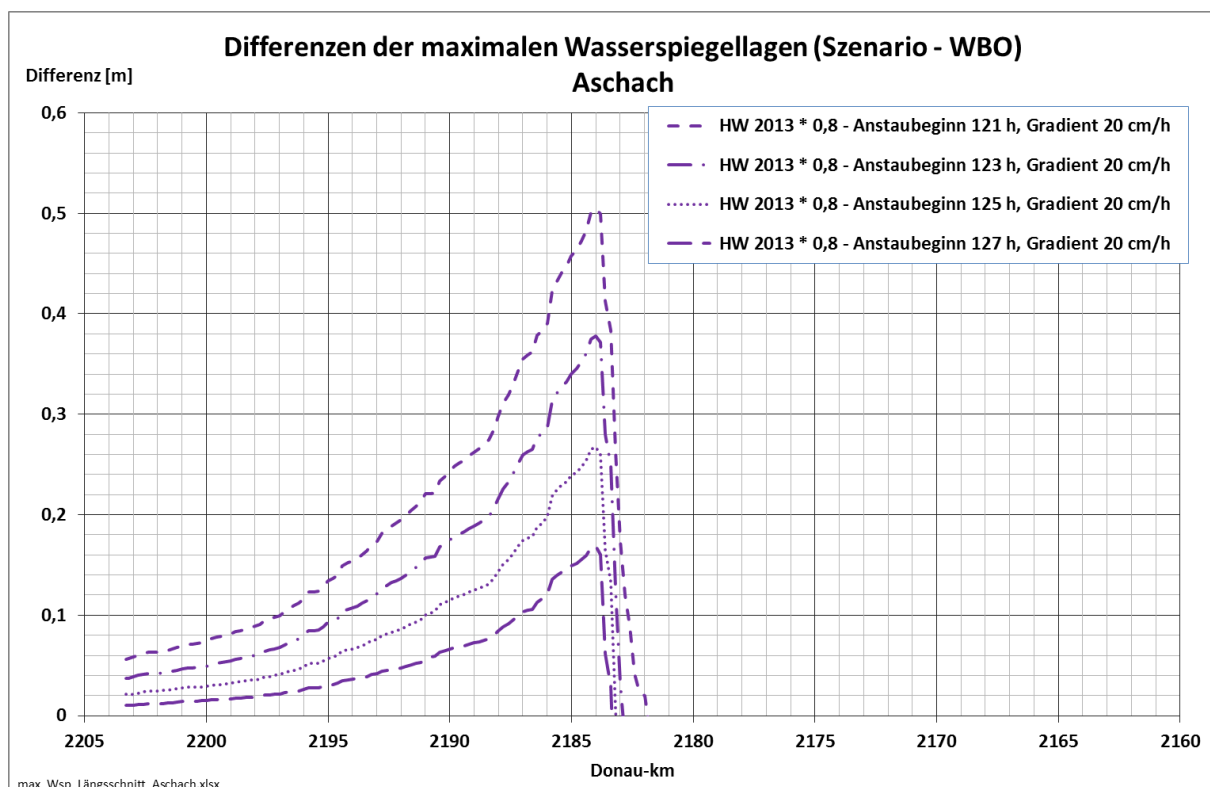


Abbildung 8.8: Differenzen der maximalen Wasserspiegellagen in der Stauhaltung Aschach – Sensitivitätsuntersuchung bezüglich des Anstauzeitpunktes

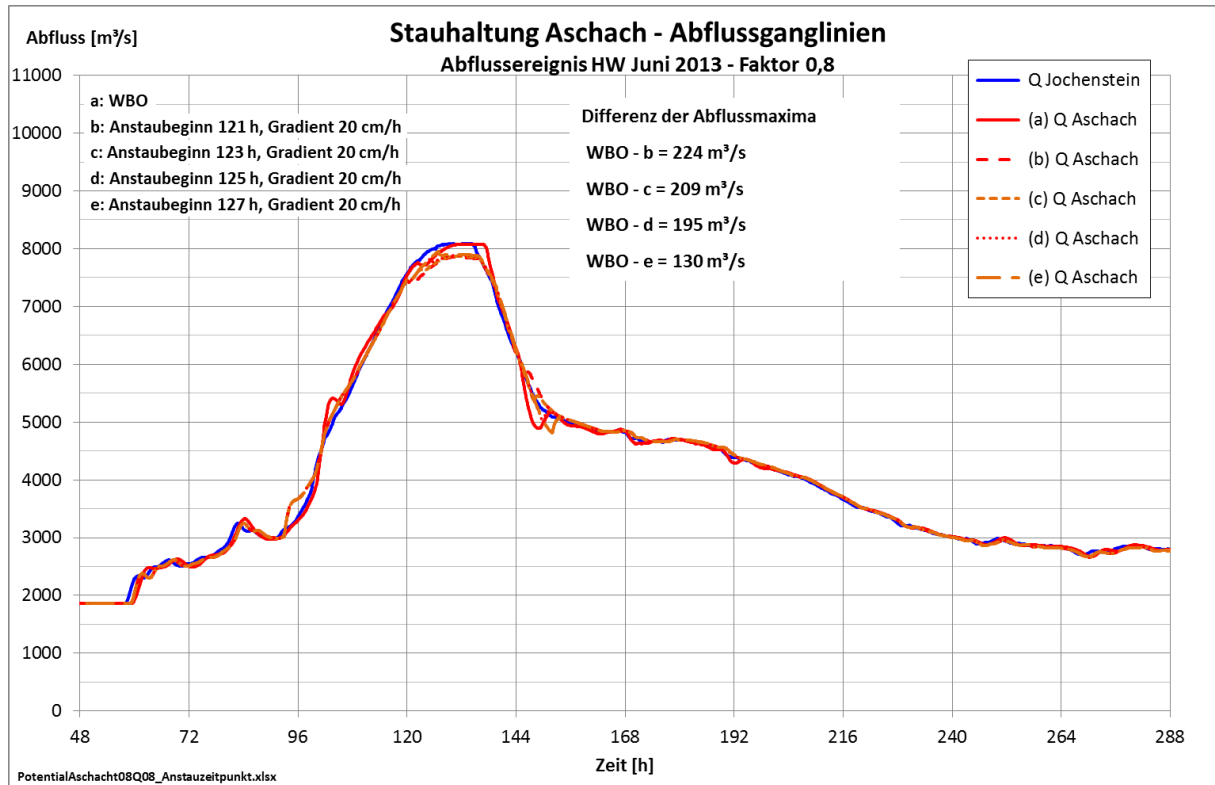


Abbildung 8.9: Abflussganglinien – Sensitivitätsuntersuchung bezüglich des Anstaupunktes

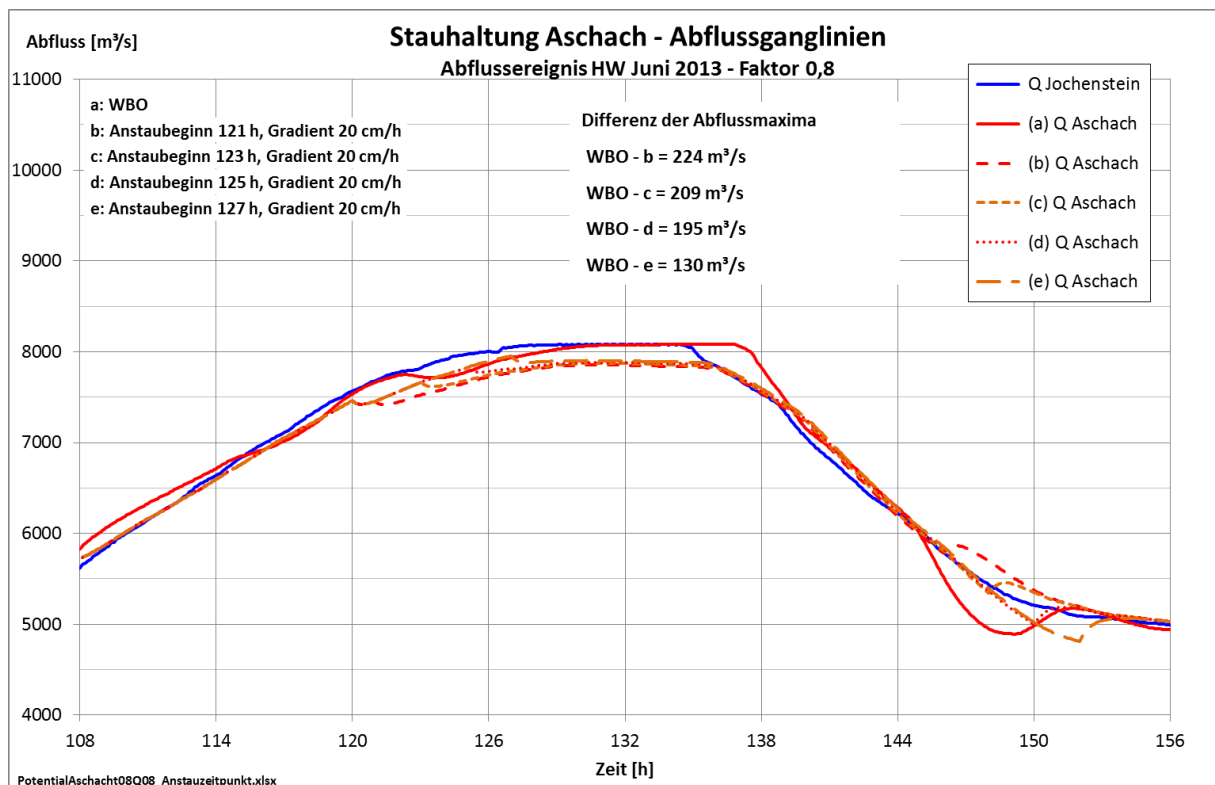


Abbildung 8.10: Detail der Abflussganglinien – Sensitivitätsuntersuchung bezüglich des Anstaupunktes

8.3.3 Sensitivität bezüglich des Anstaugradienten

Um zu analysieren, welchen Einfluss die Geschwindigkeit bzw. der Gradient des Anstaus hat, wurde folgende Sensitivitätsuntersuchung am Beispiel der mit dem Faktor 0,8 reduzierten Abflussganglinie durchgeführt.

Der Anstaubeginn wurde für alle Simulationen gleich gewählt ($t = 121\text{h}$). Der Gradient des Anstaus variiert zwischen 10 cm/h und 25 cm/h .

Die sich somit ergebenden Ganglinien des Oberwasserstandes Aschach und der Pegel Schlögen und Engelhartzell sind in der folgenden Abbildung 8.11 aufgetragen. Zum Vergleich ebenfalls dargestellt sind die Verläufe, die sich im Modell bei Betrieb nach WBO ergeben.

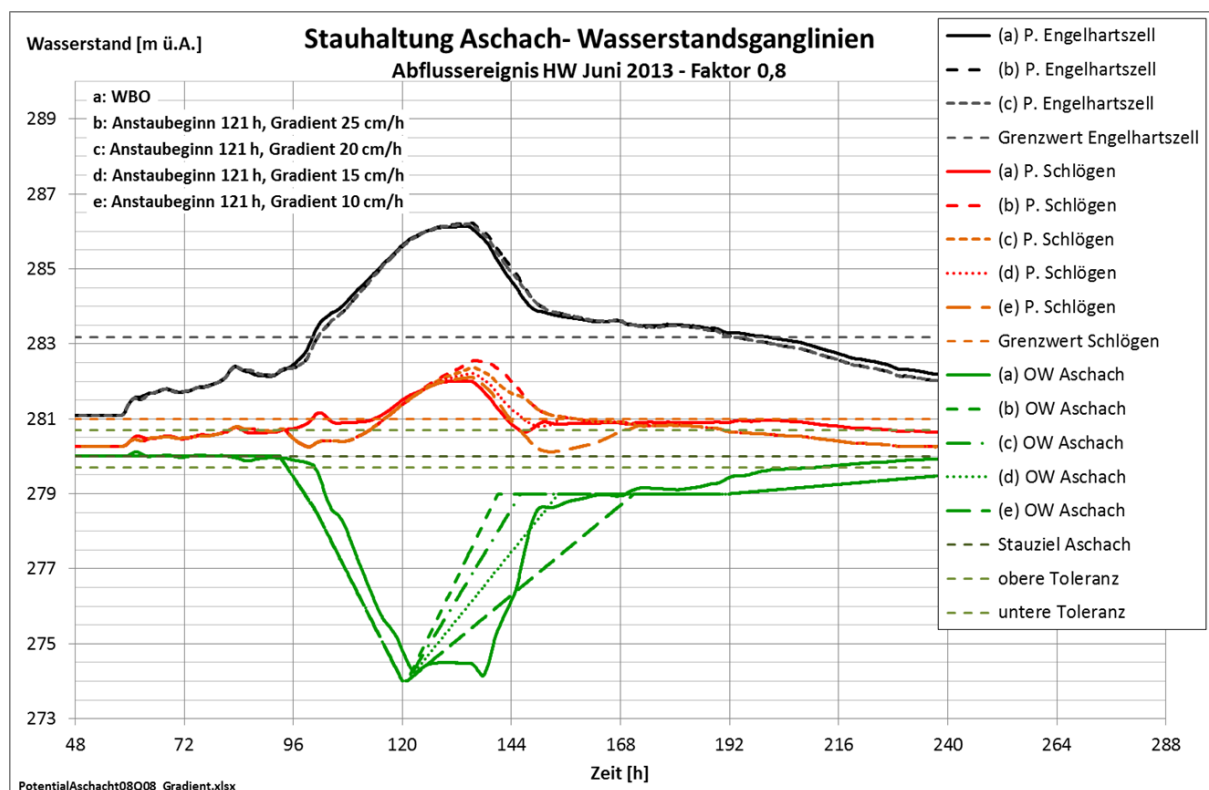


Abbildung 8.11: Wasserstandsganglinien in der Stauhaltung Aschach – Sensitivitätsuntersuchung bezüglich des Anstaugradienten

Die folgende Abbildung 8.12 und Abbildung 8.13 (Detail) stellen die Abflussganglinien für die verschiedenen Szenarien dar. Im Detail gut zu erkennen ist, dass die Reduzierung des Spitzenabflusses umso höher ausfällt, je schneller der Wiederanstau erfolgt, d.h. je höher der Gradient ist. In der vorliegenden Sensitivitätsuntersuchung wurde dabei der Spitzenabfluss in einer Größenordnung zwischen ca. $\Delta Q = 100\text{ m}^3/\text{s}$ und $\Delta Q = 300\text{ m}^3/\text{s}$ vermindert.

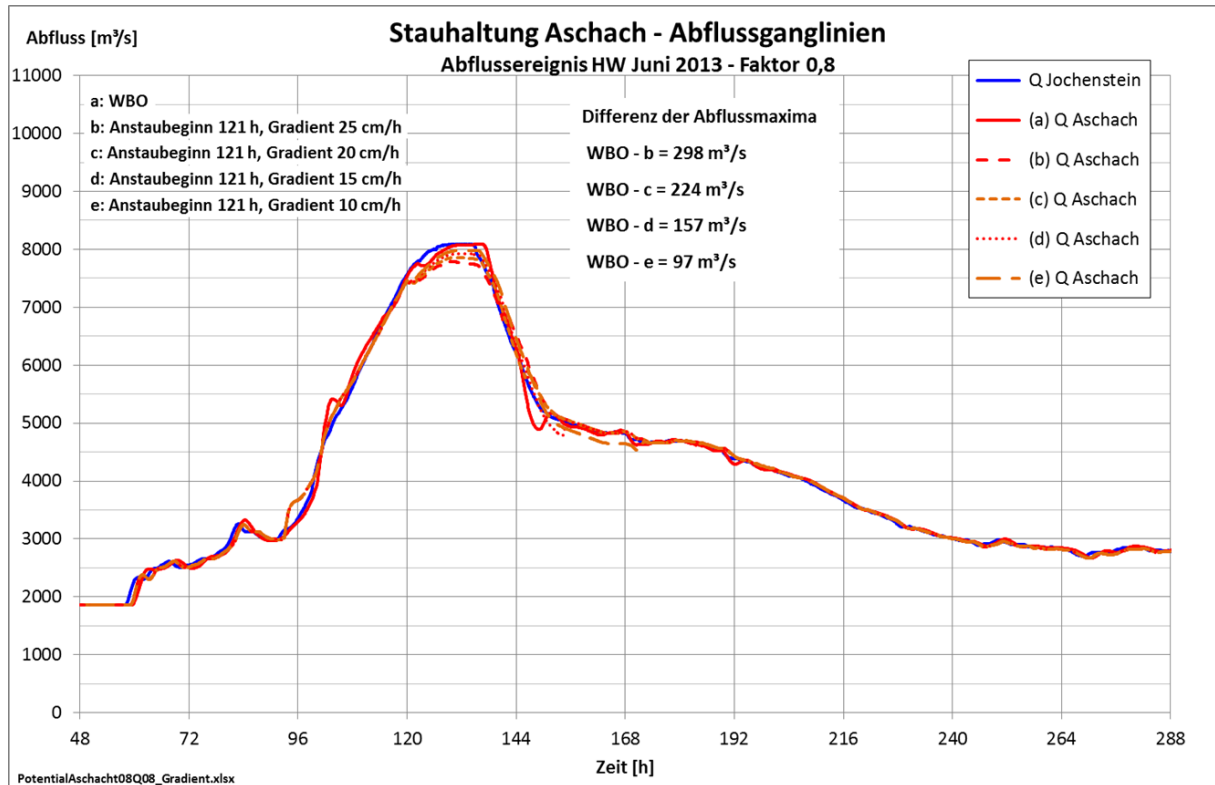


Abbildung 8.12: Abflussganglinien – Sensitivitätsuntersuchung bezüglich des Anstaugradienten

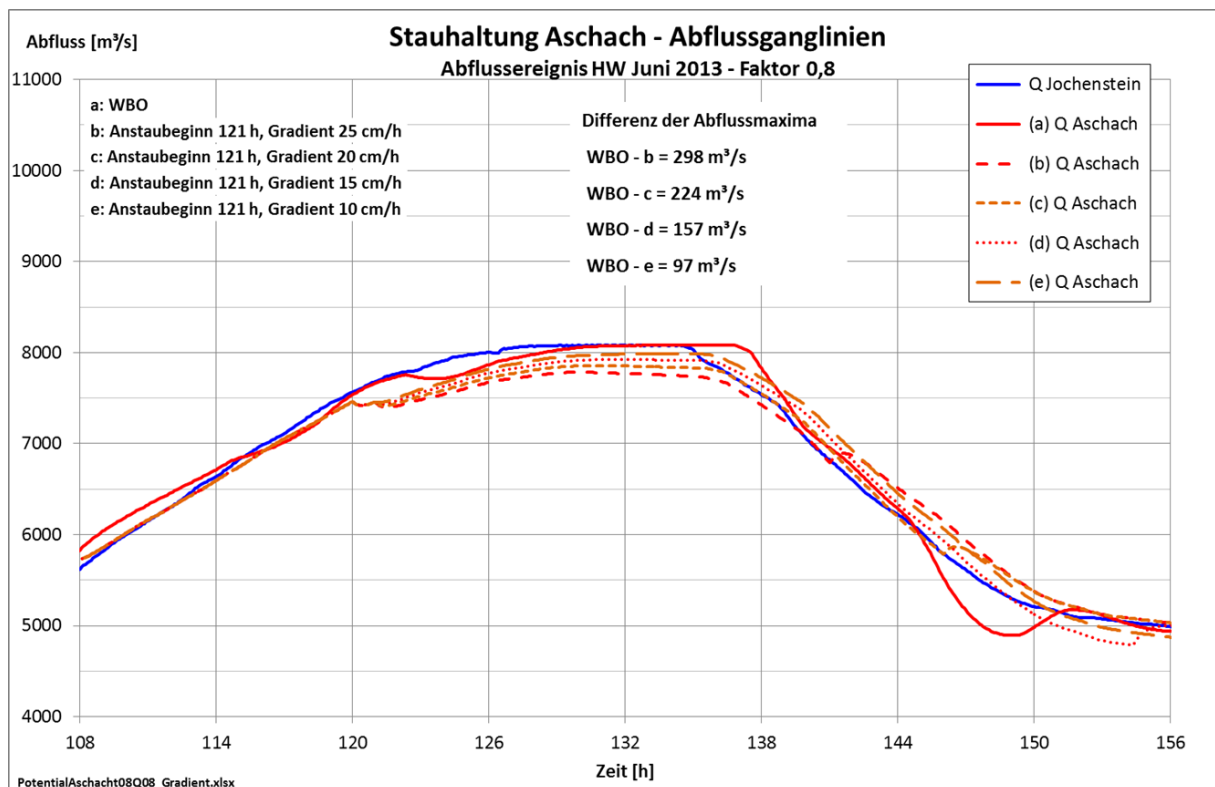


Abbildung 8.13: Detail der Abflussganglinien – Sensitivitätsuntersuchung bezüglich des Anstaugradienten

Die folgende Abbildung 8.14 stellt die maximalen Wasserspiegellagen in der Stauhaltung Aschach für die Szenarien mit unterschiedlichen Anstaugradienten dar. Je schneller der Anstieg des Oberwasserspiegels erfolgt, desto höher sind auch die resultierenden maximalen Wasserspiegellagen. Zum Vergleich zusätzlich dargestellt sind die maximale Wasserspiegellage des Hochwasserereignisses 2013 (rot) und die maximale Wasserspiegellage, die sich bei der reduzierten Ganglinie bei Betrieb nach WBO ergibt (grün).

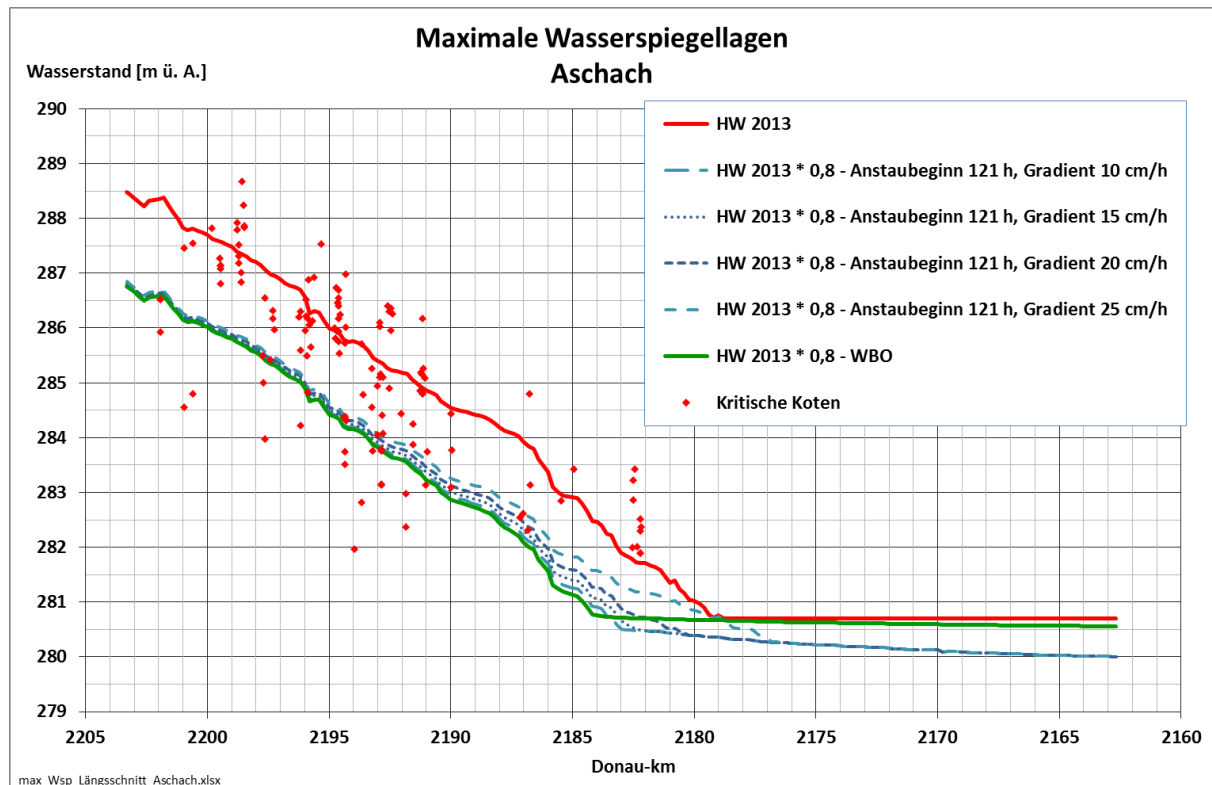


Abbildung 8.14: Maximale Wasserspiegellagen in der Stauhaltung Aschach – Sensitivitätsuntersuchung bezüglich des Anstaugradienten

Die Differenzen zwischen der maximalen Wasserspiegellage, die sich bei Betrieb nach WBO ergibt, und den maximalen Wasserspiegellagen der verschiedenen Szenarien sind zur genaueren Analyse in Abbildung 8.15 aufgetragen. Je nach Anstaugradient liegen die Wasserspiegel im Bereich um Donau-km 2184 um ca. 15 - 80 cm höher als bei Betrieb nach WBO. Nach oberstrom nimmt die Anhebung des Wasserspiegels ab; unterhalb von Donau-km 2182 wird der maximale Wasserspiegel durch den Anstauvorgang nicht erhöht.

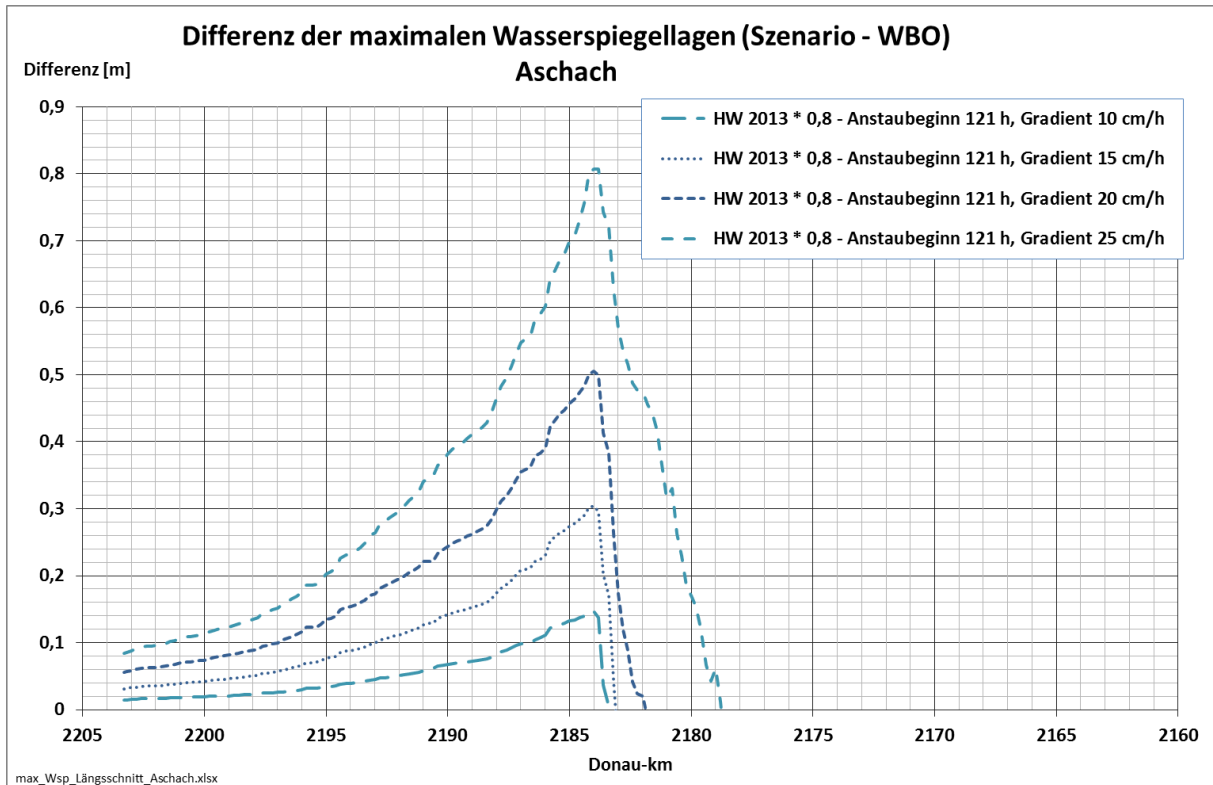


Abbildung 8.15: Differenzen der maximalen Wasserspiegellagen in der Stauhaltung Aschach – Sensitivitätsuntersuchung bezüglich des Anstaugradienten

8.3.4 Ergebnisse der Sensitivitätsuntersuchungen

Die folgende Tabelle 3 fasst die Ergebnisse der Sensitivitätsuntersuchungen für die Ganglinie mit einem Spitzenabfluss von $Q = 8080 \text{ m}^3/\text{s}$ zusammen. Angegeben ist jeweils die Reduzierung des Spitzenabflusses für die verschiedenen Gradienten und Zeitpunkte des Wiederanstaus.

Zu erkennen ist, dass eine größere Abflussreduzierung erreicht werden kann

- durch einen früheren Anstau (innerhalb des hier untersuchten Bereichs)
- durch einen schnelleren Anstau.

Allerdings sind mit größeren Abflussreduzierungen auch höhere Wasserspiegellagen in Kauf zu nehmen. Die Frage, welche maximalen Wasserstände zulässig sind, ist als wichtiger Arbeitsschritt vor einer möglichen Änderung der WBO gesondert zu klären.

Tabelle 3: Abflussreduzierung bei einem Spitzenabfluss von $Q = 8080 \text{ m}^3/\text{s}$

Abflussreduzierung [m ³ /s]		Anstaugradient			
		10 cm/h	15 cm/h	20 cm/h	25 cm/h
Anstaubeginn	121 h	97	157	224	298
	123 h			209	
	125 h			195	
	127 h			130	

8.3.5 Untersuchungen für weitere Ganglinien

Die in den vorherigen Abschnitten beschriebenen Sensitivitätsuntersuchungen wurden für die Ganglinie mit einem Maximalabfluss von $Q = 8080 \text{ m}^3/\text{s}$ durchgeführt. Nach derselben Vorgehensweise wurden einzelne Szenarien für die Original-Ganglinie des Hochwassers 2013 ($Q_{\text{max}} = 10\,100 \text{ m}^3/\text{s}$), die auf $Q = 9000 \text{ m}^3/\text{s}$ reduzierte Ganglinie und die Ganglinie des Hochwassers vom August 2002 berechnet.

Es zeigt sich, dass die Möglichkeiten der Abflussreduzierung mit steigenden Scheitelabflüssen geringer werden. Aufgrund der generell höheren Wasserspiegellagen kann bei diesen weniger Volumen zur Einlagerung zur Verfügung gestellt werden ohne zusätzliche Schäden in Kauf zu nehmen. Beim Hochwasser 2013 war wegen des hohen Scheitelabflusses von $Q_{\text{max}} = 10\,100 \text{ m}^3/\text{s}$ kein nennenswertes Potential zur Abflussreduzierung vorhanden. Die Ergebnisse sind in Abschnitt 8.5 zusammengefasst.

Des Weiteren werden im Folgenden die Berechnungen für die Ganglinie des Hochwassers 2002 vorgestellt. Diese weist zwei Abflussspitzen im Abstand von ca. 5 Tagen auf. Der maximale Abfluss liegt bei ca. $Q = 7400 \text{ m}^3/\text{s}$ und somit etwas unter HQ_{30} .

Abbildung 8.16 stellt den Wasserstandsverlauf für den Absenkvorgang nach WBO an der Stauanlage Aschach in grün durchgezogen dar, gestrichelt den Wasserstandsverlauf im Szenario zur Abflussreduzierung.

In Abbildung 8.17 sind die daraus resultierenden maximalen Wasserspiegellagen im Längsschnitt der Stauhaltung Aschach dargestellt. Die frühzeitige Anhebung des Wasserspiegels im Oberwasser Aschach bewirkt hier nur eine relativ geringe Anhebung des Wasserspiegels zwischen Donau-km 2170 und 2185. Von dieser Wasserstandsänderung scheinen keine gefährdeten Objekte betroffen zu sein, die für Türschwellen etc. angegebenen Koten liegen deutlich höher.

Die Abflussganglinien sind in Abbildung 8.18 und Abbildung 8.19 (Detail) aufgetragen. Im dargestellten Fall wird der Spitzenabfluss an der Stauanlage Aschach gegenüber dem Betrieb nach WBO um ca. $\Delta Q = 275 \text{ m}^3/\text{s}$ reduziert.

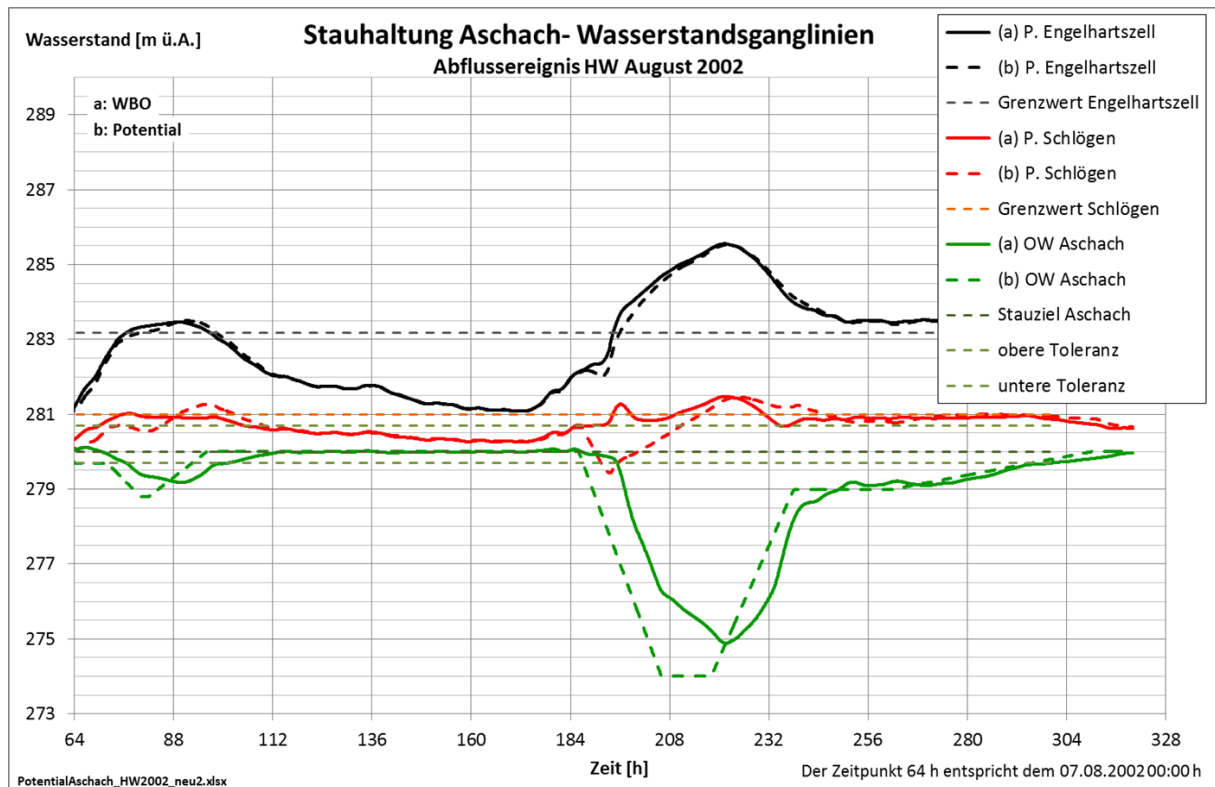


Abbildung 8.16: Wasserstandsganglinien in der Stauhaltung Aschach – Hochwasser 2002

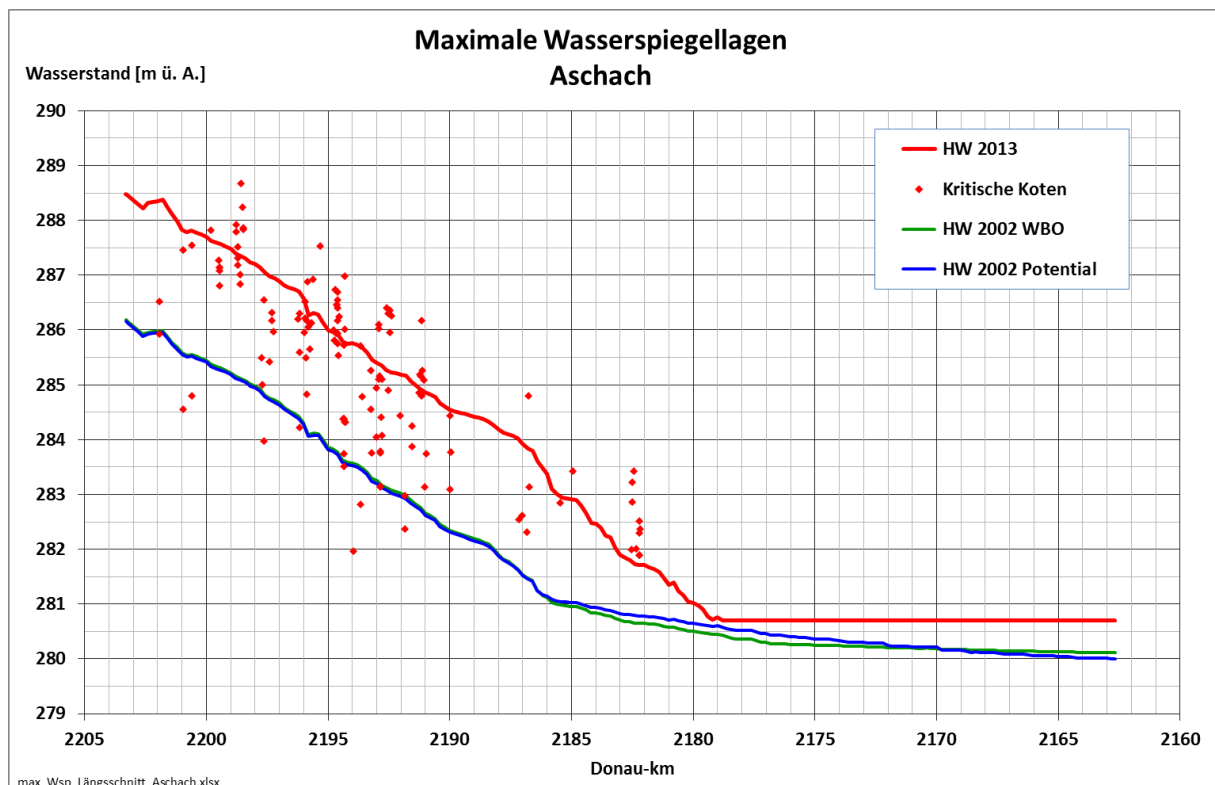


Abbildung 8.17: Maximale Wasserspiegellagen in der Stauhaltung Aschach – Hochwasser 2002

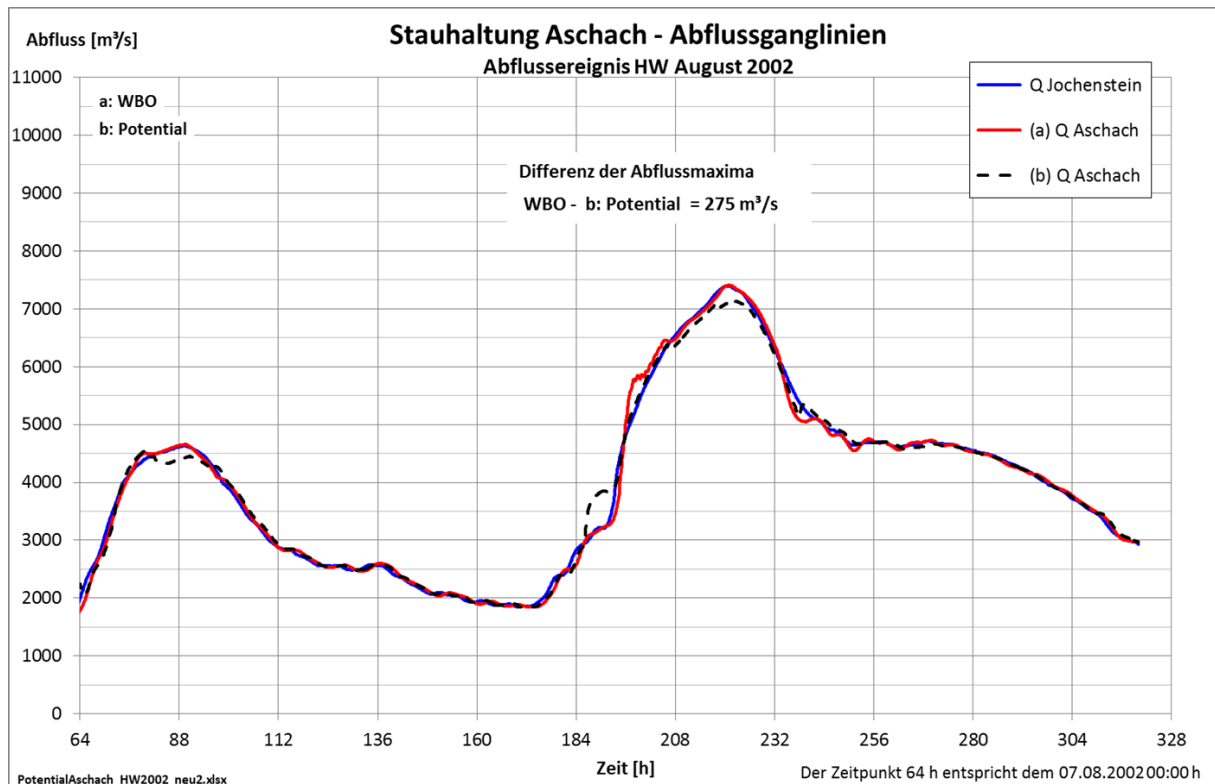


Abbildung 8.18: Abflussganglinien – Hochwasser 2002

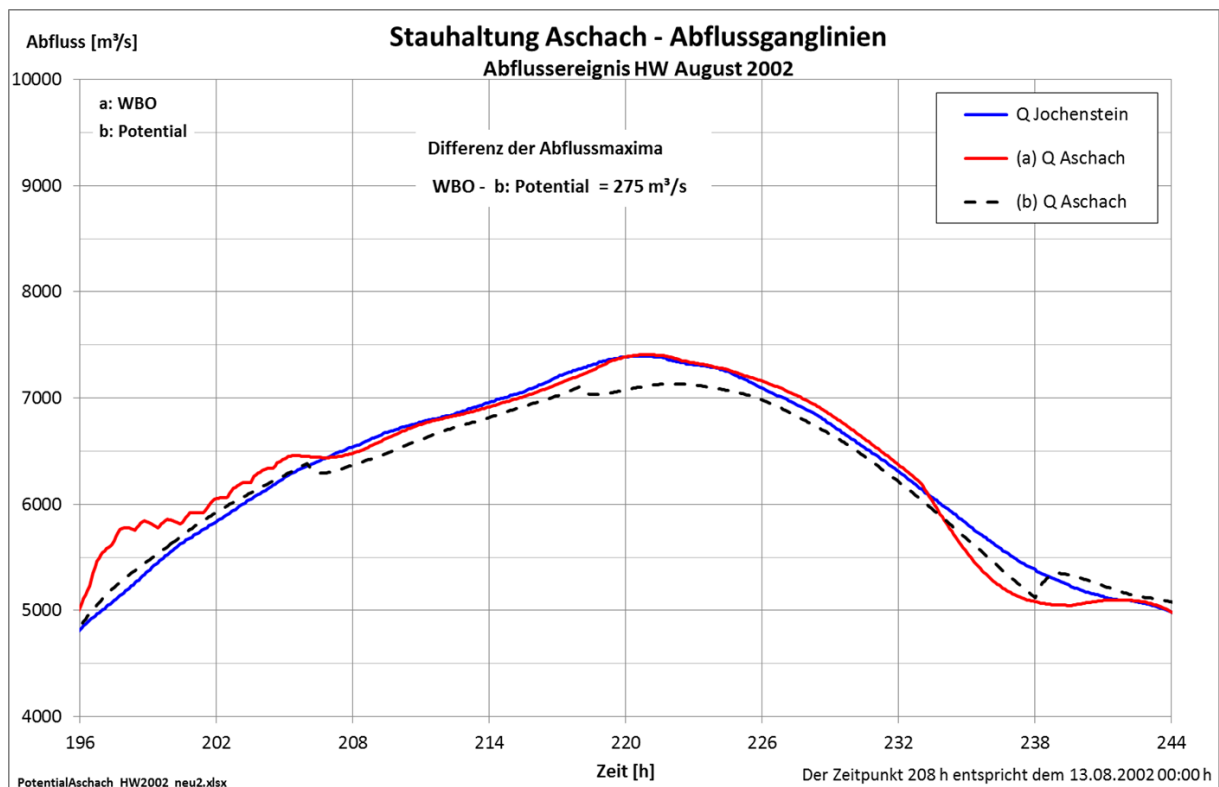


Abbildung 8.19: Detail der Abflussganglinien – Hochwasser 2002

8.4 Optimierungspotential in der Stauhaltung Jochenstein

An der Stauanlage Jochenstein wird der Abflussquerschnitt bei hohen Abflüssen komplett freigegeben. Die zuvor durchgeführte Absenkung kann nicht gehalten werden, da der Wasserstand vom ansteigenden Unterwasser rückgestaut wird. Dies ist bei den Überlegungen zum Optimierungspotential zu berücksichtigen.

Für die mit dem Faktor 0,8 reduzierte Ganglinie des Hochwassers 2013 (vgl. Abschnitt 8.2) stellt Abbildung 8.20 die Wasserstandsganglinien des Oberwassers Jochenstein sowie der Pegel Erlau und Achleiten dar. Der Oberwasserstand nach WBO ist grün durchgezogen eingezeichnet und zeigt das genannte Phänomen des Rückstaus aus dem Unterwasser. Die grün gestrichelte Linie gibt den Verlauf des Oberwasserstands im Szenario zur Potentialnutzung wieder. Auch hier kommt es zum Rückstau durch das Unterwasser. Ab ca. 126 h Simulationszeit wird der Oberwasserstand gezielt erhöht, um die Abflussspitze zu mindern.

In diesem Szenario mit einem Maximalabfluss von ca. $Q = 8080 \text{ m}^3/\text{s}$ konnte die Abflussspitze durch den Anstau bei Jochenstein während des Hochwasserscheitels um ca. $\Delta Q = 120 \text{ m}^3/\text{s}$ reduziert werden, wie Abbildung 8.22 und Abbildung 8.23 belegen.

Die sich dabei ergebenden maximalen Wasserspiegellagen in der Stauhaltung Jochenstein sind in Abbildung 8.21 aufgetragen; zum Vergleich dargestellt sind die maximalen Wasserspiegellagen bei Betrieb nach WBO sowie beim Hochwasser 2013. Die Differenz zwischen dem Wasserstand bei Betrieb nach WBO und demjenigen bei Betrieb mit Abflussreduzierung beträgt am Pegel Achleiten ca. 9 cm.

Informationen zu hochwassergefährdeten Objekten in der Stauhaltung Jochenstein lagen nicht vor. Selbstverständlich dürfen Maßnahmen wie die Abflussreduktion zum Schutz der Unterlieger bei den Anliegern bzw. Oberliegern wie z.B. der Stadt Passau oberstrom des Pegels Achleiten keine zusätzlichen Schäden verursachen. Sollte daher nur ein geringerer Anstieg der Wasserspiegellagen als in diesem Szenario vorgestellt vertretbar sein, so sind analog zu den bei Aschach vorgestellten Sensitivitätsuntersuchungen Szenarien möglich, die mit langsamerem Aufstau eine geringere Wasserstandsänderung hervorrufen, allerdings mit einer etwas geringeren Reduktion des Spitzenabflusses.

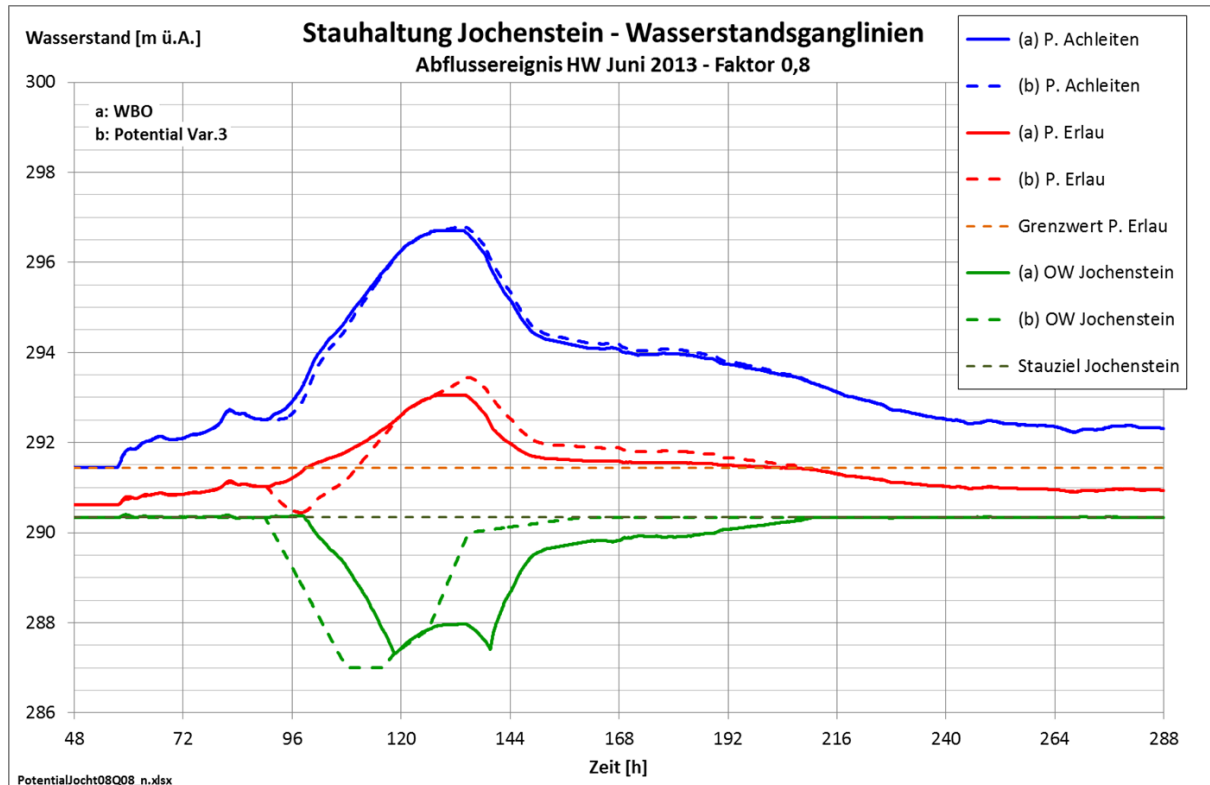


Abbildung 8.20: Wasserstandsganglinien in der Stauhaltung Jochenstein – Potentialanalyse

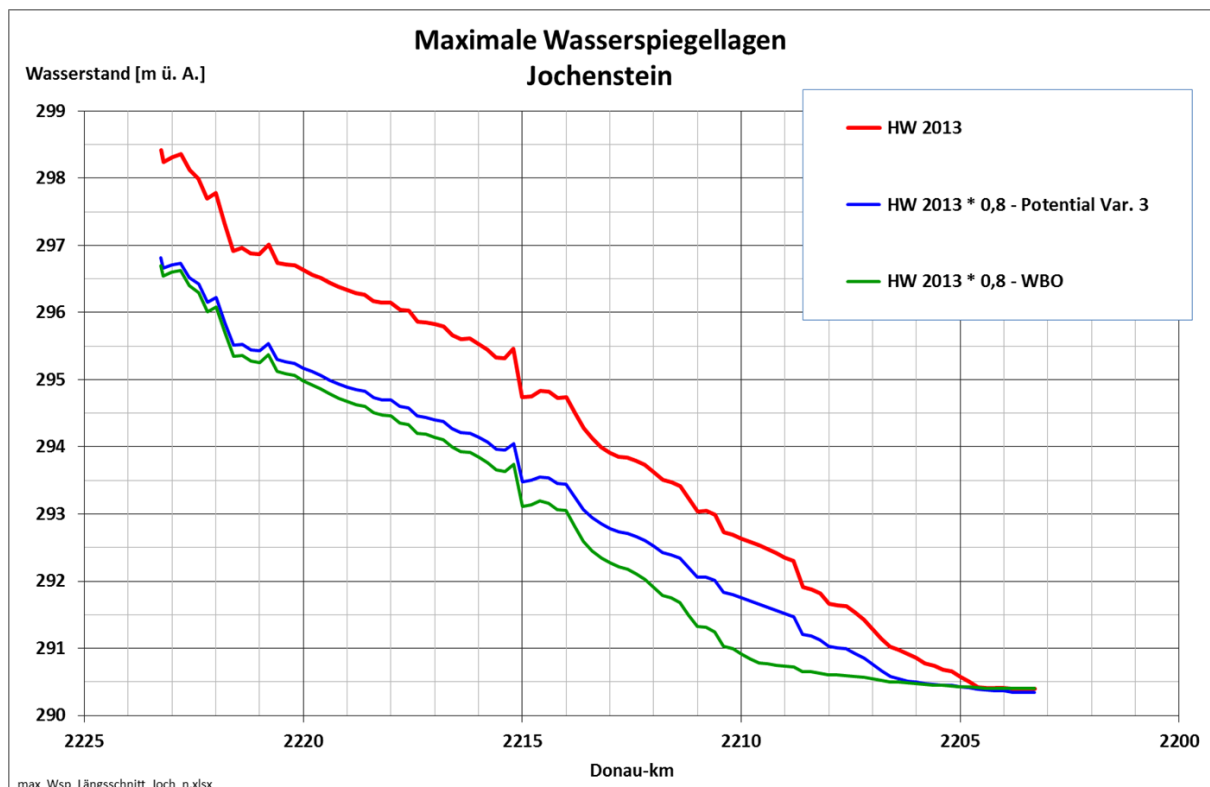


Abbildung 8.21: Maximale Wasserspiegellagen in der Stauhaltung Jochenstein – Potentialanalyse

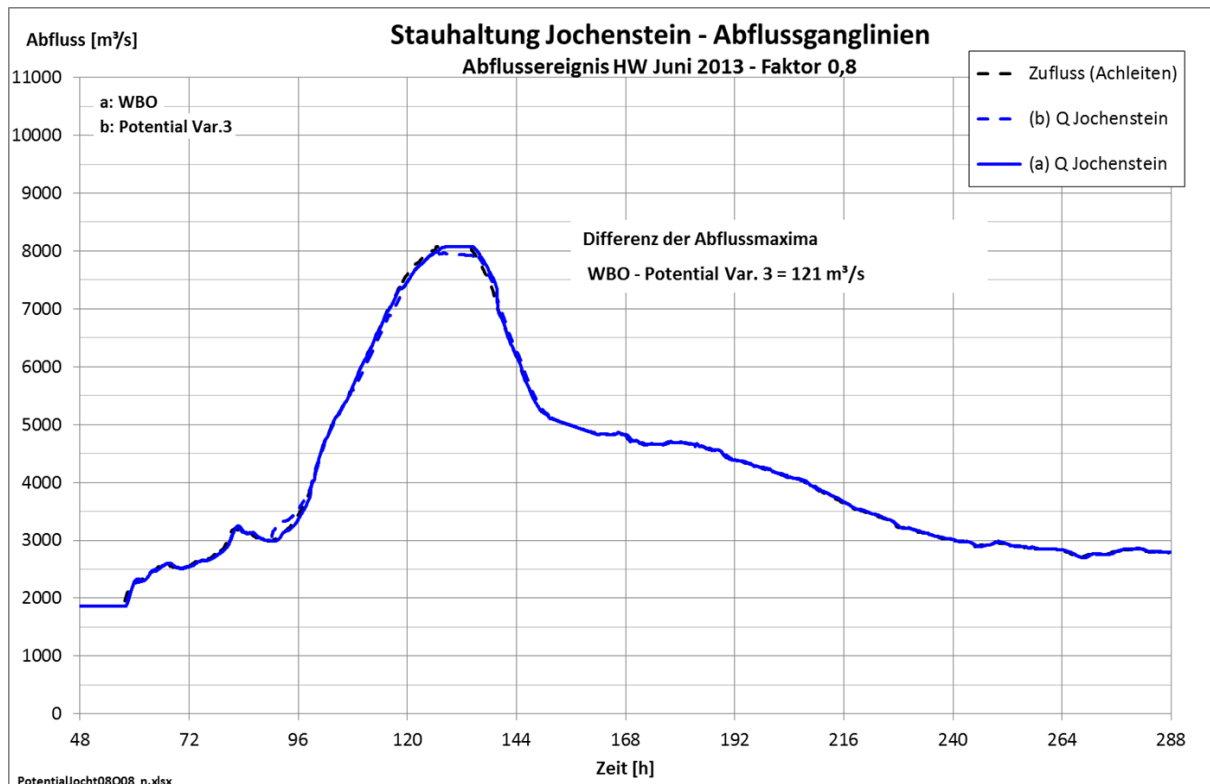


Abbildung 8.22: Abflussganglinien – Potentialanalyse Jochenstein

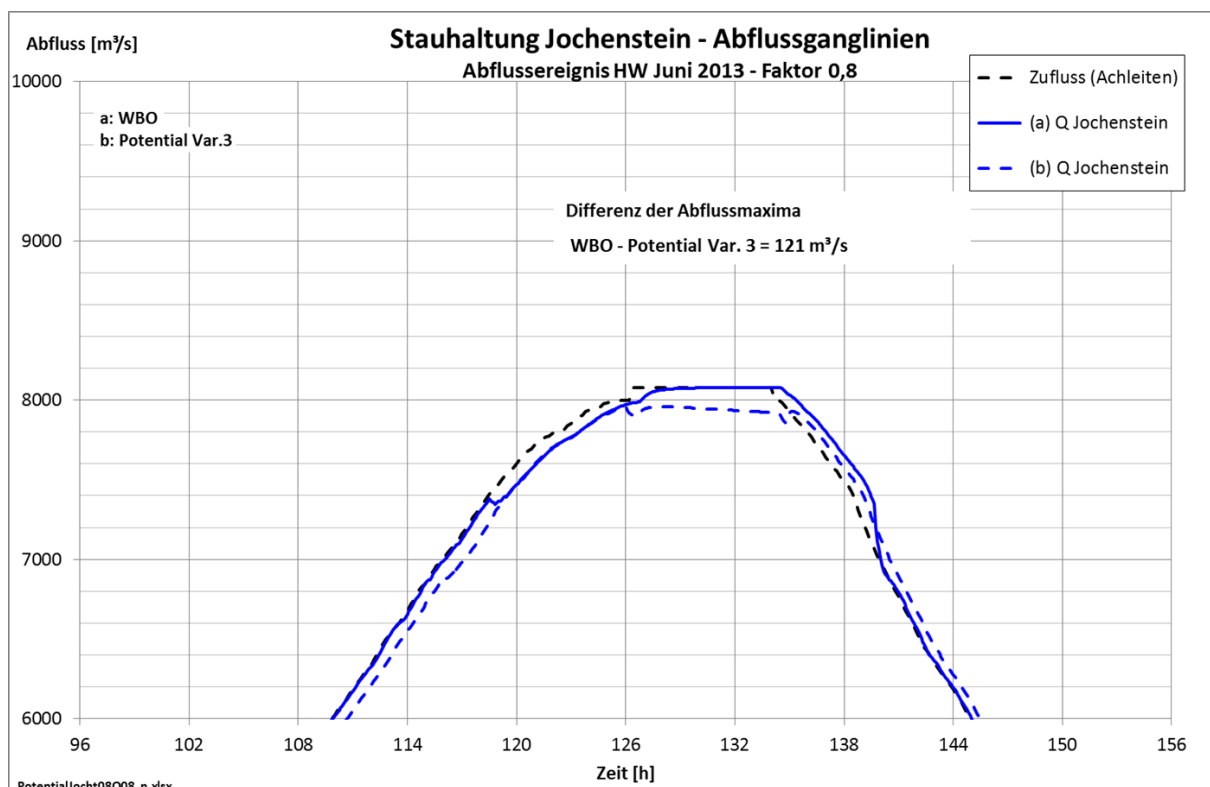


Abbildung 8.23: Detail der Abflussganglinien – Potentialanalyse Jochenstein

8.5 Fazit bezüglich des Optimierungspotentials

Die hier vorgestellten Simulationen zur Reduzierung des Hochwasser-Spitzenabflusses durch geeigneten Betrieb der Stauanlagen stellen erste theoretische Überlegungen zum Optimierungspotential dar.

Als technische und betriebliche Randbedingungen wurden die Aufrechterhaltung der Schifffahrt bis ca. $Q = 4500 \text{ m}^3/\text{s} \pm 10 \%$ sowie die technische Realisierbarkeit der Absenkung (Wehrkennlinien) berücksichtigt.

Die gezielte Anhebung des Oberwasserstandes an der Stauanlage Aschach während des Hochwasserscheitels führt v.a. im Bereich um den Pegel Schlögen zu einer Erhöhung der Wasserspiegellage. Nach den derzeit vorliegenden Informationen existieren in diesem Bereich nur einige wenige hochwassergefährdete Objekte.

Generell stellt der Hochwasserschutz im Stauraum Aschach ein Problem dar, da bereits bei Abflüssen im Bereich von $Q = 6000 \text{ m}^3/\text{s}$ auch bei starker Absenkung des Oberwasserstands Schäden auftreten. Bei weiterführenden Untersuchungen zum Optimierungspotential sollten die Möglichkeiten für lokalen Hochwasserschutz an den einzelnen betroffenen Objekten berücksichtigt werden.

Im Rahmen der vorliegenden Potentialstudie wurden die maximalen Wasserspiegellagen, die sich durch die vorgestellte Betriebsweise ergeben, mit denen, die sich bei Betrieb nach der aktuell gültigen WBO ergeben, verglichen. Die angegebenen Werte der Reduzierung des Scheitelabflusses stellen eine Relativbetrachtung zum Betrieb nach WBO dar.

Analog zu den in den Sensitivitätsuntersuchungen an Hand der mit dem Faktor 0,8 reduzierten Ganglinie aufgezeigten Szenarien wurden einzelne Szenarien für die Original-Ganglinie des Hochwassers 2013 und die mit Faktor 0,9 reduzierte Ganglinie berechnet. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Tabelle 4 zusammengefasst. Die Stauhaltungen Jochenstein und Aschach wurden in der vorliegenden Studie separat betrachtet, daher ist eine Summation der Zahlenwerte zur Abflussreduzierung nicht zulässig.

Tabelle 4: Theoretische Abflussreduzierung bei bekannter Zuflussganglinie

Ganglinie	Theoretische Reduzierung des Spitzenabflusses	
	ΔQ Aschach	ΔQ Jochenstein
HW 2002 ($Q_{\max} = 7400 \text{ m}^3/\text{s}$)	275 m^3/s (3,7 %)	nicht untersucht
HW 2013 * 0,8 ($Q_{\max} = 8.080 \text{ m}^3/\text{s}$)	200 – 250 m^3/s (2,4 – 3,1 %)	100 m^3/s (1,2 %)
HW 2013 * 0,9 ($Q_{\max} = 9.090 \text{ m}^3/\text{s}$)	150 – 200 m^3/s (1,7 – 2,2 %)	50 m^3/s (0,6 %)
HW 2013 ($Q_{\max} = 10.010 \text{ m}^3/\text{s}$)	< 100 m^3/s (< 1 %)	0 m^3/s

Es ist zu betonen, dass die hier vorgestellten Ergebnisse nur erste Überlegungen zu den Möglichkeiten der Abflussreduzierung durch einen geänderten Betrieb der Stauanlagen, d.h. zum Optimierungspotential, darstellen. Ferner wurde in dieser Studie mit einer vollständig bekannten Zuflussganglinie gearbeitet. Da in der Realität mit Vorhersagen aus den Messwerten der oberstrom gelegenen Stauanlagen gearbeitet werden muss, werden Sicherheitstoleranzen das Potential reduzieren.

Grundsätzlich ist in den Stauräumen Aschach und Jochenstein für Hochwasserereignisse im Bereich des HQ_{30} bis HQ_{100} ein theoretisches Potential in der Größenordnung von über 3 % vorhanden, sofern eine zuverlässige Vorhersage der Hochwasserganglinie für den Pegel Achleiten mit einem ausreichenden Zeithorizont zur Verfügung steht.

Um den Scheitelabfluss zu dämpfen, muss der Anstau bei Jochenstein und Aschach vor dem Erreichen des Scheitels beginnen. Die Festlegung des Zeitpunkts, zu dem der Anstau zu beginnen ist, stellt einen kritischen Punkt bei der Umsetzung dar. Aufgrund der geringen Laufzeiten ist zu diesem Zeitpunkt an den Messwerten des Pegels Achleiten noch nicht erkennbar, welches Abflussmaximum der Hochwasserscheitel haben wird. Daher ist eine zuverlässige Abflussvorhersage über mehrere Stunden für den Pegel Achleiten notwendig, um das Optimierungspotential nutzen zu können.

Die Möglichkeiten zur Vorhersage der Donauabflüsse in Oberösterreich auf Grundlage von Abflussmessdaten an Inn, Donau und Ilz sowie unter Einbeziehung der Hochwasservorhersage der LfU Bayern sind noch zu überprüfen. Eine länderübergreifende Zusammenarbeit ist für die messwertgestützte Hochwasservorhersage zwingend erforderlich.

Liegt ein System zur Abflussvorhersage vor, so können Kriterien für die Festlegung des Zeitpunkts des Wiederaufstaus untersucht werden. Ein denkbare Kriterium wäre nach derzeitigem Kenntnisstand z.B.: „Wenn an der Stauanlage Braunau-Simbach/Inn der Hochwasser-

scheitel gesichert vorüber ist (Unterwasserpegel signifikant gesunken), kann mit dem Anstau bei Jochenstein und Aschach begonnen werden.“

Eine wesentliche Prämisse bei der Umsetzung des Konzepts zur Hochwasserreduzierung durch das Optimierungspotential der WBOs muss es sein, die Sicherheit zu gewährleisten. Die zur Nutzung des Optimierungspotentials geänderte Betriebsstrategie der Stauanlagen darf auf keinen Fall zu einer Verschärfung der Hochwassersituation für die Anlieger oder Untertlieger führen. Vergleichsgrundlage hierfür ist der Betrieb nach der aktuellen WBO. In den zur Umsetzung erforderlichen eingehenden Untersuchungen ist daher insbesondere zu berücksichtigen, dass Abflussvorhersagen mit großen Unsicherheiten behaftet und im Extremfall falsch sein können. Die zuverlässige Vermeidung einer Abflussverstärkung wie in Abbildung 8.1 muss Vorrang haben gegenüber der maximalen Reduzierung des Maximalabflusses.

9 Zusammenfassung

Das Hochwasser vom Juni 2013 hat in Oberösterreich und insbesondere im Eferdinger Becken schwere Schäden verursacht. Die dem Hochwasser folgende Diskussion über die Betriebsweisen der Stauanlagen und den Hochwasserschutz warf diverse Fragen auf, die in vorliegendem Gutachten untersucht werden.

Morphologische Umlagerungsprozesse verändern fortwährend die Sohlgeometrie der Stauhaltungen. Das Gutachten analysiert den Einfluss dieser Veränderungen auf die Regelung der Stauanlagen gemäß WBO und damit auf das Abflussgeschehen im Hochwasserfall. Zudem wird untersucht, welche Auswirkungen die während des Hochwassers aufgetretenen Abweichungen des tatsächlichen Betriebs von den Vorschriften der WBO hatten. Die im Jahr 2008 geänderte WBO der Stauanlage Abwinden-Asten schreibt ein höheres Absenckziel gegenüber der bis dahin gültigen WBO vor. Es wird geklärt, ob diese Änderung einen Rückstau in das Eferdinger Becken verursacht. Eine theoretische Analyse widmet sich der Frage, ob durch ein geeignetes Stauraummanagement die Hochwasserspitze verringert werden könnte.

Zur Bearbeitung der genannten Fragestellungen war es erforderlich, ein eigenes 1D-HN-Modell der oberösterreichischen Donau vom Pegel Achleiten bis zur Stauanlage Wallsee-Mitterkirchen zu erstellen. Dieses basiert auf Querprofilen im Abstand von 200 m und bildet den Betrieb der Stauanlagen je nach Aufgabenstellung durch Vorgabe der Wasserstandsmesswerte oder durch vollständig implementierte Betriebsvorschriften der WBOs ab. Die Beschickung der Vorländer an den Überströmstrecken ist im Modell als Funktion des Donauwasserstands hinterlegt.

Das Nachrechnen des Hochwasserereignisses 2013 belegt durch den Vergleich der berechneten und gemessenen Wasserstände an den Pegelstellen die grundsätzliche Übereinstimmung des Modells mit der Natur und seine Eignung zur Beantwortung der vorliegenden Fragestellungen.

Für die Stauhaltungen Aschach, Ottensheim-Wilhering, Abwinden-Asten und Wallsee-Mitterkirchen wurden jeweils drei Geometriezustände aus verschiedenen Sohlpeilungen modelliert. Diese repräsentieren exemplarisch die in der Donau auftretenden morphologischen Veränderungen. Damit können grundsätzliche Aussagen zum Einfluss der Sohlgeometrie auf das Abflussgeschehen beim Betrieb der Stauanlagen nach WBO getroffen werden.

Die Berechnungen zeigen, dass die durch morphologische Umlagerungsprozesse veränderten Sohlagen der Donau direkte Auswirkungen auf die Wasserstände haben. An den umströmten Stauanlagen Ottensheim-Wilhering, Abwinden-Asten und Wallsee-Mitterkirchen haben diese veränderten Wasserstände Einfluss auf den Abfluss in die Vorländer. Der Gesamtabfluss, der an die Unterlieger weitergegeben wird, wird nach den vorliegenden Berechnungen kaum beeinflusst. Für genauere Aussagen zur Retentionswirkung der Vorländer sind Berechnungen mit einem 2D-HN-Modell erforderlich. An der nicht umströmten Stauanlage Aschach besteht kein Einfluss der Sohlgeometrie auf den Abflussscheitel, so dass auch eine deutliche Verlandung des Stauraums Aschach sich nicht nachteilig für die Unterlieger auswirkt.

Des Weiteren wurden die Auswirkungen der beim Hochwasser 2013 aufgetretenen Abweichungen von den Vorschriften der WBOs untersucht. Der frühzeitige Wiederanstau an der Stauanlage Aschach hatte keine nachteilige Folgen auf das Abflussgeschehen. Die Überschreitung der zulässigen Absenkgeschwindigkeit an der Stauanlage Wallsee-Mitterkirchen hat sich nur in dem kurzen Donauabschnitt zwischen Stauanlage und der Einmündung der Vorlandabflüsse durch das Machland ausgewirkt und ist somit für die Unterlieger unterstrom des Machlands nicht von Bedeutung. An der Stauanlage Ottensheim-Wilhering lag der Oberwasserstand während des Hochwassers zeitweise über dem Absenkziel. Wie die eigenen Berechnungen sowie ergänzende Simulationen der Fa. Pöyry mit deren 2D-HN-Modell zeigen, hatte dies jedoch auf die Wasserstände im Eferdinger Becken nur minimale Auswirkungen. Die Abweichung von der WBO an der Stauanlage Ottensheim-Wilhering ist somit nicht für die Hochwasserkatastrophe 2013 im Eferdinger Becken verantwortlich zu machen.

An der Stauanlage Abwinden-Asten wurde im Jahr 2008 die WBO geändert. Nach der vorherigen WBO von 1978 hätten sich mit zunehmendem Abfluss zunächst Wasserstände zwischen ca. 249,2 m ü. A. und 249,9 m ü. A. ergeben. Diese wären während des Hochwasserscheitels mit $Q = 11\,000\text{ m}^3/\text{s}$ trotz Freigabe aller Durchflussöffnungen auf über 250,0 m ü. A. gestiegen. Während des Hochwasserereignisses 2013 wurde der Oberwasserstand gemäß der WBO von 2008 auf dem Absenkziel von 250,50 m ü. A. gehalten. Die Überprüfung der Auswirkungen der somit gegenüber der Regelung nach WBO 1978 höheren Oberwasserstände an der Stauanlage Abwinden-Asten ergab, dass diese keinen Rückstau in das 26 km oberstrom gelegene Eferdinger Becken verursachen.

Der Vorschlag der Marktgemeinde Feldkirchen zur Änderung der WBO Ottensheim-Wilhering wurde in das 1D-HN-Modell implementiert und seine Auswirkungen beim Hochwasser 2013 mit denen der aktuell gültigen WBO verglichen. Das angestrebte Halten eines niedrigen Wasserstandes am Wendepiegel Christl resp. eines niedrigen Oberwasserstands an der Staustufe Ottenheim-Wilhering ist während des Hochwasserscheitels nicht oder nur bedingt möglich, was auf die hydraulische Situation an der Wehranlage selbst (Einstau durch das Unterwasser, Geometrie) zurückzuführen ist. Daher ergibt sich bei diesem Vorschlag eine nur etwas verringerte maximale Abflussmenge in das Eferdinger Becken. In der Summe fließen immer noch ca. $Q = 1700\text{ m}^3/\text{s}$ in das Eferdinger Becken (Nord und Süd). Zur Bestimmung der genauen Abflussmengen und der Auswirkungen auf die Wasserstände in den Vorländern wären weiterführende Simulationen mit einem 2D-HN-Modell erforderlich.

Zu den Möglichkeiten der Reduzierung des Scheitelabflusses durch geeigneten Betrieb der Stauanlagen wurden grundlegende Analysen durchgeführt. Hierbei handelt es sich um theoretische Untersuchungen, da die Zuflussganglinie als bekannt vorausgesetzt wurde, was in der Realität nicht der Fall ist.

Bei Extremereignissen wie dem Hochwasser 2013 mit $Q \approx 10\,000\text{ m}^3/\text{s}$ besteht kein Potential zur Reduzierung des Scheitelabflusses. Ein gewisses Potential besteht in den Stauräumen Aschach und Jochenstein bei bekannter Zuflussganglinie für Hochwasserereignisse in der Größenordnung bis $Q \approx 9000\text{ m}^3/\text{s}$ (HQ_{100}). Je geringer der Abfluss, desto größer ist das theoretisch vorhandene Potential, den Abflussscheitel zu verringern. Bei Maximalabflüssen um

$Q = 8080 \text{ m}^3/\text{s}$, statistisch gesehen zwischen HQ_{30} und HQ_{50} , kann die Abflussspitze theoretisch um ca. $\Delta Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ (1,2%) bei Jochenstein und $\Delta Q = 200 - 250 \text{ m}^3/\text{s}$ (2,4 – 3,1%) bei Aschach verringert werden, wobei aufgrund der separaten Betrachtung der beiden Stauanlagen in den vorgestellten Untersuchungen eine Summation dieser Werte nicht zulässig ist.

In den vorgestellten theoretischen Untersuchungen war die Zuflussganglinie vollständig bekannt, während in der Realität stets Zuflussvorhersagen aus Messwerten an oberstrom gelegenen Stauanlagen und Pegeln mit den dementsprechenden Unsicherheiten verwendet werden müssen. Die Möglichkeiten zur Vorhersage der Donauabflüsse in Oberösterreich sind noch zu überprüfen, da es bei der Umsetzung von entscheidender Bedeutung ist, wie präzise die Entwicklung des Abflusses anhand von oberstrom erfassten Messgrößen vorhergesagt werden kann.

Eine wesentliche Prämisse bei der Umsetzung eines Konzepts zur Hochwasserreduzierung muss die Gewährleistung der Sicherheit sein. Selbst bei unsicheren Vorhersagen darf durch den geänderten Betrieb keine Verschlechterung eintreten. Hierzu sind umfangreichere Untersuchungen notwendig.

Kassel, Juli 2015



Prof. Dr.-Ing. Stephan Theobald

Anhang: Zusätzliche Abbildungen

Abb. A 1: Vorlanddotation an der Überströmstrecke Eferdinger Becken Süd.....	II
Abb. A 2: Vorlanddotation an der Überströmstrecke Steyregg.....	II
Abb. A 3: Vorlanddotation an der Überströmstrecke Machland Nord.....	III
Abb. A 4: Vorlanddotation an der Überströmstrecke Machland Süd.....	III
Abb. A 5: Abflussweitergabe Eferdinger Becken Nord (beschleunigte Ganglinie).....	IV
Abb. A 6: Abflussweitergabe Eferdinger Becken Süd	IV
Abb. A 7: Abflussweitergabe Eferdinger Becken Süd (beschleunigte Ganglinie).....	V
Abb. A 8: Abflussweitergabe Steyregg	V

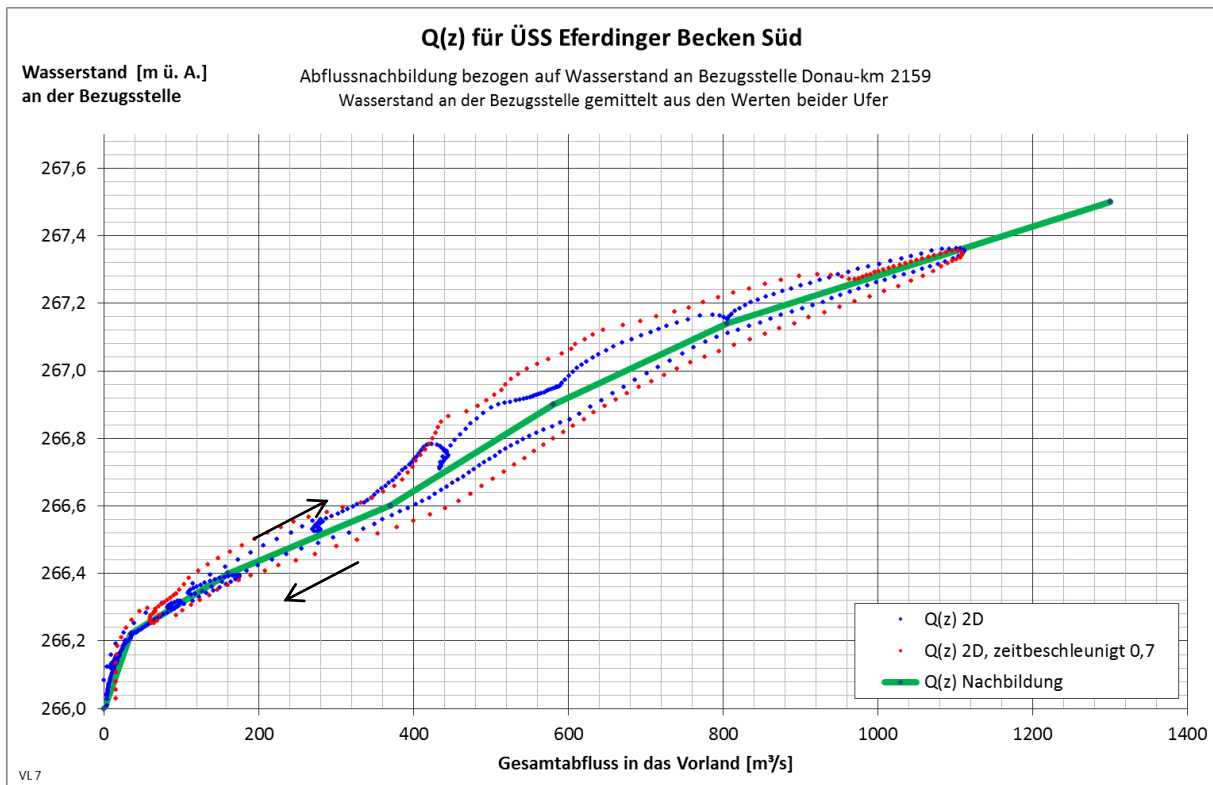


Abb. A 1: Vorlanddotatation an der Überströmstrecke Eferdinger Becken Süd

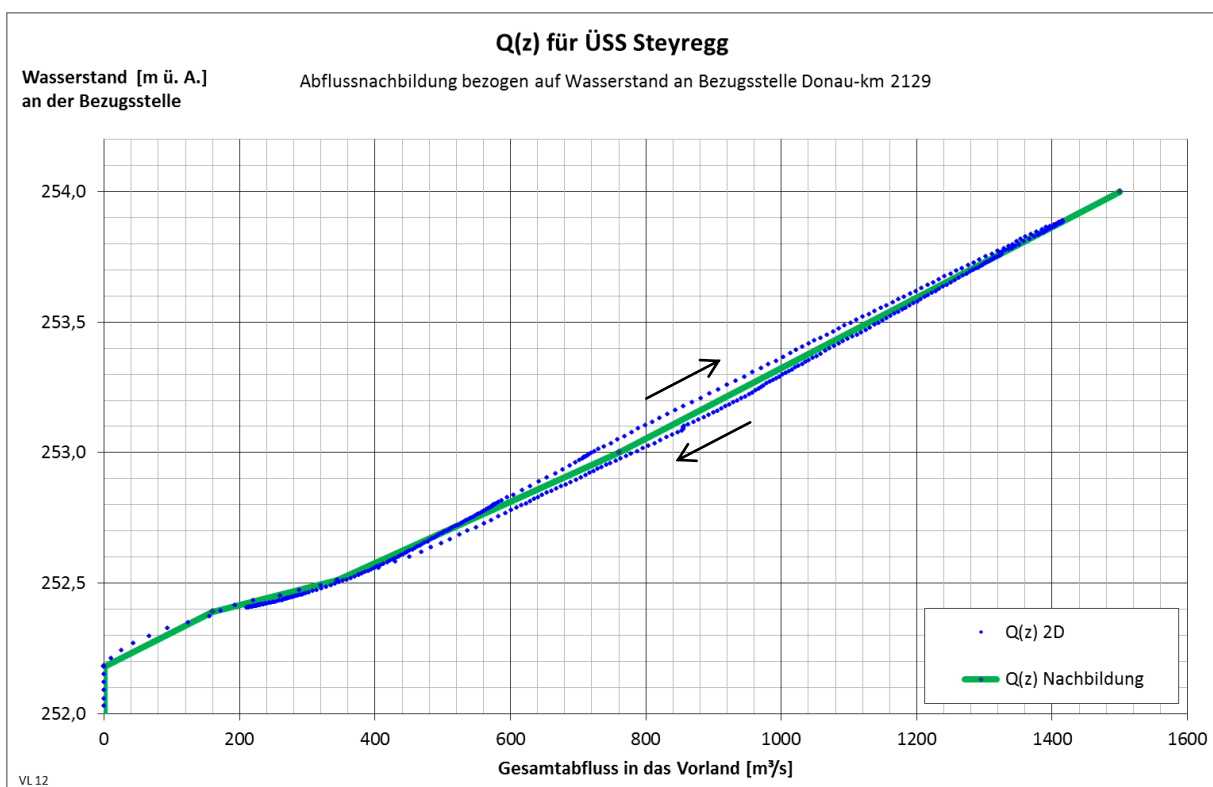


Abb. A 2: Vorlanddotatation an der Überströmstrecke Steyregg

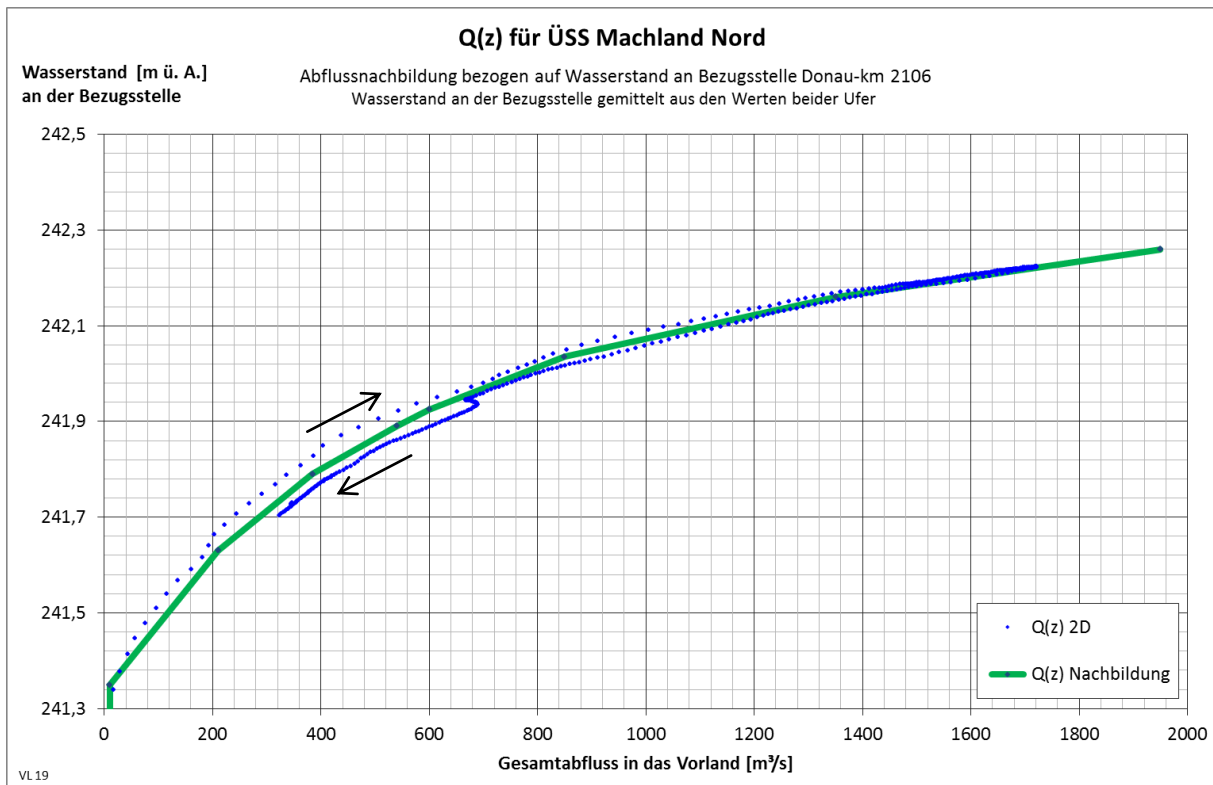


Abb. A 3: Vorlanddotation an der Überströmstrecke Machland Nord

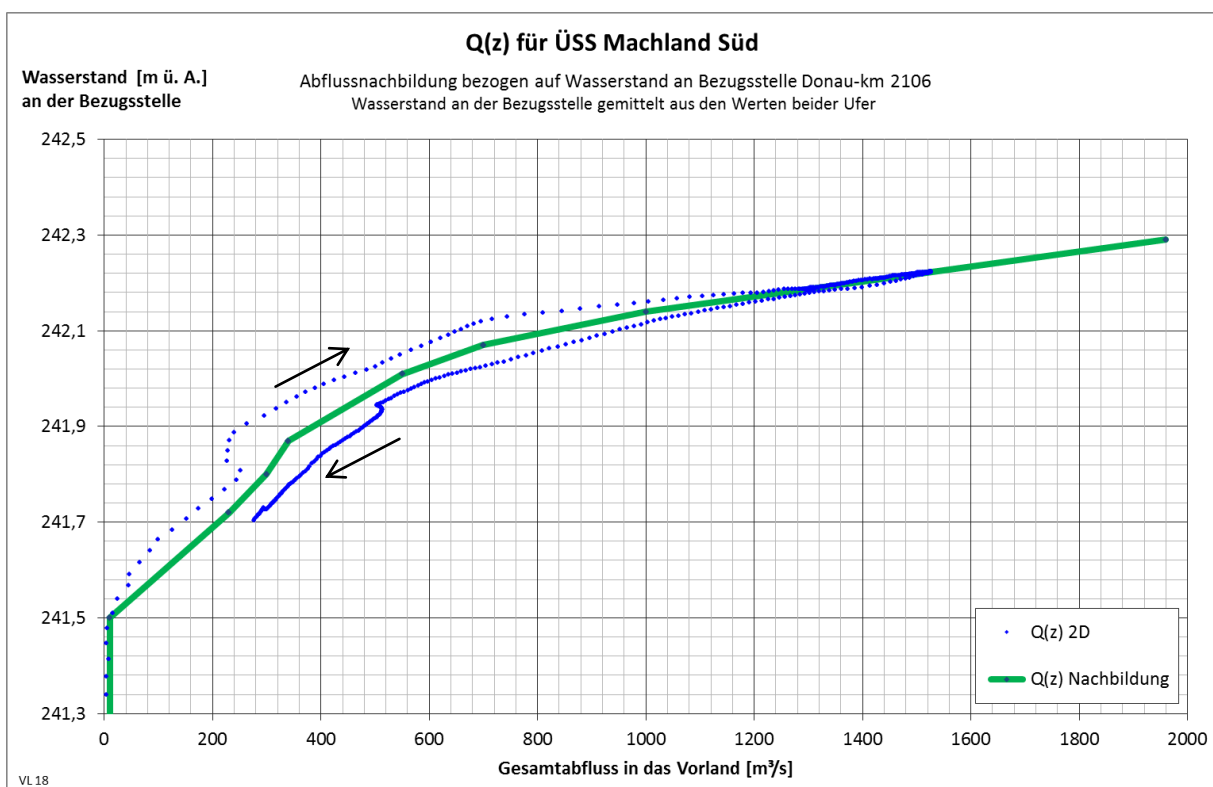


Abb. A 4: Vorlanddotation an der Überströmstrecke Machland Süd

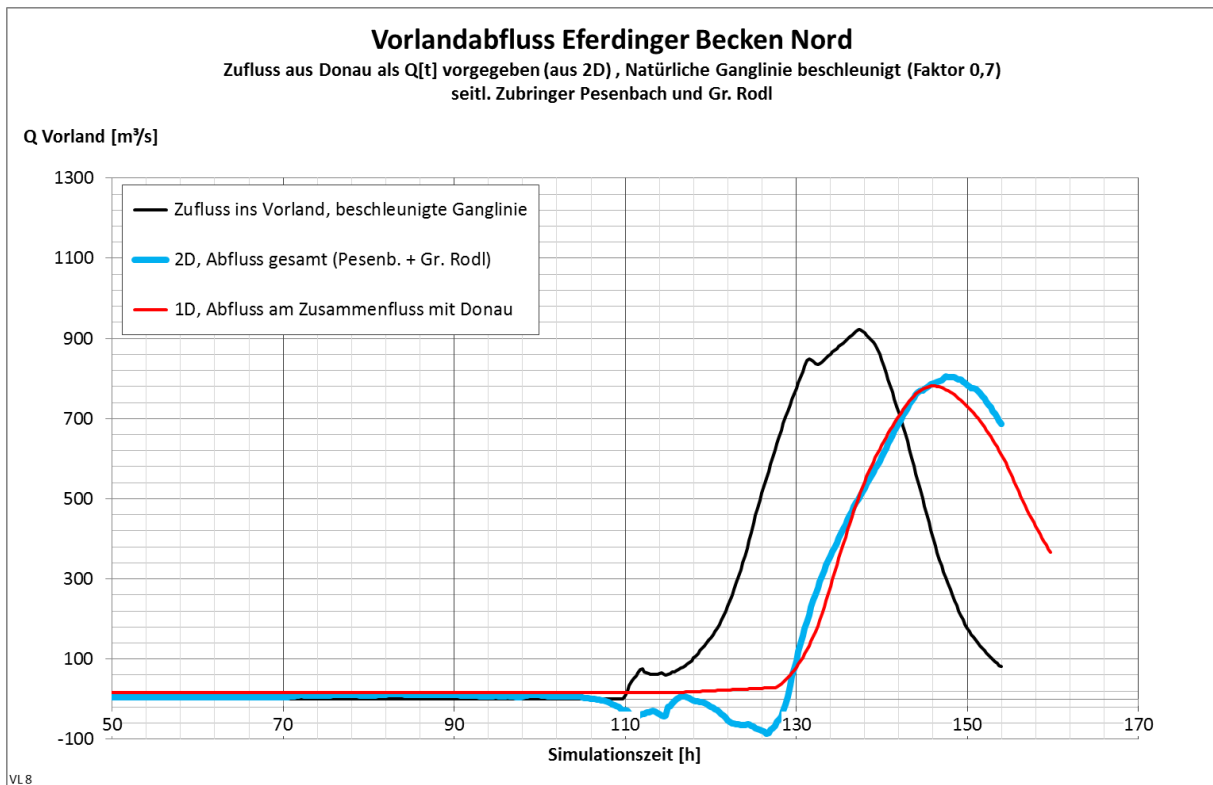


Abb. A 5: Abflussweitergabe Eferdinger Becken Nord (beschleunigte Ganglinie)

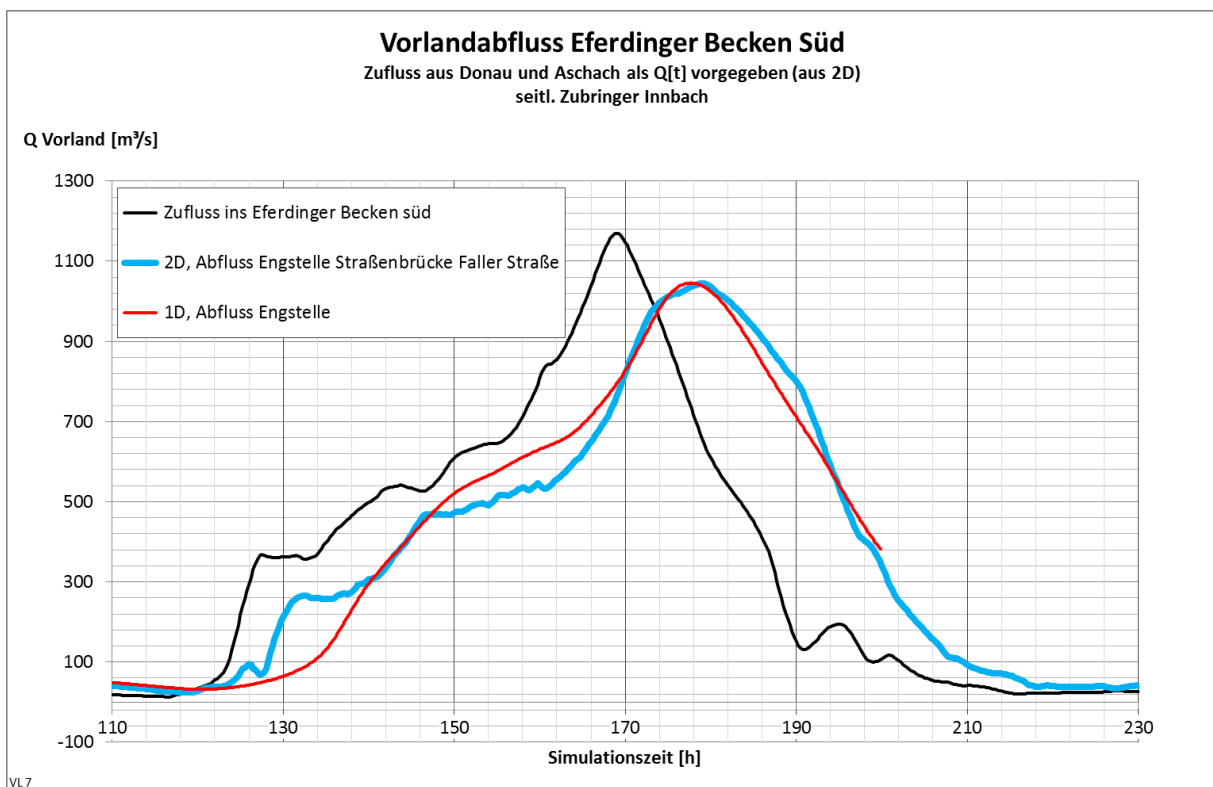


Abb. A 6: Abflussweitergabe Eferdinger Becken Süd

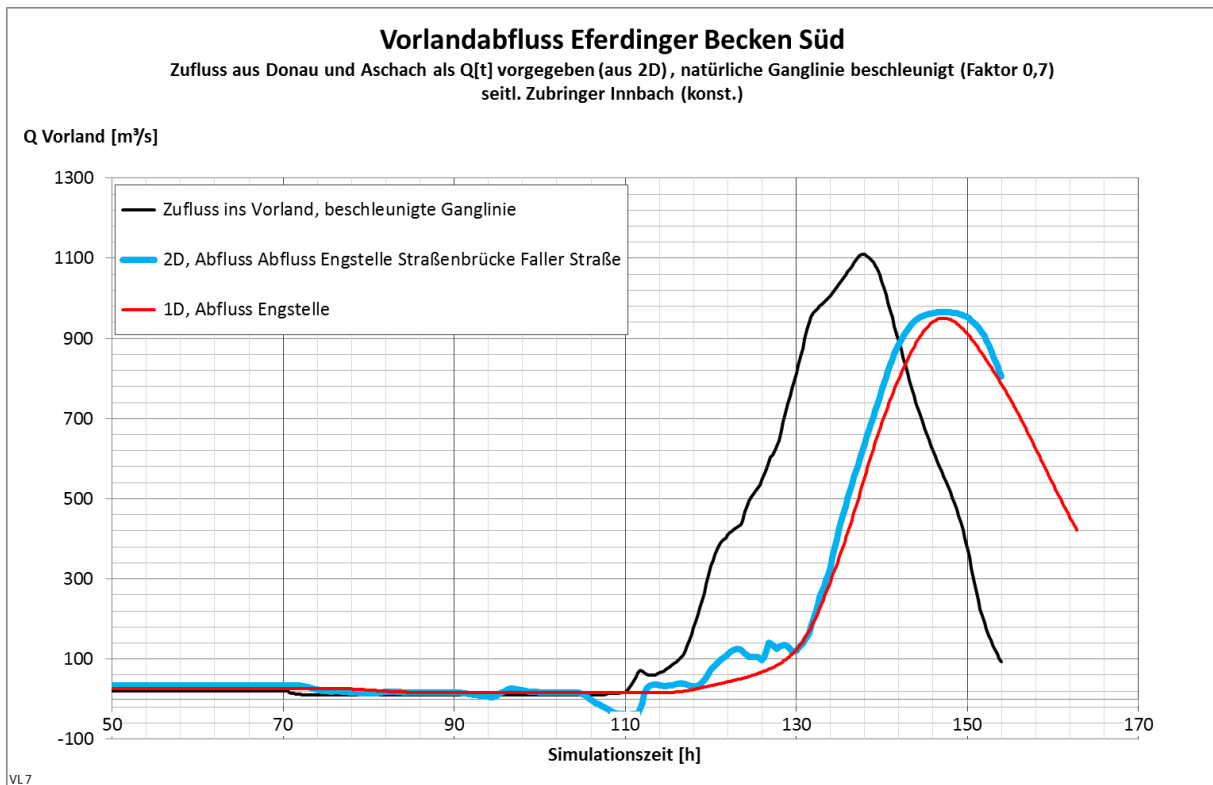


Abb. A 7: Abflussweitergabe Eferdinger Becken Süd (beschleunigte Ganglinie)

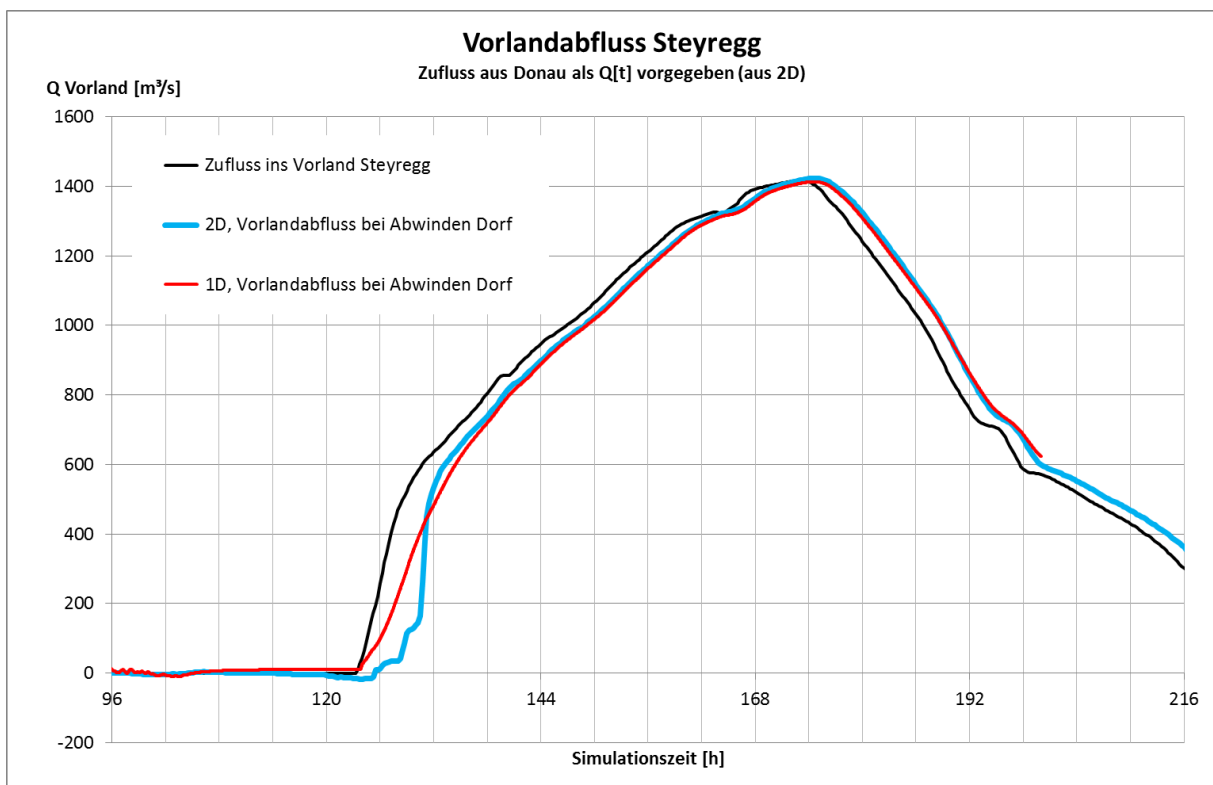


Abb. A 8: Abflussweitergabe Steyregg