

Unterlage 05.04 - Grundwassermodellierung

Bericht 05.04.03.01 - Teil 3 - Einsatz des Grundwassermodells

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung und Aufgabenstellung	1
2	Beschreibung des Planzustands	2
2.1	Modellgebiet und Poldereinteilung	2
3	Oberflächenwassermodellierung.....	3
3.1	Eindimensionale Oberflächenwassermodellierung	4
4	Durchführung von Grundwassersimulationen für Ist- und Planzustand	7
4.1	Simulationen für mittlere Grundwasserverhältnisse	7
4.1.1	Simulationen für mittlere Verhältnisse ohne Frühjahrsflutung.....	8
4.1.2	Simulationen für mittlere Verhältnisse mit Frühjahrsflutung	8
4.2	Simulationen für Hochwasserereignisse	11
4.2.1	Simulationen für HW2011-HQ30	11
4.2.2	Simulationen für HW2011-HQ100	16
4.2.3	Simulationen für HW2011-HQ200	20
4.2.4	Simulationen für HW1988-HQ30	24
4.2.5	Simulationen für HW2002-HQ30	28
4.2.6	Simulationen für HW2013-HQreal	32
5	Ergänzende Sensitivitätsanalyse.....	36
6	Zusammenfassende Bewertung	37

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Schematische Darstellung des eindimensionalen Oberflächenwassermodells	5
Abbildung 2:	Abflussganglinien Donau und Kößnach für Simulation HW2011-HQ30.....	11
Abbildung 3:	Wasserstands- und Abflussganglinien der Poldergebiete für Simulation HW2011- HQ30 Ist- und Planzustand.....	13
Abbildung 4:	Abflussganglinien Donau und Kößnach für Simulation HW2011-HQ100.....	16
Abbildung 5:	Wasserstands- und Abflussganglinien der Poldergebiete für Simulation HW2011- HQ100 Ist- und Planzustand.....	18
Abbildung 6:	Abflussganglinien Donau und Kößnach für Simulation HW2011-HQ200.....	20
Abbildung 7:	Wasserstands- und Abflussganglinien der Poldergebiete für Simulation HW2011- HQ200 Ist- und Planzustand.....	22
Abbildung 8:	Abflussganglinien Donau und Kößnach für Simulation HW1988-HQ30.....	24
Abbildung 9:	Wasserstands- und Abflussganglinien der Poldergebiete für Simulation HW1988- HQ30 Ist- und Planzustand.....	26
Abbildung 10:	Abflussganglinien Donau und Kößnach für Simulation HW2002-HQ30.....	28
Abbildung 11:	Wasserstands- und Abflussganglinien der Poldergebiete für Simulation HW2002- HQ30 Ist- und Planzustand.....	30
Abbildung 12:	Abflussganglinien Donau und Kößnach für Simulation HW2013-HQreal.....	32
Abbildung 13:	Wasserstands- und Abflussganglinien der Poldergebiete für Simulation HW2013- HQreal Ist- und Planzustand.....	34

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht der durchgeführten Grundwassersimulationen für Ist- und Planzustand	7
Tabelle 2:	Wasserbilanz - Austausch Oberflächenwasser mit Grundwasser für Simulationen Frühjahrsflutung 2015 Ist- und Planzustand.....	10
Tabelle 3:	Wasserbilanz - Austausch Oberflächenwasser mit Grundwasser für Simulationen HW2011-HQ30 Ist- und Planzustand und FF2015 Ist-Zustand.....	15
Tabelle 4:	Wasserbilanz - Austausch Oberflächenwasser mit Grundwasser für Simulationen HW2011-HQ100 Ist- und Planzustand	19
Tabelle 5:	Wasserbilanz - Austausch Oberflächenwasser mit Grundwasser für Simulationen HW2011-HQ200 Ist- und Planzustand	23
Tabelle 6:	Wasserbilanz - Austausch Oberflächenwasser mit Grundwasser für Simulationen HW1988-HQ30 Ist- und Planzustand und FF2015 Ist-Zustand.....	27
Tabelle 7:	Wasserbilanz - Austausch Oberflächenwasser mit Grundwasser für Simulationen HW2002-HQ30 Ist- und Planzustand und FF2015 Ist-Zustand.....	31
Tabelle 8:	Wasserbilanz - Austausch Oberflächenwasser mit Grundwasser für Simulationen HW2013-HQreal Ist- und Planzustand	35

Tabelle 9:	Aussickerungsraten aus Sensitivitätsanalyse für Abhilfemaßnahme an Pittricher Rinne und Neudaugraben	36
------------	--	----

Anlagen

Anlage 01-1	Mittlere Verhältnisse (WWJ 1996/2005) - maximale Grundwasserstände Ist-Zustand ohne Frühjahrsflutung
Anlage 01-2	Mittlere Verhältnisse (WWJ 1996/2005) - maximale Grundwasserstände Plan-Zustand ohne Frühjahrsflutung
Anlage 01-3	Mittlere Verhältnisse (WWJ 1996/2005) - Grundwasserspiegeldifferenzen Plan-Ist ohne Frühjahrsflutung
Anlage 01-4	Mittlere Verhältnisse (WWJ 1996/2005) - maximale Grundwasserstände Ist-Zustand mit Frühjahrsflutung
Anlage 01-5	Mittlere Verhältnisse (WWJ 1996/2005) - maximale Grundwasserstände Plan-Zustand mit Frühjahrsflutung
Anlage 01-6	Mittlere Verhältnisse (WWJ 1996/2005) - Grundwasserspiegeldifferenzen Plan-Ist mit Frühjahrsflutung
Anlage 02-1	HW 2011 - HQ30 - maximale Grundwasserstände Ist-Zustand (aus HQ30 und Frühjahrsflutung 2015)
Anlage 02-2	HW 2011 - HQ30 - maximale Grundwasserstände
Anlage 02-3	HW 2011 - HQ30 - Grundwasserspiegeldifferenzen Plan-Ist
Anlage 03-1	HW 2011 - HQ100 - maximale Grundwasserstände Ist-Zustand (aus HQ100 und Frühjahrsflutung 2015)
Anlage 03-2	HW 2011 - HQ100 - maximale Grundwasserstände Plan-Zustand
Anlage 03-3	HW 2011 - HQ100 - Grundwasserspiegeldifferenzen Plan-Ist
Anlage 04-1	HW 2011 - HQ200 - maximale Grundwasserstände Ist-Zustand (aus HQ200 und Frühjahrsflutung 2015)
Anlage 04-2	HW 2011 - HQ200 - maximale Grundwasserstände Plan-Zustand
Anlage 04-3	HW 2011 - HQ200 - Grundwasserspiegeldifferenzen Plan-Ist
Anlage 05-1	HW 1988 - HQ30 - maximale Grundwasserstände Ist-Zustand (aus HQ30 und Frühjahrsflutung 2015)
Anlage 05-2	HW 1988 - HQ30 - maximale Grundwasserstände Plan-Zustand
Anlage 05-3	HW 1988 - HQ30 - Grundwasserspiegeldifferenzen Plan-Ist
Anlage 06-1	HW 2002 - HQ30 - maximale Grundwasserstände Ist-Zustand (aus HQ30 und Frühjahrsflutung 2015)
Anlage 06-2	HW 2002 - HQ30 - maximale Grundwasserstände Plan-Zustand
Anlage 06-3	HW 2002 - HQ30 - Grundwasserspiegeldifferenzen Plan-Ist
Anlage 07-1	HW 2013 - HQreal - maximale Grundwasserstände Ist-Zustand (aus HQreal und Frühjahrsflutung 2015)

- Anlage 07-2 HW 2013 - HQreal - maximale Grundwasserstände Plan-Zustand
Anlage 07-3 HW 2013 - HQreal - Grundwasserspiegeldifferenzen Plan-Ist

Anhänge

- Anhang 1 Modellrelevante Strukturen und Objekte des Ist-Zustands
Anhang 2 Modellrelevante Strukturen und Objekte des Planzustands
Anhang 3 Überflutungsflächen aus Oberflächenwassermodellierung für Simulation HW2011-HQ30 Planzustand
Anhang 4 Randbedingungen Grundwassermodell für Simulation HW2011-HQ30 Planzustand
Anhang 5 Entwässerungsgräben Polder Kößnach - Leistungsfähigkeit der Gräben und Aussickerungsraten für HW2011-HQ30 Ist- und Planzustand und FF2015 Ist-Zustand
Anhang 6 Abhilfemaßnahme Pittricher Rinne und Neudaugraben (Kiesbohrungen), HW2011-HQ30 Planzustand, Sensitivität (Leakagekoeffizient): Faktor 5, Berechnete Grundwasserspiegeldifferenzen
Anhang 7 Abhilfemaßnahme Pittricher Rinne und Neudaugraben (Kiesbohrungen), HW2011-HQ30 Planzustand, Sensitivität (Leakagekoeffizient): Faktor 0,2, Berechnete Grundwasserspiegeldifferenzen

Verwendete Unterlagen

- [1] Hochwasserrückhaltung Oberauer Schleife, Grundwassermodell Teil 1: Hydrogeologisches Modell, BjörnSEN Beratende Ingenieure, Niederlassung Augsburg, Februar 2011 (Unterlage 05-04-01)
[2] Hochwasserrückhaltung Oberauer Schleife, Grundwassermodell Teil 2: Aufbau Grundwassermodell, stationäre und instationäre Anpassung, BjörnSEN Beratende Ingenieure, Niederlassung Augsburg, Oktober 2011
[3] Hochwasserrückhaltung Oberauer Schleife, Grundwassermodell Teil 3: Einsatz des Grundwassermodells, Auswirkungen auf die Grundwasserstände, BjörnSEN Beratende Ingenieure, Niederlassung Augsburg, März 2012
[4] Hochwasserrückhaltung Oberauer Schleife, Grundwassermodell Teil 4: Beweissicherungsprogramm, BjörnSEN Beratende Ingenieure, Niederlassung Augsburg, Januar 2013
[5] Hochwasserrückhaltung Oberauer Schleife, Grundwassermodell -Sondermessnetz Oberauer Schleife- Auswertung und Bewertung ergänzender Erkundungen, BjörnSEN Beratende Ingenieure, Niederlassung Augsburg, Oktober 2014
[6] Messdaten Messkampagne 2015 „Sondermessnetz Oberauer Schleife“, WWA Deggendorf
[7] Grundwassersimulation Frühjahrsflutung 2015, Ingenieurgemeinschaft Lahmeyer Hydroprojekt - Lahmeyer München - Büro Prof. Kagerer, Februar 2016

- [8] Entscheidungsvorlage zur Fortführung der Planung „Hochwasserrückhaltung Oberauer Schleife“, Ingenieurgemeinschaft Lahmeyer Hydroprojekt - Lahmeyer München - Büro Prof. Kagerer, September 2016
- [9] Hochwasserrückhaltung Oberauer Schleife, Grundwassermodell - Neukalibrierung MODFLOW-Modell, Ingenieurgemeinschaft Lahmeyer Hydroprojekt - Lahmeyer München - Büro Prof. Kagerer, Januar 2017
- [10] Erstellung und Einsatz des FE-Grundwassermodells, Ingenieurgemeinschaft Lahmeyer Hydroprojekt - Lahmeyer München - Büro Prof. Kagerer, September 2017 (Fortführung in Unterlage 05-04-02)
- [11] Hochwasserrückhaltung Oberauer Schleife, Gesamtbericht zum Vorentwurf, Ingenieurgemeinschaft Lahmeyer Hydroprojekt - Lahmeyer München - Büro Prof. Kagerer, Dezember 2018
- [12] Hochwasserrückhaltung Oberauer Schleife, Oberflächenwassermodellierung, Ingenieurgemeinschaft Lahmeyer Hydroprojekt - Lahmeyer München - Büro Prof. Kagerer, Dezember 2020
- [13] Hochwasserrückhaltung Oberauer Schleife, Gesamtbericht zum Entwurf, Ingenieurgemeinschaft Lahmeyer Hydroprojekt - Lahmeyer München - Büro Prof. Kagerer, Stand 12/2020

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Die geplante Hochwasserrückhaltung (HWR) Oberauer Schleife in Form eines gesteuerten Flutpolders hat direkte Auswirkungen auf die Grundwasserverhältnisse. Diese wurden im Rahmen der Planung des Vorhabens mittels numerischer Grundwassermodellierung untersucht.

Ein Grundwassermodell wurde bereits im Rahmen des Raumordnungsverfahrens (ROV) aufgestellt und anhand von umfangreichen Daten und Informationen kalibriert [2]. Im Zuge einer umfassenden Messkampagne zur Frühjahrsflutung des Jahres 2015 wurde das Grundwassermodell neukalibriert [9]. Des Weiteren wurden mit dem Modell Simulationen für neue Planungsvarianten [8] durchgeführt, um erste Erkenntnisse über die Auswirkungen der einzelnen Varianten auf die Grundwasserverhältnisse zu gewinnen.

Beim Grundwassermodell des ROV handelt es sich um ein zweidimensionales ebenes Finite-Differenzen-Modell auf der Basis des Programmsystems MODFLOW. Bei diesem Modellansatz lassen sich krummlinige Verläufe von modellrelevanten Strukturen wie Gewässer und Deiche vom orthogonalen MODFLOW-Modellgitter nur näherungsweise erfassen. Um eine genauere Abbildung der modellrelevanten Gebietsstrukturen zu ermöglichen, wurde in Absprache mit dem Auftraggeber das vorhandene Grundwassermodell in ein Finite-Elemente-Grundwassermodell umgewandelt. Die flexiblere räumliche Diskretisierung eines Finite-Elemente-Modells ermöglicht es, derartige Strukturen präzise im Modell abzubilden. Die Überführung des MODFLOW-Grundwassermodells in ein FE-Modell auf Basis des Programmsystems FEFLOW ist in [10] bzw. in Unterlage 05-04-02 - Teil 2 Aufbau und Anpassung des Grundwassermodells beschrieben.

Im März 2017 beschloss das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz auf der Grundlage der Entscheidungsvorlage [8], dass die Hochwasserrückhaltung Oberauer Schleife auf Basis der Planungsvariante „Alternative 3“ fortgesetzt werden soll. Darauffolgend wurde diese Planungsvariante mit dem neu erstellten FEFLOW-Modell untersucht und die Ergebnisse der Modelluntersuchung wurden in einem Bericht [10] bzw. in Unterlage 05-04-02 - Teil 2 Aufbau und Anpassung des Grundwassermodells dokumentiert.

Im weiteren Verlauf der Planung ergaben sich Änderungen und Ergänzungen zu der Planungsvariante „Alternative 3“, so dass diese entsprechend verändert und angepasst werden musste. Anschließend wurde die geänderte Planungsvariante als „favorisierte Planung“ bezeichnet und abschließend als endgültige Planung festgelegt.

Nach Einarbeitung der favorisierten Planungsvariante in das Grundwassermodell wurden Grundwassersimulationen sowohl für den Ist- als auch für Planzustand für unterschiedliche Abflusskonfigurationen der Donau und der Kößnach durchgeführt. Aus dem Vergleich der Modellergebnisse für den Ist- und Planzustand erfolgte eine Bewertung und Beurteilung der Auswirkungen der geplanten Hochwasserrückhaltemaßnahme auf die Grundwasserverhältnisse.

Die Arbeitsschritte und Ergebnisse der oben genannten Grundwassermodelluntersuchung sind im vorliegenden Erläuterungsbericht Teil 3 beschrieben und erläutert. Somit stellt dieser Bericht die Fortsetzung und Weiterentwicklung der Grundwassermodellierung für das geplante Vorhaben Hochwasserrückhaltung Oberauer Schleife dar. Die vorangegangenen Untersuchungen zum Grundwassermodell Oberauer Schleife sind in den Referenzen [1] bis [10] dokumentiert.

2 Beschreibung des Planzustands

Grundlage für die Modellierung der Grundwasserströmung im Planzustand bildet der Entwurf für die geplante Hochwasserrückhaltung Oberauer Schleife [13]. Da die Unterlagen zur Grundwassermodelluntersuchung Bestandteil der Gesamtunterlage zum Entwurf sind, kann eine ausführliche Beschreibung und Erläuterung dem Gesamtbericht des Entwurfes in Unterlage 01.01 sowie den zugehörigen Plänen in Unterlage 02 bis 04 entnommen werden. Im vorliegenden Bericht wird nur auf die Bestandteile der festgelegten Planung eingegangen, die für die Grundwassermodellierung relevant sind.

2.1 Modellgebiet und Poldereinteilung

Das Modellgebiet des Planzustands ist mit dem Modellgebiet des Ist-Zustands identisch. Die modellrelevante Gebietsstruktur ist in den Berichten der vorangegangenen Grundwassermodelluntersuchungen (Referenzen [7], [8], [9] und [10] bzw. Unterlage 05-04-02 - Teil 2 Aufbau und Anpassung des Grundwassermodells) ausführlich beschrieben. Auf eine Wiederholung der Modellgebietsbeschreibung wird daher hier verzichtet. Stattdessen werden nachfolgend die Einzelheiten des Planzustands beschrieben, die für die Modellierung der Grundwasserströmung relevant sind. Eine Übersicht der modellrelevanten Informationen für den Ist- und Planzustand zeigen die Lagepläne in den Anhängen 1 und 2. Im Lageplan Anhang 2 ist die Einteilung der Poldergebiete für den Planzustand dargestellt.

Für den Planzustand ergeben sich folgende modellrelevante Veränderungen gegenüber dem Ist-Zustand:

- Die Grenze zwischen dem Poldergebiet Oberauer Schleife (obere und untere Schleife) und dem Poldergebiet Oberau wurde geringfügig verschoben. Der Bereich „Hagen“ des Polders Oberau wird infolge Schlitzung des ehemaligen rechten Donaudeiches künftig in die Überflutungsfläche der oberen Schleife einbezogen. Dadurch kommt es zu einer Vergrößerung der Fläche des Polders Oberauer Schleife von 320 ha auf 344 ha. Entsprechend kleiner fällt die Fläche des Polders Oberau aus (Flächenverkleinerung von 160 ha auf 136 ha). Zur Begrenzung der Überflutungsfläche bei der jährlichen Frühjahrsflutung ist im Bereich „Hagen“ entlang des Breitenfelder Grabens eine Geländeverwallung vorgesehen.
- Der vorhandene ehemalige linke Donaudeich entlang der nördlichen Grenze des Polders Obere Oberauer Schleife zum Polder Kößnach (Deichabschnitt 1) und der vorhandene ehemalige linke Donaudeich/ bestehender rechter Kößnachdeich entlang der östlichen Grenze zum Kößnach-Ableiter werden mittels Spundwand zu Flutpolderdeichen (Deichabschnitt 2) ausgebaut. Im Deichabschnitt 2 wird die Spundwand ins Tertiär eingebunden, so dass der Flutpolderdeich in diesem Abschnitt vollständig abgedichtet wird. Im Deichabschnitt 1 wird die Tiefe der Spundwand geringer als die Mächtigkeit des Grundwasserleiters eingebaut. Dadurch kann das Grundwasser im unteren Bereich des Grundwasserleiters ungehindert durchfließen.
- Im Polder Oberau werden zum Schutz der Ortslagen Breitenfeld und Oberau Polderdeiche in Form von Ringdeichen erforderlich. Diese werden in der Objektplanung mit Deichabschnitt 3 bezeichnet. Die geplanten Ringdeiche weisen eine Innendichtung in Form einer Spundwand auf. Die Spundwand bindet nicht ins Tertiär ein. Die Entwässerung des Raums innerhalb der Ringdeiche erfolgt über Entwässerungsgräben mit Kiessäulen und mobilen Pumpen.
- Am Flutpolderdeich (Deichabschnitt 5) mit der Westtangente zwischen den Poldern Sossau-West und Sossau-Ost wird der Grundwasserleiter mit Hilfe einer Dichtwand fast auf der gesamten Länge vollständig abgedichtet. Auf einem Teilstück von ca. 120 m wird keine Innendichtung eingebacht, so dass hier der Grundwasseraustausch gegeben ist. Dies dient der Erhöhung der Sicherheit gegen den Aufbruch der Lehmdeckschicht auf beiden Seiten der Westtangente.

- Im Bereich der Ortslage Pittrich ist eine Abhilfemaßnahme zur Vermeidung des Grundwasseranstiegs bei Flutung des Polders Oberauer Schleife vorgesehen. Die Maßnahme sieht die Errichtung von Kiessäulen an der Sohle der Gewässer Neudaugraben und Pittricher Rinne vor. Diese sollen zur Verbesserung des hydraulischen Kontakts zwischen dem Gewässer und dem Grundwasserleiter beitragen. Das bei der Polderflutung anfallende Grundwasser wird in den oben genannten Gewässerabschnitten abgefangen und über das System der Entwässerungsgräben des Polders Kößnach zum Schöpfwerk Kößnach abgeführt.
- Weitere Maßnahmen der Planung bezüglich Anpassung bzw. Neubau von Deichen und Errichtung von Bauwerken betreffen hauptsächlich die Verhältnisse des Oberflächenwassers. Sie werden bei der Berechnung der Oberflächenwasserhydraulik berücksichtigt und gehen in die Grundwassermodellierung als Leakage-Randbedingung ein (s. Kapitel 3).

3 Oberflächenwassermodellierung

Entscheidend für die Planung der Hochwasserrückhaltung Oberauer Schleife ist die Erfassung und Beschreibung der Hydraulik des Flutpolders einschließlich der hydraulischen Bauwerke. Zu diesem Zweck wurde bereits im Zuge des Raumordnungsverfahren ein mathematisches zweidimensionales Strömungsmodell erstellt. Dieses Modell wurde im Rahmen der weiterführenden Planung des Flutpolders zum Zweck der genaueren rechnerischen Erfassung der Oberflächenhydraulik und zur Dimensionierung der erforderlichen hydraulischen Bauwerke angepasst und erweitert. Für eine detaillierte Beschreibung der Modelluntersuchungen mit dem 2D Oberflächenwassermodell wird auf die Referenz [12] verwiesen.

Für die Grundwassermodellierung sind die Oberflächenwasserverhältnisse von großer Bedeutung, da Grund- und Oberflächenwasser im Untersuchungsraum stark miteinander interagieren. Daher ist für die Modellierung der Grundwasserströmung eine möglichst genaue Information der Oberflächenwasserströmung zwingend erforderlich.

Im Rahmen der vorliegenden Planung mussten die Modelluntersuchungen zu Oberflächen- und Grundwasser zeitlich getrennt voneinander durchgeführt werden. Ergebnisse der Grundwassermodellierung wurden im frühen Stadium des Projektes als Entscheidungsgrundlage für verschiedene Fragen der Objektplanung benötigt. Da zu dem Zeitpunkt keine Ergebnisse des zweidimensionalen Oberflächenwassermodells vorlagen, wurde in Abstimmung mit dem Auftraggeber eine zusätzliche, auf die Besonderheiten der Grundwassermodellierung zugeschnittene eindimensionale Hydraulik der Oberflächengewässer erstellt.

Aus der Sicht der Grundwassermodellierung sind für die Berechnung der Oberflächenhydraulik folgende Punkte wichtig:

- Das hydraulische Modell muss den gesamten Untersuchungsraum des Grundwassermodells abdecken. Das zweidimensionale Oberflächenwassermodell erfüllt diese Anforderung nicht, da die Gewässer im Polder Kößnach sowie der nördliche Abschnitt der Kößnach im Modell nicht abgebildet sind.
- Die Simulationen mit dem Grundwassermodell sind instationär und erstrecken sich teilweise über längere Zeiträume. Zum Beispiel die Simulation von Frühjahrsflutungen, welche zur Kalibrierung und Validierung des Grundwassermodells herangezogen wurden (s. Referenz [7]), decken einen Zeitraum von 3,3 Monaten ab. Demzufolge müssen Ergebnisse der Oberflächenwasserhydraulik für den gesamten Simulationszeitraum vorliegen. Solche Modellergebnisse aus der zweidimensionalen Oberflächenwassermodellierung für die Frühjahrsflutungen waren jedoch nicht vorhanden, da diese Simulationen nicht Gegenstand der Untersuchungen mit dem zweidimensionalen Oberflächenwassermodell waren.

- Die Berechnung des Austausches zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser erfolgt im Grundwassermodell über eine Leakage-Randbedingung. Für jeden Leakage-Knoten des Grundwassermodells ist eine Ganglinie des Oberflächenwasserspiegels erforderlich. Aufgrund der großen Anzahl von Modellknoten des Grundwassermodells mit Leakage-Randbedingungen müssen große Datenmengen des Oberflächenwassermodells mit dem Grundwassermodell verknüpft werden. Die Verknüpfung beider Modelle und die Zuweisung der Modellrandbedingungen ist mit einem eindimensionalen Oberflächenwassermodell deutlich einfacher zu realisieren und händelbarer als mit einem zweidimensionalen Modell.

3.1 Eindimensionale Oberflächenwassermodellierung

Das im Rahmen der Grundwassermodellierung erstellte eindimensionale Oberflächenwassermodell basiert auf dem Programmsystem HEC-RAS in der aktuellen Version 5.0.7 vom März 2019. Im Modell abgebildet sind die Donauabschnitte oberhalb und unterhalb der Staustufe Straubing, die Kößnach und der Kößnach-Ableiter von der nördlichen Grenze des Grundwassermodells bis zur Mündung in die Donau bei Donau-km 2120,7 sowie der gesamte Hochwasserrückhalteraum bestehend aus den Poldergebieten Obere und Untere Oberauer Schleife, Öberau, Sossau-West und Sossau-Ost (s. Abbildung 1).

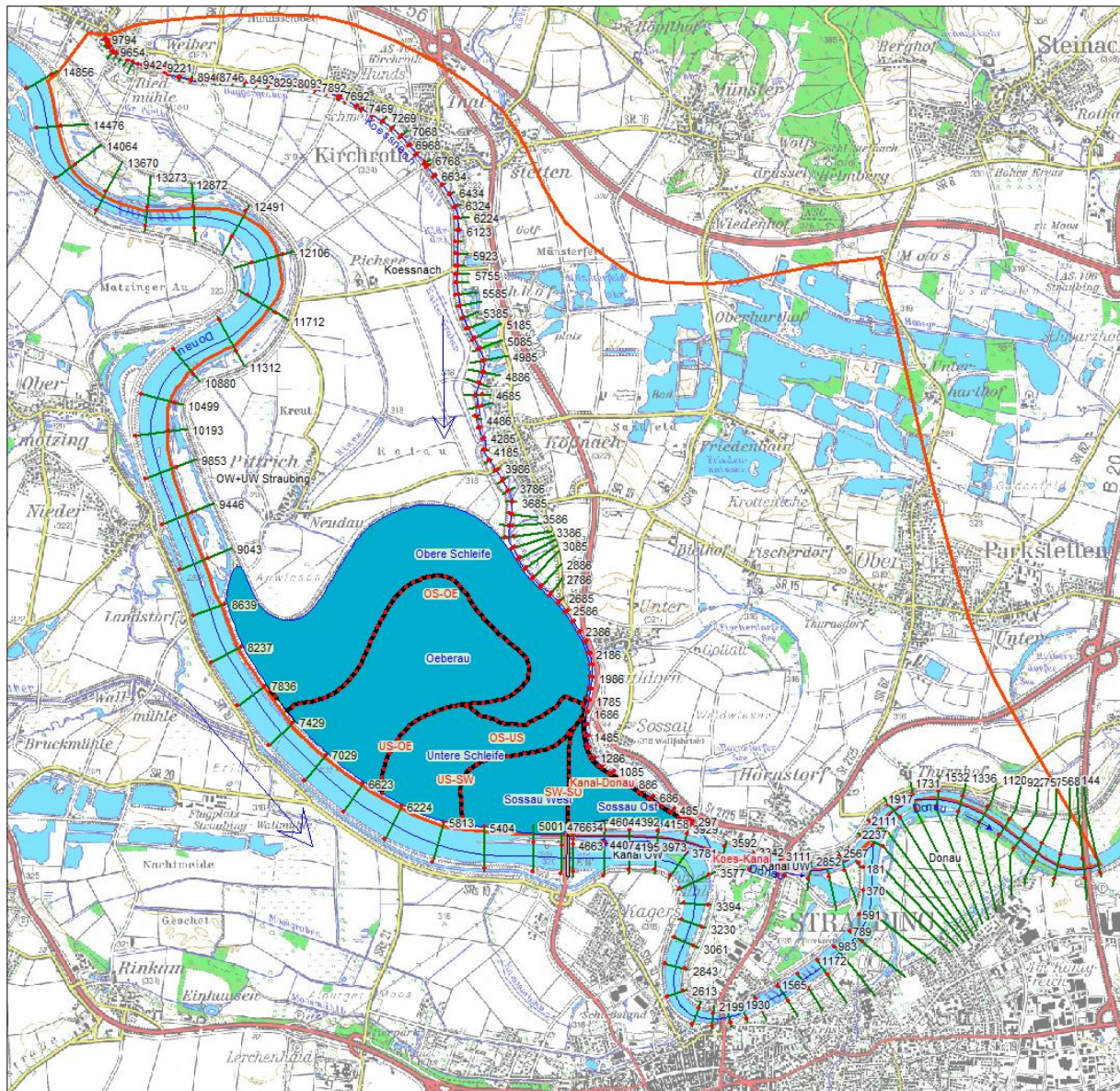


Abbildung 1: Schematische Darstellung des eindimensionalen Oberflächenwassermodells

Für die Erstellung des Oberflächenwassermodells standen folgende Daten und Informationen zur Verfügung:

- Querprofile der Donau aus den Jahren 2013 und 2014
- Querprofile der Kößnach und des Kößnach-Ableiters aus dem Jahr 2010
- Digitales Geländemodell DGM1 (Rasterweite 1m)
- Finite-Elemente-Netz des zweidimensionalen Oberflächenwassermodells mit Geländehöhen
- Informationen über Sohlreibungsbeiwerte aus dem zweidimensionalen Oberflächenwassermodell
- Ergebnisse der zweidimensionalen Oberflächenwassermodellierung (Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten) für alle mit dem Grundwassermodell untersuchten Hochwasserzustände
- Gemessene Wasserspiegellagen und Abflüsse des Donaupegels Pfelling (Donau-km 2305,53)
- Angaben und Informationen aus der Objektplanung bzgl. Anpassungen an bestehenden Deichen bzw. Neubau von Deichen und bzgl. hydraulischer Bauwerke

Das hydraulische Oberflächenwassermodell wurde bereits zu Beginn der Grundwassermodelluntersuchung erstellt, nämlich im Zuge der Umstellung des ursprünglichen Grundwassermodells in ein FE-Modell (s. Referenz [10] bzw. Unterlage 05-04-02 - Teil 2 Aufbau und Anpassung des Grundwassermodells). Das Modell dient in erster Linie der Berechnung der Wasserspiegellagen an Gewässern, Gräben und an überfluteten Polderflächen, wo eine hydraulische Wechselwirkung mit dem Grundwasser existiert. Das Oberflächenwassermodell ist mit dem Grundwassermodell verknüpft, so dass die berechneten Wasserspiegellagen den jeweils korrespondierenden Leakage-Knoten des Grundwassermodells zugewiesen werden können. Die Zuweisung der Wasserspiegellagen zu den Leakage-Knoten des Grundwassermodells erfolgt vor dem Start der Grundwassersimulation.

Der kombinierte Einsatz von Oberflächenwasser- und Grundwassermodell wurde bereits im Rahmen der Anpassung und Optimierung der favorisierten Planungsvariante der Hochwasserrückhaltung sowie zur Untersuchung von Abhilfemaßnahmen zur Reduzierung möglicher nachteiliger Auswirkungen der Hochwasserrückhaltung auf die Grundwasserverhältnisse erstellt (s. Referenz [10] bzw. Unterlage 05-04-02 - Teil 2 Aufbau und Anpassung des Grundwassermodells).

Die eindimensionale Oberflächenwassermodellierung erlaubt eine genaue räumliche und zeitliche Berechnung der Wasserspiegellagen, welche als Eingangsgröße für die Leakage-Rangbedingungen des Grundwassermodells verwendet werden kann. Die Güte der Ergebnisse des 1D Oberflächenwassermodells konnte im Rahmen der Durchführung von Simulationen für die favorisierte Planung bestätigt werden. Zu diesem Zeitpunkt lagen auch Ergebnisse der zweidimensionalen Oberflächenwassermodellierung vor, so dass ein Vergleich zwischen den Ergebnissen beider Modellansätze möglich war. Ein solcher Vergleich wurde für alle in Kapitel 4 beschriebenen Grundwassersimulationen vorgenommen und in allen Fällen konnte eine gute Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen beider Oberflächenwassermodelle festgestellt werden. Verglichen wurden der zeitliche und räumliche Verlauf der Wasserspiegellagen und Abflüsse und auch die zeitliche und räumliche Ausdehnung der Überflutungsflächen in den Gewässern und den Poldergebieten. Dieser Vergleich diente als Validierung des eindimensionalen Oberflächenwassermodells und als Bestätigung der Eignung des gewählten Modellansatzes zur Beschreibung und Erfassung der Grundwasser-Oberflächenwasser-Interaktion.

4 Durchführung von Grundwassersimulationen für Ist- und Planzustand

In Abstimmung mit dem Wasserwirtschaftsamt Deggendorf wurde ein Katalog von Simulationen mit dem Grundwassermodell für den Ist- und Planzustand festgelegt. Bei den Simulationen werden alle wichtigen Szenarien berücksichtigt, bei denen Auswirkungen der Hochwasserrückhaltungsmaßnahme zu erwarten sind und somit für die Planung der Maßnahme relevant sind. Eine Übersicht der durchgeführten Grundwassersimulationen zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1: Übersicht der durchgeführten Grundwassersimulationen für Ist- und Planzustand

Simulation	Berechnung für Ist-/Planzustand	Art der Strömungsbe-rechnung	hydrologische / hydro-geologische Verhältnisse	Charakteristik Donauhoch-wasserwelle	Jährlichkeit Donauhoch-wasserabfluss
1-1	Ist	stationär	mittlere GW-Strömung <u>ohne</u> Frühjahrsflutung	--	--
1-2	Plan	stationär	mittlere GW-Strömung <u>ohne</u> Frühjahrsflutung	--	--
1-3	Ist	instationär	mittlere GW-Strömung <u>mit</u> Frühjahrsflutung	--	--
1-4	Plan	instationär	mittlere GW-Strömung <u>mit</u> Frühjahrsflutung	--	--
2-1	Ist	instationär	GW-Strömung bei Hochwasser	HW2011	HQ30
2-2	Plan	instationär	GW-Strömung bei Hochwasser	HW2011	HQ30
3-1	Ist	instationär	GW-Strömung bei Hochwasser	HW2011	HQ100
3-2	Plan	instationär	GW-Strömung bei Hochwasser	HW2011	HQ100
4-1	Ist	instationär	GW-Strömung bei Hochwasser	HW2011	HQ200
4-2	Plan	instationär	GW-Strömung bei Hochwasser	HW2011	HQ200
5-1	Ist	instationär	GW-Strömung bei Hochwasser	HW1988	HQ30
5-2	Plan	instationär	GW-Strömung bei Hochwasser	HW1988	HQ30
6-1	Ist	instationär	GW-Strömung bei Hochwasser	HW2002	HQ30
6-2	Plan	instationär	GW-Strömung bei Hochwasser	HW2002	HQ30
7-1	Ist	instationär	GW-Strömung bei Hochwasser	HW2013	HQreal
7-2	Plan	instationär	GW-Strömung bei Hochwasser	HW2013	HQreal

4.1 Simulationen für mittlere Grundwasserverhältnisse

Der Zustand bei mittleren Grundwasserständen im Untersuchungsgebiet ist für die Planung der Hochwasserrückhaltungsmaßnahme von großer Bedeutung. Hierzu zählt auch der Zustand mit Frühjahrsflutung, welche jährlich stattfindet.

Zur Untersuchung der Auswirkungen der baulichen Maßnahmen für die Hochwasserrückhaltung auf das Grundwasser für die oben genannten Zustände wurden Simulationen mit dem Grundwassermodell durchgeführt (s. Tabelle 1). Die Simulationen für mittlere Grundwasserverhältnisse sind in den nachfolgenden Abschnitten beschrieben.

Bei den instationären Grundwassersimulationen werden zur Ergebnisdarstellung Grundwassergleichpläne verwendet, welche sich auf die maximalen Grundwasserhöhen der einzelnen Modellknoten im Gesamtzeitraum der Simulation beziehen. Sie stellen nicht die Grundwasserhöhen zu einem bestimmten Zeitpunkt der Simulation (z.B. beim Durchgang des Scheitelabflusses der Donauhochwasserwelle) dar.

4.1.1 Simulationen für mittlere Verhältnisse ohne Frühjahrsflutung

Die mittlere Grundwasserströmung wurde bereits im Rahmen der Grundwasseruntersuchung für das Raumordnungsverfahren modelliert. Sie basiert auf den mittleren Grundwasserverhältnissen des Zeitraums 1996 bis 2005 (s. Referenz [2]). Mit Hilfe dieses Zustands wurde seinerzeit das ursprüngliche Grundwassermodell stationär kalibriert. Auch im Rahmen der Umstellung des alten Grundwassermodells auf das FEFLOW-Modell wurde für diesen Zustand eine Neukalibrierung des Modells vorgenommen.

Details der Simulation für mittlere Grundwasserverhältnisse für den Ist-Zustand sind in Referenz [10] bzw. in Unterlage 05-04-02 - Teil 2 Aufbau und Anpassung des Grundwassermodells ausführlich beschrieben und brauchen hier nicht wiederholt zu werden. Die mit dem Modell berechneten Grundwasserhöhen im Modellgebiet sind in Anlage 01-1 dargestellt.

Für den Planzustand wurde eine Grundwassersimulation mit den in Kapitel 2 beschriebenen Veränderungen gegenüber dem Ist-Zustand durchgeführt. Da bei diesem Zustand keine Flutung der Poldergebiete stattfindet, sind die Modellrandbedingungen mit denen des Ist-Zustands identisch.

Die berechneten Grundwasserhöhen für den Planzustand sind in Anlage 01-2 und die Grundwasserdifferenzen zwischen Ist- und Planzustand in Anlage 01-3 dargestellt. Der Grundwasserdifferenzenplan (Anlage 01-3) zeigt, dass die baulichen Maßnahmen der Hochwasserrückhaltung nur Auswirkungen auf das Grundwasser im Nahbereich der abgedichteten Deichabschnitte zwischen der Oberauer Schleife und dem Kößnach-Ableiter und an der Westtangente zwischen den Poldern Sossau-West und Sossau-Ost haben. Maximale Grundwasserhöhendifferenzen von $\pm 0,3$ m ergeben sich in kleinen Bereichen unmittelbar neben den abgedichteten Deichabschnitten. Mit zunehmender Entfernung zum Deich nehmen die Grundwasserhöhendifferenzen ab, so dass die von der geplanten HWR beeinflussten Bereiche insgesamt kleinflächig ausfallen. Hierbei handelt es sich ausschließlich um landwirtschaftlich genutzte Flächen. In den Ortslagen Unterzeitldorn und Sossau ergeben sich keine Auswirkungen der geplanten HWR auf das Grundwasser und auch nicht im restlichen Untersuchungsgebiet.

4.1.2 Simulationen für mittlere Verhältnisse mit Frühjahrsflutung

Ebenfalls wichtig für die Beurteilung der Auswirkungen der geplanten HWR auf das Grundwasser ist die Situation bei der Frühjahrsflutung der Oberauer Schleife, die jährlich von Mitte Februar bis Anfang April stattfindet. Auch hier wurden im Rahmen der Neukalibrierung und Validierung des FEFLOW-Grundwassermodells Grundwassersimulationen für die Frühjahrsflutungen 2015 und 2016 im Ist-Zustand durchgeführt. Alle Einzelheiten dieser Grundwassersimulationen sind im Erläuterungsbericht Teil 2 (s. Referenz [10] bzw. Unterlage 05-04-02 - Teil 2 Aufbau und Anpassung des Grundwassermodells) dokumentiert. Die berechneten maximalen Grundwasserhöhen der Simulation für die Frühjahrsflutung 2015 im Ist-Zustand sind in Anlage 01-4 dargestellt.

Basierend auf der Frühjahrsflutung 2015 wurde eine Grundwassersimulation für den Planzustand untersucht. Da auch hier der Flutpolder inaktiv bleibt, ändern sich die Modellrandbedingungen gegenüber dem Ist-Zustand nicht.

Die Ergebnisse der Grundwassersimulation für die Frühjahrsflutung 2015 im Planzustand sind in Anlage 01-5 und die Grundwasserhöhendifferenzen zum Ist-Zustand in Anlage 01-6 dargestellt. Grundwasserhöhendifferenzen zwischen Ist- und Planzustand ergeben sich, wie im Fall der mittleren Grundwasserströmung ohne Frühjahrsflutung, im Bereich der abgedichteten Deichabschnitte zwischen der Oberauer Schleife und dem Kößnach-Ableiter sowie im Bereich der Westtangente. Die Auswirkung der Deichabdichtungen ist bei der Frühjahrsflutung aufgrund der höheren Wasserstände in der Oberauer Schleife stärker als im Fall ohne Flutung der Schleife. Entsprechend größer fallen die Flächen mit Grundwasserhöhendifferenzen zwischen Ist- und Planzustand aus. Im Bereich der Ortslagen Sossau und Unterzeitldorn sind zukünftig geringe Anstiege der Grundwasserstände bei der Frühjahrsflutung von bis zu ca. 10 cm zu erwarten.

Der veränderte Verlauf des Trenndeiches zwischen der Oberen Oberauer Schleife und dem Polder Öberau (s. Anhang 1 und Anhang 2) durch Schlitzung des ehemaligen rechten Donaudeiches und Anordnung einer Geländemodellierung im Hagen hat Auswirkungen auf die räumliche Ausdehnung der Überflutungsflächen in der Oberauer Schleife und auf die Grundwasserverhältnisse (vgl. Anlage 01-4 und Anlage 01-5). Dadurch ergeben sich Grundwasserveränderungen zwischen Ist- und Planzustand im Bereich des Breitenfelder Grabens (s. Anlage 01-6). Davon betroffen sind ausschließlich landwirtschaftliche Flächen westlich des Breitenfelder Grabens mit Erhöhung der Grundwasserstände bei der Frühjahrsflutung von ca. 10 bis 30 cm. Auf den Flächen östlich des Breitenfelder Grabens, im Bereich „Hagen“, ist künftig keine intensive landwirtschaftliche Nutzung mehr vorgesehen. Stattdessen wird der „Hagen“ als Ausgleichsmaßnahme (Anlage von Kleingewässer, Seigen usw.) genutzt und soll bei der Frühjahrsflutung überschwemmt werden. Dadurch ist bei der Frühjahrsflutung eine Erhöhung der Grundwasserstände von bis zu 50 cm gegenüber dem Ist-Zustand zu erwarten.

Ein weiterer von der geplanten HWR beeinflusster Bereich ergibt sich an der Pittricher Rinne im Bereich der Ortslage Pittrich. Hier ist die Errichtung von Kiessäulen an der Gewässersohle zur Verbesserung der hydraulischen Wechselwirkung zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser vorgesehen. Dadurch wird im Planzustand die Entwässerungswirkung des Gewässerabschnitts verstärkt, was gleichzeitig zur Reduzierung des Grundwasserspiegels beiträgt (s. Anlage 01-6).

Im Grundwassermodell werden Austauschraten von Oberflächenwasser und Grundwasser für alle Gewässer und für alle Überflutungsflächen (aus der Oberflächengewässermodellierung) im Modellgebiet berechnet. Da es sich hier um instationäre Grundwasserberechnungen handelt, werden die In- bzw. Exfiltrationsraten für jeden Zeitschritt der Simulation berechnet. Die sich während der Simulationen FF2015 Ist- und Planzustand ergebenden maximalen In- bzw. Exfiltrationsraten an Gewässern, Gräben und Poldergebieten sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Dabei gilt es zu beachten, dass die Abflussraten in Tabelle 2 nur den Austausch zwischen Oberflächenwasser- und Grundwasser darstellen und nicht die tatsächlichen Abflussverhältnisse in den Entwässerungsgräben wiedergeben. Zuflüsse aus oberirdischem Abfluss (Niederschlagswasser und Qualmwasser) werden im Modell nicht berechnet. Demnach können hier auch keine Aussagen bezüglich der Abflussverhältnisse in den Entwässerungsgräben gemacht werden. Anhand der Abflussraten in Tabelle 2 lassen sich aber die zu erwartenden Veränderungen der Oberflächenwasser-Grundwasser-Interaktion zwischen Ist- und Planzustand quantifizieren und vergleichen.

Die letzte Zeile in Tabelle 2 gibt die maximalen Aussickerungsraten für das gesamte System der Entwässerungsgräben des Polders Kößnach an (Werte des Simulationszeitschritts mit maximalen Aussickerungsraten). Danach ergeben sich für die Frühjahrsflutung 2015 zwischen Ist- und Planzustand keine nennenswerten Veränderungen der Aussickerungsraten in den Entwässerungsgräben des Polders Kößnach.

Was die Genauigkeit der im Grundwassermodell berechneten In- und Exfiltrationsraten betrifft, ist darauf hinzuweisen, dass die Werte im Rahmen der Kalibrierung des Grundwassermodells für die Frühjahrsflutung 2015 im Ist-Zustand anhand von gemessenen Abflüssen in verschiedenen Entwässerungsgräben ermittelt und verifiziert wurden (s. Referenz [9]). Man kann daher davon ausgehen, dass die mit dem Grundwassermodell berechneten Aussickerungsraten für die Entwässerungsgräben (z. B. im Polder Kößnach) zuverlässig sind.

Außer den oben genannten Grundwasserveränderungen zwischen Ist- und Planzustand zeigen sich bei der Frühjahrsflutung keine weiteren Auswirkungen der geplanten HWR im restlichen Untersuchungsgebiet.

Tabelle 2: Wasserbilanz - Austausch Oberflächenwasser mit Grundwasser für Simulationen Frühjahrsflutung 2015 Ist- und Planzustand

Gewässer / Graben / Poldergebiet	FF2015 Ist-Zustand [l/s]	FF2015 Planzustand [l/s]
	max. Netto- Infiltration (+) bzw. Netto-Exfiltration (-)	max. Netto- Infiltration (+) bzw. Netto-Exfiltration (-)
Donau inkl. Vorländer		
Donau Unterwasser Staustufe	+296	+296
Donau Oberwasser Staustufe	+37	+37
Öberauer Schleife		
Öberauer Schleife - oberer Teil	+449	+273
Öberauer Schleife - unterer Teil	-195	-199
Polder Öberau		
Polder Öberau	-45	-50
Kößnach		
Kößnach	-210	-55
Polder Sossau		
Polder Sossau West		
Polder Sossau Ost		
Entwässerungsgraben Polder Sossau Ost		
Polder Hornstorf		
Fischersdorfer Graben	-5	-5
Hornstorfer Graben	-15	-11
Polder Kößnach		
Gräben südl. SW Kößnach	-1	-1
Pittricher Rinne	-14	-16
Zulauf Pittricher Rinne		
Neudaugraben	-13	-13
Hartbauergraben	-7	-7
Zulauf Hartbauergraben	-1	-1
Pichseegraben	-10	-10
Nachtweidegraben		
Perlbachgraben	-32	-32
Überleitung Perlbachgraben	-15	-15
Kalter Graben	-14	-14
Gesamt Gräben Polder Kößnach	-103	-104

4.2 Simulationen für Hochwasserereignisse

Die größten Veränderungen der Grundwasserverhältnisse zwischen Ist- und Planzustand ergeben sich im Hochwasserfall beim Einsatz des Flutpolders. Daher sind für die Planung der HWR die Grundwassersimulationen für die Hochwasserzustände maßgebend. Der Flutpolder soll ab einem Donauhochwasser mit einer Wiederkehrintervall von etwa 30 Jahren zum Einsatz kommen. Dementsprechend wurden Grundwassersimulationen für Hochwasserereignisse mit einer Jährlichkeit größer/gleich $T=30$ Jahre berücksichtigt.

Die Auswahl der zu untersuchenden Hochwassersituationen orientiert sich grundsätzlich an den geplanten Betrieb des Flutpolders, welcher im Rahmen der Planung der HWR untersucht und festgelegt wurde. Daraus ergeben sich für die Grundwasseruntersuchung die in Tabelle 1 aufgelisteten Grundwassersimulationen für Hochwasserereignisse. Die Einzelheiten der Grundwassersimulationen bei Donauhochwasser sind in den nachfolgenden Abschnitten beschrieben.

4.2.1 Simulationen für HW2011-HQ30

Das Donauhochwasser vom Januar 2011 ist durch einen Scheitelabfluss von ca. 2400 m³/s am Pegel Pfelling bei Donau-km 2305,5 gekennzeichnet. Dies entspricht einer Jährlichkeit von ca. $T=15$ Jahre. Die Charakteristik der Hochwasserwelle 2011 ist in Abbildung 2 sehen. Die Hochwasserwelle hat eine mittlere Breite und Fülle und stellt somit eine typische Hochwasserwelle der Donau bei Straubing dar.

Für die hydraulische Oberflächengewässermodellierung wurde die Hochwasserwelle 2011 auf den 30-jährlichen Hochwasserabfluss $HQ30=2800$ m³/s hochskaliert.

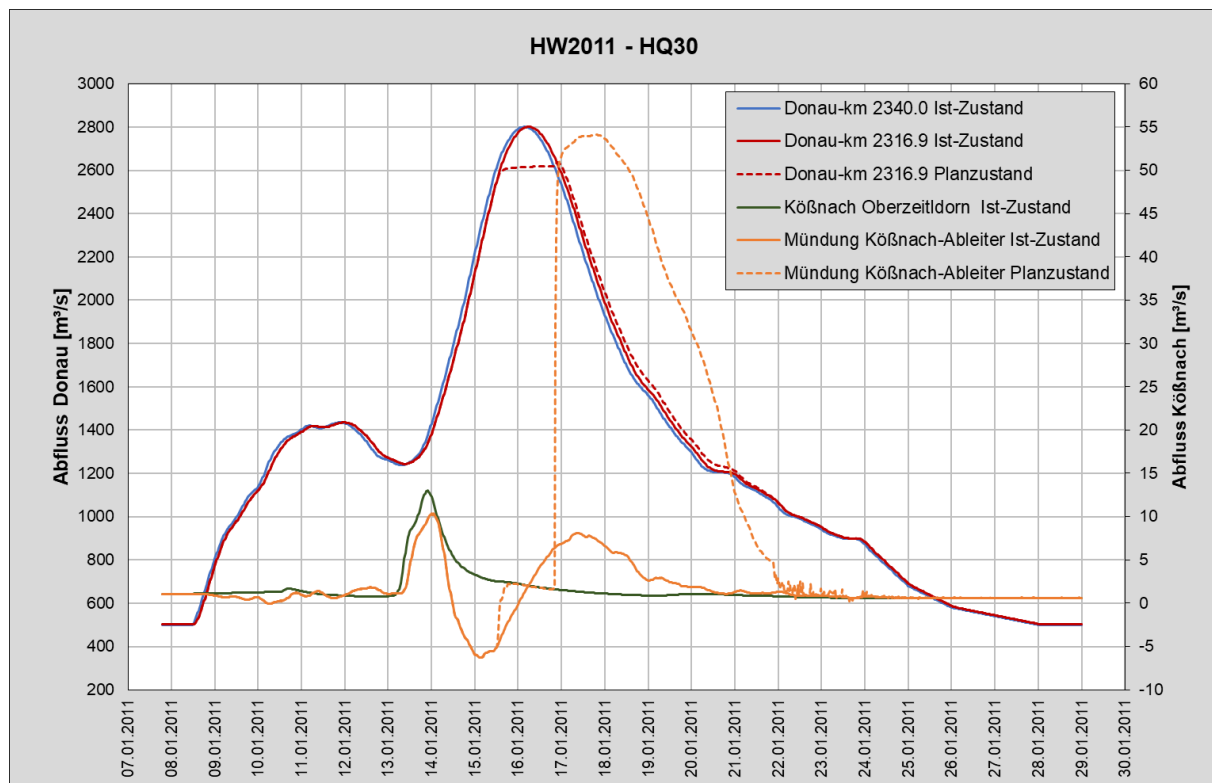
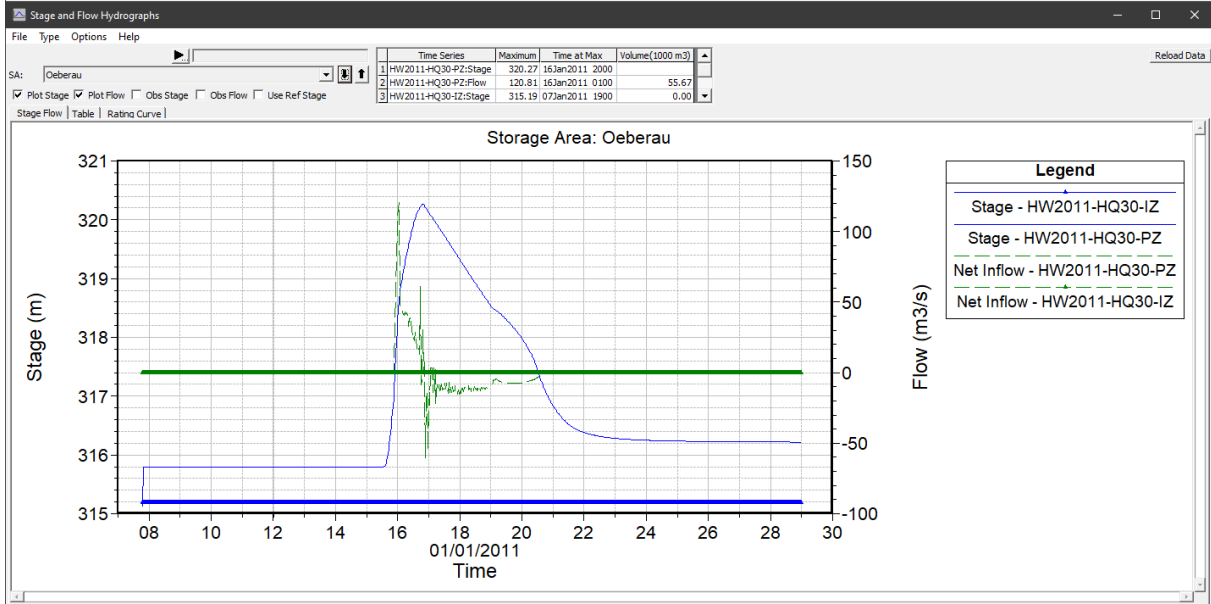
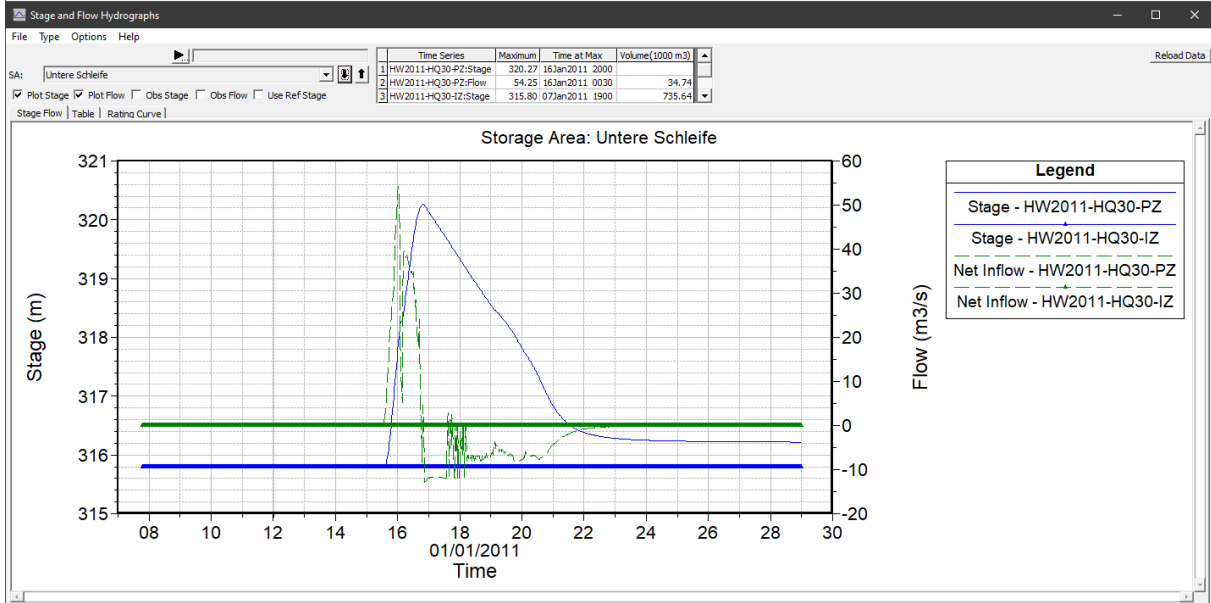
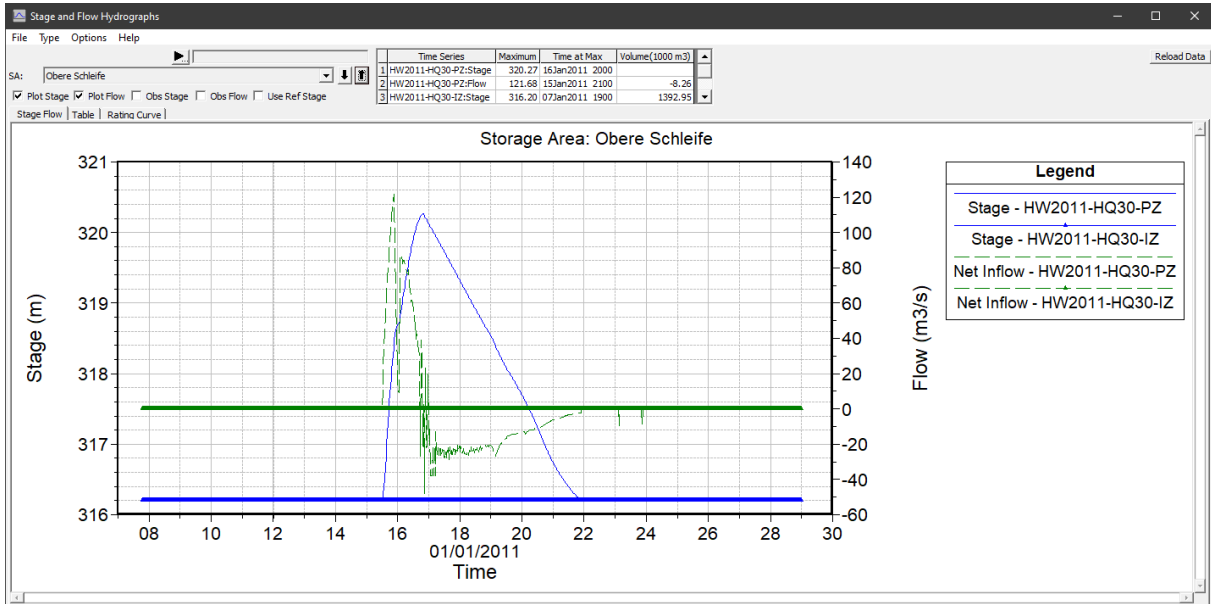


Abbildung 2: Abflussganglinien Donau und Kößnach für Simulation HW2011-HQ30



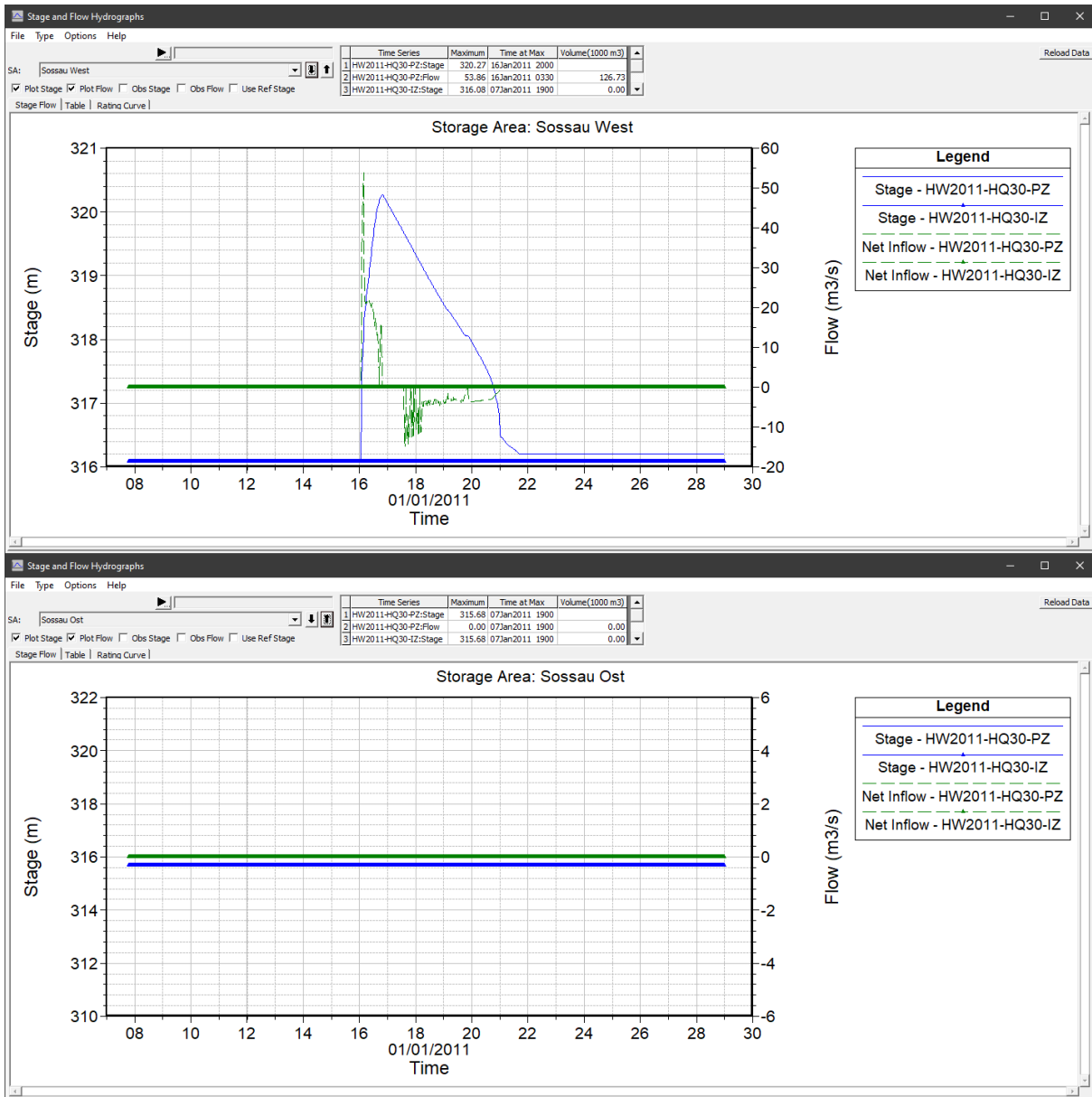


Abbildung 3: Wasserstands- und Abflussganglinien der Poldergebiete für Simulation HW2011-HQ30 Ist- und Planzustand

Die berechneten Abflussganglinien für den Ist- und Planzustand an ausgewählten Stellen im Modellgebiet sind in Abbildung 2 dargestellt. Darin zu erkennen sind zum einen die Reduzierung des Scheitelabflusses in der Donau unterhalb des Flutpolders und zum anderen die Erhöhung des Abflusses im Kößnach-Ableiter infolge der Polderentleerung.

Abbildung 3 zeigt die berechneten Wasserstands- und Abflussganglinien der Poldergebiete für den Ist- und Planzustand. Die Abgrenzung der Poldergebiete für den Ist- und Planzustand ist in Anhang 1 bzw. in Anhang 2 dargestellt. Wie Abbildung 3 zeigt, findet beim Hochwasser HW2011-HQ30 im Ist-Zustand keine Hochwasserrückhaltung in den Poldergebieten statt.

Aus der instationären eindimensionalen hydraulischen Modellierung für HW2011-HQ30 wurden Wasserspiegellagen für die Gewässer Donau, Kößnach und Kößnach-Ableiter sowie für die Entwässerungsgräben und die Überflutungsflächen der einzelnen Poldergebiete berechnet (s. Anhang 3). Die berechneten Wasserspiegellagen gehen als Leakage-Randbedingung in die Grundwassermodellierung ein,

wie die Darstellung im Lageplan Anhang 4 zeigt. Die Steuerung der Polderflutung und -entleerung während des Hochwassers wurde im Rahmen der Oberflächenwassermodellierung untersucht und optimiert.

Für den Lastfall HW2011-HQ30 wurden Grundwassersimulationen für den Ist-Zustand ohne Hochwasserrückhaltung und den Planzustand mit Hochwasserrückhaltung untersucht. Beim Ist-Zustand wurden die Ergebnisse der Hochwassersimulation mit denen der Simulation für die Frühjahrsflutung 2015 kombiniert. Dadurch können höhere Grundwasserstände im Polder Kößnach infolge der Frühjahrsflutung in den Vergleich zwischen Ist- und Planzustand mitberücksichtigt werden. Der Wirkungsbereich der Frühjahrsflutung 2015 (für den Ist-Zustand) und die maximalen Grundwasserhöhen der beiden Simulationen für den Ist-Zustand sind in Anlage 02-1 dargestellt. Außerdem zeigt die Anlage auch die aus den maximalen Grundwasserhöhen resultierenden Grundwasserflurabstände des Ist-Zustands.

Die Ergebnisse der Grundwassersimulation HW2011-HQ30 für den Planzustand sind in Anlage 02-2 enthalten. Dargestellt sind die maximalen Grundwasserhöhen der Simulation und die daraus resultierenden Grundwasserflurabstände.

Anlage 02-3 zeigt den Vergleich zwischen den maximalen Grundwasserhöhen des Ist- und Planzustands. Die farbig gekennzeichneten Flächen stellen Bereiche des Planzustands dar, in denen die geplanten HWR einen Grundwasseranstieg gegenüber dem Ist-Zustand bewirkt. Vom Grundwasseranstieg betroffen sind die Obere und Untere Oberauer Schleife, die Polder Öberau und Sossau-West sowie Teile des Polders Kößnach und des Polders Sossau-Ost. Die größten Grundwasserhöhendifferenzen ergeben sich erwartungsgemäß im Bereich der unteren Oberauer Schleife und des Polders Sossau-West, wo im Ist-Zustand weder bei Hochwasser noch bei der Frühjahrsflutung Überflutungen stattfinden. Der maximale Grundwasseranstieg in diesem Bereich beträgt etwa 4,25 m.

Im Polder Kößnach reicht der Einflussbereich der geplanten HWR bis etwa nördlich der Pittricher Rinne und betrifft ausschließlich landwirtschaftliche Flächen. Die Perforationen am Neudaugraben und an der Pittricher Rinne im Planzustand verhindern einen Grundwasseranstieg im Bereich der Ortslage Pittrich.

Auch im Polder Sossau-Ost kommt es im Planzustand zu einem Grundwasseranstieg. Der vom Grundwasseranstieg betroffene Bereich fällt hier aber dank der geplanten Abdichtung der Westtangente verhältnismäßig klein aus.

Ebenfalls in Anlage 02-3 dargestellt sind die Bereiche, in denen die Grundwasserhöhen des Planzustands niedriger als die des Ist-Zustands sind. Dies ist entlang der Donau unterhalb der Staustufe sowie entlang der Kößnach und des Kößnach-Ableiters der Fall.

Ein weiteres, wichtiges Ergebnis der Modellrechnungen für den Lastfall HW2011-HQ30 ist, dass die Ortslagen Pittrich, Kößnach, Unterzeitldorn und Sossau von der geplanten HWR unbeeinflusst bleiben. Was die Bereiche Breitenfeld und Öberau im Polder Öberau betrifft, werden hier die Grundwasserstände durch lokale Entwässerungsmaßnahmen abgesenkt.

In Tabelle 3 sind die maximalen In- bzw. Exfiltrationsraten an Gewässern, Gräben und Poldergebieten für die Simulationen HW100-HQ30 Ist- und Planzustand sowie für die Simulation für die Frühjahrsflutung 2015 im Ist-Zustand zusammengestellt. Mit Hinblick auf die Veränderungen der Aussickerungsraten der Entwässerungsgräben im Polder Kößnach, zeigen die Ergebnisse in Tabelle 3 eine Zunahme der maximalen Grundwasserexfiltrationsraten für den Planzustand HQ30 von ca. 105 l/s gegenüber dem Ist-Zustand der Frühjahrsflutung 2015. Dies ist für die Dimensionierung der erforderlichen Pumpleistung des Schöpfwerks Kößnach im Planzustand von Bedeutung.

Tabelle 3: Wasserbilanz - Austausch Oberflächenwasser mit Grundwasser für Simulationen HW2011-HQ30 Ist- und Planzustand und FF2015 Ist-Zustand

Gewässer / Graben / Poldergebiet	FF2015 Ist-Zustand [l/s]	HW2011-HQ30 Ist-Zustand [l/s]	HW2011-HQ30 Planzustand [l/s]
	max. Netto- Infiltration (+) bzw. Netto-Exfiltration (-)	max. Netto- Infiltration (+) bzw. Netto-Exfiltration (-)	max. Netto- Infiltration (+) bzw. Netto-Exfiltration (-)
Donau inkl. Vorländer			
Donau Unterwasser Staustufe	+296	+451	+452
Donau Oberwasser Staustufe	+37	+118	+118
Öberauer Schleife			
Öberauer Schleife - oberer Teil	+449	-437	+1685
Öberauer Schleife - unterer Teil	-195	-69	-295
Polder Öberau			
Polder Öberau	-45	-33	+721
Kößnach			
Kößnach	-210	+871	+406
Polder Sossau			
Polder Sossau West			+399
Polder Sossau Ost			
Entwässerungsgraben Polder Sossau Ost		-22	-25
Polder Hornstorf			
Fischersdorfer Graben	-5	-18	-18
Hornstorfer Graben	-15	-36	-37
Polder Kößnach			
Gräben südl. SW Kößnach	-1	-2	-4
Pittricher Rinne	-14	-13	-30
Zulauf Pittricher Rinne			-1
Neudaugraben	-13	-1	-30
Hartbauergraben	-7	-4	-6
Zulauf Hartbauergraben	-1	-1	-2
Pichseegraben	-10	-17	-19
Nachtweidegraben			
Perlbachgraben	-32	-68	-67
Überleitung Perlbachgraben	-15	-26	-26
Kalter Graben	-14	-36	-36
Gesamt Gräben Polder Kößnach	-103	-167	-208

Um beurteilen zu können, inwieweit die höheren Aussickerungsraten des Planzustands in den Gräben des Entwässerungssystems des Polders Kößnach ungehindert abgeführt werden können, wurde die Leistungsfähigkeit des Grabensystems ermittelt. Dies erfolgte mit Hilfe eines eindimensionalen Strömungsmodells des Grabensystems, welches auf der Grundlage einer aktuellen Gewässervermessung erstellt wurde. Die Ergebnisse der Strömungsmodellierung sind in Anhang 5 dargestellt. Darin sind für die einzelnen Grabenabschnitte die rechnerisch ermittelte Leistungsfähigkeit sowie die maximalen Aussickerungsraten der Simulationen FF2015 Ist-Zustand und HW2011-HQ30 Ist- und Planzustand angegeben. Wie die Ergebnisse zeigen, ist die Leistungsfähigkeit der Entwässerungsgräben ausreichend groß, so dass davon auszugehen ist, dass die höheren Aussickerungsraten des Planzustands HQ30 durch das bestehende Grabensystem problemlos und ohne nennenswerte Erhöhungen der Wasserspiegellagen abgeführt werden können.

4.2.2 Simulationen für HW2011-HQ100

Zur Untersuchung der Verhältnisse bei einem 100-jährlichen Hochwasserereignis der Donau wurde, wie im Fall des 30-jährlichen Hochwassers, auf die Donauhochwasserwelle vom Januar 2011 am Pegel Pfelling zurückgegriffen. Die Hochwasserwelle wurde in diesem Fall auf den 100-jährlichen Hochwasserabfluss HQ100= 3400 m³/s hochskaliert.

Die Abflussganglinien der Simulationen mit dem eindimensionalen Oberflächengewässermodell für den Ist- und Planzustand sind in Abbildung 4 dargestellt. Neben der Kappung der Wellenspitze infolge der Hochwasserrückhaltung, ist auch das unterschiedliche Abflussverhalten in der Kößnach zwischen Ist- und Planzustand zu beobachten. Beim Ist-Zustand kommt es zu einer starken Rückströmung in die Kößnach bedingt durch die hohen Wasserstände in der Donau. Beim Planzustand bewirkt die Reduzierung des Donauabflusses infolge der Hochwasserrückhaltung einen geringeren Rückstau in die Kößnach. Nach Ablauf des Hochwasserspitze setzt dann die Polderentleerung über den Kößnach-Ableiter ein.

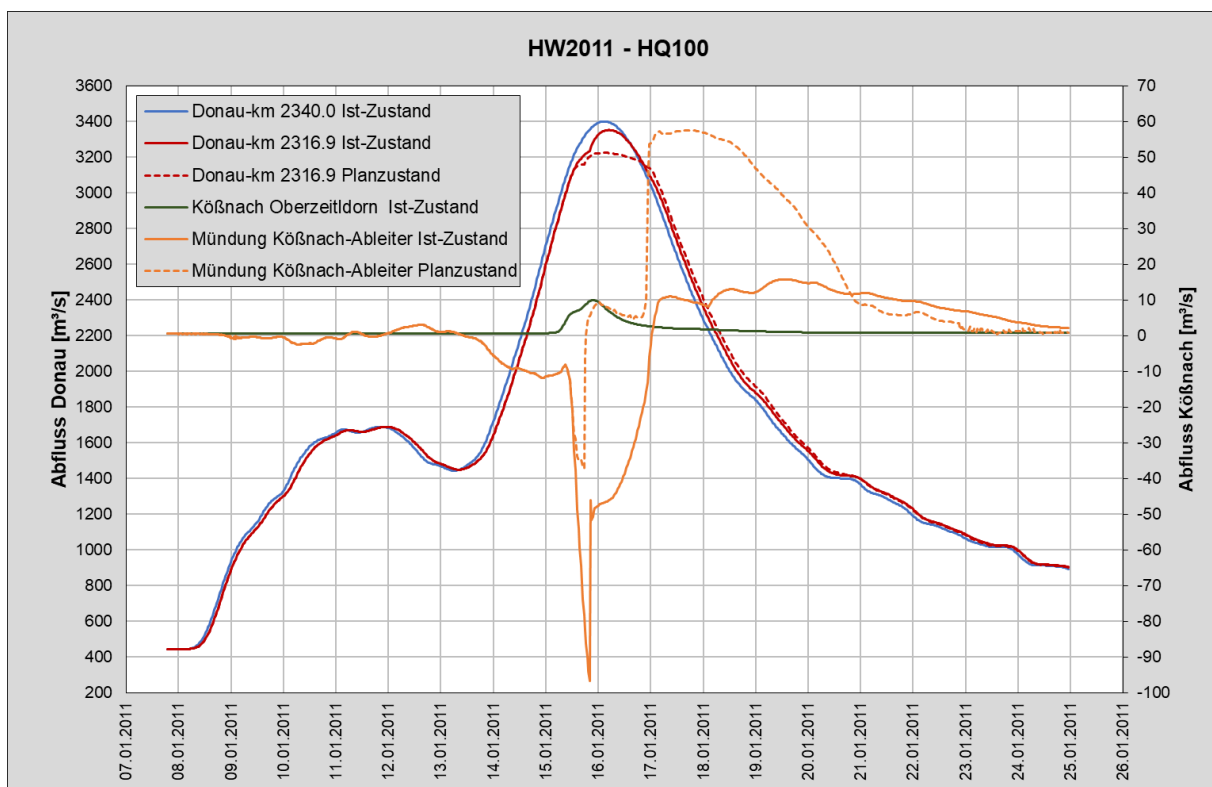
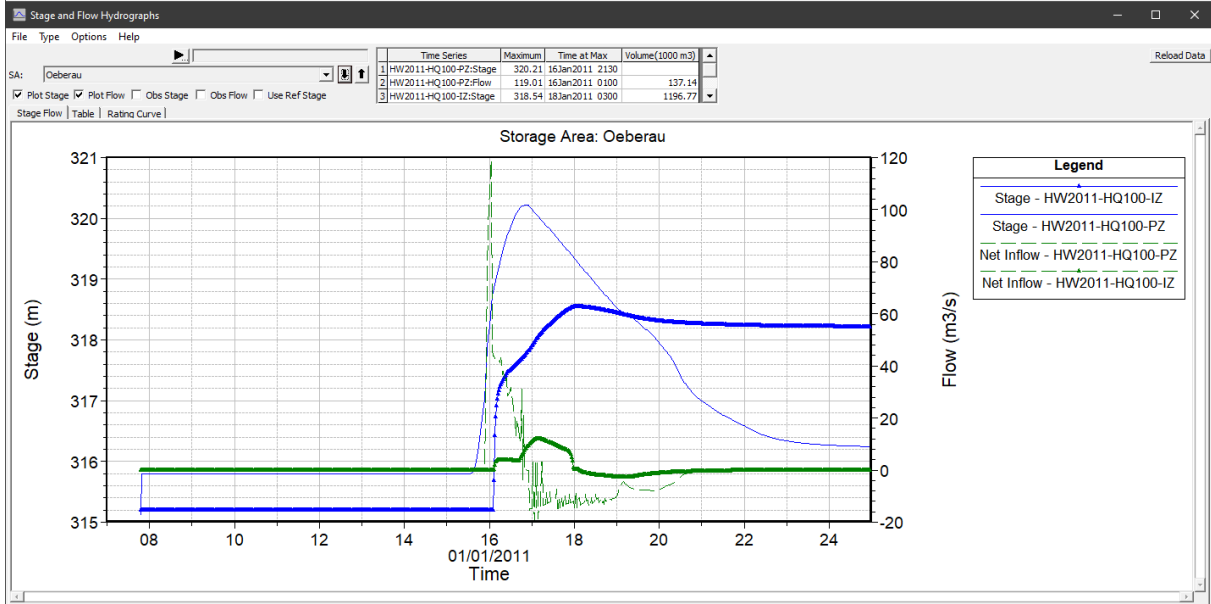
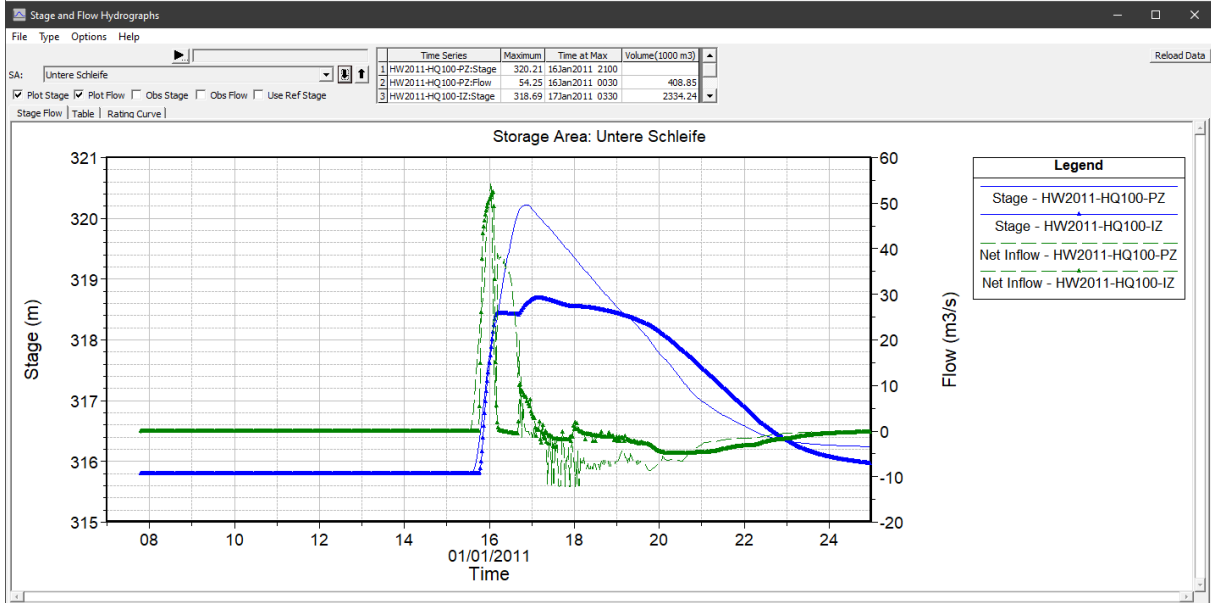
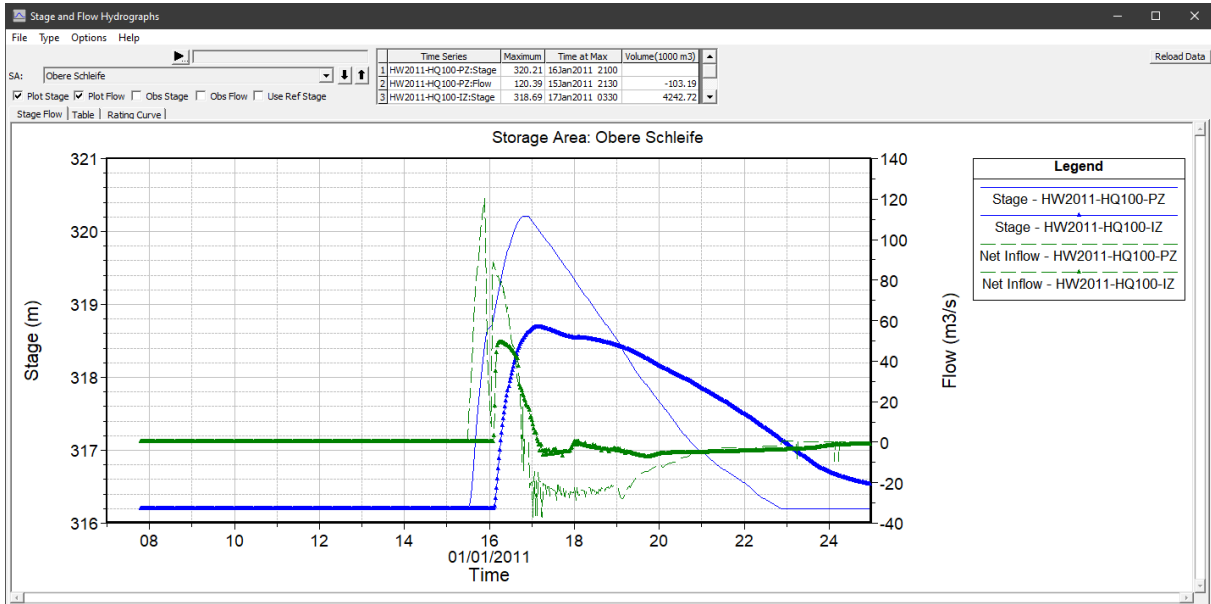


Abbildung 4: Abflussganglinien Donau und Kößnach für Simulation HW2011-HQ100

Im Gegensatz zum 30-jährlichen Donauhochwasser werden bei einem 100-jährlichen Donauhochwasser bereits im Ist-Zustand die Poldergebiete geflutet. Die Flutung erfolgt durch den Rückstau der Donau in den Kößnach-Ableiter. Hier wird der rechte Deich überströmt und der Polder Sossau-Ost wird überflutet. In der Folge werden über die bestehenden Polderverbindungen die restlichen Poldergebiete überflutet. Die Wasserstands- und Abflussganglinien der einzelnen Poldergebiete für die Simulationen HW2011-HQ100 Ist- und Planzustand sind in Abbildung 5 dargestellt.



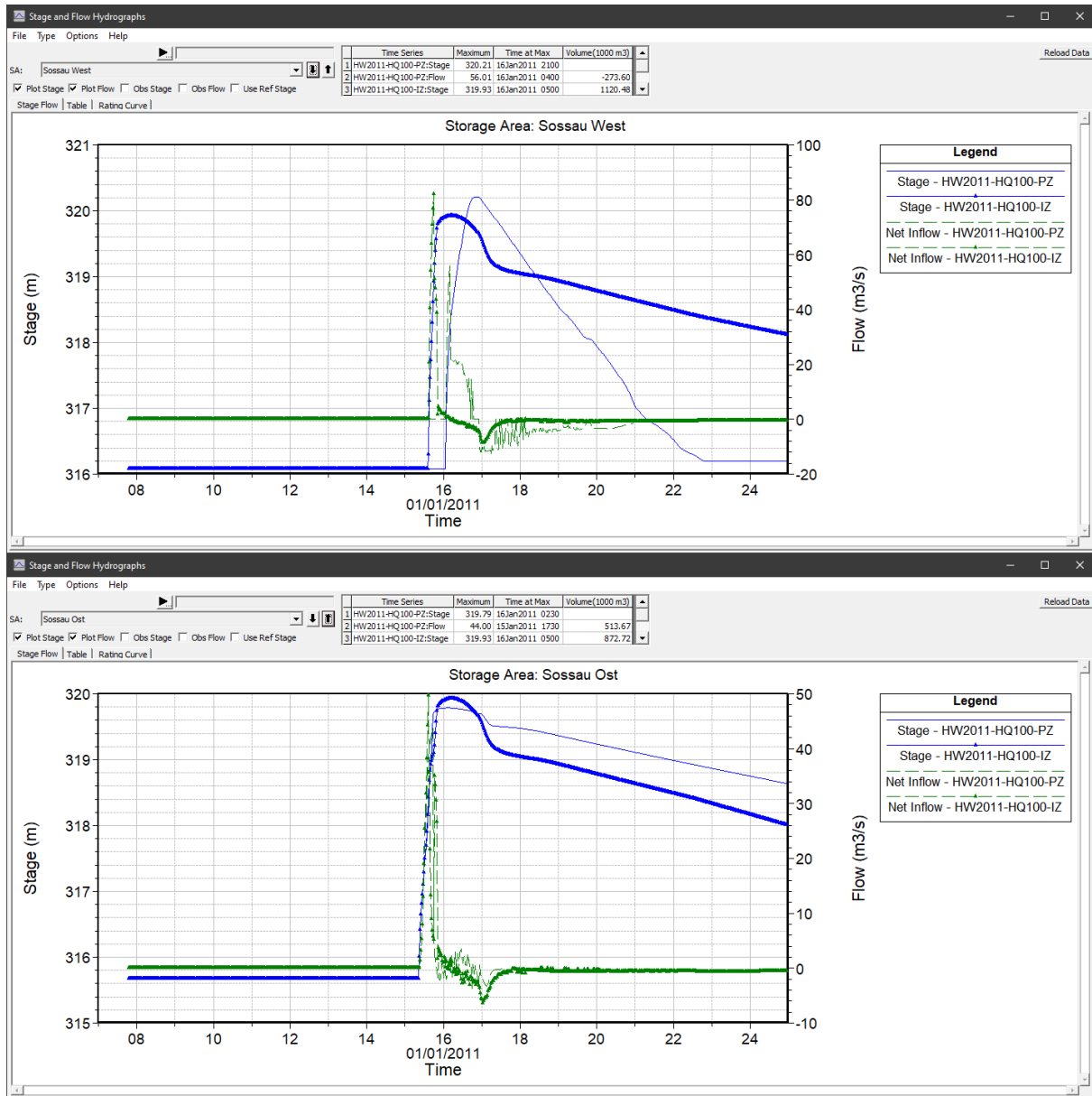


Abbildung 5: Wasserstands- und Abflussganglinien der Poldergebiete für Simulation HW2011-HQ100 Ist- und Planzustand

Für den Lastfall HW2011-HQ100 wurden Grundwassersimulationen für den Ist- und Planzustand durchgeführt. Auch hier wurden die Ergebnisse der Simulation HW2011-HQ100 Ist-Zustand mit den Ergebnissen der Simulation für die Frühjahrsflutung 2015 Ist-Zustand kombiniert. Die aus der Kombination beider Simulationen resultierenden maximalen Grundwasserhöhen und die dazugehörigen Grundwasserflurabstände sind in Anlage 03-1 dargestellt.

Anlage 03-2 zeigt die Grundwassersituation für die Simulation HW2011-HQ100 Planzustand und in Anlage 03-3 sind die Grundwasserdifferenzen zwischen Ist- und Planzustand dargestellt. Die räumliche Ausdehnung des von der geplanten HWR beeinflussten Bereichs ist vergleichbar zur Situation beim 30-jährlichen Hochwasser. Die Grundwasserhöhendifferenzen bei HQ100 sind aber deutlich geringer als bei HQ30, was im Wesentlichen darauf zurückzuführen ist, dass beim HQ100 auch im Ist-Zustand die Poldergebiete überflutet werden. Der maximale Grundwasseranstieg gegenüber dem Ist-Zustand beträgt im HQ100-Fall etwa 1,5 m und stellt sich im gesamten Bereich der Oberen und Unteren Oberauer Schleife und im Polder Öberau ein.

In den Ortslagen Pittrich, Kößnach, Unterzeitldorn und Sossau zeigen sich keine nachteiligen Auswirkungen der geplanten HWR auf die Grundwasserverhältnisse.

Entlang der Donau unterhalb der Staustufe sowie entlang der Kößnach und des Kößnach-Ableiters sind auch bei HQ100 niedrigere Grundwasserstände im Planzustand zu erwarten als im Ist-Zustand.

Die maximalen In- und Exfiltrationsraten der Grundwassersimulationen HW2011-HQ100 Ist- und Planzustand sind in Tabelle 4 zusammengestellt.

Tabelle 4: Wasserbilanz - Austausch Oberflächenwasser mit Grundwasser für Simulationen HW2011-HQ100 Ist- und Planzustand

Gewässer / Graben / Poldergebiet	HW2011-HQ100 Ist-Zustand [l/s]	HW2011-HQ100 Planzustand [l/s]
	max. Netto- Infiltration (+) bzw. Netto-Exfiltration (-)	max. Netto- Infiltration (+) bzw. Netto-Exfiltration (-)
Donau inkl. Vorländer		
Donau Unterwasser Staustufe	+454	+471
Donau Oberwasser Staustufe	+135	+136
Öberauer Schleife		
Öberauer Schleife - oberer Teil	-728	+1669
Öberauer Schleife - unterer Teil	-358	-258
Polder Öberau		
Polder Öberau	+276	+642
Kößnach		
Kößnach	+1397	+774
Polder Sossau		
Polder Sossau West	+1049	+352
Polder Sossau Ost	+316	+354
Entwässerungsgraben Polder Sossau Ost	-14	-14
Polder Hornstorf		
Fischersdorfer Graben	-20	-20
Hornstorfer Graben	-43	-43
Polder Kößnach		
Gräben südl. SW Kößnach	-4	-4
Pittricher Rinne	-20	-32
Zulauf Pittricher Rinne		-1
Neudaugraben	-17	-30
Hartbauergraben	-6	-6
Zulauf Hartbauergraben	-1	-2
Pichseegraben	-21	-22
Nachtweidegraben		
Perlbachgraben	-75	-75
Überleitung Perlbachgraben	-28	-28
Kalter Graben	-46	-45
Gesamt Gräben Polder Kößnach	-202	-232

4.2.3 Simulationen für HW2011-HQ200

Ein weiterer für die Beurteilung der Wirksamkeit der geplanten HWR wichtiger Lastfall ist die Situation bei einem 200-jährlichen Hochwasser der Donau. Zur Untersuchung dieses Lastfalls wurde analog zu den Lastfällen HQ30 und HQ100 die Charakteristik der Hochwasserwelle vom Januar 2011 zugrunde gelegt.

Die Ergebnisse der Oberflächengewässermodellierung für den Lastfall HW2011-HQ200 sind in Abbildung 6 und Abbildung 7 dargestellt. Hier zeigt sich ein ähnliches Bild wie beim HQ100 Ereignis nämlich, dass beim Hochwasser bereits im Ist-Zustand die Poldergebiete von der Unterwasserseite der Staustufe Straubing her überflutet werden. Die Füllung der Polder ist bei diesem Ereignis größer als beim 100-jährlichen Hochwasser, so dass die geplanten HWR kaum seine Wirkung entfalten kann (s. Abflussganglinien der Donau für Ist- und Planzustand in Abbildung 6).

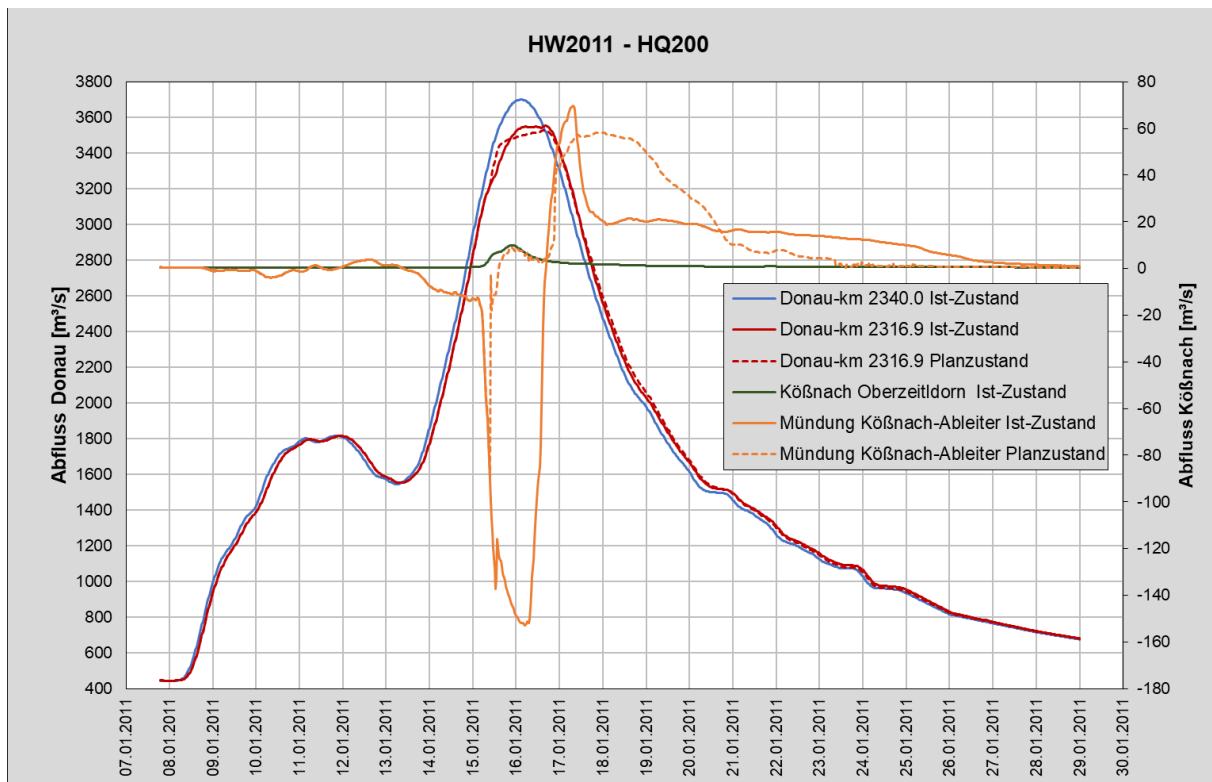
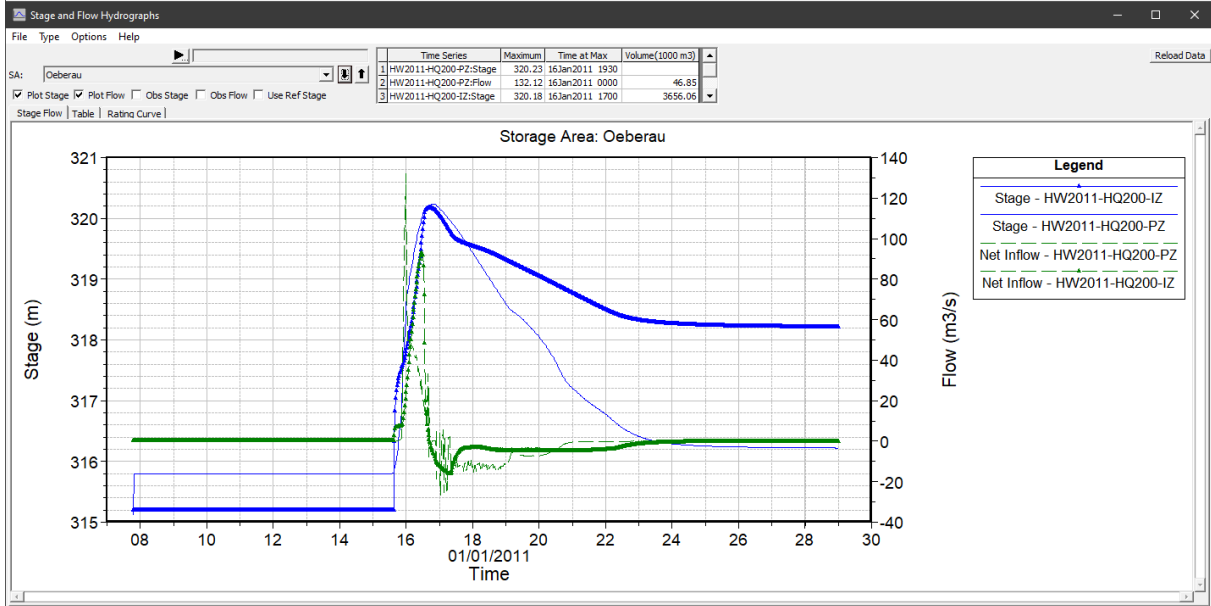
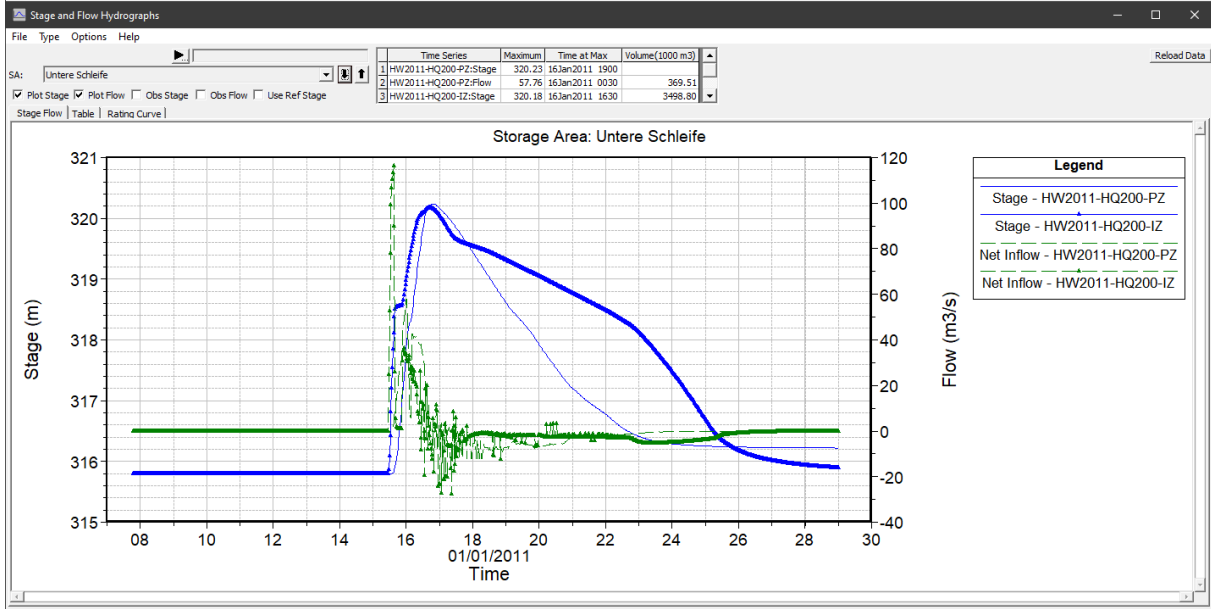
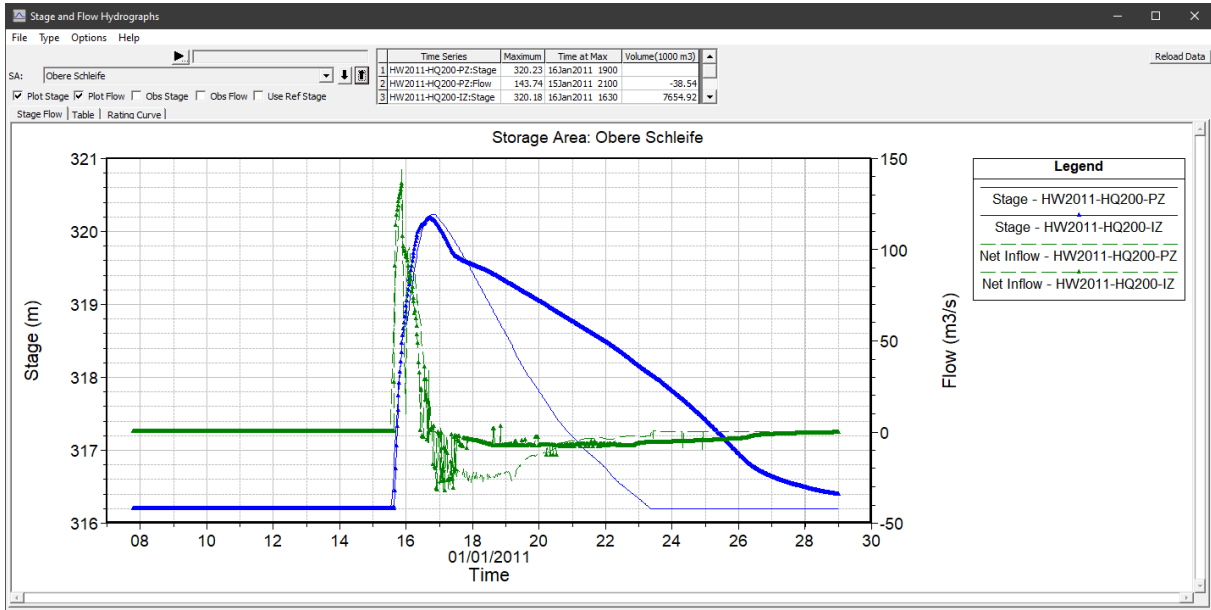


Abbildung 6: Abflussganglinien Donau und Kößnach für Simulation HW2011-HQ200

Bezogen auf das Grundwasser ergeben sich für den Lastfall HW2011-HQ200 kaum Veränderungen der maximalen Grundwasserhöhen zwischen Ist- und Planzustand, wie die Darstellungen in Anlage 04-1, Anlage 04-2 und Anlage 04-3 dokumentieren.

Die in Anlage 04-3 dargestellte Anhebung des Grundwasserspiegels in lokalen Bereichen des Polders Kößnach ist auf die geplante Innendichtung (Spundwand) des vorhandenen ehemaligen linken Donau-deichs entlang der nördlichen Grenze des Polders Obere Oberauer Schleife zum Polder Kößnach (Deichabschnitt 1) zurückzuführen. Die negativen Grundwasserdifferenzen (Verringerung der Grundwasserstände im Planzustand gegenüber dem Ist-Zustand) im Bereich der Ortslagen Pittrich und Oberau sind auf die vorgesehenen Perforationen in den Entwässerungsgräben (Abhilfemaßnahmen für den Planzustand, s. Kapitel 2) zurückzuführen.



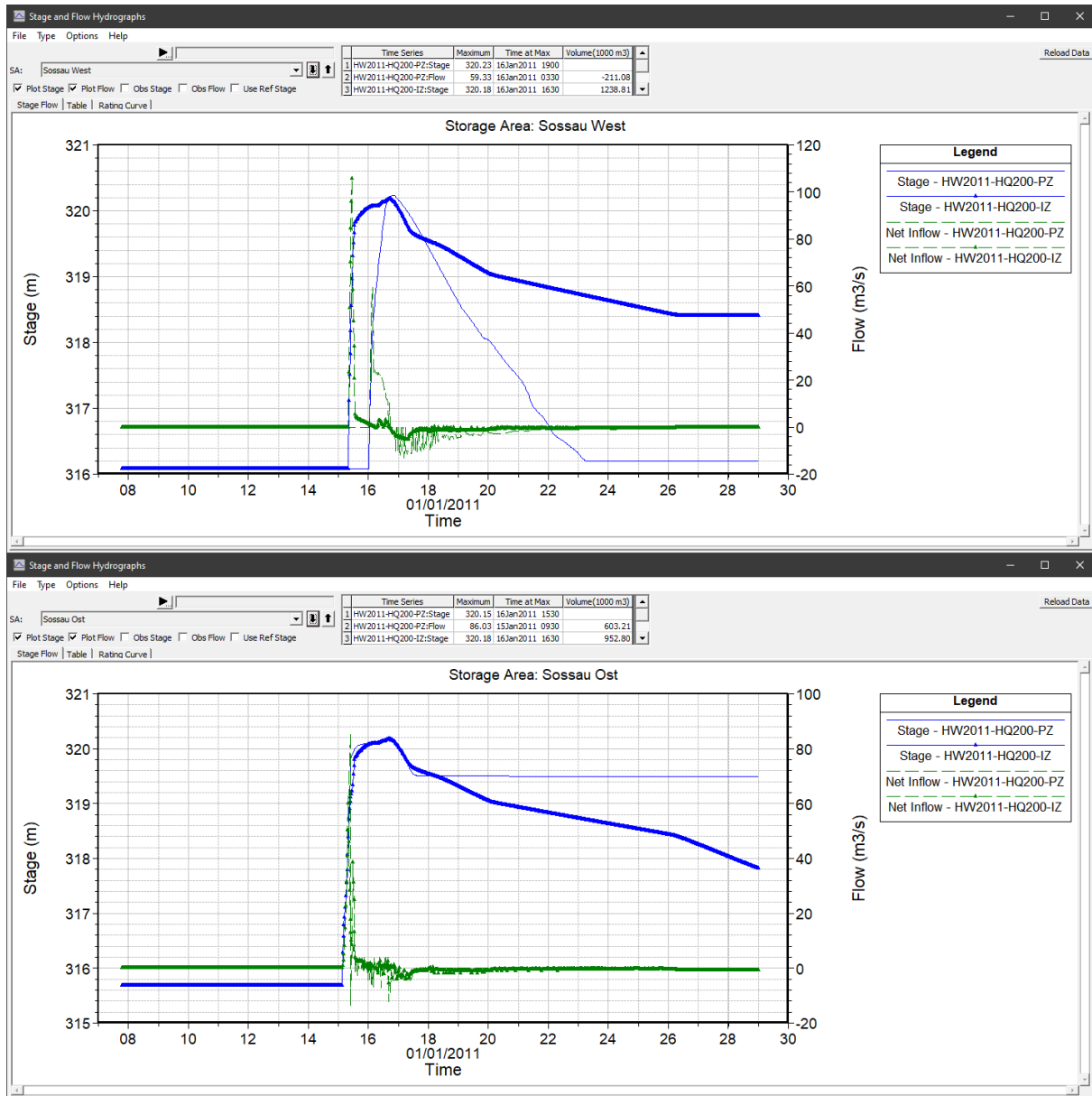


Abbildung 7: Wasserstands- und Abflussganglinien der Poldergebiete für Simulation HW2011-HQ200 Ist- und Planzustand

Der maximale Flutungsstand in den Poldergebieten ist beim HQ200 in Ist- und Planzustand nahezu gleich (s. Abbildung 7). Da aber der Vorgang der Polderflutung und -entleerung in beiden Fällen unterschiedlich ist, ergeben sich zum Teil unterschiedliche In- und Exfiltrationsraten an den Gewässern, Gräben und Überflutungsbereichen im Modellgebiet, wie die Ergebnisse der Wasserbilanz in Tabelle 5 zeigen.

Tabelle 5: Wasserbilanz - Austausch Oberflächenwasser mit Grundwasser für Simulationen HW2011-HQ200 Ist- und Planzustand

Gewässer / Graben / Poldergebiet	HW2011-HQ200 Ist-Zustand [l/s]	HW2011-HQ200 Planzustand [l/s]
	max. Netto- Infiltration (+) bzw. Netto-Exfiltration (-)	max. Netto- Infiltration (+) bzw. Netto-Exfiltration (-)
Donau inkl. Vorländer		
Donau Unterwasser Staustufe	+475	+469
Donau Oberwasser Staustufe	+195	+188
Öberauer Schleife		
Öberauer Schleife - oberer Teil	+1959	+1977
Öberauer Schleife - unterer Teil	+732	-420
Polder Öberau		
Polder Öberau	+397	+916
Kößnach		
Kößnach	+1407	+793
Polder Sossau		
Polder Sossau West	+1318	+435
Polder Sossau Ost	+331	+531
Entwässerungsgraben Polder Sossau Ost	-14	-14
Polder Hornstorf		
Fischersdorfer Graben	-21	-22
Hornstorfer Graben	-46	-46
Polder Kößnach		
Gräben südl. SW Kößnach	-4	-4
Pittricher Rinne	-30	-33
Zulauf Pittricher Rinne	-1	-1
Neudaugraben	-30	-31
Hartbauergraben	-7	-6
Zulauf Hartbauergraben	-2	-2
Pichseegraben	-24	-24
Nachtweidegraben		
Perlbachgraben	-82	-81
Überleitung Perlbachgraben	-30	-30
Kalter Graben	-50	-50
Gesamt Gräben Polder Kößnach	-241	-245

4.2.4 Simulationen für HW1988-HQ30

Die Ergebnisse der Simulationen für Hochwasserereignisse unterschiedlicher Jährlichkeit ($T=30$, 100 und 200 Jahre) haben gezeigt, dass die Auswirkungen der geplanten HWR auf das Grundwasser bei einem 30-jährlichen Donauhochwasser am größten sind. Neben dem Spitzenabfluss des Hochwassers spielt auch die Form und Fülle der Hochwasserwelle eine Rolle. Um diesen Einfluss erfassen und beurteilen zu können, wurden zusätzliche Simulationen für HQ30 mit unterschiedlichen Hochwasserwellenformen durchgeführt.

Ein Donauhochwasser mit breiter Hochwasserwelle trat im März-April 1988 ein. Am Pegel Pfelling wurde bei diesem Hochwasser ein Spitzenabfluss von $2667 \text{ m}^3/\text{s}$ registriert. Dies entspricht einer Hochwasserjährlichkeit von etwa $T=25$ Jahren. Hochskaliert auf den Hochwasserabfluss $\text{HQ30}=2800 \text{ m}^3/\text{s}$ ergibt das HW1988 eine Abflussganglinie wie in Abbildung 8 dargestellt.

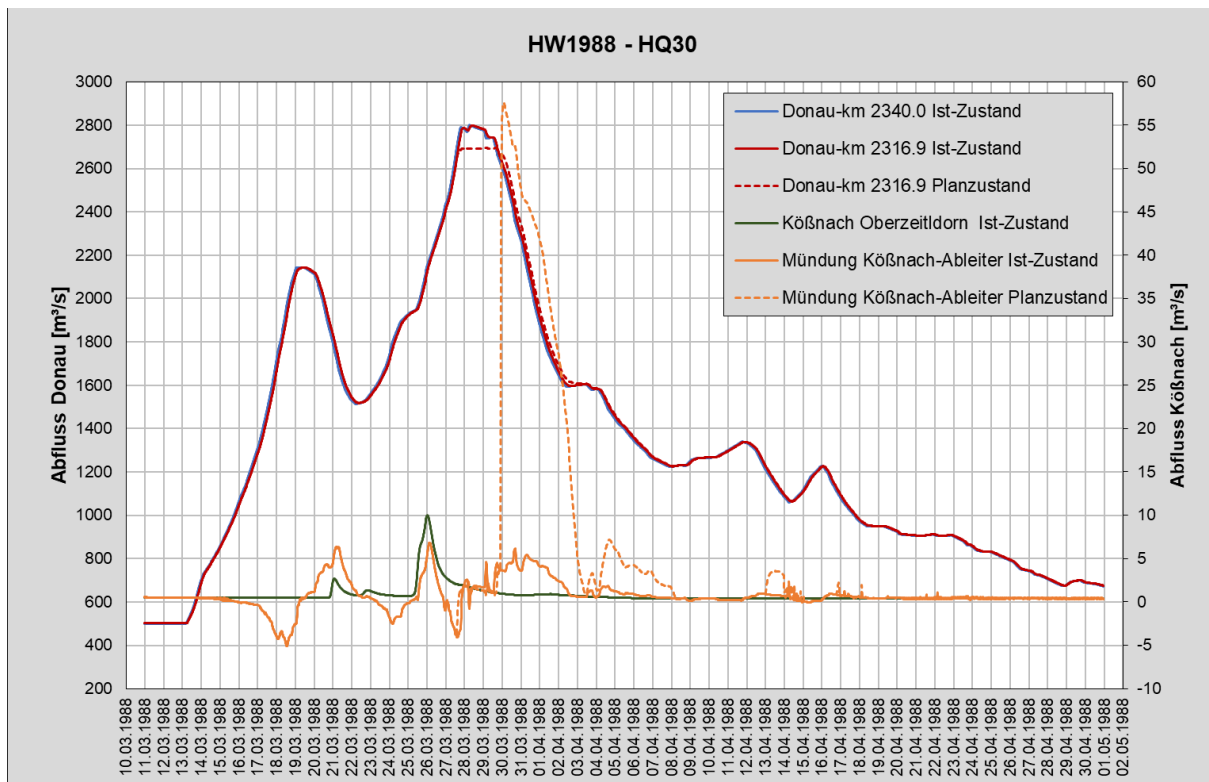
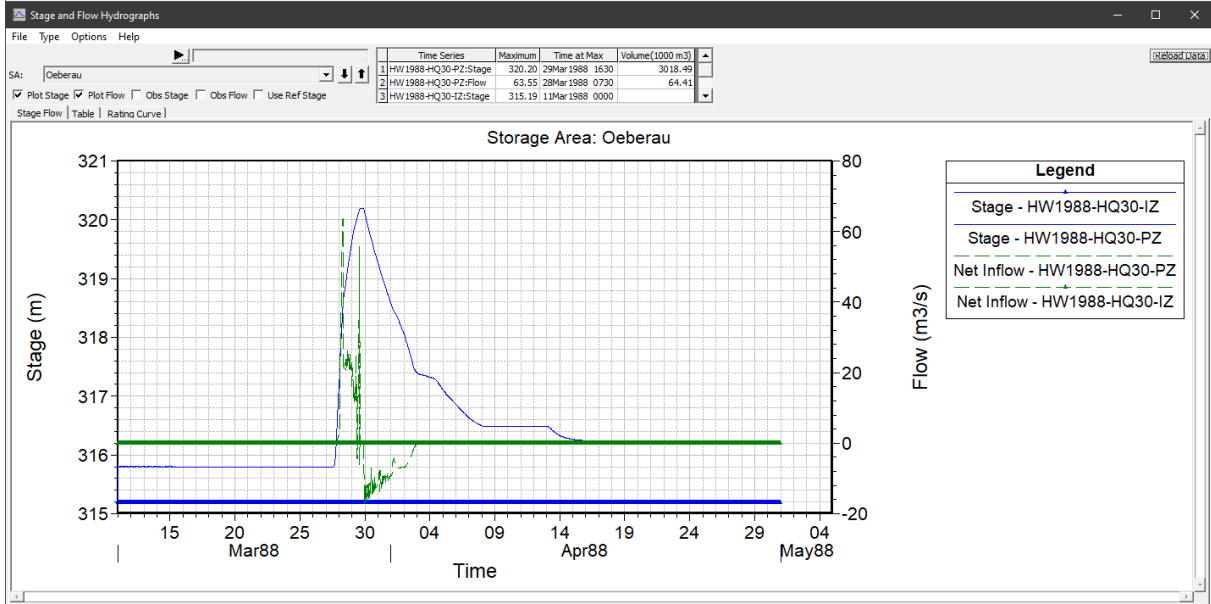
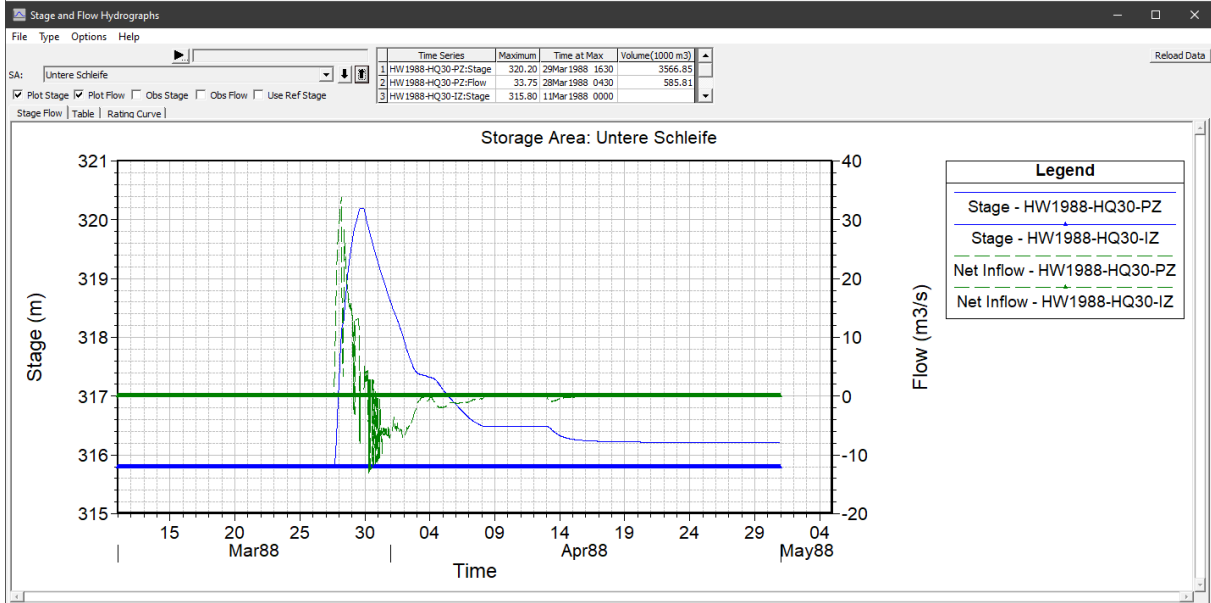
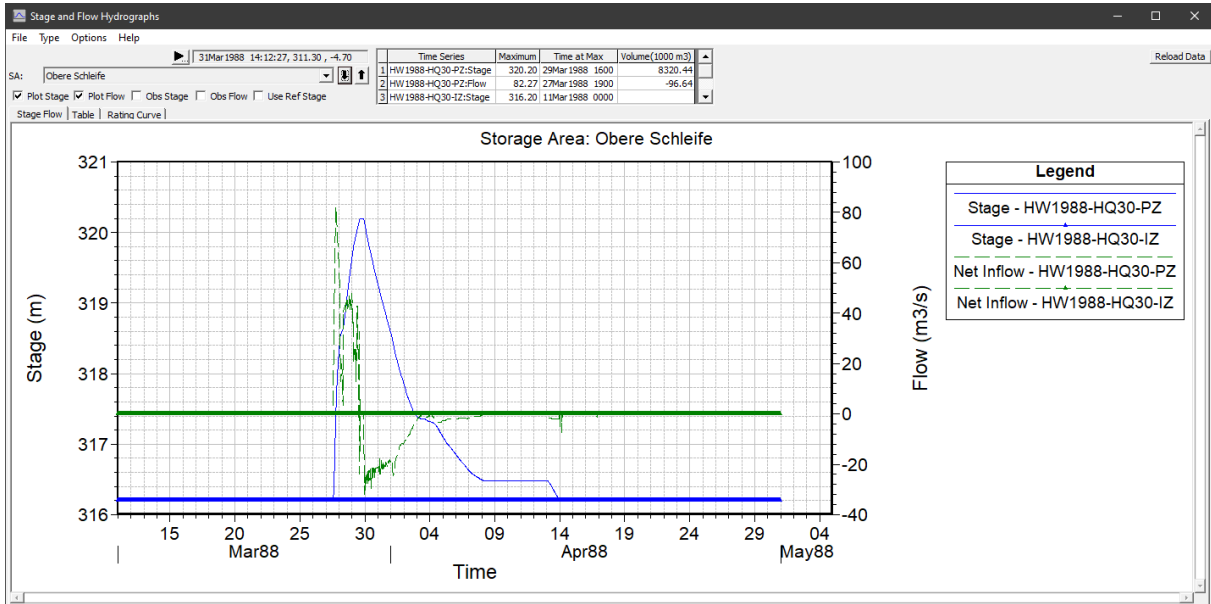


Abbildung 8: Abflussganglinien Donau und Kößnach für Simulation HW1988-HQ30

Beim Lastfall HW1988-HQ30 bleiben alle Poldergebiete im Ist-Zustand leer, wie Abbildung 9 zeigt. Die mittels Oberflächengewässermodellierung berechneten Wasserstands- Abflussganglinien der einzelnen Poldergebiete für den Planzustand kann man ebenfalls in Abbildung 9 sehen.

Die Ergebnisse der Grundwassersimulationen für HW1988-HQ30 Ist- und Planzustand sind in Anlage 05-1, Anlage 05-2 und Anlage 05-3 präsentiert. Die maximalen Grundwasserhöhendifferenzen zwischen Ist- und Planzustand unterscheiden sich kaum von Ergebnis der Simulationen für HW2011-HQ30 (Hochwasserwelle mit mittlerer Breite). Lediglich im Polder Kößnach ist die räumliche Ausdehnung des Einflussbereiches der geplanten HWR geringfügig größer als beim Lastfall HW2011-HQ30. Durch die Abhilfemaßnahme mit perforierten Kiessäulen in den Entwässerungsgräben Neudaugraben und Pittricher Rinne kann ein Grundwasseranstieg in der Ortslage Pittrich verhindert werden.



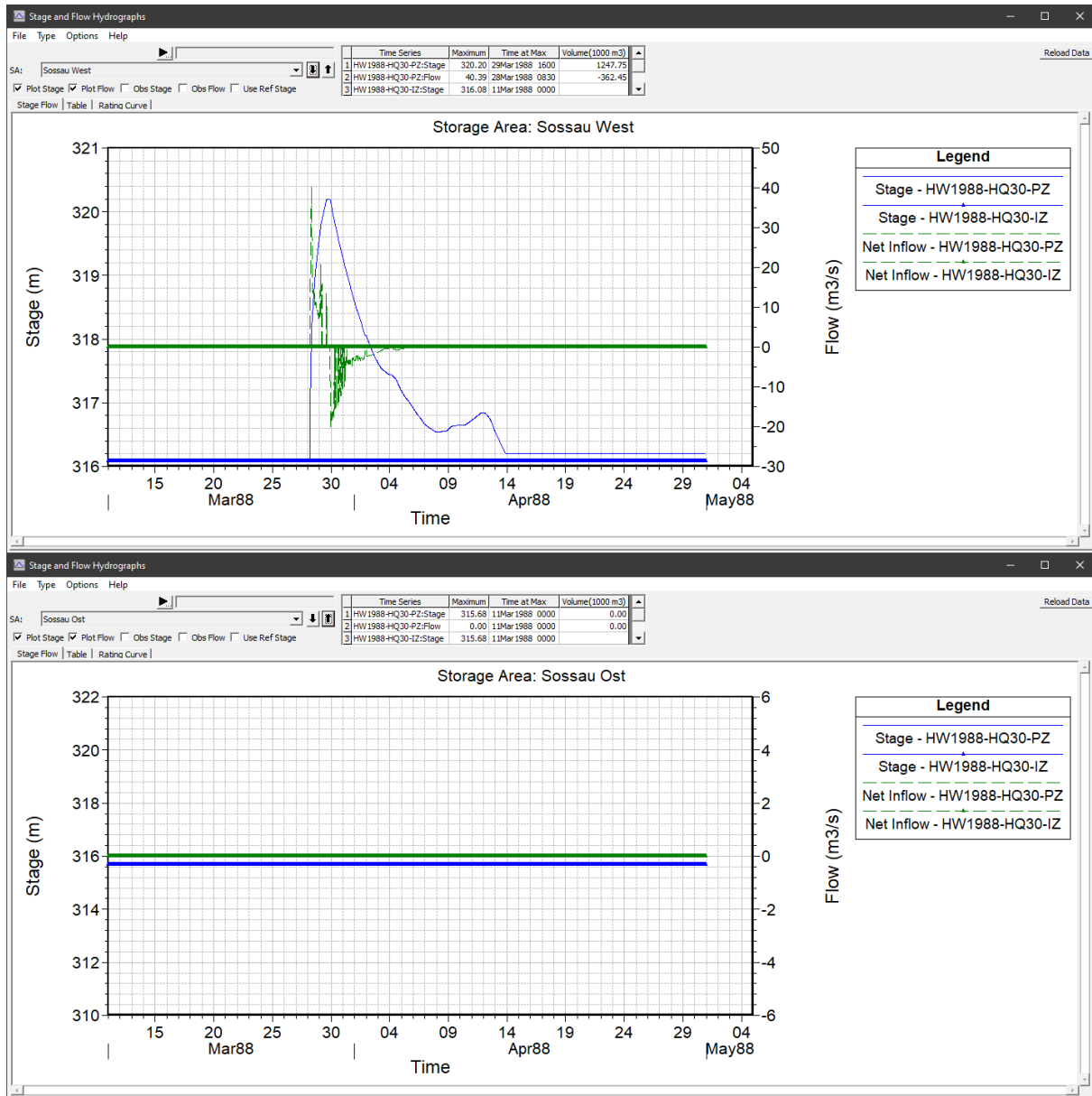


Abbildung 9: Wasserstands- und Abflussganglinien der Poldergebiete für Simulation HW1988-HQ30 Ist- und Planzustand

Die Ergebnisse der Wasserbilanzierung für die Grundwassersimulationen HW1988-HQ30 Ist- und Planzustand sind in Tabelle 6 zusammengestellt. Die maximalen In- bzw. Exfiltrationsraten in den Gewässern, Gräben und Poldergebieten unterscheiden sich geringfügig von den Werten der Simulationen für HW2011-HQ30.

Tabelle 6: Wasserbilanz - Austausch Oberflächenwasser mit Grundwasser für Simulationen HW1988-HQ30 Ist- und Planzustand und FF2015 Ist-Zustand

Gewässer / Graben / Poldergebiet	FF2015 Ist-Zustand [l/s]	HW1988-HQ30 Ist-Zustand [l/s]	HW1988-HQ30 Planzustand [l/s]
	max. Netto- Infiltration (+) bzw. Netto-Exfiltration (-)	max. Netto- Infiltration (+) bzw. Netto-Exfiltration (-)	max. Netto- Infiltration (+) bzw. Netto-Exfiltration (-)
Donau inkl. Vorländer			
Donau Unterwasser Staustufe	+296	+450	+450
Donau Oberwasser Staustufe	+37	+118	+118
Öberauer Schleife			
Öberauer Schleife - oberer Teil	+449	-437	+1407
Öberauer Schleife - unterer Teil	-195	-72	+256
Polder Öberau			
Polder Öberau	-45	-33	+216
Kößnach			
Kößnach	-210	+815	+317
Polder Sossau			
Polder Sossau West			+318
Polder Sossau Ost			
Entwässerungsgraben Polder Sossau Ost		-24	-26
Polder Hornstorf			
Fischersdorfer Graben	-5	-23	-23
Hornstorfer Graben	-15	-45	-46
Polder Kößnach			
Gräben südl. SW Kößnach	-1	-3	-4
Pittricher Rinne	-14	-14	-34
Zulauf Pittricher Rinne			-1
Neudaugraben	-13	-1	-32
Hartbauergraben	-7	-4	-6
Zulauf Hartbauergraben	-1	-1	-2
Pichseegraben	-10	-19	-21
Nachtweidegraben			
Perlbachgraben	-32	-68	-68
Überleitung Perlbachgraben	-15	-27	-26
Kalter Graben	-14	-38	-38
Gesamt Gräben Polder Kößnach	-103	-172	-224

4.2.5 Simulationen für HW2002-HQ30

Als weiteres für die Untersuchung prägendes Donauhochwasser war das vom August 2002. Bei diesem Hochwasser betrug der Scheitelabfluss der Hochwasserwelle am Pegel Pfelling 2400 m³/s. Dies entspricht einer Jährlichkeit von etwa T=15 Jahren. Die Hochwasserwelle 2002 hatte eine kürzere Dauer und eine geringere Fülle als die Hochwasserwellen 03-04/1988 und 01/2011. Die aus der hydraulischen Modellierung berechneten Abflussganglinien von Donau und Kößnach für den Ist- und Planzustand sind in Abbildung 10 dargestellt. Die Wirkung der geplanten HWR hinsichtlich der Reduzierung der Abflussspitze für die Unterlieger ist hier vergleichbar mit dem Ergebnis der Simulationen für HW2011-HQ30 (mittlere Wellenbreite).

Die mittels hydraulischer Oberflächenwassermodellierung berechneten Wasserstands- und Abflussganglinien der einzelnen Poldergebiete für den Ist- und Planzustand sind der Abbildung 11 zu entnehmen.

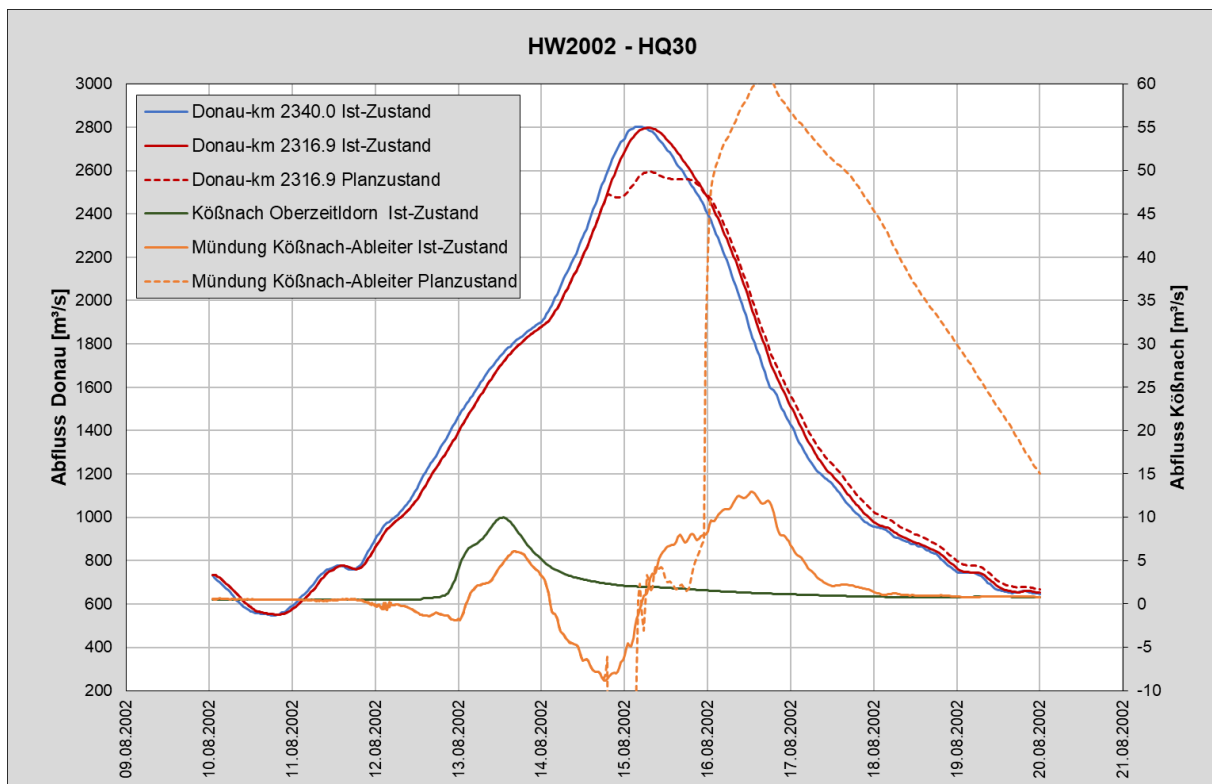
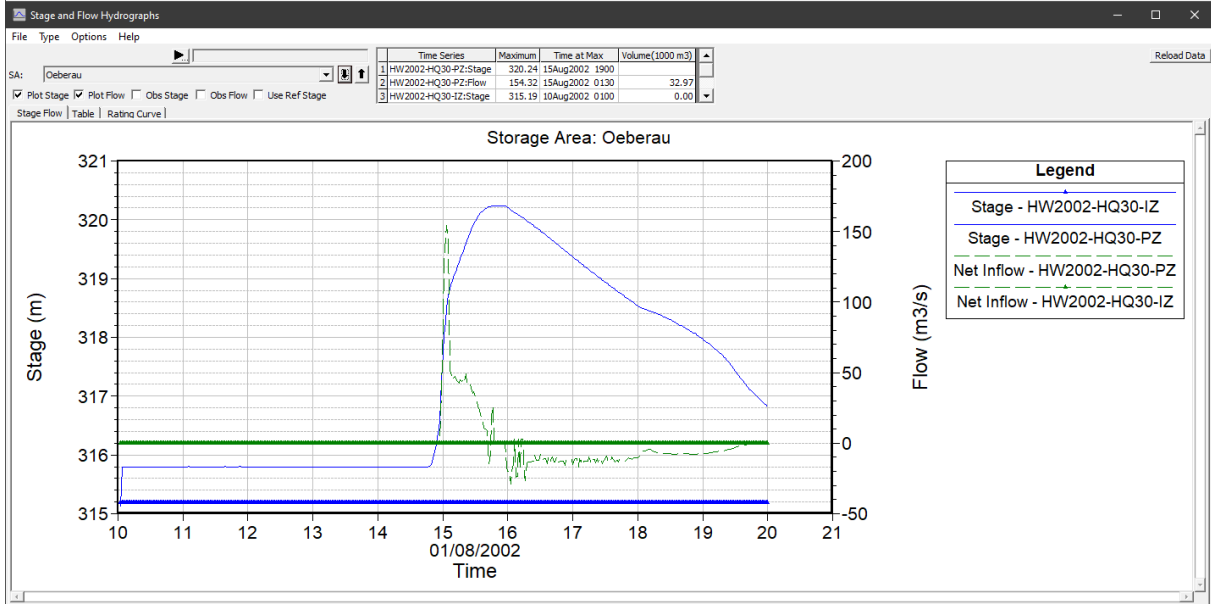
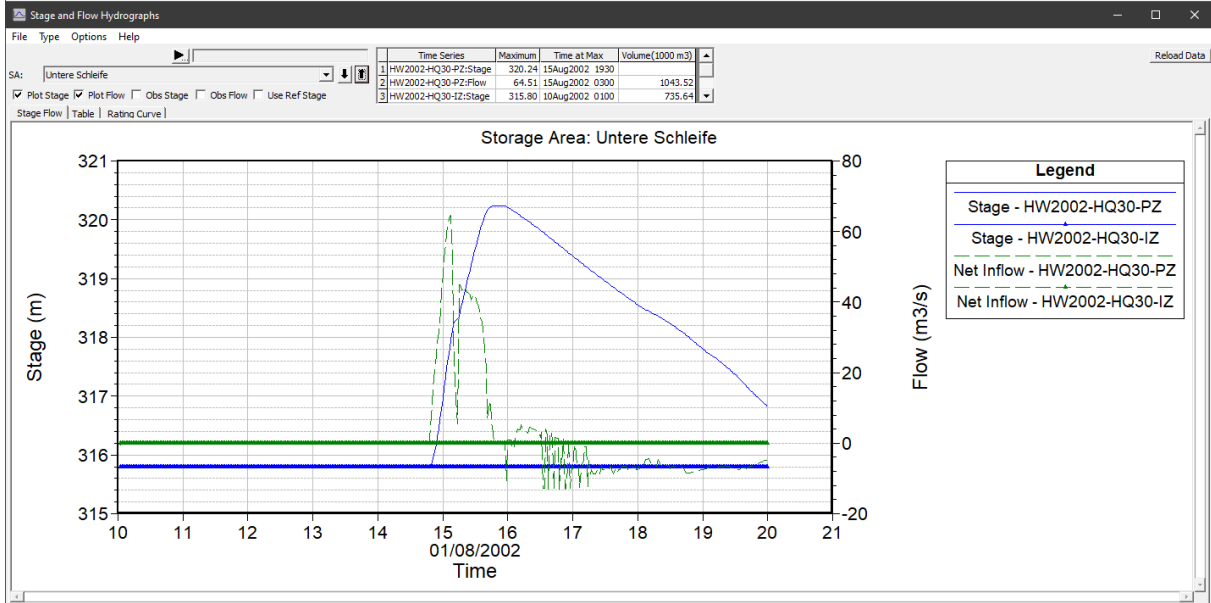
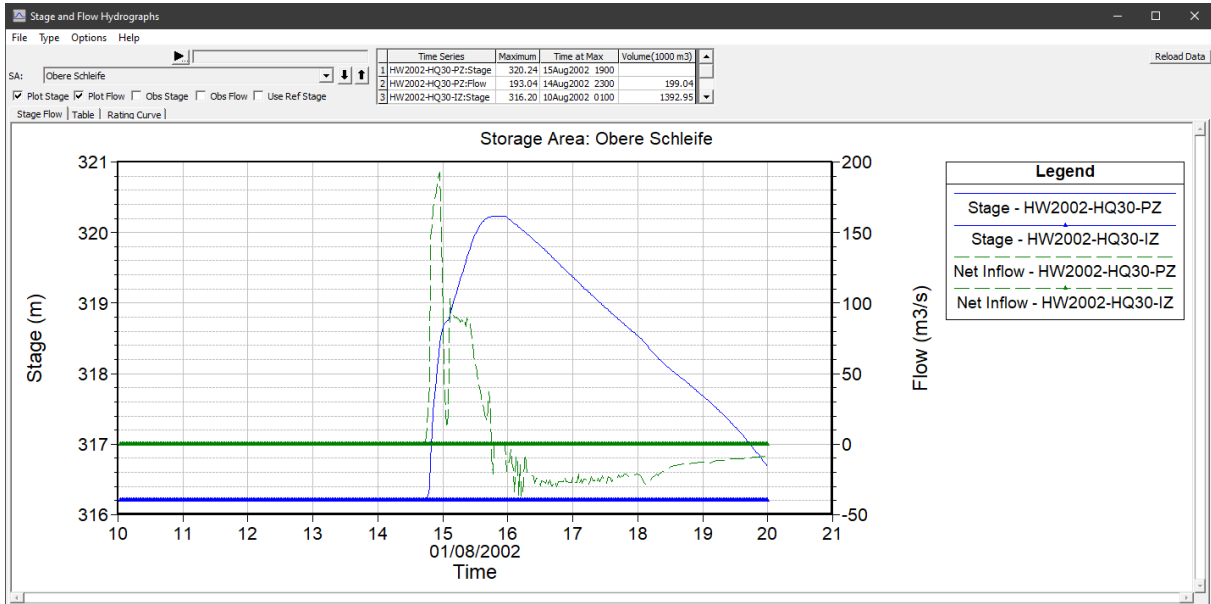


Abbildung 10: Abflussganglinien Donau und Kößnach für Simulation HW2002-HQ30

Die Auswertung der Grundwassersimulationen für HW2002-HQ30 Ist- und Planzustand hinsichtlich maximaler Grundwasserhöhen und daraus resultierender Grundwasserflurabstände zeigen Anlage 06-1 bzw. Anlage 06-2. In Anlage 06-3 sind die Differenzen zwischen den maximalen Grundwasserhöhen des Plan- und Ist-Zustands aufgetragen. Das Bild unterscheidet sich wenig vom Ergebnis der Simulationen für HW2011-HQ30 und HW1988-HQ30.

Auch die Ergebnisse der Wasserbilanzierung für die Simulationen HW2002-HQ30 sind mit Werten der HQ30-Simulationen für die Hochwasserwellen HW1988 und HW2011 vergleichbar, wie Tabelle 7 verdeutlicht. Dies gilt insbesondere für die alle Entwässerungsgräben im Modellgebiet.



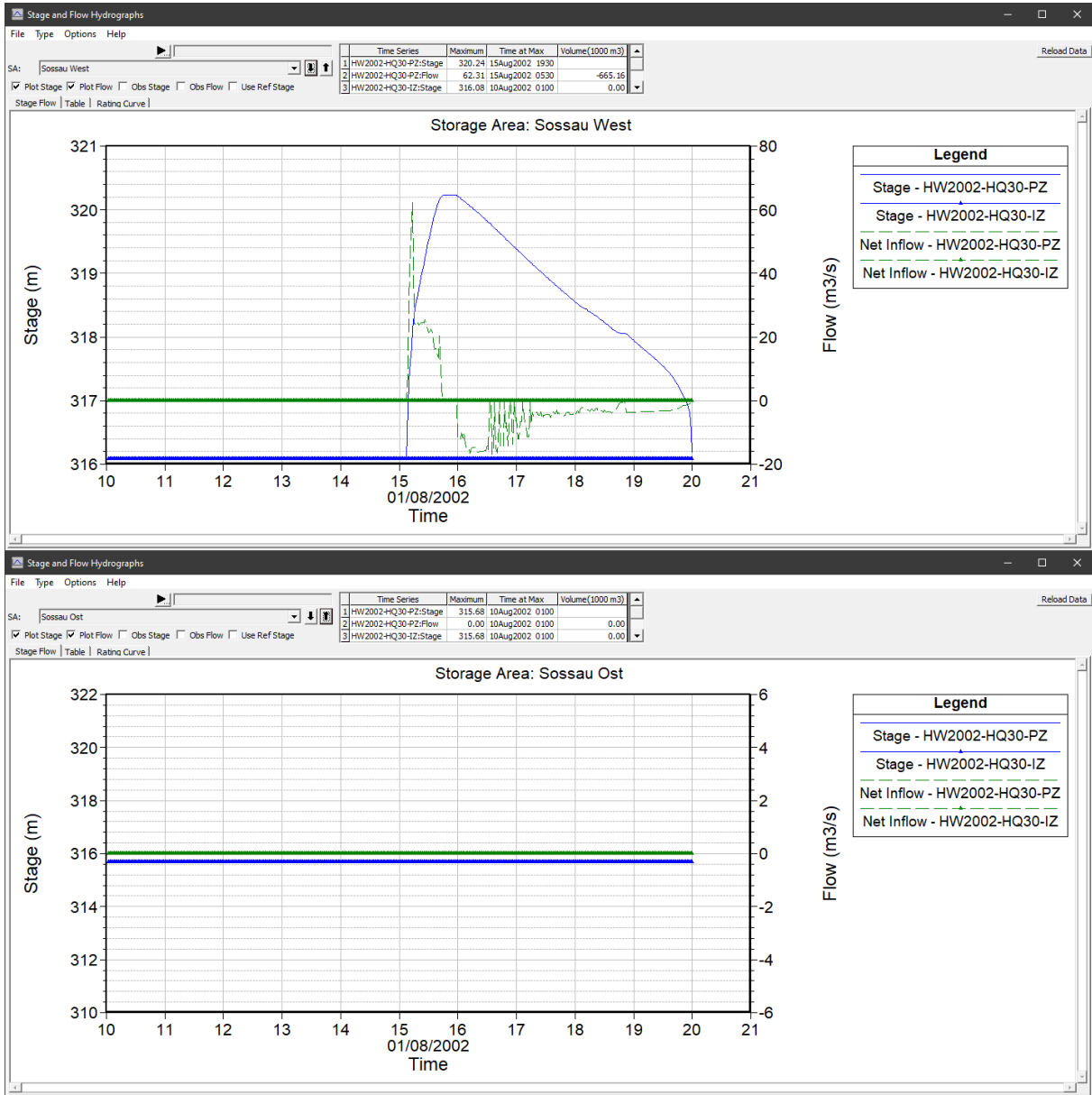


Abbildung 11: Wasserstands- und Abflussganglinien der Poldergebiete für Simulation HW2002-HQ30 Ist- und Planzustand

Tabelle 7: Wasserbilanz - Austausch Oberflächenwasser mit Grundwasser für Simulationen HW2002-HQ30 Ist- und Planzustand und FF2015 Ist-Zustand

Gewässer / Graben / Poldergebiet	FF2015 Ist-Zustand [l/s]	HW2002-HQ30 Ist-Zustand [l/s]	HW2002-HQ30 Planzustand [l/s]
	max. Netto- Infiltration (+) bzw. Netto-Exfiltration (-)	max. Netto- Infiltration (+) bzw. Netto-Exfiltration (-)	max. Netto- Infiltration (+) bzw. Netto-Exfiltration (-)
Donau inkl. Vorländer			
Donau Unterwasser Staustufe	+296	+630	+630
Donau Oberwasser Staustufe	+37	+134	+134
Öberauer Schleife			
Öberauer Schleife - oberer Teil	+449	-434	+2547
Öberauer Schleife - unterer Teil	-195	-66	+335
Polder Öberau			
Polder Öberau	-45	-33	+892
Kößnach			
Kößnach	-210	+928	+456
Polder Sossau			
Polder Sossau West			+467
Polder Sossau Ost			
Entwässerungsgraben Polder Sossau Ost		-21	-23
Polder Hornstorf			
Fischersdorfer Graben	-5	-14	-14
Hornstorfer Graben	-15	-30	-33
Polder Kößnach			
Gräben südl. SW Kößnach	-1	-2	-3
Pittricher Rinne	-14	-13	-30
Zulauf Pittricher Rinne			-1
Neudaugraben	-13	-1	-31
Hartbauergraben	-7	-4	-6
Zulauf Hartbauergraben	-1	-1	-1
Pichseegraben	-10	-16	-18
Nachtweidegraben			
Perlbachgraben	-32	-68	-67
Überleitung Perlbachgraben	-15	-25	-25
Kalter Graben	-14	-34	-33
Gesamt Gräben Polder Kößnach	-103	-161	-201

4.2.6 Simulationen für HW2013-HQreal

Als letztes Ereignis wurde das Donauhochwasser vom Juni 2013 berücksichtigt, welches einen Spitzenabfluss am Pegel Pfelling von ca. 2880 m³/s aufwies. Im Oberwasser der Staustufe Straubing betrug der Scheitelabfluss etwa 2720 m³/s. Damit ist das Hochwasser als etwa 30-jährliches Ereignis einzustufen. Von der Form und Charakteristik der Hochwasserwelle her, besteht eine große Ähnlichkeit zur Hochwasserwelle HW2011-HQ30.

Die Ergebnisse der Oberflächenwassermodellierung für die Simulationen HW2013-HQreal sind in Abbildung 12 und Abbildung 13 aufgetragen.

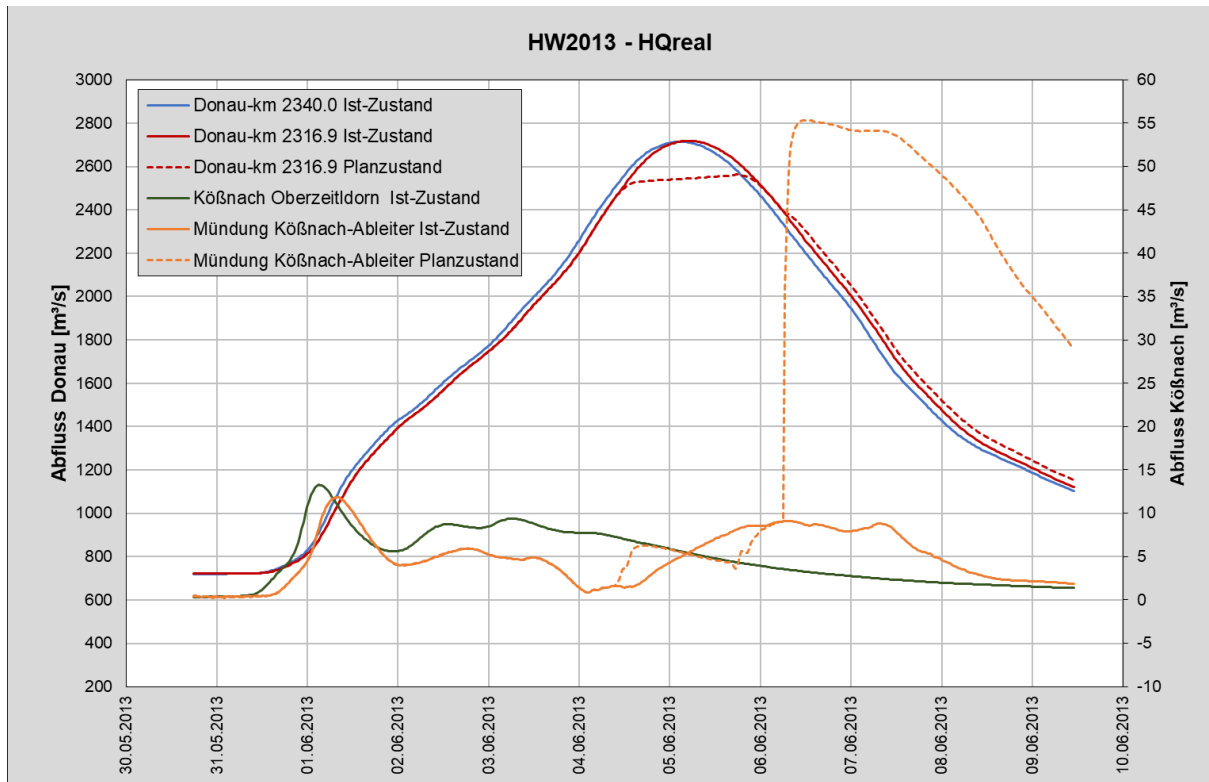
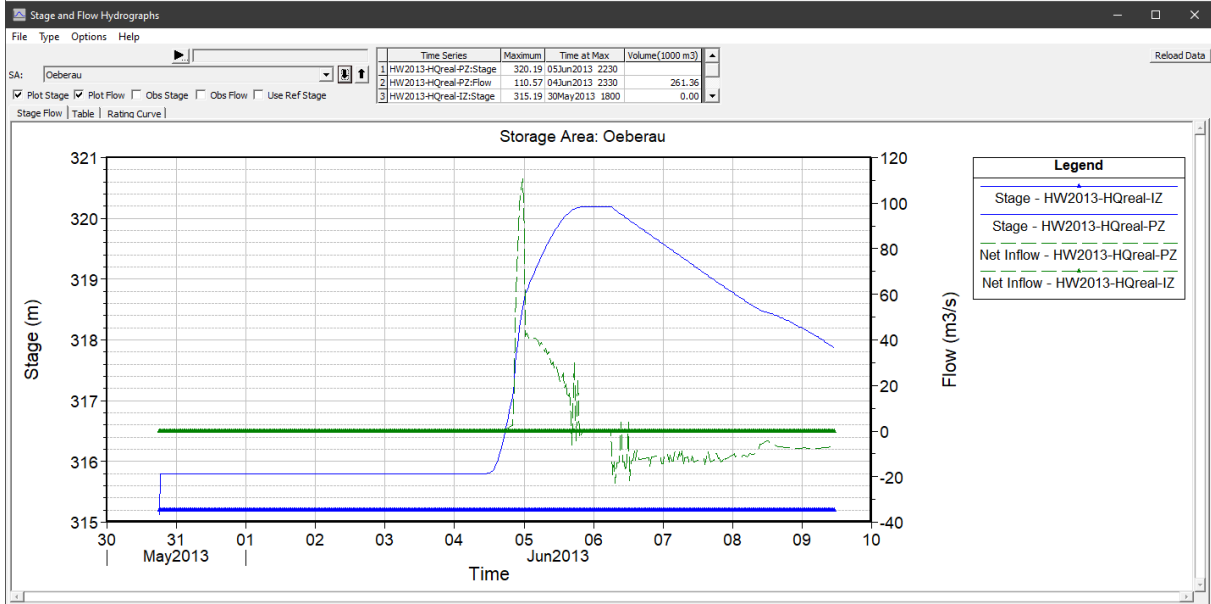
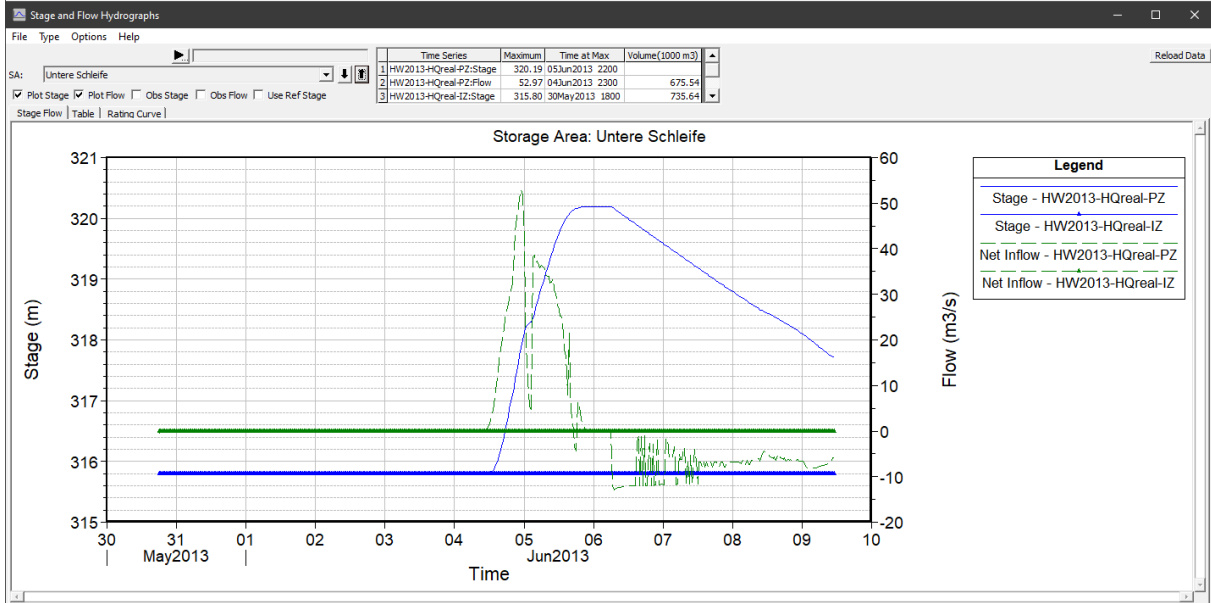
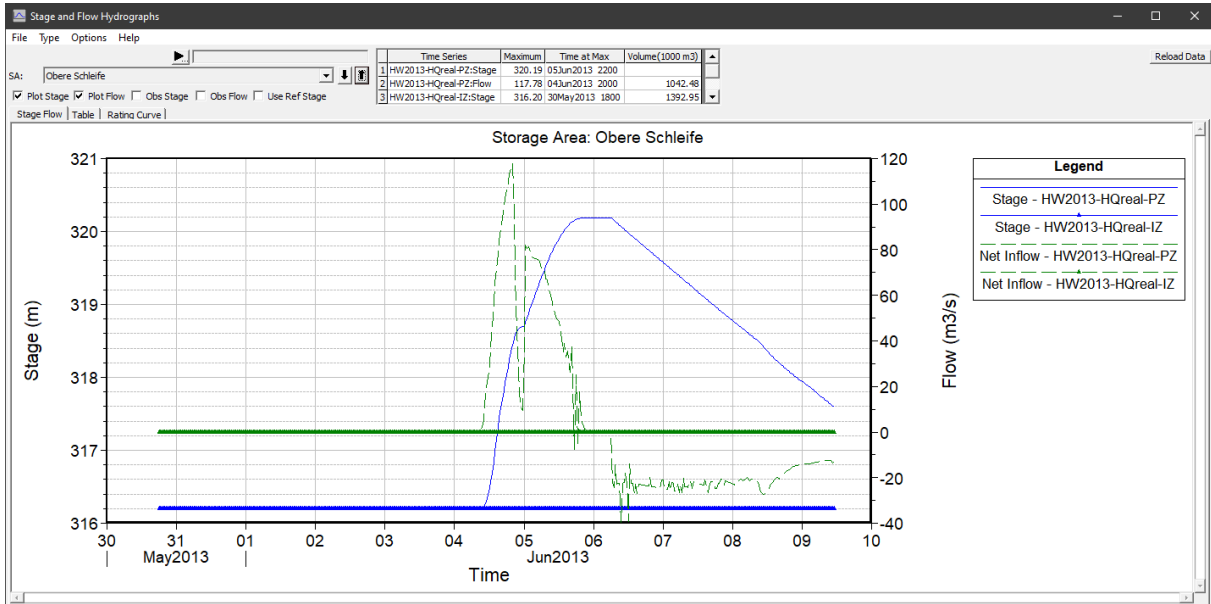


Abbildung 12: Abflussganglinien Donau und Kößnach für Simulation HW2013-HQreal

In Anlage 07-1, Anlage 07-2 und Anlage 07-3 sind die Ergebnisse der Grundwassersimulationen für HW2013-HQreal dokumentiert. Die Auswertung der maximalen Grundwasserdifferenzen zwischen Ist- und Planzustand liefert hier nahezu identische Ergebnisse zu denen der Simulationen für HW2011-HQ30. Auch die Ergebnisse der Wasserbilanzierung in Tabelle 8 unterscheiden sich nur geringfügig von denen der Simulationen für HW2011-HQ30.

Aus den oben genannten Ergebnissen der Simulationen für HW2013-HQreal ergeben sich keine neuen Erkenntnisse gegenüber den anderen HQ30-Simulationen. Die Ergebnisse hier dienen vielmehr als Bestätigung der bereits gezeigten Auswirkungen der geplanten HWR auf die Grundwasserverhältnisse bei einem 30-jährlichen Hochwasser der Donau.



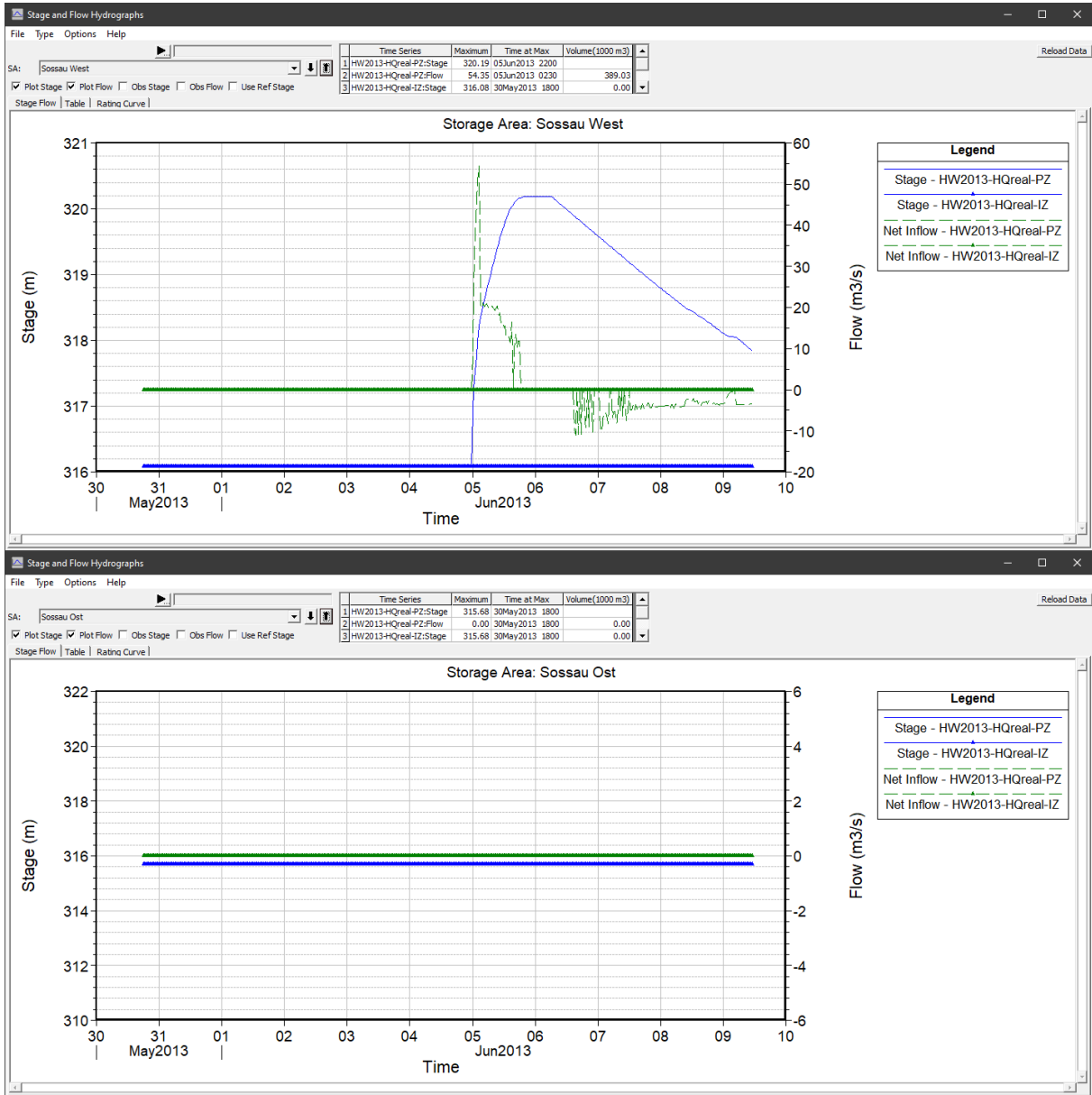


Abbildung 13: Wasserstands- und Abflussganglinien der Poldergebiete für Simulation HW2013-HQreal Ist- und Planzustand

Tabelle 8: Wasserbilanz - Austausch Oberflächenwasser mit Grundwasser für Simulationen HW2013-HQreal Ist- und Planzustand

Gewässer / Graben / Poldergebiet	HW2013-HQreal Ist-Zustand [l/s]	HW2013-HQreal Planzustand [l/s]
	max. Netto- Infiltration (+) bzw. Netto-Exfiltration (-)	max. Netto- Infiltration (+) bzw. Netto-Exfiltration (-)
Donau inkl. Vorländer		
Donau Unterwasser Staustufe	+653	+653
Donau Oberwasser Staustufe	+141	+141
Öberauer Schleife		
Öberauer Schleife - oberer Teil	-421	+1709
Öberauer Schleife - unterer Teil	-66	-323
Polder Öberau		
Polder Öberau	-33	+806
Kößnach		
Kößnach	+829	+360
Polder Sossau		
Polder Sossau West		+495
Polder Sossau Ost		
Entwässerungsgraben Polder Sossau Ost	-21	-24
Polder Hornstorf		
Fischersdorfer Graben	-16	-16
Hornstorfer Graben	-34	-35
Polder Kößnach		
Gräben südl. SW Kößnach	-2	-4
Pittricher Rinne	-13	-32
Zulauf Pittricher Rinne		-1
Neudaugraben	-1	-31
Hartbauergraben	-4	-6
Zulauf Hartbauergraben	-1	-2
Pichseegraben	-17	-19
Nachtweidegraben		
Perlbachgraben	-68	-67
Überleitung Perlbachgraben	-26	-26
Kalter Graben	-36	-34
Gesamt Gräben Polder Kößnach	-166	-211

Zur Simulation HW2013-HQreal ist noch zu ergänzen, dass es sich hierbei um ein reales Hochwasserereignis handelt, für welches Messdaten der Grundwasserhöhen an einzelnen Grundwassermessstellen vorliegen (insgesamt 6 Grundwassermessstellen). Die genannten Messstellen gehören zum Messnetz der RMD und befinden sich mit Ausnahme der Messstellen L94 und L95 östlich des Kößnach-Ableiters, außerhalb der geplanten Poldergebiete. Die Messintervalle der einzelnen Grundwassermessstellen variieren zwischen 3 Stunden und 7 Tagen und eignen sich aus diesem Grund nur bedingt für einen Vergleich mit berechneten Grundwasserhöhen aus dem Grundwassermodell. Aus den oben genannten Gründen wurden die Grundwassermessdaten des Hochwassers 06/2013 weder zur Kalibrierung noch zur Validierung des Grundwassermodells herangezogen. Stattdessen erfolgte die Anpassung der Modellparameter mit Hilfe der detaillierteren und umfangreicheren Datengrundlage des im Jahre 2014 eingerichteten „Sondermessnetzes Öberauer Schleife“ (s. Referenzen [4], [5], [6] und [7]). Details der

Modellkalibrierung und Modellvalidierung können den Referenzen [7], [9] und [10] bzw. der Unterlage 05-04-02 - Teil 2 Aufbau und Anpassung des Grundwassermodells entnommen werden.

5 Ergänzende Sensitivitätsanalyse

Im Rahmen der Erstellung, Kalibrierung und Validierung des Grundwassermodells wurde eine Sensitivitätsanalyse für die Planungsvariante Alternative 3 (eine Vorstufe der festgelegten Planung) durchgeführt, bei der die Sensitivität des Grundwassermodells gegenüber einer Variation der Modellparameter Durchlässigkeitsbeiwerte, Leakagekoeffizient der Gewässer und Entwässerungsgäben und Grundwasserneubildung untersucht wurde. Die Details und Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse sind in Referenz [10] bzw. in Unterlage 05-04-02 - Teil 2 Aufbau und Anpassung des Grundwassermodells dokumentiert. Die Aussagen der Sensitivitätsanalyse für die Planungsvariante „Alternative 3“ gelten auch für die festgelegte Planung.

Im Zuge der weiterführenden Untersuchung zur Festlegung der Planung wurde die im Kapitel 2 beschriebene Abhilfemaßnahme für die Ortslage Pittrich entwickelt. Diese Maßnahme sieht die Errichtung von Kiessäulen in den Entwässerungsgräben Pittricher Rinne (Abschnitt Neudaugraben-Pichseegraben) und Neudaugraben zur Verbesserung der Grundwasser-Oberflächenwasser-Interaktion und Reduzierung des Grundwasseranstiegs in der Ortschaft Pittrich gegenüber dem Ist-Zustand vor.

Die Umsetzung der Abhilfemaßnahme im Grundwassermodell erfolgte durch Erhöhung des Leakagekoeffizienten in den jeweiligen Grabenabschnitten um einen Faktor 3 bis 4 gegenüber den aus der Modellkalibrierung ermittelten Werten für den Ist-Zustand. Der verwendete Leakagekoeffizient der beiden Gewässerabschnitte für den Planzustand beträgt $1,5 \times 10^{-6}$ 1/s.

Ergänzend zu der bereits durchgeführten Sensitivitätsanalyse für die Planungsvariante „Alternative 3“ wurde eine zusätzliche Untersuchung zur Sensitivität des Grundwassermodells gegenüber einer Variation des Leakagekoeffizienten der Abhilfemaßnahme vorgenommen. Dabei wurde für den Lastfall HW2011-HQ30 Planzustand der oben genannte Leakagekoeffizient der Gewässerabschnitte Neudaugraben und Pittricher Rinne (Referenzfall) jeweils um einen Faktor 0,2 bzw. 5 variiert.

Die Auswirkungen der Variation des Leakagekoeffizienten auf die Grundwasserhöhen im Modellgebiet zeigen die Lagepläne in Anhang 6 und Anhang 7. Darin sind die maximalen Grundwasserhöhendifferenzen bezogen auf den Referenzfall dargestellt. Eine Erhöhung des Leakagekoeffizienten um Faktor 5 gegenüber dem Referenzfall bewirkt eine maximale Absenkung des Grundwasserspiegels in der Ortslage Pittrich von ca. 0,25 m (s. Anhang 6). Umgekehrt, bei Senkung des Leakagekoeffizienten um Faktor 0,2 gegenüber dem Referenzfall steigt der maximale Grundwasserspiegel in der Ortslage Pittrich ebenfalls um ca. 0,25 m (s. Anhang 7). Die räumliche Ausdehnung des Einflussbereichs für beide Sensitivitätsfälle ist nahezu gleich. Bezogen auf die Ausickerungsraten ergibt die Sensitivitätsanalyse die in Tabelle 9 zusammengestellten Werte.

Tabelle 9: Aussickerungsraten aus Sensitivitätsanalyse für Abhilfemaßnahme an Pittricher Rinne und Neudaugraben

Simulation HW2011-HQ30 Planzustand (Planungsvariante "favorisierte Planung")	Pittricher Rinne (Abschnitt Neudaugraben-Pichseegraben)		Neudaugraben	
	max. Ausickerungsrate [l/s]	Differenz gegenüber Referenzfall [%]	max. Ausickerungsrate [l/s]	Differenz gegenüber Referenzfall [%]
Referenzfall	9.2		5.8	
Sensitivitätsfall Faktor 5	15.8	+72	13.7	+135
Sensitivitätsfall Faktor 0,2	3.1	-81	1.5	-89

6 Zusammenfassende Bewertung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Grundwassermodelluntersuchung für die Planung der Hochwasserrückhaltung Oberauer Schleife. Im Bericht sind die Ergebnisse der Grundwassersimulationen für alle relevanten Grundwasserszenarien für den Ist- und Planzustand enthalten.

Das verwendete Grundwassermodell wurde im Zuge der Planung der HWR mehrmals erweitert und ergänzt und anhand von umfangreichen Messdaten und Informationen sowohl stationär als auch instationär kalibriert und validiert. Die dazugehörigen Projektarbeiten und Untersuchungsergebnisse sind in verschiedenen Erläuterungsbericht Teil 3en ausführlich beschrieben und dokumentiert (s. Referenzen).

Ergänzend zum Ist-Zustand aus der Modellkalibrierung und -validierung, wurde der Planzustand entsprechend der festgelegten Planung in das Grundwassermodell eingearbeitet. Dabei wurden alle für das Grundwasser relevanten Elemente und Strukturen der Planungsvariante einschließlich der vorgeschlagenen Abhilfemaßnahmen berücksichtigt.

Zur Beurteilung der Auswirkungen der geplanten HWR auf das Grundwasser sind die hydrologischen Zustände bei mittleren Verhältnissen ohne und mit Frühjahrsflutung und bei Hochwasser der Donau maßgebend. Für alle diese Zustände wurden Grundwassersimulationen für den Ist- und Planzustand durchgeführt. Aus dem Vergleich der Modellergebnisse folgte eine Prognose und Beurteilung der zu erwartenden Veränderungen infolge der geplanten Maßnahme.

Da für die Grundwassermodellierung genaue Angaben zur Hydraulik des Oberflächenwassers erforderlich sind, wurde ergänzend zum Grundwassermodell eine speziell auf die Fragestellung angepasste Oberflächenwassermodellierung vorgenommen. Die Verknüpfung des Oberflächenwassermodells mit dem Grundwassermodell ermöglicht eine gute und genaue Erfassung und Berechnung der Oberflächenwasser-Grundwasser-Interaktion im gesamten Modellgebiet.

Ein wichtiges Ziel der Maßnahmenplanung besteht darin, dass die HWR möglichst geringe Grundwasserveränderungen hervorruft. Bei mittleren Grundwasserverhältnissen erfüllt die favorisierte Planung weitestgehend dieses Ziel. Geringfügige Grundwasserhöhendifferenzen zwischen Ist- und Planzustand sind durch die erforderliche Abdichtung der Deichabschnitte am rechten Kößnach-Ableiter und an der Westtangente unvermeidbar. Sie bleiben aber mit maximalen Werten von $\pm 0,3$ m relativ gering. Vor allem bleibt die räumliche Ausdehnung der von Grundwasserdifferenzen betroffenen Bereiche gering. Ferner erweist sich die Lage dieser Bereiche als unkritisch.

Ein ähnliches Bild zeigt die Situation bei mittleren Verhältnissen mit Frühjahrsflutung. Die Bereiche mit Grundwasserdifferenzen zwischen Ist- und Planzustand sind auch hier räumlich relativ begrenzt und beschränken sich auf Flächen um die abgedichteten Deichabschnitte, die Komplexmaßnahme Hagen und die Abhilfemaßnahme im Bereich der Ortschaft Pittrich. Die von Grundwasserveränderungen betroffenen Flächen sind aufgrund der großräumigen Überflutung der Oberauer Schleife entsprechend etwas größer als im Fall ohne Frühjahrsflutung.

Die größten Auswirkungen der geplanten HWR auf das Grundwasser ergeben sich erwartungsgemäß im Hochwasserfall. Hier ist die Situation für ein 30-jährliches Hochwasser maßgebend, da bei einem HQ30 der Donau die Poldergebiete im Ist-Zustand nicht überflutet werden. Demnach ergeben sich beim HQ30-Ereignis die größten Grundwasserhöhendifferenzen zwischen Ist- und Planzustand. Der von Grundwasserveränderungen betroffene Bereich beschränkt sich auf die im Planzustand gefluteten Poldergebiete Obere und Untere Oberauer Schleife, Polder Öberau und Polder Sossau-West. In den bei HQ30 Planzustand nicht gefluteten Poldergebieten Sossau-Ost und Kößnach ergeben sich ebenfalls Grundwasserhöhenveränderungen, deren Ausmaß mit zunehmender Entfernung zu den gefluteten Poldergebieten abnimmt. Die Größe und räumliche Ausdehnung der Grundwasserdifferenzen zwischen Ist- und Planzustand sind in den Anlagen zu diesem Bericht graphisch dargestellt und können dort begutachtet werden.

Die Frage des Einflusses der Form und Dauer der Donauhochwasserwelle bei gleichbleibendem Scheitelabfluss auf die Grundwasserveränderungen zwischen Ist- und Planzustand wurde in der vorliegenden Studie ebenfalls untersucht. Dazu wurden Grundwassersimulationen für HQ30 mit drei Hochwasserwellen unterschiedlicher Dauer (HW1988, HW2002 und HW2011) sowie für HW2013-HQreal (HQreal entspricht in etwa einem HQ30) untersucht. Hinsichtlich der Größe und der räumlichen Verteilung der maximalen Grundwasserhöhendifferenzen zwischen Ist- und Planzustand ergeben sich kaum Unterschiede zwischen den betrachteten Hochwasserwellen. Jedoch sind Differenzen im zeitlichen Verlauf der Grundwasserveränderungen und bei den In- bzw. Exfiltrationsraten von einzelnen Entwässerungsgräben und Überflutungsbereichen zu verzeichnen.

Bei einem 100-jährlichen Hochwasser ist die Wirkung der Hochwasserrückhaltung hinsichtlich der Reduzierung des Scheitelabflusses für die Unterlieger geringer als beim 30-jährlichen Hochwasser. Dies liegt daran, dass bereits im Ist-Zustand der rechte Deich des Kößnach-Ableiters überströmt wird und über den Polder Sossau-Ost die restlichen Poldergebiete überflutet werden. Hierauf ist auch zurückzuführen, dass die Grundwasserveränderungen zwischen Ist- und Planzustand geringer ausfallen als beim HQ30-Fall. Die Lage und räumliche Ausdehnung der Bereiche mit Grundwasserveränderungen sind aber gegenüber dem HQ30-Fall nahezu gleich.

Als letztes wurde noch die Situation für ein 200-jährliches Hochwasser untersucht. Auch hier kommt es bereits im Ist-Zustand zur starken Überflutung der Poldergebiete mit Höchstwasserständen, die vergleichbar mit denen des Planzustands sind. Demzufolge ergeben sich beim HQ200 so gut wie keine Veränderungen der maximalen Grundwasserhöhen zwischen Ist- und Planzustand.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass die Veränderungen der Grundwasserverhältnisse im Untersuchungsgebiet durch die geplante HWR verträglich sind. Bei mittleren Grundwasserverhältnissen ergeben nur geringe Grundwasserdifferenzen zwischen Ist- und Planzustand an unkritischen Stellen. Bei Hochwasser der Donau treten im Planzustand erwartungsgemäß höhere Grundwasserstände innerhalb der gefluteten Poldergebiete sowie in den angrenzenden Poldern Kößnach und Sossau-Ost auf. In den Ortslagen sind bei keinem untersuchten Lastfall Grundwasseranstiege zu verzeichnen. Die geplante HWR dürfte somit keine nachteiligen Veränderungen der Grundwasserverhältnissen in diesen Bereichen bewirken.