

Bayrisches Landesamt für Umwelt

**2D-Berechnungen Flutpolder Bertoldsheim,
Dimensionierung Einlaufbauwerk,
Ermittlung Abflussaufteilung**

München, den 30.03.2015

RMD-Consult GmbH
Wasserbau und Energie
Blutenburgstraße 20
80636 München

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'S. Kanne', is positioned to the right of the company address.

Tel.: 089/99 222-402 S. Kanne

Inhaltsverzeichnis

1	VERANLASSUNG	4
2	AUFGABENSTELLUNG UND VORGEHENSWEISE	5
3	GRUNDLAGEN	6
3.1	Modell Istzustand	6
3.2	Polderumgriffe	6
3.3	Bescheide, vorhandene Untersuchung	6
3.4	Topographische Daten	7
3.5	Hydrologische Daten	7
3.6	Software	7
4	MODELLE UND POLDERVERARIANTEN	8
4.1	Modell Ist-Zustand	8
4.2	Poldervariante A	8
4.3	Poldervariante B	9
4.4	Poldervarianten C und D	9
4.5	Randbedingungen	10
4.6	Volumenkurven	10
5	POLDEREINLAUF	11
5.1	Sohlhöhe Poldereinlauf	11
5.2	Berechnungen Istzustand	11
5.3	Berechnungen Poldervariante A	11
5.3.1	Vorgehensweise	11
5.3.2	Voruntersuchung	12
5.3.3	2D-WSP-Berechnung	13
5.3.4	Überprüfung Abmessungen Einlaufbauwerk	14

5.4	Berechnungen Poldervariante B	15
5.4.1	Voruntersuchung	16
5.4.2	2D-WSP-Berechnung	16
5.4.3	Überprüfung Abmessungen Einlaufbauwerk	17
6	POLDERENTLEERUNG	19
6.1	Poldervariante B, Entleerung über Einlaufbauwerk	19
6.2	Entleerung über Auslaufbauwerk	19
7	ZUSAMMENFASSUNG	22
	ANLAGENVERZEICHNIS	23

1 VERANLASSUNG

Nördlich des Stauraums der Stufe Bertoldsheim an der Donau wird vom LfU der potentielle Flutpolder Bertoldsheim untersucht. Hierfür soll für den vorgesehenen Standort des Ausleitungsbauwerks die Dimension des Bauwerks, der Füllvorgang des Flutpolders und die Auswirkungen des Polders auf die Abflüsse in der Donau und den Vorländern untersucht werden. Hierfür sollen für 2 Bemessungsereignisse instationäre Berechnungen durchgeführt und hinsichtlich Abflussmengen, Wasserständen und zeitlichem Verlauf ausgewertet werden.

Für die Donau liegt ein 2D-Modell vor, das von der Lechmündung bis zur Steppberger Enge reicht. Das Modell wurde im Rahmen einer Untersuchung für die E:ON Kraftwerke GmbH mit aktuellen Flussprofilen und den neuen Höhen der Ausleitung ins rechte Vorland aktualisiert.

2 AUFGABENSTELLUNG UND VORGEHENSWEISE

Es wird ein hydrodynamisches 2D-Modell erstellt, das die Strömungsvorgänge und Wasserspiegellagen im Untersuchungsgebiet für Hochwasserabflüsse nachbildet und als Grundlage zur Bewertung der Wirksamkeit des Flutpolders, bzw. zur Dimensionierung des Einlaufbauwerks dient. Mit diesem Modell werden die Wasserspiegellagen sowie der Befüllvorgang und die Entleerung des Polders berechnet. Der Untersuchungsbereich ist in Anlage 1 dargestellt.

Die Untersuchung erfolgt in mehreren Arbeitsschritten:

- Erweiterung eines vorhandenen Modells des Stauraumes Bertoldsheim (Neuerstellung des linken Vorlandes im Polderbereich anhand von Daten aus Laserscan-Befliegungen sowie Ergänzung des rechten Vorlandes auf Grundlage des Modelles 0396 der Hochwassergefahrenkarten Bayern)
- Ermittlung Volumenkurven der Poldervarianten
- Festlegung Schwellenhöhe Einlauf aus Wasserspiegellagen MQ
- Vorab-Ermittlung nutzbares Volumen aus WSP-Höhen Istzustand und Volumenkurve, Festlegung Scheitelkappung
- Numerische Berechnung Polderbefüllung mit dem hydrodynamischen 2D-Modell für 2 Hochwasserereignisse für den Ist-Zustand und 2 Planzustände, gesteuertes Wehr im Modell als Randbedingung angesetzt
- Kontrolle Energiehöhen und Wasserspiegel am Bauwerk zur Bestätigung der Bauwerksabmessungen
- Kontrolle Polderzufluss mit dem 2D-modellierten Einlaufbauwerk und stationärer Berechnung für den maximalen Polderzufluss
- Numerische Berechnung der Polderentleerung über das Einlaufbauwerk
- Abschätzung der Entleerung über ein Auslaufbauwerk

3 GRUNDLAGEN

3.1 Modell Istzustand

Das Modell des Istzustands ist aus 2 Modellen zusammengesetzt:

- 2D-Modell des Stauraumes Bertoldsheim (RMD Consult, 2012), im Stauraum Bertoldsheim sind die Höhen anhand aktueller Flussprofile (28.09.2011) angepasst
- 2D-Modell der Donau mit Friedberger Ach (LfU, 2013)

Die sogenannten Durchstiche auf der rechten Flussseite zur Verbesserung der Ausuferung ins rechte Vorland sind mit Vermessungsdaten der Durchstiche überprüft bzw neu modelliert.

3.2 Polderumgriffe

Der Polderumgriff wurde durch den AG zur Verfügung gestellt. In Abstimmung mit dem AG wurden folgende Annahmen getroffen:

- Poldervariante A: der untere Rand des Polders und die Lage des Auslaufs wurden an die Straße ND11 gelegt. Der Polderumgriff wurde Vorlandseitig um 10 m nach innen verlegt, um die Böschung im Volumen zu berücksichtigen.
- Poldervariante B: wie Poldervariante A, im oberen Bereich ohne schmalen Bereich, im unteren Bereich wird das Auslaufbauwerk an die engste Stelle gelegt.
- Poldervariante C: wie Poldervariante B, im Norden wird der Polder bis an die Hangkante gezogen, diese Variante ist nur zur Ermittlung des Volumens modelliert.
- Poldervariante D: wie Poldervariante A, im oberen Bereich ohne schmalen Bereich

Die Polderumgriffe sind in Anlage 2 dargestellt.

3.3 Bescheide, vorhandene Untersuchung

Es standen folgende Unterlagen zur Verfügung:

- Stauziele Staustufe Bertoldsheim aus dem Wasserrechtsbescheid, erhalten durch die Bayernwerk AG

- Studie der TU München „Verzögerung und Abschätzung von Hochwasserwellen entlang der bayerischen Donau“, Abschlussbericht 2012
- Präsentation „Nachfragen_Bertoldsheim_WWAIN.PPTX“ der TU München mit weiteren Angaben zum Flutpolder Bertoldsheim

3.4 Topographische Daten

DGM-Daten im Untersuchungsbereich des 2D-Modells aus einer Laserscan-Befliegung; Quelle: Bayerisches Landesamt für Vermessung und Geoinformation (LVG). Die Daten lagen im 1m-Raster vor.

3.5 Hydrologische Daten

Die Ganglinien für die Bemessungsabflüsse wurden durch den AG bereitgestellt und stammen aus der Untersuchung der TU München.

3.6 Software

Für die Modellerstellung und die numerische Berechnung des Bemessungsabflusses mit dem 2D-Modell wurden folgende Programme verwendet:

- Laser_AS, zur Erstellung von Bruchkanten aus den Laserscan-Daten und zur Netzerstellung, Dr. Nujic, Rosenheim
- Hydro_AS-2d, Version 2.1, für die Berechnung der Fließgeschwindigkeiten und Wassertiefen, Dr. Nujic, Rosenheim
- Surface Modelling Software (SMS), Version 10.1, für die Modellerstellung und Auswertung der Berechnungsergebnisse, Aquaveo, USA

Die verwendeten Programme sind Standardprogramme für die numerische Berechnung von 2D-Modellen und werden auch in der Bayerischen Wasserwirtschaftsverwaltung eingesetzt.

4 MODELLE UND POLDERVARIANTEN

4.1 Modell Ist-Zustand

Grundlage für das Modell des Istzustands ist ein im Jahr 2012 erstelltes 2D-Modell der Staustufe Bertoldsheim. Dieses Modell wurde auf Basis von Querprofilaten, Laserscan-Daten im Vorland, ATKIS Daten zur Landnutzung erstellt.

Ergänzend zum vorhandenen 2D-Modell wurde im linken Vorland das Berechnungsnetz mit dem Programm Laser-AS aus den Laserscan-Daten erstellt und an das bestehende angeknüpft. Die Belegung der Rauheiten im Vorlandbereich des neu modellierten Bereichs erfolgte anhand der Landnutzungsdaten (ATKIS). Im rechten Vorland wurde ein Teilbereich des Modells aus den Hochwassergefahrenkarten (HWGK) angehängt, welches ursprünglich ebenfalls durch RMD Consult erstellt wurde. Dieser Ergänzungsbereich wurde möglichst klein gewählt, um das Modell klein und die Berechnungszeiten kurz zu halten. Der Abfluss im rechten Vorland und der Friedberger Ach darf jedoch nicht nennenswert an den seitlichen Modellrand stoßen. Da die Fließvorgänge im weiteren Verlauf des Vorlands für die Befüllung des Polders nicht von Bedeutung ist, wurde das Modell im rechten Vorland etwa 1 km abwärts des Beginns des rechten Stauhaltungsdammes abgeschnitten und dort eine Ausflussrandbedingung gesetzt (vgl. Anlage 3). Als Randbedingung wurden Normalabflussbedingungen angesetzt. Das entsprechende Energiegefälle ist den Berechnungsergebnisse des HWGK entnommen. Die Übersicht des Modellbereichs ist im Lageplan in Anlage 3 dargestellt.

Die Modellrauheiten sind kalibriert, die Materialbelegung im Vorland entspricht der Landnutzungsinformation der ATKIS Daten. Die Belegung der Materialtypen mit Rauheitsbeiwerten entspricht den Empfehlungen des LfU für die Ermittlung der Hochwassergefahrenkarten.

4.2 Poldervariante A

Der Umgriff der Poldervariante A entspricht dem zur Verfügung gestellten Rand des Polders. Die untere Begrenzung des Polders wurde an die Straße ND11 gelegt. Der Polderumgriff wurde Vorlandseitig, d.h. im Norden um 10m nach innen verlegt, um die Böschung im Volumen zu berücksichtigen. Die erforderliche Erhöhung der Stauhaltungsdämme ist über inaktive („disabled“) Elemente modelliert.

Das Einlaufbauwerk wurde möglichst weit oben bei Donau-km 2495,9 positioniert, um ein möglichst großes Gefälle zwischen Donau- und Polder-Wasserspiegel zu erreichen. Im Einlaufbereich des Polders sind Geländehöhen angepasst und ein noch vorhandener ehemaliger Deich gelegt worden (Anlage 4).

Der Umgriff der Polder Variante A ist in Anlage 2 dargestellt.

4.3 Poldervariante B

Aufgrund der Altarmstruktur (FFH-Gebiet) und zu erwartenden Konflikten mit naturschutzrechtlichen Belangen wurde das Einlaufbauwerk weiter abwärts bei Donau-km 2495,1 angeordnet. Zudem wurde der untere Rand des Polders an der engsten Stelle des Polderumgriffs positioniert wird.

Der Umgriff der Polder Variante A ist in Anlage 2 dargestellt.

4.4 Poldervarianten C und D

Zwei weitere Poldervarianten wurden nur zur Volumenermittlung modelliert:

- Die Polder Poldervariante C entspricht bis auf den nördlichen Rand des Polders der Poldervariante B. Im Norden wird der Polder bis an die natürliche Hangkante gezogen, um die Erstellung eines Dammes in diesem Bereich zu vermeiden. Eine Verlegung der Straße St2047 hierfür ist vermutlich nicht erforderlich und die temporäre Sperrung während der seltenen Ereignisse reicht vermutlich aus.
- Die Poldervariante D entspricht der Poldervariante A, ohne jedoch den schmalen Bereich im oberen Abschnitt. Die Variante D unterscheidet sich von Variante B demnach nur in der Lage des unteren Randes und des Auslaufbauwerks.

Der Umgriff der Polder Varianten C und D ist in Anlage 2 dargestellt.

4.5 Randbedingungen

Die Zuflussganglinien für den Bemessungsabfluss 1 (entspricht etwa einem HQ100) und den Bemessungsabfluss 2 (etwa ein HQ100+15%) hat der AG zur Verfügung gestellt (Anlage 6). Die Zuflussganglinien für den Lech gelten für den Querschnitt unterhalb des Wehres Feldheim und sind in den aktuellen Berechnungen auch an dieser Stelle angesetzt. Die Zuflussganglinien für die Donau wurden für den Fluss-km 2508 übergeben, d.h. etwa 10 km oberhalb des Modellrandes bei Fluss-km 2498. Auf Anfrage bei der TUM wurden auch für den Fluss-km 2498 die Ganglinien zur Verfügung gestellt (Anlage 5). Nach Auswertung der Ganglinien und in Abstimmung mit dem AG wurde die ursprünglich übergebene Ganglinie mit einem Laufzeitversatz von 5 Stunden am oberen Modellrand angesetzt (Anlage 5 und Anlage 6).

Im Oberwasser der Stufe Bertoldsheim ist am Wehr eine Abflussrandbedingung in Form einer Wasserstand-Abfluss-Beziehung angesetzt. Dabei wird der Stauspiegel von 391,80 m ü. NN angesetzt. Der Überstau im Hochwasserfall mit einem Wasserspiegel von 392,00 m ü. NN am Wehr hat nahezu keinen Einfluss auf den Wasserspiegel am Poldereinlauf, wie Vergleichsberechnungen zeigen. Bei einer Stauhöhe am Wehr von 392,00 m ü. NN liegt der Wasserspiegel am Poldereinlauf der Variante B zum Zeitpunkt des Scheiteldurchgangs nur 1 cm höher als bei der Berechnung mit Stauhöhe 391,80 m ü. NN. Beim Poldereinlauf der Variante A haben die 20 cm Stauspiegeldifferenz keine Auswirkungen mehr auf den Donauwasserspiegel.

Als Ausflussrandbedingung im rechten Vorland wurden Normalabflussbedingungen angesetzt. Das entsprechende Energiegefälle ist den Berechnungsergebnisse des HWGK entnommen.

4.6 Volumenkurven

Für die Planung der jeweiligen Polderfüllung ist die Volumenkurve erforderlich. Diese wurden mit den entsprechenden Modellen für die 4 Poldervarianten ermittelt und sind in einem Diagramm mit Tabelle in Anlage 7 dargestellt.

5 POLDEREINLAUF

5.1 Sohlhöhe Poldereinlauf

Die Schwellenhöhe am Einlaufbauwerk sollte so gewählt werden, dass das Bauwerk bei MQ noch trocken liegt. Dadurch werden Unterhaltsmaßnahmen wie Korrosionsschutz erleichtert. Um die entsprechenden Wasserspiegel in der Donau zu ermitteln, wurde mit dem Donauabfluss $MQ = 300 \text{ m}^3/\text{s}$ eine Wasserspiegelberechnung durchgeführt. Der Abfluss wurde entsprechend den Angaben des Hochwassernachrichtendienstes Bayern für den Lech bei Augsburg und die Donau bei Donauwörth angesetzt.

Der Wasserspiegel in der Donau liegt beim Einlauf mit Poldervariante A bei 392,15 m ü. NN und bei Poldervariante B bei 392,05 m ü. NN. Die Sohlhöhe des Einlaufbauwerks wird jeweils 5 cm höher gelegt.

5.2 Berechnungen Istzustand

Für den Istzustand wurden die Bemessungsereignisse 1 und 2 berechnet. Diese Ergebnisse dienen als Referenz für die Berechnungen mit der Polderfüllung und wurden zudem als Information zur Planung der Polderfüllung herangezogen, die in den folgenden Kapiteln beschrieben ist.

5.3 Berechnungen Poldervariante A

5.3.1 Vorgehensweise

Die Füllung des Polders soll gem. Auftraggeber über ein gesteuertes Bauwerk stattfinden. Der Überlauf über eine feste Schwelle ist nicht möglich, da einerseits bis zum Beginn der Scheitelkappung kein Wasser in den Polder strömen darf und andererseits bis zu ca. $300 \text{ m}^3/\text{s}$ in den Polder fließen muss. Der Unterschied der Wasserspiegel in der Donau zwischen diesen beiden Zeitpunkten beträgt nur ca. 0,6 bis 0,7 Meter. Ein festes Streichwehr müsste damit ca. 300 m lang sein.

Eine Steuerung, die sich allein aus der Form der Hochwasserganglinie ergibt, ist in dem 2D-Modell nur mit dem direkten Ansatz des Abflusses in den Polder sowie des

entsprechenden Zuflusses in den Polder möglich. Dies bedeutet, dass die Donau und der Polder im Modell nur über Randbedingungen gesteuert werden. Es erfolgt eine nachträgliche Prüfung, ob die Wasserspiegel in der Donau und im Polder mit den gewählten Bauwerksdimensionen einen Abfluss in den Polder überhaupt möglich machen.

Die gewählte Vorgehensweise sieht daher vor

- Voruntersuchung anhand der Volumen und Wasserspiegel zur Ermittlung des Abflusses in den Polder,
- 2D-Simulation der Polderfüllung zur Ermittlung der tatsächlichen Wasserspiegellagen in Polder und Donau zu jedem Zeitpunkt
- Überprüfung des Füllvorgangs und der Abmessungen des Einlaufbauwerks

5.3.2 Voruntersuchung

Das vorgesehene Poldervolumen beträgt 18 Mio m³. Dies entspricht in der Poldervariante A einem Wasserspiegel von 394,55 m ü. NN.

Um das Volumen im Polder möglichst gut auszunutzen, erfolgt in einer Tabellenkalkulation ein Vergleich der Wasserspiegellagen bei Ende der Polderfüllung. Hierzu wird, wie in Anlage 8 gezeigt, ein Abfluss definiert, bei dem der Wellenscheitel gekappt wird. Der Wasserspiegel in der Donau am Einlaufbauwerk bei Ende der Scheitelkappung (= Polderfüllung) wird aus der Berechnung des Istzustands ermittelt. Dies ist mit guter Näherung möglich, da der Abfluss in den Polder gegen Ende der Polderfüllung gering ist und somit den Wasserspiegel in der Donau im Planzustand etwa dem Wasserspiegel im Istzustand ist.

Über das Volumen des gekappten Wellenscheitels und die Volumenkurve des Polders ergibt sich der Wasserspiegel im Polder. Mit der Vorgabe von einer Wasserspiegeldifferenz von ca. 15 cm zwischen Donau und Polder bei Ende der Polderfüllung ergibt sich die geplante Füllung für die Poldervariante A mit dem Bemessungsereignis 1:

- Kappung des Wellenscheitels bei 2025 m³/s,
- Poldervolumen 18,6 Mio m³
- Maximaler Wasserstand im Polder 394,66 m ü. NN

Mit dem etwas größeren Bemessungsereignis 2 wird die 2D-Simulation mit diesen Kenngrößen ausgeführt:

- Kappung des Wellenscheitels bei 2220 m³/s,
- Poldervolumen 19,0 Mio m³
- Maximaler Wasserstand im Polder 394,73 m ü. NN

Das entsprechende Diagramm ist in Anlage 9 dargestellt.

5.3.3 2D-WSP-Berechnung

Mit den oben genannten Ansätzen wird die Hochwasserwelle und die Polderbefüllung berechnet. Der Berechnungsparameter A_{min} ist für die instationäre Berechnung auf 1 m² gesetzt. Nur 0,1 Promille der Modellfläche weist kleinere Elemente auf.

Die berechneten Ganglinien der Wasserspiegellagen in der Donau und im Polder sind in der Anlage 10 für das Bemessungsereignis 1 zusammen mit der Lage der entsprechenden Pegelpunkte dargestellt. Obwohl das Gelände im Polder beim Einlaufbauwerk angepasst wurde, besteht beim maximalen Zufluss in den Polder ein starkes Wasserspiegelgefälle, wie auch in der Anlage 12 zu sehen ist.

Die entsprechenden Abflussganglinien mit und ohne Polderwirkung sind in Anlage 1 dargestellt.

Für das Bemessungsereignis 2 sind die Ganglinien der Wasserspiegellagen in Anlage 13 und die Abflussganglinien mit und ohne Polderwirkung in Anlage 14 dargestellt. Durch die größeren Abflüsse und die damit verbundenen höheren Wasserspiegel in der Donau besteht ein größeres Gefälle zwischen Donau und Polder.

Die Wassertiefen bei gefülltem Polder sind für beide Bemessungsereignisse in Anlage 15 dargestellt.

5.3.4 Überprüfung Abmessungen Einlaufbauwerk

Da die Befüllung des Polders über Entnahmen aus der Donau und Zuflüsse in den Polder erfolgt und somit keine Durchströmung des Einlaufbauwerks simuliert wird, müssen die Bauwerksabmessungen mit den berechneten Wasserspiegellagen überprüft werden.

Zu diesem Zweck wird für die Sohlhöhe 392,20 m ü. NN und eine lichte Breite des Einlaufbauwerks für den Abfluss jeden Zeitschritts die erforderliche Energiehöhe für die Grenzabflussbedingung berechnet und mit dem tatsächlichen Wasserspiegel in der Donau verglichen. Diese Berechnung ist in Tabelle 1 enthalten.

Die Berechnung erfolgt mit

$$H = 1,5 y_{gr} + S = 1,5 \sqrt[3]{q^2/g} + S$$

mit y_{gr} = Grenzabflusstiefe

$S = 392,20$ m ü. NN = Schwellenhöhe des Einlaufbauwerks

$q = Q / B$

$B = 60$ m

Wie das Ergebnis zeigt, ist die vorhandenen Energiehöhe (= Wasserspiegel in der Donau) zu jedem Zeitpunkt höher als die erforderliche Energiehöhe. Das Bauwerk ist demnach ausreichend groß dimensioniert.

Damit das Wasser tatsächlich in den Polder strömen kann, muss der Wasserspiegel dort ebenfalls niedriger sein als in der Donau. Dass dies der Fall ist, ist in Anlage 10 zu sehen. Beim maximalen Zufluss in den Polder ist das Gefälle zwischen Donau und Polder allerdings sehr gering, so dass weitere Anpassungsmaßnahmen im Einströmbereich des Polders erforderlich wären. Da diese wegen der dort vorhandenen FFH Gebiete nur schwer umsetzbar wären, wird in dieser Studie eine weitere Anpassung in Abstimmung nicht durchgeführt. Stattdessen wird ein weiter abwärts liegender Standort für das Einlaufbauwerk untersucht (Poldervariante B).

Die Überprüfung des Einströmens für den Bemessungsabfluss 2 erfolgt nicht, das dieser Fall wegen der höheren Wasserspiegellagen in der Donau weniger kritisch ist.

Tabelle 1: Erforderliche Energiehöhe für den Abfluss über das Einlaufbauwerk in den Polder für das Bemessungsereignis 1 und die Poldervariante A.

Dauer [h]	Q Polder, Variante A [m³/s]	WSP Donau Poldervariante A [m ü. NN]	Energiehöhe Grenzabfluss [m ü. NN]
1	83.48	394.74	393.07
2	164.45	394.72	393.57
3	221.02	394.67	393.87
4	261.70	394.65	394.07
5	292.78	394.64	394.22
6	314.46	394.65	394.31
7	322.20	394.65	394.35
8	311.57	394.65	394.30
9	288.82	394.66	394.20
10	261.93	394.66	394.07
11	236.24	394.67	393.95
12	215.82	394.68	393.84
13	202.25	394.70	393.78
14	193.88	394.71	393.73
15	186.98	394.72	393.69
16	173.66	394.73	393.62
17	160.39	394.74	393.55
18	153.76	394.75	393.51
19	148.85	394.75	393.48
20	139.40	394.75	393.43
21	126.56	394.76	393.35
22	113.35	394.77	393.27
23	102.30	394.77	393.20
24	95.49	394.77	393.16
25	85.72	394.78	393.09
26	70.72	394.78	392.98
27	40.67	394.79	392.74
28	24.53	394.80	392.59
29	13.36	394.80	392.46
30	10.23	394.80	392.42

5.4 Berechnungen Poldervariante B

Die Vorgehensweise ist grundsätzlich gleich, wie für die Poldervariante A beschrieben. Für die Poldervariante B werden 2 Untervarianten untersucht (Anlage 17):

- Einlaufbereich im Polder entsprechend natürlicher Topographie
- Einlaufbereich eingetieft und ohne höheren Bewuchs

In Abstimmung mit dem AG wird für die weiteren Varianten der größere Bemessungsabfluss 2 nicht mehr berücksichtigt, da mit den größeren Abflüssen in der Donau und den damit zusammenhängenden höheren Wasserspiegellagen die Polderfüllung generell einfacher ist als bei Bemessungsabfluss 1.

5.4.1 Voruntersuchung

Mit der Vorgabe von einer Wasserspiegeldifferenz von ca. 15 cm zwischen Donau und Polder bei Ende der Polderfüllung ergibt sich die geplante Füllung für die Poldervariante B mit dem Bemessungsereignis 1:

- Kappung des Wellenscheitels bei 2045 m³/s,
- Poldervolumen 16,0 Mio m³
- Maximaler Wasserstand im Polder 394,24 m ü. NN

Das entsprechende Diagramm ist in Anlage 16 dargestellt.

5.4.2 2D-WSP-Berechnung

Mit den oben genannten Ansätzen wird die Hochwasserwelle und die Polderbefüllung mit dem Bemessungsereignis 1 berechnet.

Die berechneten Ganglinien der Wasserspiegellagen in der Donau und im Polder für den Fall ohne Anpassungen im Polder sind in der Anlage 18 zusammen mit der Lage der entsprechenden Pegelpunkte dargestellt. Der hier dargestellte Wasserspiegel im Polder „oben“ liegt unmittelbar unterstrom des Einlaufbauwerks. Wie auch in Anlage 17 zu sehen, besteht zum Zeitpunkt der maximalen Einströmung in den Polder bei einer Simulationsdauer von 48 h (vgl. Anlage 16) tatsächlich ein negatives Gefälle zwischen Donau und Polder, d.h. der maximale Zufluss zum Polder ist so nicht möglich.

Aus diesem Grund wurde auch in dieser Variante Anpassungen im Gelände vorgenommen, um im Nahbereich des Einlaufbauwerks die hydraulischen Verluste zu reduzieren. Die berechneten Ganglinien der Wasserspiegellagen in der Donau und im Polder für diesen Fall mit Anpassungen im Polder sind in der Anlage 19 zusammen mit der Lage der entsprechenden Pegelpunkte dargestellt. Der Wasserspiegel

im Polder liegt nun auch direkt am Bauwerk deutlich tiefer als in der Donau, wie auch in Anlage 17 zu sehen.

Die entsprechenden Abflussganglinien mit und ohne Polderwirkung sind in Anlage 20 dargestellt. Die oben beschriebenen Maßnahmen im Polder haben hierauf keinen Einfluss.

Der Vergleich der Auswirkung der beiden Poldervarianten A und B mit Bemessungszufluss 1 ist in Anlage 21 dargestellt. Wegen des geringeren Poldervolumens in Variante B ist der Abfluss sowohl in der Donau als auch im rechten Vorland etwas größer als in Variante A.

Die Beaufschlagung des Auebereichs im rechtsseitigen Vorland zwischen der Lechmündung und der Steppberger Enge bei Hochwasser hat grundsätzlich auch eine Retentionswirkung, die zur Verzögerung und Dämpfung der Hochwasserwelle beiträgt. Bei Einsatz des Flutpolders Bertoldsheim würde sich der Abflussanteil, der rechtsseitig abfließt, verringern. Bei HQ100 beträgt das Volumen im Vorland zwischen Lechmündung und der Straße ND11 bei der Staustufe Bertoldsheim ca. 13 Mio. m³ (Quelle: HWGK, stationäre Berechnung). Beim Scheitelabfluss im rechtsseitigen Vorland von ca. 700 m³/s (Bemessungsganglinie 1) wäre dieses Volumen aber in rund 5 Stunden gefüllt. Für die betrachteten Abflüsse ist die scheitelreduzierende Retentionswirkung des rechtsseitigen Vorlands in Anbetracht des langgezogenen Abflussscheitels und der Füllung dieser Räume bereits in der anlaufenden Hochwasserwelle im Vergleich zur Flutpolderwirkung gering.

5.4.3 Überprüfung Abmessungen Einlaufbauwerk

Auch in diesem Fall ist das Gefälle zwischen Donau und Polder nicht das einzige Kriterium für das Funktionieren der Polderbefüllung. Entsprechend der Poldervariante A (Abschnitt 5.3.4) werden die Bauwerksabmessungen anhand der erforderlichen Energiehöhe und dem Vergleich mit dem Wasserspiegel in der Donau überprüft.

Es wird in Tabelle 2 eine Schwellenhöhe von 392,10 m ü. NN und eine lichte Breite von 60 m angesetzt. Bei maximalem Zufluss in den Polder reichen die Bauwerksabmessungen gerade aus, um das Wasser über das Bauwerk fließen zu lassen. Für größere Abflüsse müsste die Bauwerksbreite etwas vergrößert oder die Einlaufschwelle abgesenkt werden.

Für den maximalen Zufluss in den Polder von ca. 300 m³/s wird das Einströmen in den Polder mit einer stationären 2D-Berechnung simuliert. In das Modell wurde hierfür die Kontur des Einlaufbauwerks mit 4 Feldern und einer gesamten lichten Breite von 60 m modelliert. Der Zufluss in den Polder stellt sich in der 2D-Berechnung bei genau 300 m³/s ein. Die Wasserspiegellagen beider Berechnungen (Anlage 22) sind ebenfalls identisch, bis auf den Nahbereich am Bauwerk, der in der Berechnung mit den inneren Randbedingungen nicht gut abgebildet ist. Damit ist eine Überprüfung des gewählten Ansatzes erfolgt und die vereinfachten Berechnungen mit der Energiehöhe sind bestätigt.

Tabelle 2: Erforderliche Energiehöhe für den Abfluss über das Einlaufbauwerk in den Polder für das Bemessungsereignis 1 und die Poldervariante B

Dauer [h]	Q Polder, Variante B [m ³ /s]	WSP Donau Poldervariante B [m ü. NN]	Energiehöhe Grenzabfluss [m ü. NN]
1	12.8	394.31	392.35
2	110.4	394.31	393.15
3	176.0	394.26	393.54
4	224.1	394.23	393.79
5	258.4	394.20	393.95
6	285.8	394.17	394.08
7	301.4	394.16	394.16
8	300.3	394.15	394.15
9	281.6	394.17	394.06
10	255.8	394.19	393.94
11	228.4	394.22	393.81
12	204.8	394.24	393.69
13	187.8	394.25	393.60
14	177.3	394.26	393.54
15	170.5	394.27	393.51
16	162.3	394.27	393.46
17	145.7	394.29	393.37
18	135.9	394.30	393.31
19	131.6	394.30	393.28
20	125.2	394.30	393.24
21	113.3	394.31	393.17
22	99.9	394.32	393.08
23	87.3	394.33	393.00
24	78.0	394.34	392.93
25	72.0	394.35	392.89
26	58.9	394.35	392.79
27	40.1	394.36	392.64
28	6.2	394.39	392.25
29	2.3	394.40	392.18

6 POLDERENTLEERUNG

6.1 Poldervariante B, Entleerung über Einlaufbauwerk

Für die Poldervariante B sollte die Möglichkeit der teilweisen Entleerung des Polders in die Donau über das offene Einlaufbauwerks untersucht werden. Hierzu wurde eine Entleerung über das Einlaufbauwerk als 2-dimensionale Berechnung simuliert. Hierfür wurde nach Beendigung des Rechenlaufes der Polderbefüllung das Modell entsprechend angepasst:

- In der Berechnung zur Polderfüllung ist die 2D-Strömung von der Donau in den Polder über „disabled“ Elemente verhindert. Für die Berechnung der Entleerung über ein offenes Bauwerk wird die Materialbelegung „disabled“ in eine glatte Sohle geändert und das Bauwerk somit geöffnet.
- Entfernen der Zu- und Abflussrandbedingungen am Bauwerk
- Fortsetzung des Rechenlaufes ab dem Zeitpunkt, ab dem der Wasserspiegel in der Donau deutlich absinkt.

Wegen der geringen Differenz der Wasserspiegel zwischen Donau und Polder ist der Abfluss aus dem Polder mit nahezu konstanten 15 m³/s über die ersten 24 Stunden aber sehr gering. Als zusätzliche Entlastung für eine Reduzierung der Dimensionen des Auslaufbauwerks am unteren Rand des Polders ist diese Möglichkeit vor dem Hintergrund einer möglichst schnellen Entleerung nicht geeignet.

6.2 Entleerung über Auslaufbauwerk

Um die erforderliche Bauwerksgröße und die Dauer der Entleerung über ein Auslaufbauwerk abzuschätzen, wird der Unterwasserspiegel am Auslaufbauwerk benötigt. Wie in Anlage 20 zu sehen, liegt der maximale Donauabfluss durch die Scheitelkappung bei der Poldervariante B mit dem Bemessungsabfluss 1 etwa bei HQ100 (2050 m³/s). Die Entleerung des Polders soll möglichst schnell erfolgen, d.h. sobald der Abfluss in der Donau wieder unter diesen Wert sinkt. Der Wasserspiegel in der Donau entspricht im betrachteten Fall somit etwa dem Wasserspiegel bei HQ100 und wird den Unterlagen der Hochwassergefahrenkarten entnommen. Er liegt auf ca. 389,55 m ü. NN. (vgl. Abbildung 1).

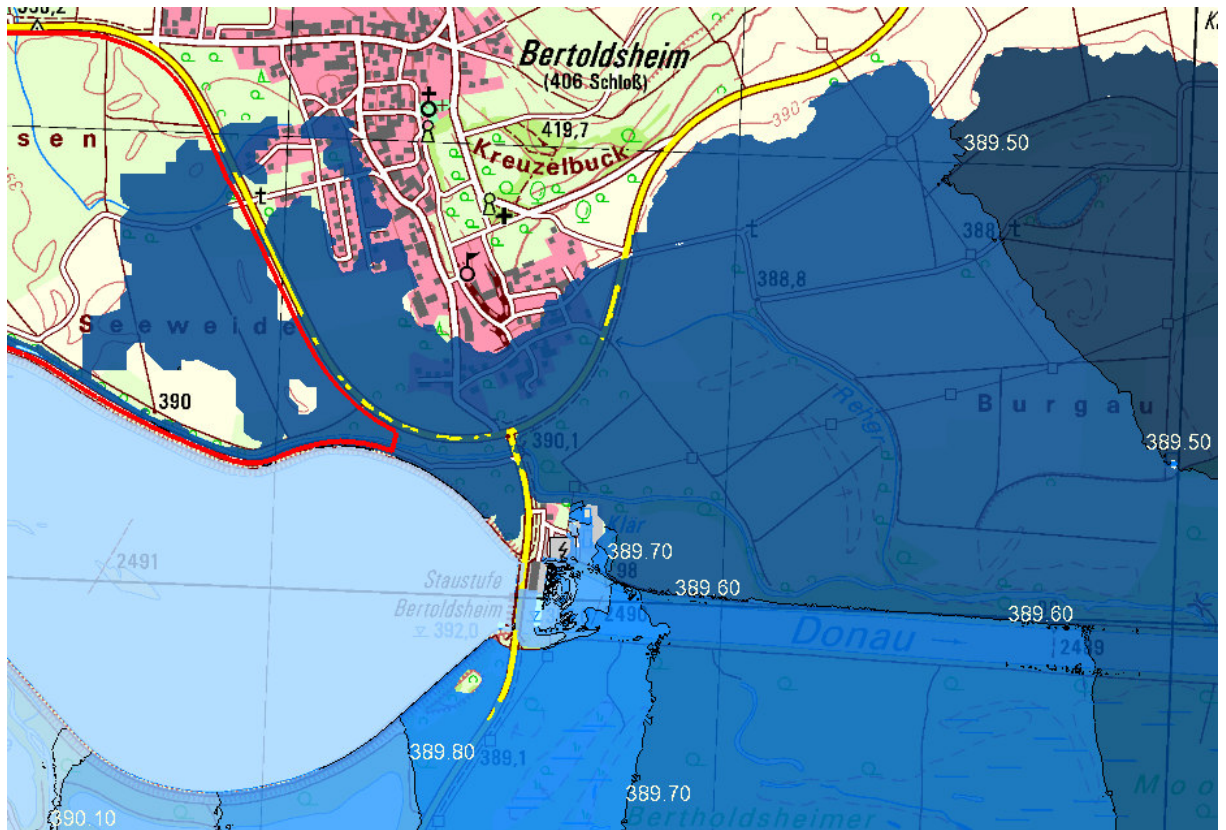


Abbildung 1: Wasserspiegel Donau bei HQ100, Quelle: Hochwassergefahrenkarten Bayern

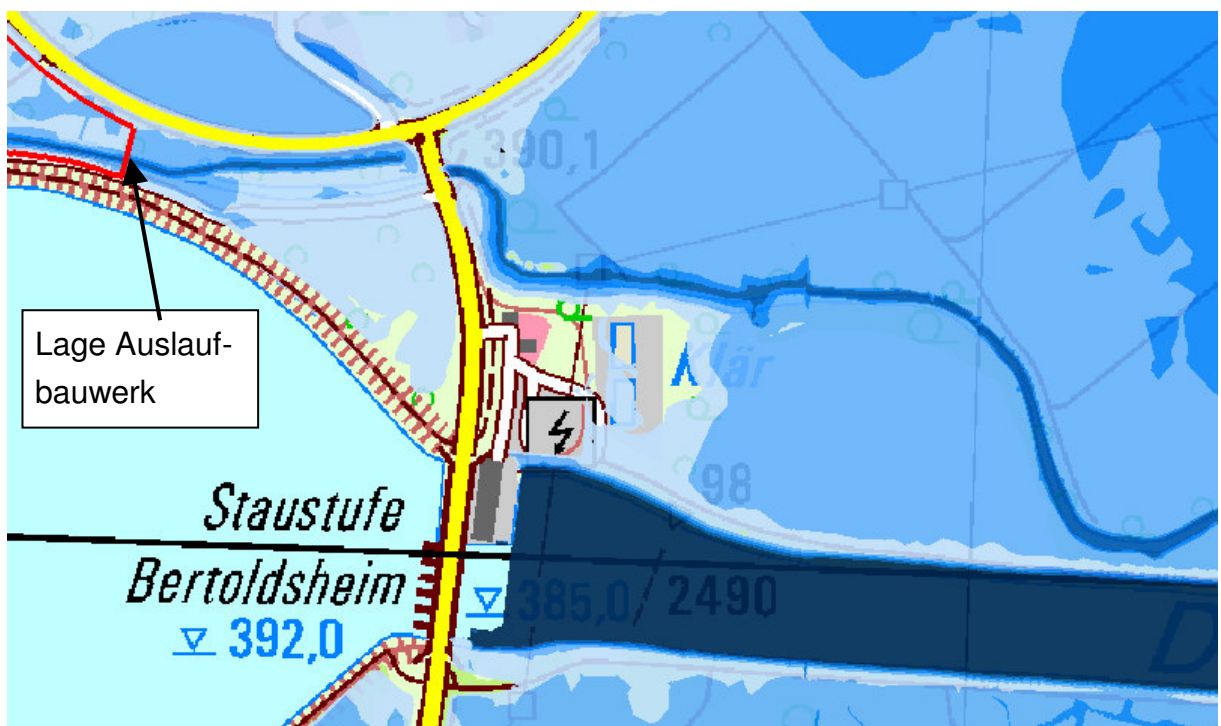


Abbildung 2: Wassertiefen bei HQ100, 1m- Abstufungen, Quelle: Hochwassergefahrenkarten Bayern

Für eine erste Abschätzung wird angenommen, dass der Wasserspiegel am Auslaufbauwerk etwa bei 390,00 m ü. NN liegt. Mit dem vorhandenen Gelände zwischen Polderauslauf und Straße und dem vorhandenen Straßendurchlass ist dies allerdings nicht möglich (vgl. Abbildung 2). Es muss eine ca. 30-40 m breite Flutmulde geschaffen werden, deren Sohle aber höher liegen kann als die Sohle des Entwässerungsgrabens/Bachs.

In einer Tabellenkalkulation wurde abgeschätzt, welchen Querschnitt das Auslassbauwerk aufweisen muss, um die Polderentleerung innerhalb eines anvisierten Zeitraums von 5 Tage nach Füllbeginn abzuschließen. Dabei wurde der fallende Wasserstand im Polder berücksichtigt und die Forderung, den Abfluss in der Donau durch die Entleerung nicht über den Kappungswert ansteigen zu lassen. Der erforderlicher Auslaufquerschnitt beträgt ca. 14 m². Die Ganglinien für den Polderauslauf Variante B mit Bemessungsabfluss 1 ist in Abbildung 3 dargestellt.

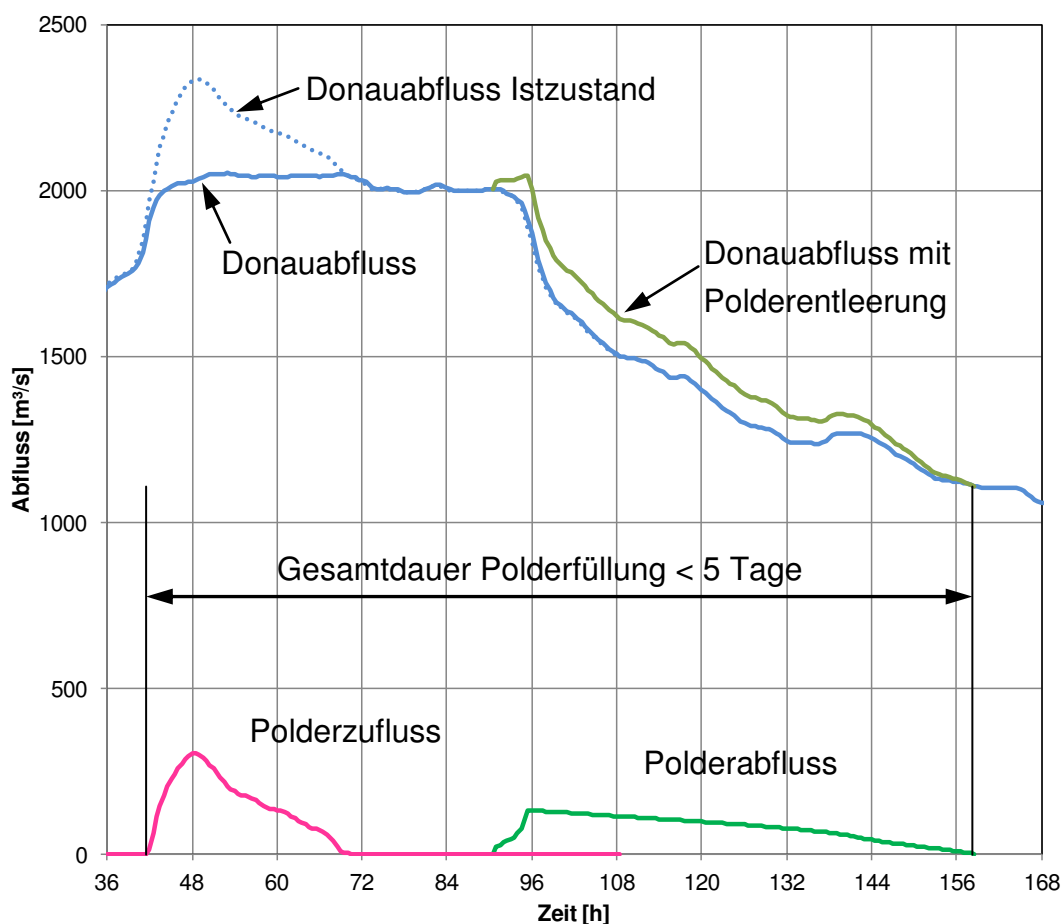


Abbildung 3: Ganglinien mit Polderauslauf, Poldervariante B, Bemessungsabfluss 1, Auslaufquerschnitt 14 m²

7 ZUSAMMENFASSUNG

Für den geplanten Polder Bertoldsheim sind mit Hilfe von 2-dimensionalen Berechnungen die Füllung des Polders, die Dimensionierung des Bauwerks und die Möglichkeit der Entleerung über das Einlaufbauwerk untersucht worden. Die Untersuchungen erfolgten für 2 Standorte des Einlaufbauwerks.

Poldervariante A:

Der Polderumgriff entspricht im Wesentlichen dem Umgriff aus der vertieften Wirkungsanalyse der TU München. Das Poldervolumen beträgt ca. 18,6 Mio m³. Das Einlaufbauwerk ist möglichst weit oben angeordnet, um möglichst hohe Wasserspiegel in der Donau für die Füllung zu nutzen. Durch die hohen Geländehöhen im Polder im Bereich des Einlaufbauwerks und die durch den Auwald bedingten hohen Rauheiten ist der gewünschte hohe Polderzufluss nicht möglich. Großflächige Anpassungen sind wegen des vorhandenen FFH Gebietes kritisch zu sehen.

Poldervariante B:

Das Einlaufbauwerk wird etwa 800m flussabwärts angeordnet und der Bereich westlich des Einlaufbauwerks wird aus der Polderfläche herausgenommen. Das Poldervolumen reduziert sich dadurch auf ca. 16,0 Mio m³. Auch in dieser Variante muss eine Anpassung des Geländes polderseitig des Einlaufbauwerks erfolgen, da sonst der geforderte Zustrom in den Polder wegen des geringen Wasserspiegelgefälles zwischen Donau und Polder nicht möglich ist.

Eine Entleerung des Polders über das Einlaufbauwerk ist in Anbetracht der geforderten maximalen Verbleibdauer des Wassers im Polder nicht möglich, auch die Unterstützung der Entleerung durch das Einlaufbauwerk ist nicht sinnvoll.

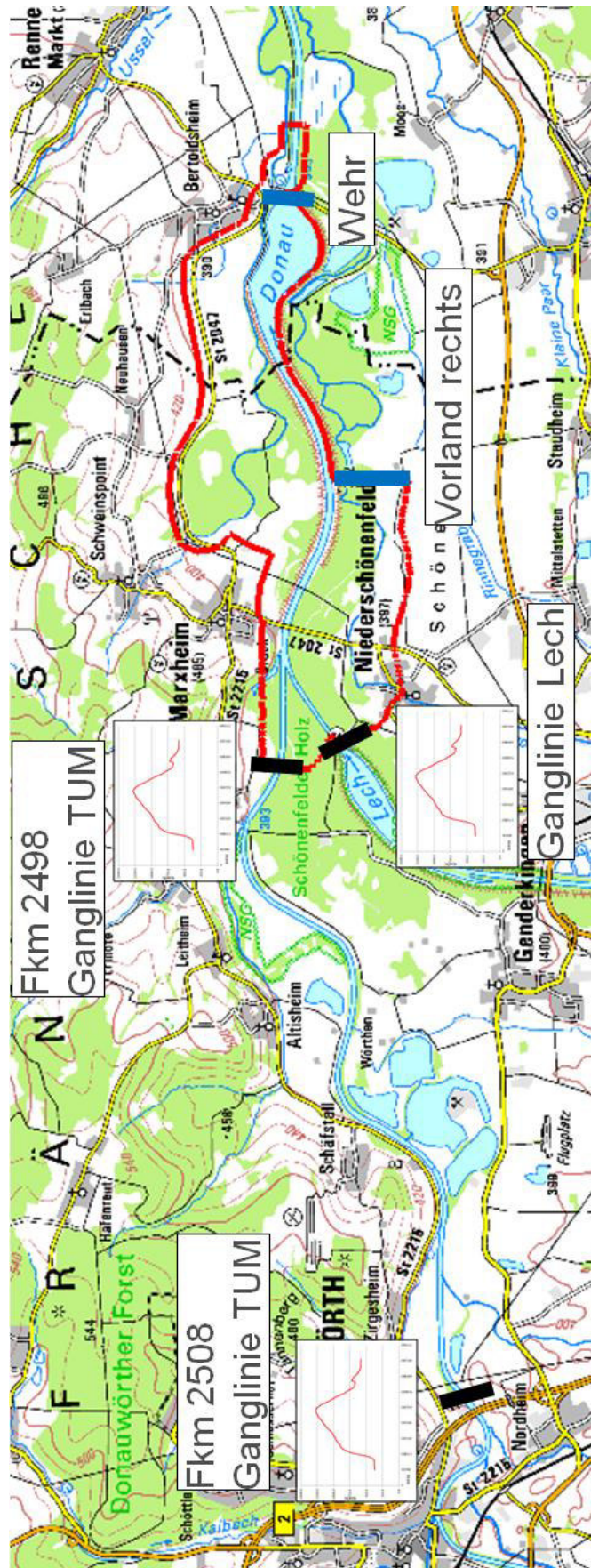
Das Auslaufbauwerk muss einen Öffnungsquerschnitt von ca. 14 m² aufweisen, um die Entleerung innerhalb der anvisierten maximalen Verbleibdauer des Wassers von 5 Tagen abzuschließen. Anpassungen am Gelände (Flutmulde) und an den Durchlassöffnungen der Straße ND11 sind notwendig.

ANLAGENVERZEICHNIS

Anlage 1	Übersicht Untersuchungsbereich
Anlage 2	Polderumgriffe, Varianten A - D
Anlage 3	Modellbereich
Anlage 4	Anpassung Geländehöhe Poldervariante A
Anlage 5	Zeitversatz Ganglinien Donau bei Donauwörth und am Modellrand Bemessungsganglinie 1
Anlage 6	Zuflussganglinien TUM und für Modellberechnungen ab ca. 24h
Anlage 7	Volumenkurven Poldervarianten A - D
Anlage 8	Scheitelkappung Poldervariante A, Bemessungsabfluss 1
Anlage 9	Scheitelkappung Poldervariante A, Bemessungsabfluss 2
Anlage 10	Bemessungsabfluss 1, Poldervariante A: Wasserspiegellagen in Donau und Polder, Polderzufluss, mit Darstellung der Lage der Pegelpunkte (oben)
Anlage 11	Vergleich Ganglinien Ist und Poldervariante A, Bemessungsabfluss 1
Anlage 12	Poldervariante A, Detailansicht Wasserspiegel am Einlaufbauwerk
Anlage 13	Bemessungsabfluss 2, Poldervariante A: Wasserspiegellagen in Donau und Polder, Polderzufluss, mit Darstellung der Lage der Pegelpunkte (oben)
Anlage 14	Vergleich Ganglinien Ist und Poldervariante A, Bemessungsabfluss 2
Anlage 15	Wassertiefen bei gefülltem Polder, Bemessungsabflüsse 1 und 2, Poldervariante A
Anlage 16	Scheitelkappung Poldervariante B, Bemessungsabfluss 1

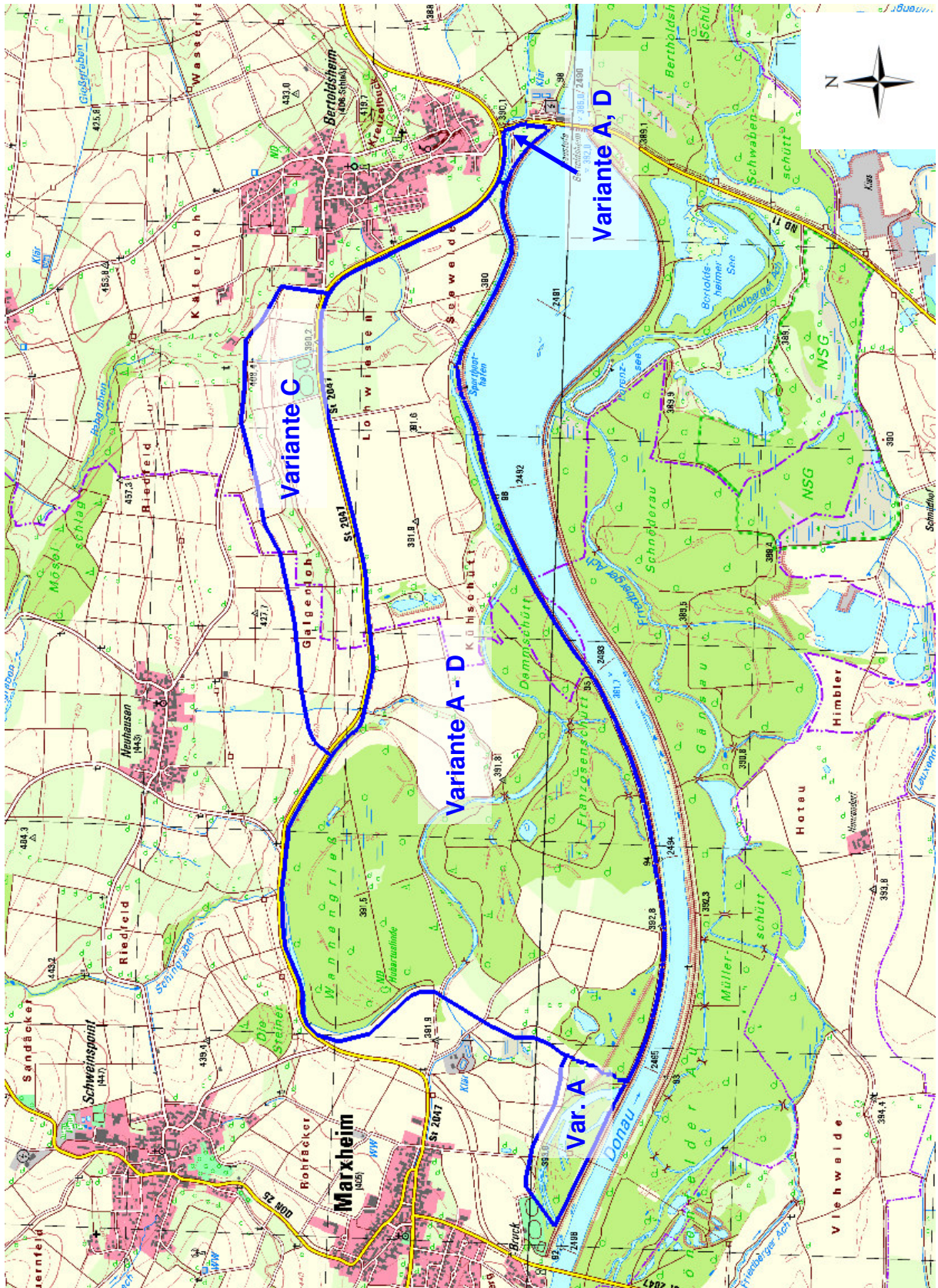
-
- Anlage 17 Anpassung Geländehöhe Poldervariante B, Auswirkung auf die Wasserspiegellagen im Nahbereich Poldereinlauf ($t = 48h$)
- Anlage 18 Bemessungsabfluss 1, Poldervariante B ohne Anpassung: Wasserspiegellagen in Donau und Polder, Polderzufluss, mit Darstellung der Lage der Pegelpunkte (oben)
- Anlage 19 Bemessungsabfluss 1, Poldervariante B mit Anpassung: Wasserspiegellagen in Donau und Polder, Polderzufluss, mit Darstellung der Lage der Pegelpunkte (oben)
- Anlage 20 Vergleich Ganglinien Ist und Poldervariante B, Bemessungsabfluss 1
- Anlage 21 Vergleich Ganglinien Poldervariante A und B, Bemessungsabfluss 1
- Anlage 22 Vergleich Wasserspiegel Poldervariante B: Berechnungen mit Zu- und Abflussrandbedingungen und stationäre 2D-Berechnung Polder mit Q_{max} Polder

Anlage 1 Übersicht Untersuchungsbereich

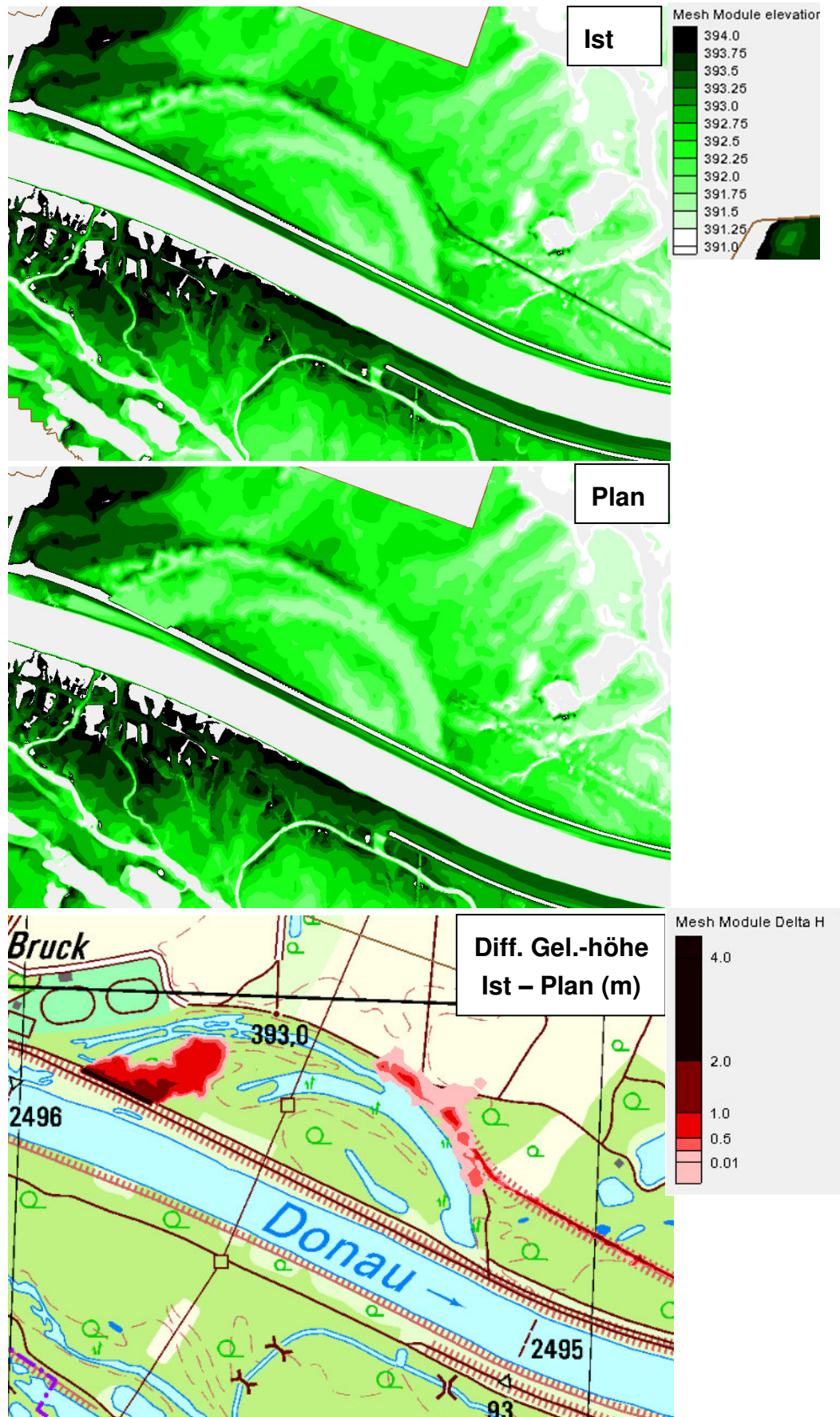


Modellumgriff (rot)
Zuflüsse (schwarz)
Abflüsse (blau)

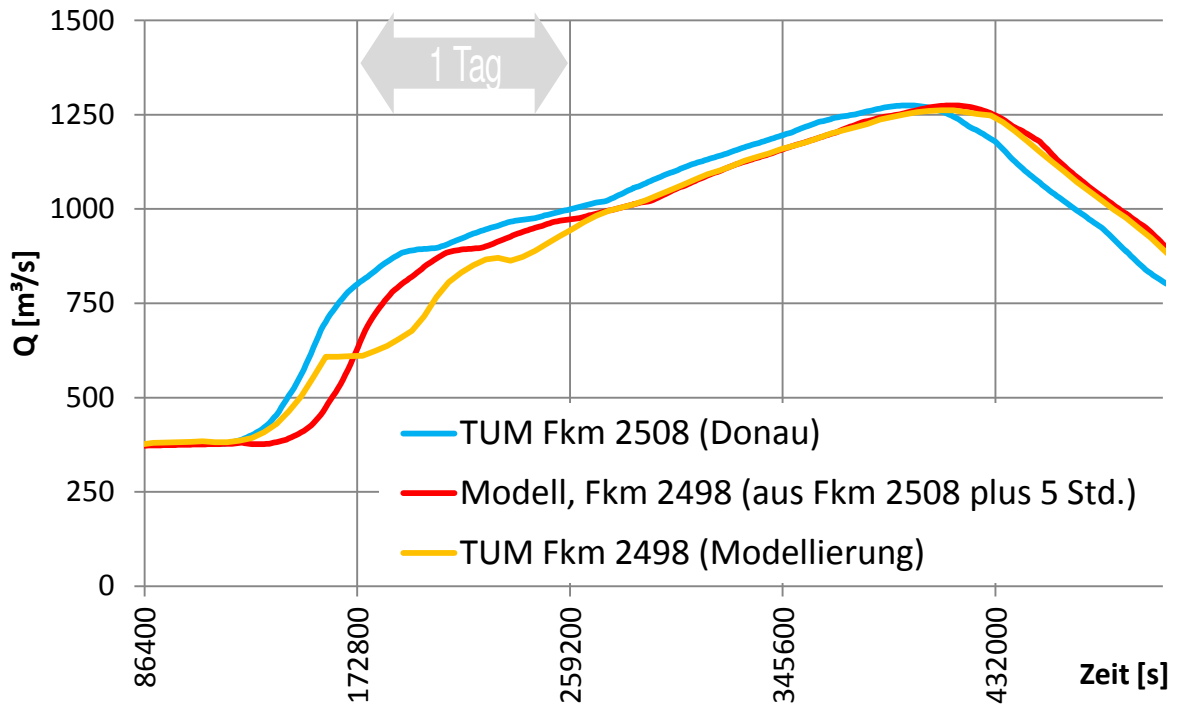
Anlage 2 Polderumgriffe, Varianten A - D



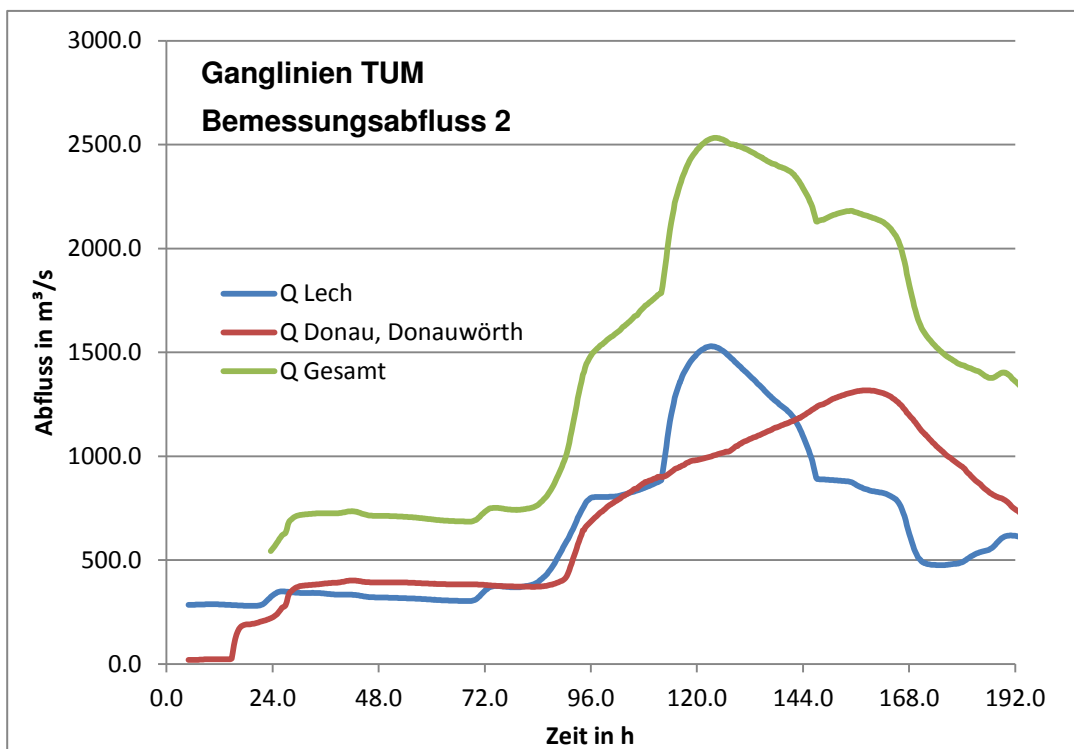
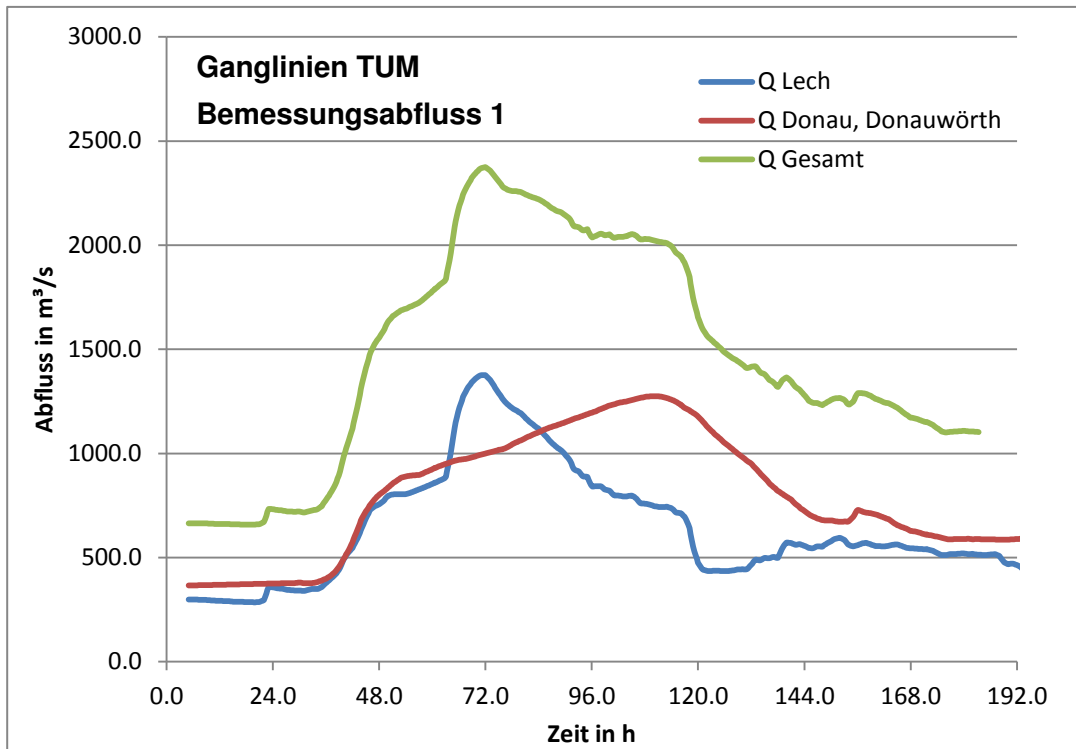
Anlage 4 Anpassung Geländehöhe Poldervariante A

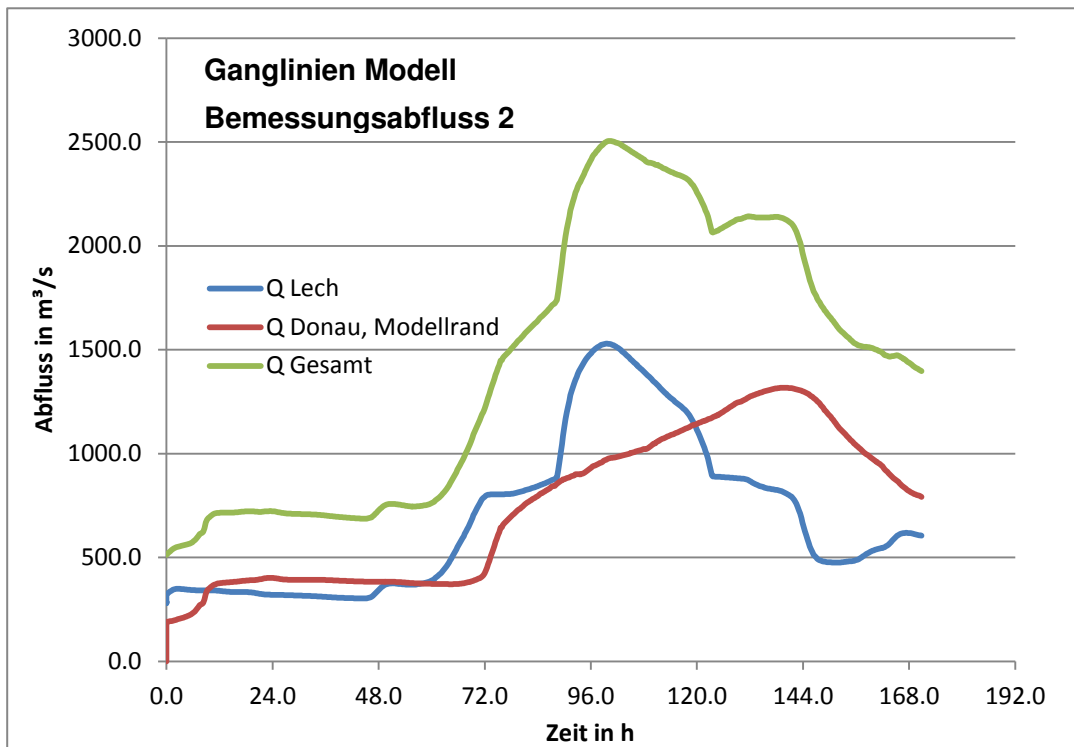
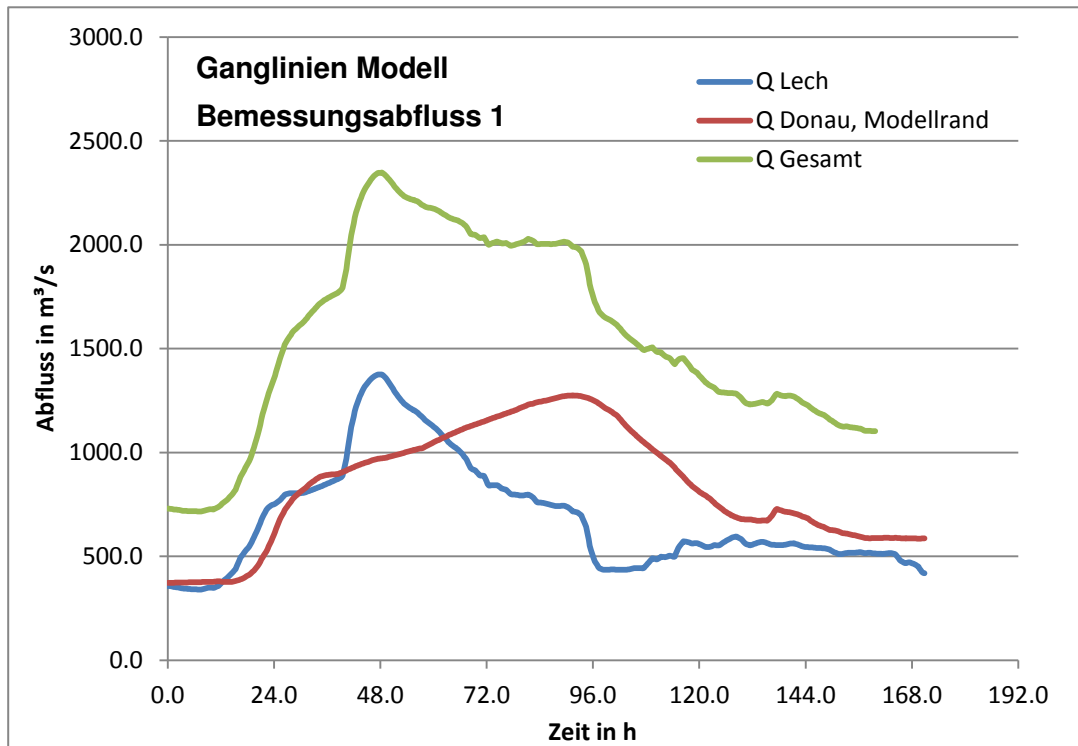


**Anlage 5 Zeitversatz Ganglinien Donau bei Donauwörth und am Modellrand
Bemessungsganglinie 1**



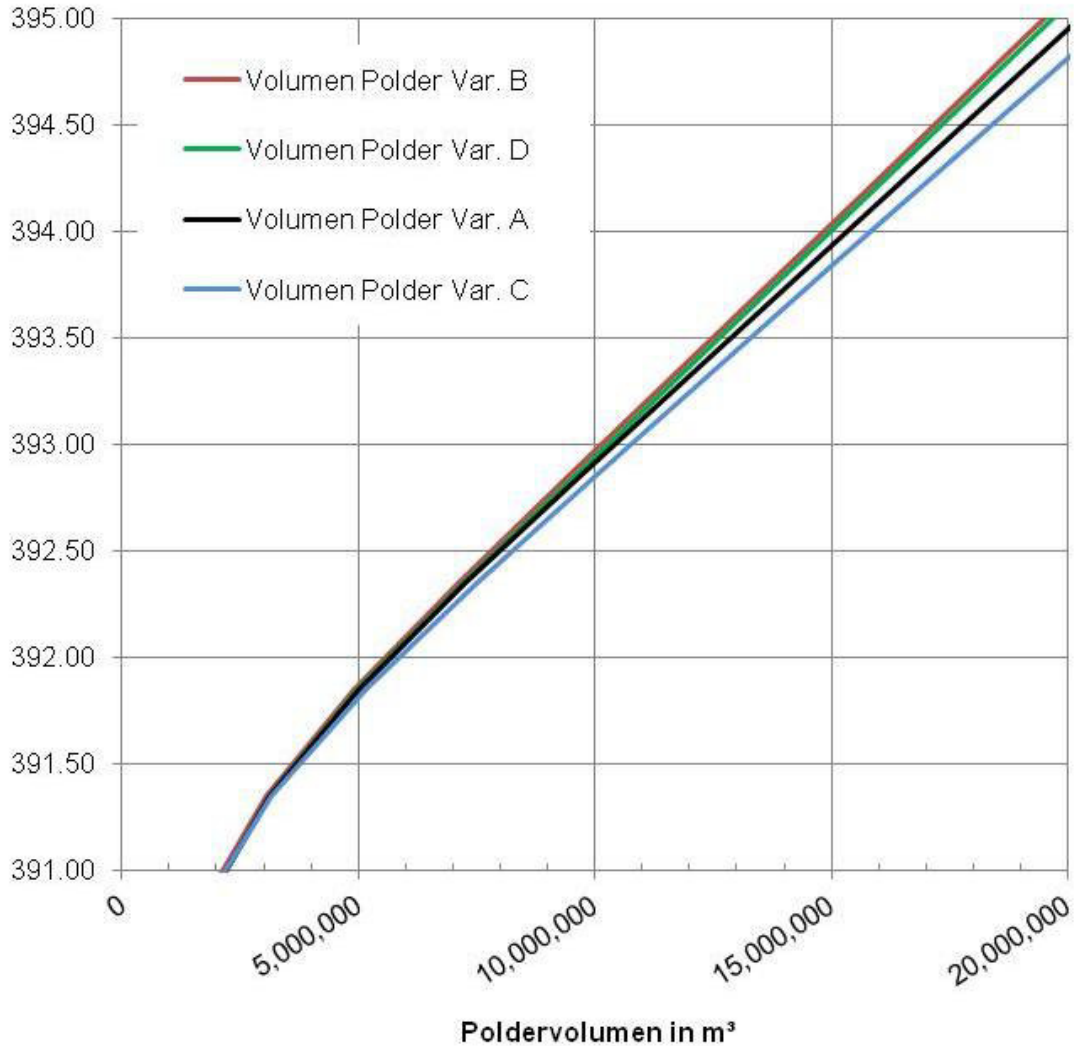
Anlage 6 Zuflussganglinien TUM und für Modellberechnungen ab ca. 24h





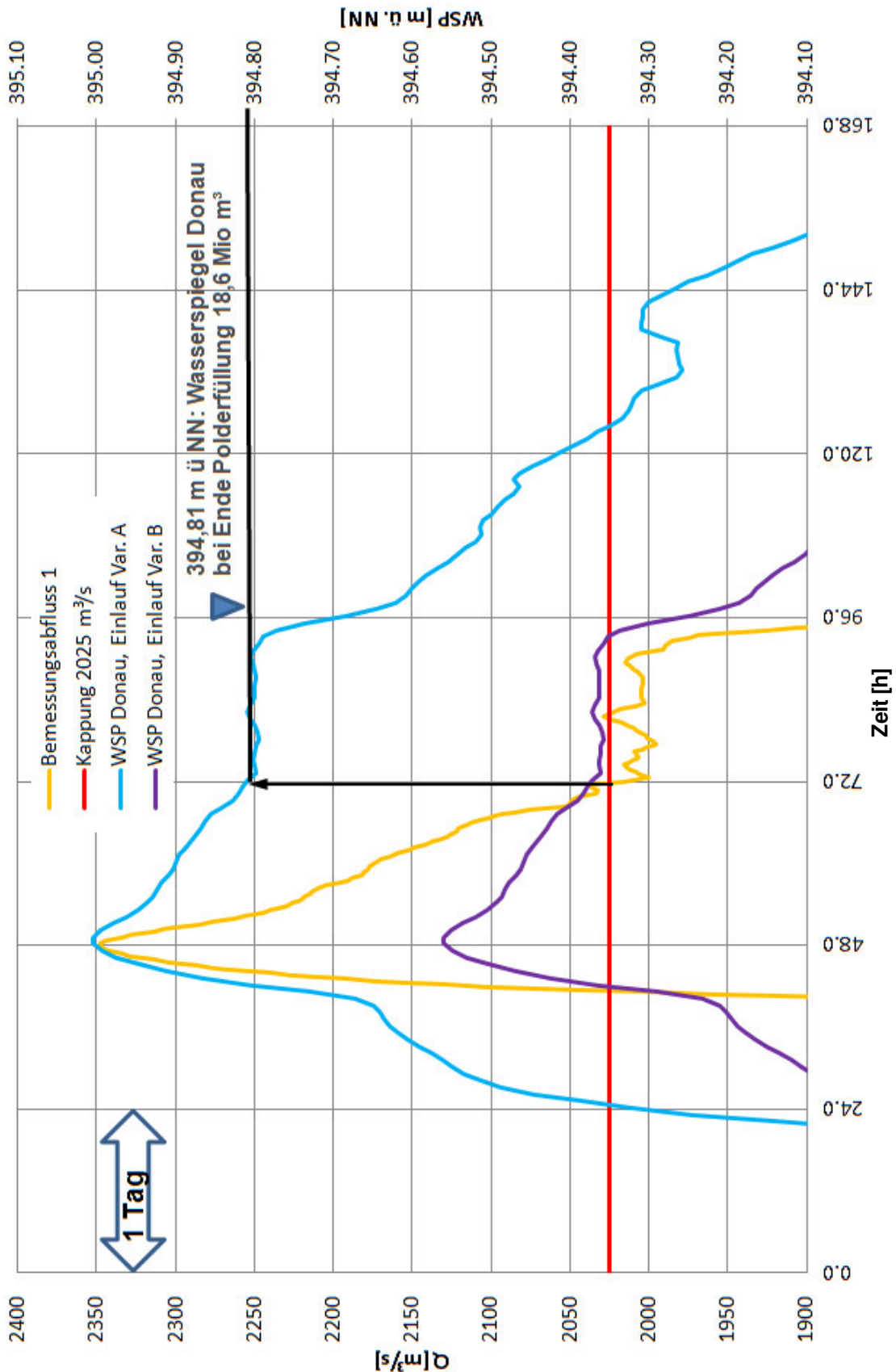
Anlage 7 Volumenkurven Poldervarianten A - D

Wasserspiegel im Polder in m ü. NN

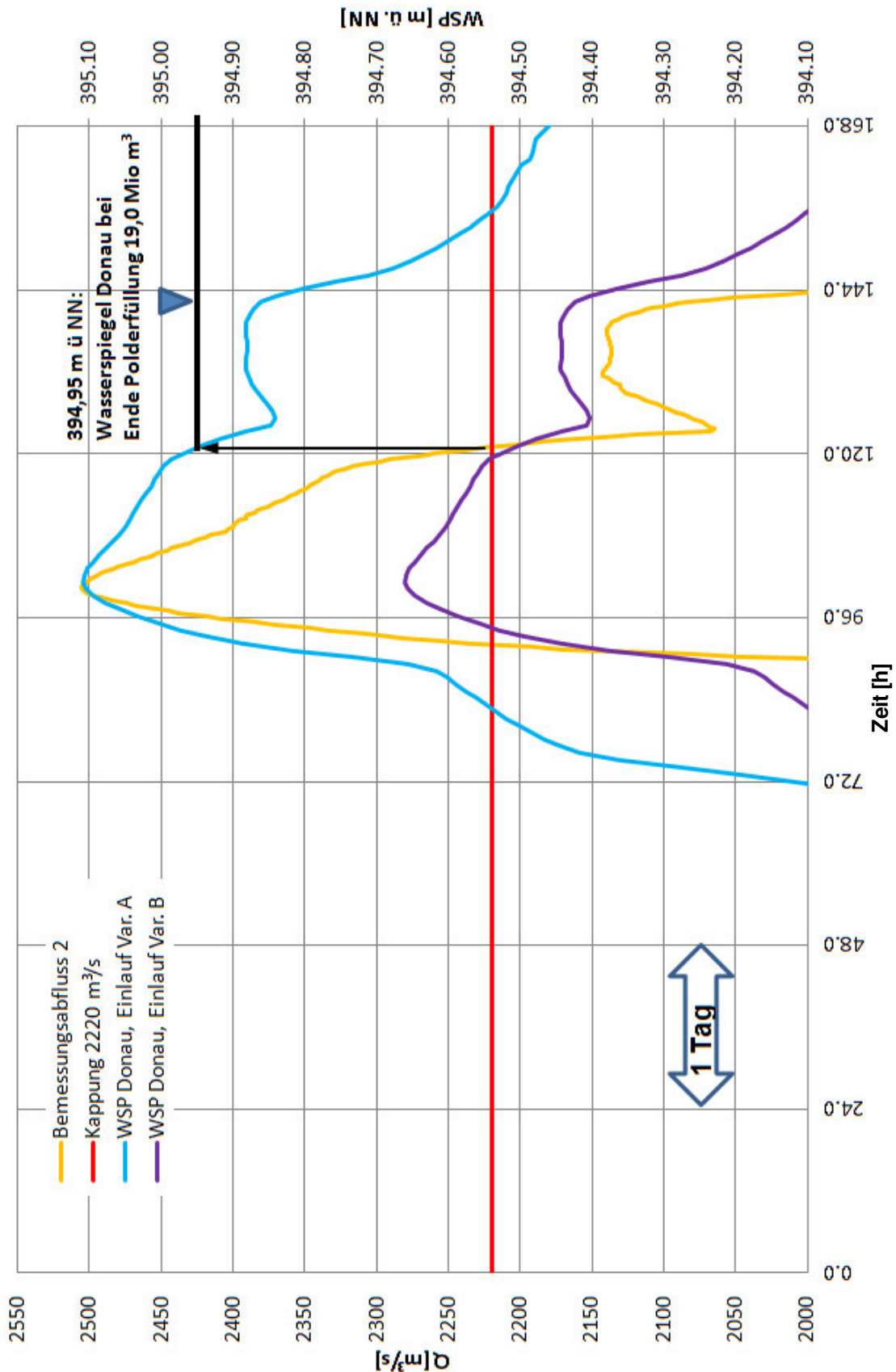


WSP [m ü. NN]	Volumen Polder Var. A	Volumen Polder Var. B	Volumen Polder Var. D	Volumen Polder Var. C
395.35	21,944,000	21,136,000	21,330,000	22,725,000
394.85	19,490,000	18,796,000	18,975,000	20,159,000
394.35	17,036,000	16,456,000	16,620,000	17,600,000
393.85	14,582,000	14,116,000	14,265,000	15,050,000
393.35	12,128,000	11,776,000	11,910,000	12,511,000
392.85	9,677,000	9,437,000	9,556,000	9,988,000
392.35	7,254,000	7,109,000	7,213,000	7,496,000
391.85	4,991,000	4,898,000	4,986,000	5,139,000
391.35	3,121,000	3,048,000	3,121,000	3,172,000
390.85	1,799,000	1,740,000	1,799,000	1,780,000
390.35	939,000	895,000	939,000	897,000

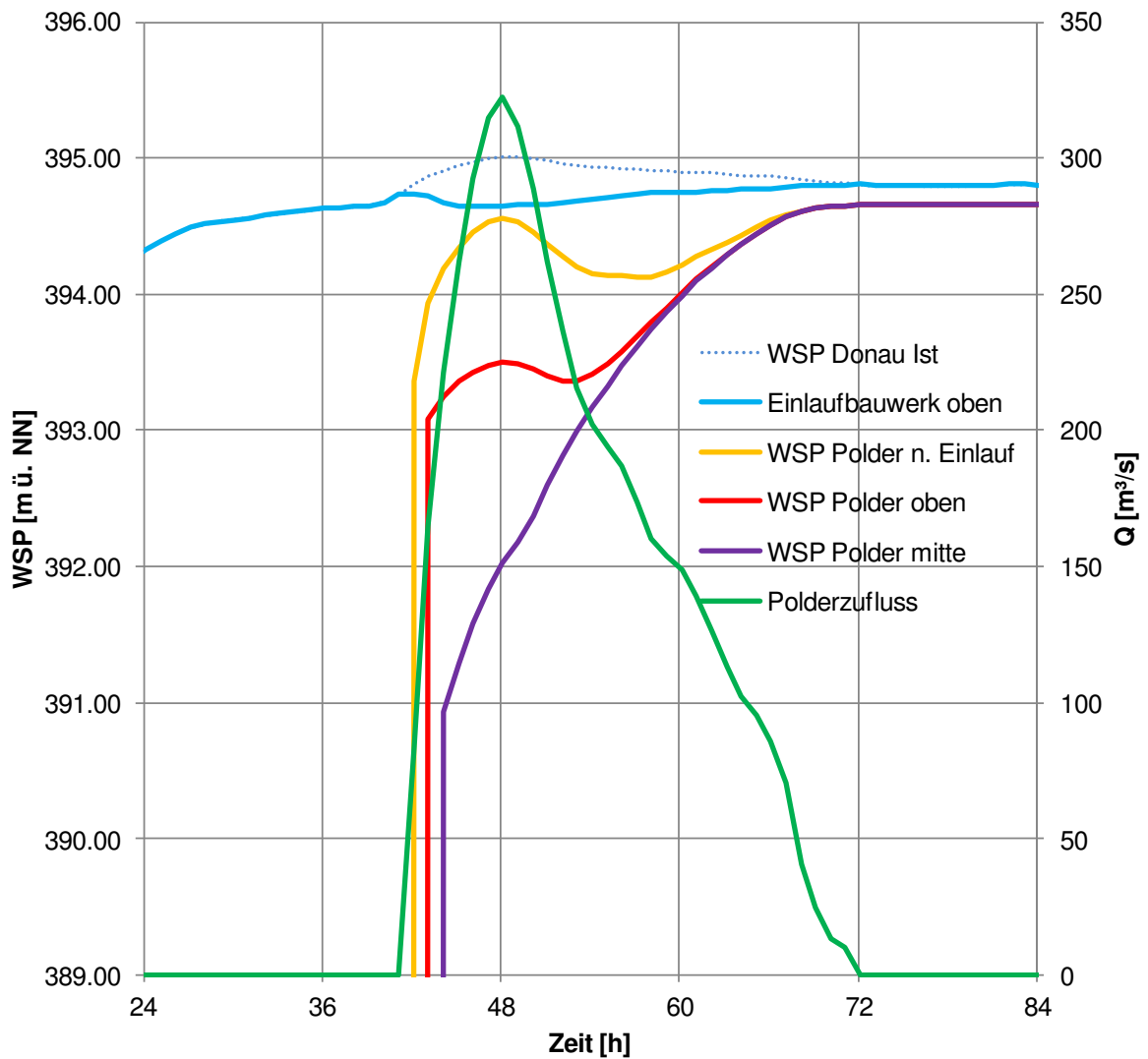
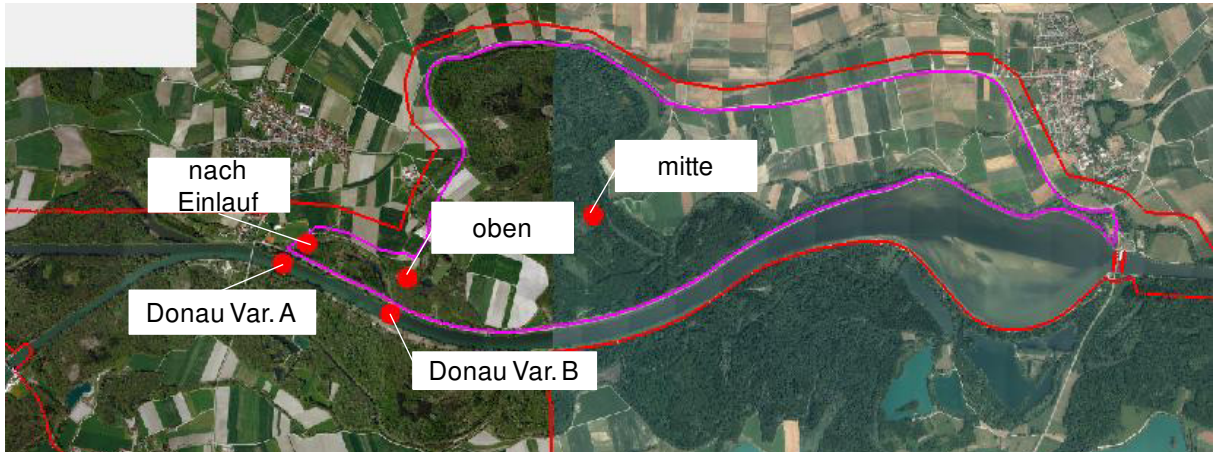
Anlage 8 Scheitelkappung Poldervariante A, Bemessungsabfluss 1



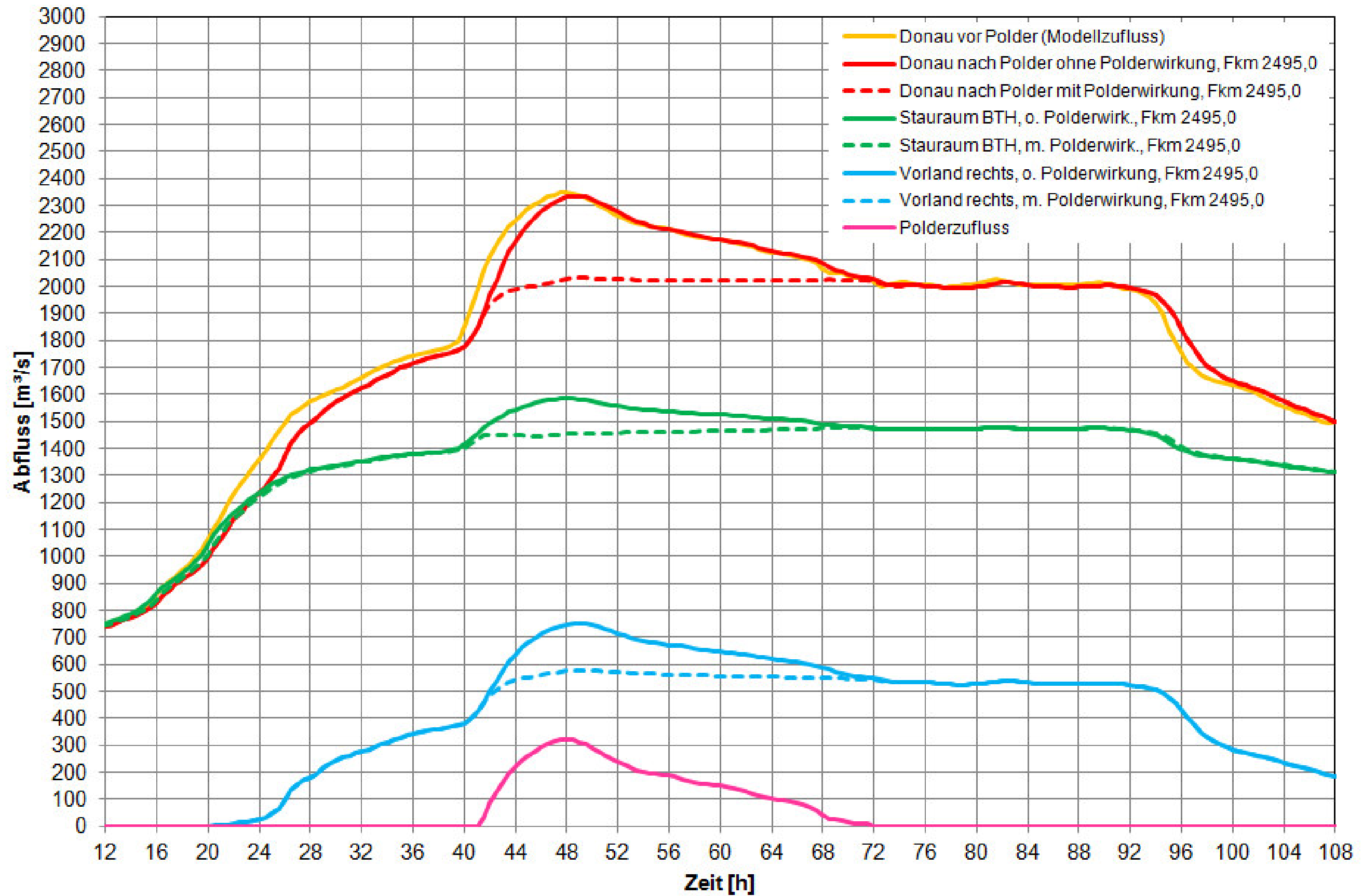
Anlage 9 Scheitelkappung Poldervariante A, Bemessungsabfluss 2



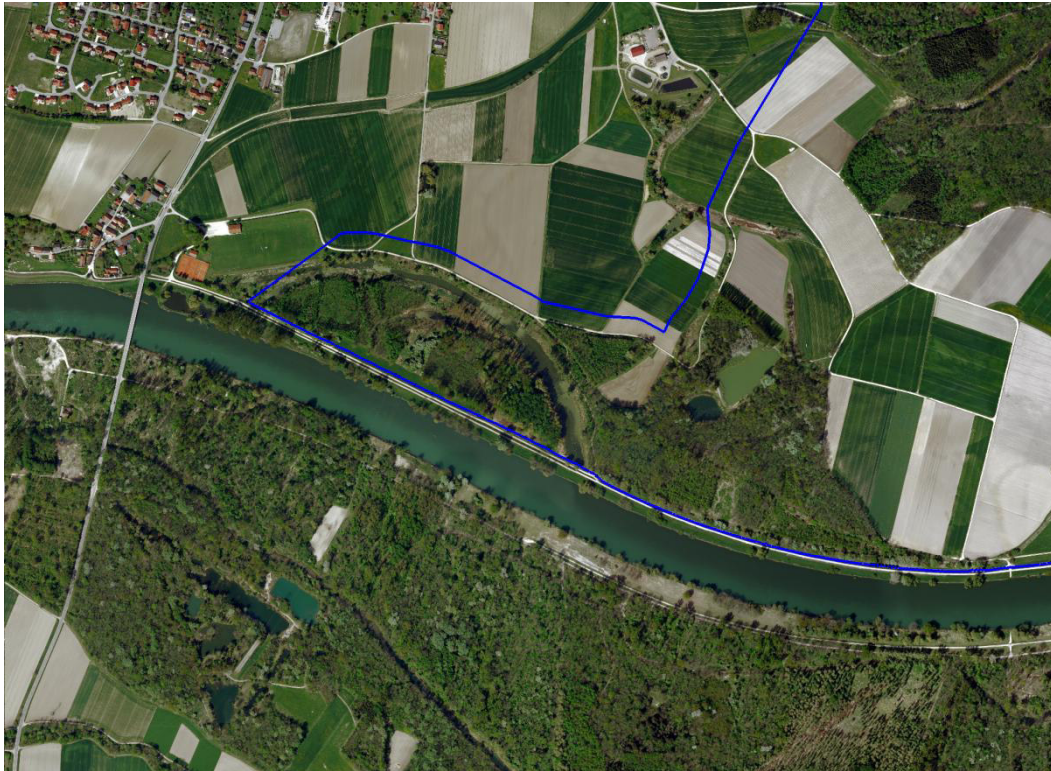
**Anlage 10 Bemessungsabfluss 1, Poldervariante A:
Wasserspiegellagen in Donau und Polder, Polderzufluss,
mit Darstellung der Lage der Pegelpunkte (oben)**



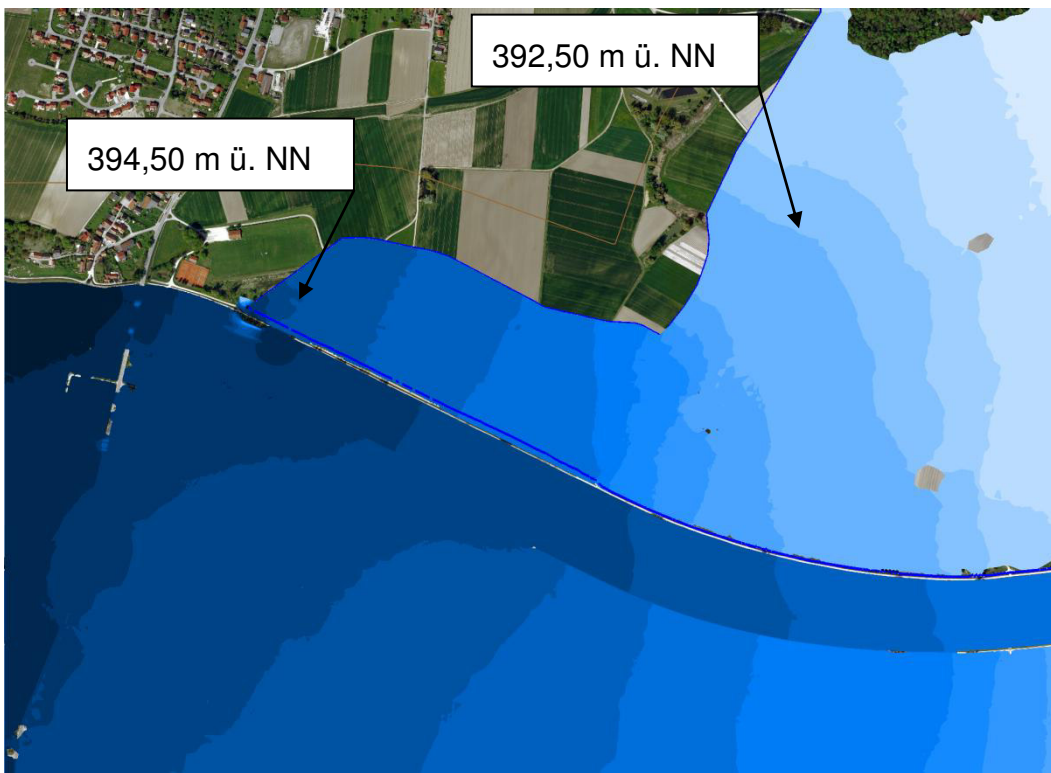
Anlage 11 Vergleich Ganglinien Ist und Poldervariante A, Bemessungsabfluss 1



Anlage 12 Poldervariante A, Detailansicht Wasserspiegel am Einlaufbauwerk

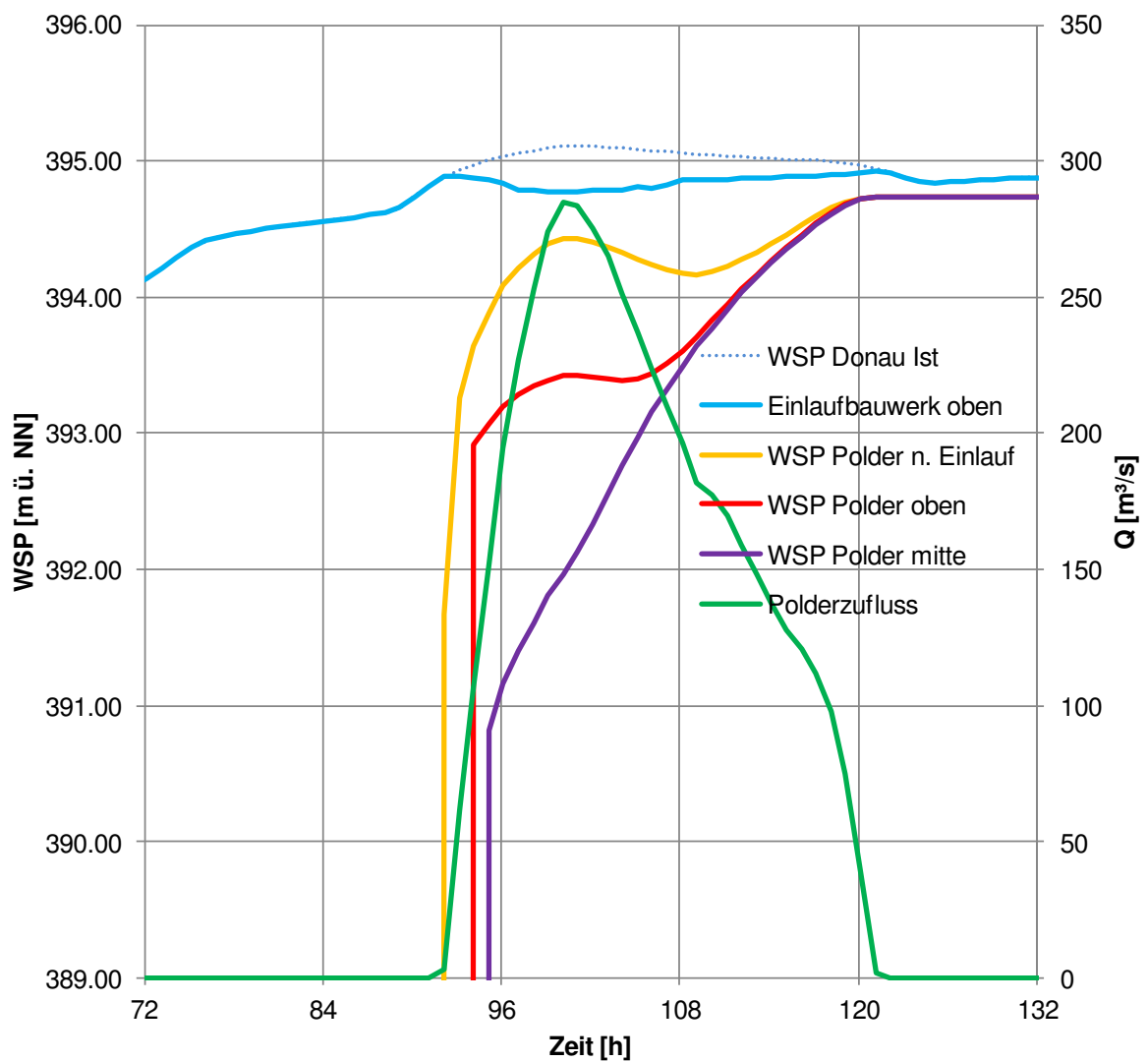
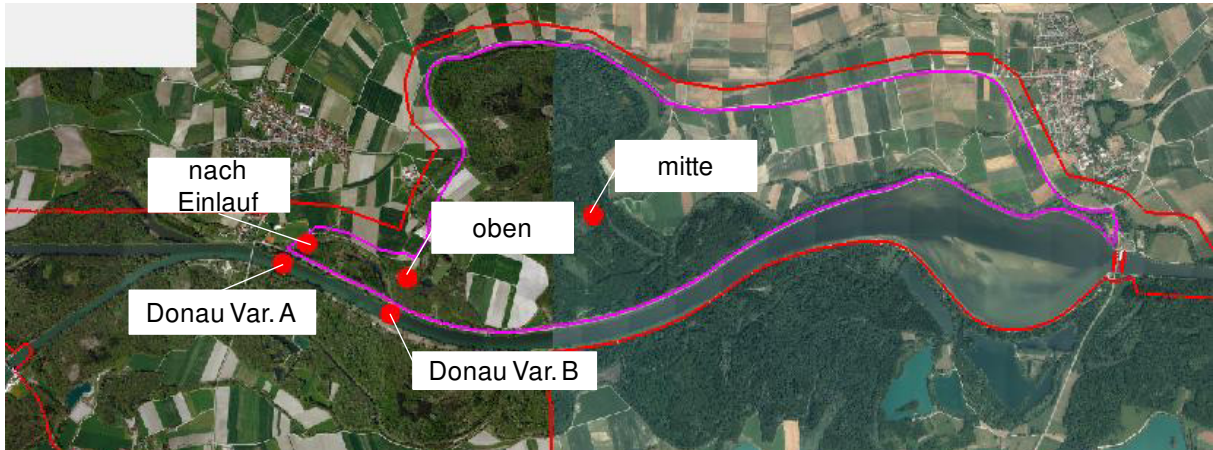


Auwald im Bereich der Einströmung in den Polder

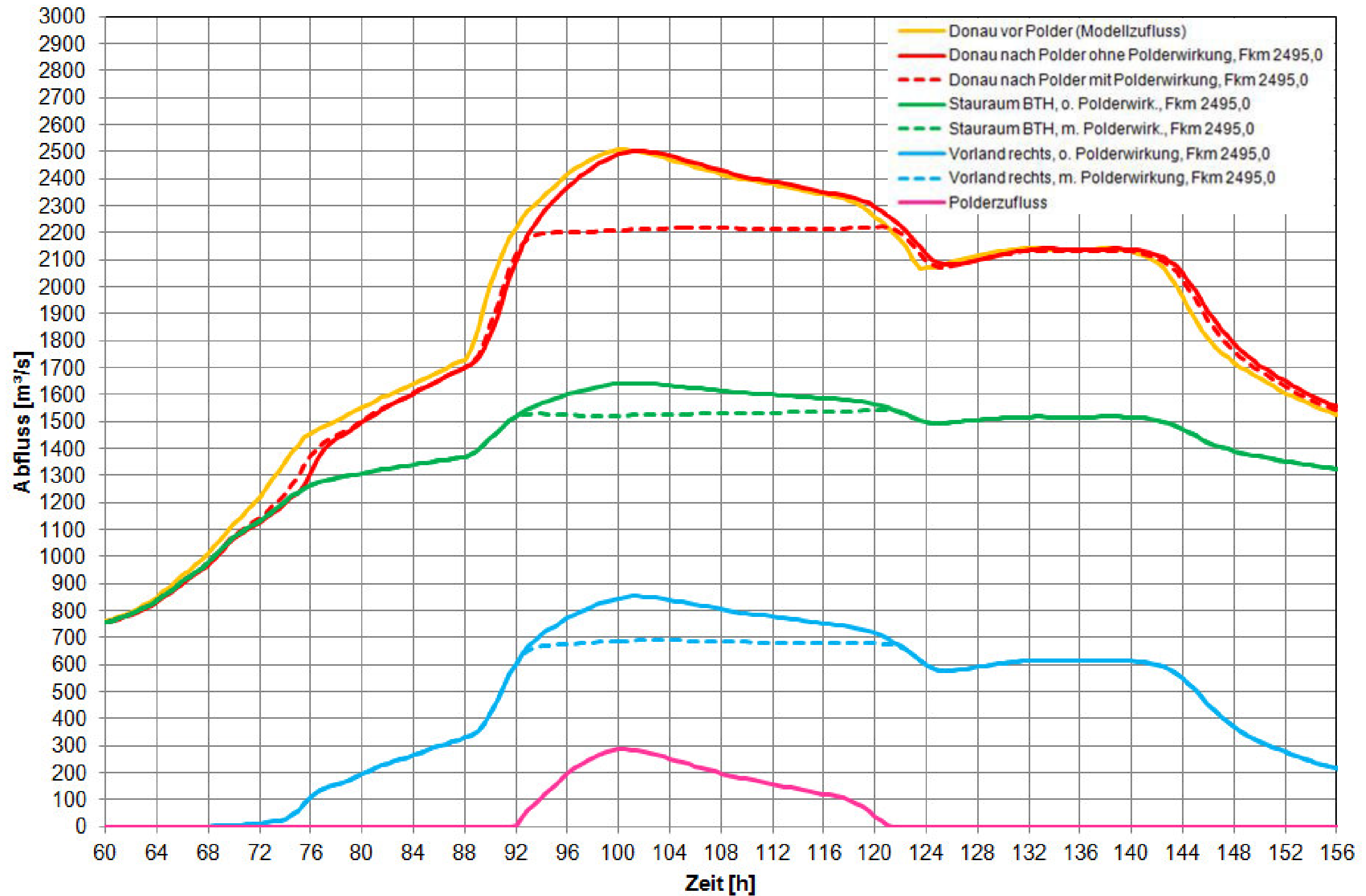


Wasserspiegellagen Bemessungsganglinie 1, max. Zufluss Polder ca. 320 m³/s

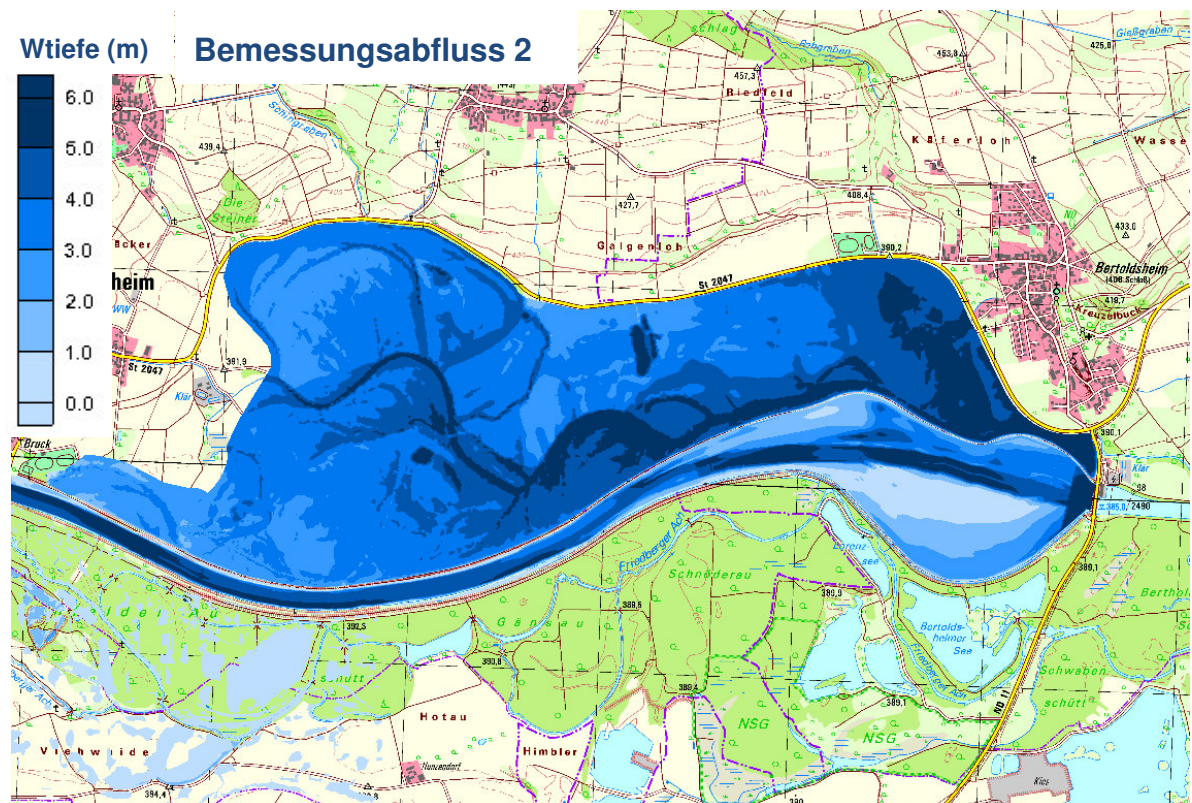
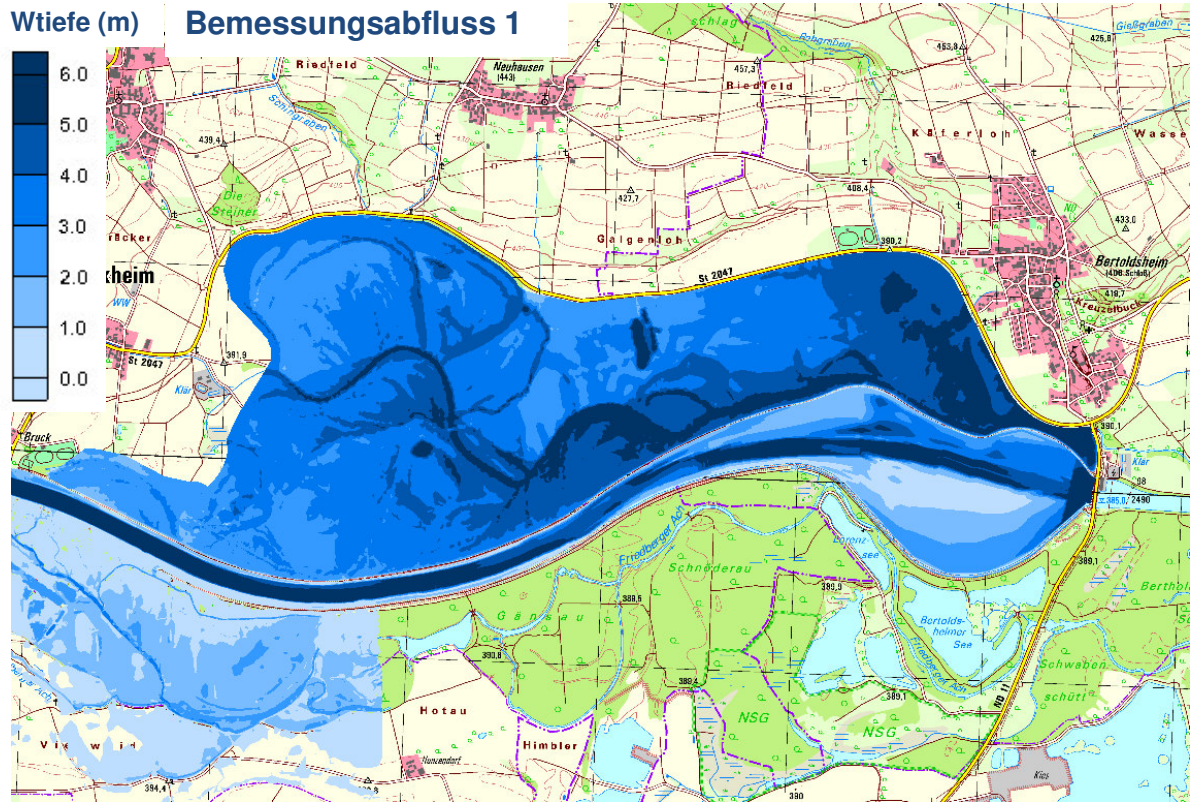
**Anlage 13 Bemessungsabfluss 2, Poldervariante A:
Wasserspiegellagen in Donau und Polder, Polderzufluss,
mit Darstellung der Lage der Pegelpunkte (oben)**



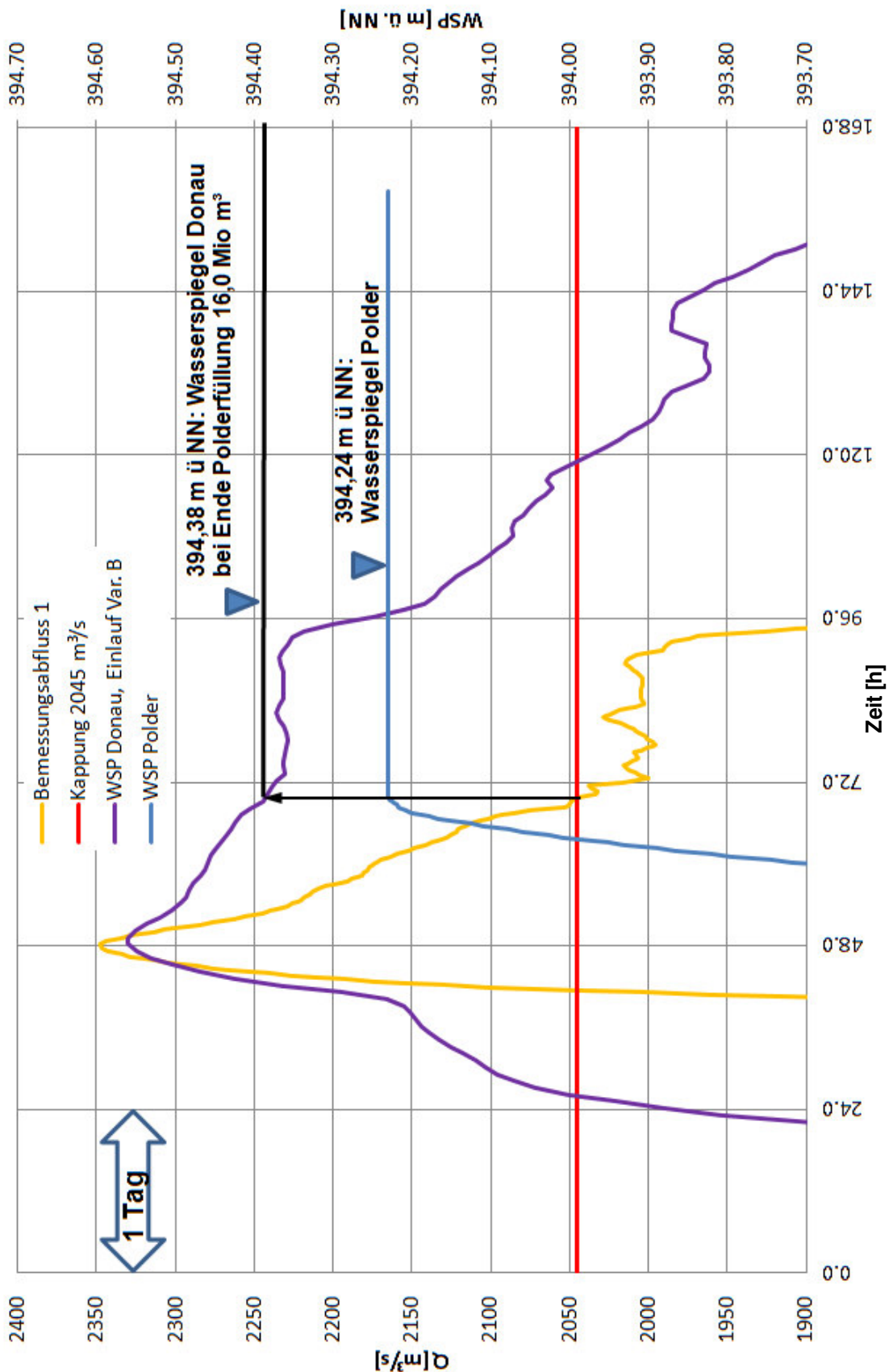
Anlage 14 Vergleich Ganglinien Ist und Poldervariante A, Bemessungsabfluss 2



**Anlage 15 Wassertiefen bei gefülltem Polder,
Bemessungsabflüsse 1 und 2, Poldervariante A**



Anlage 16 Scheitelkappung Poldervariante B, Bemessungsabfluss 1



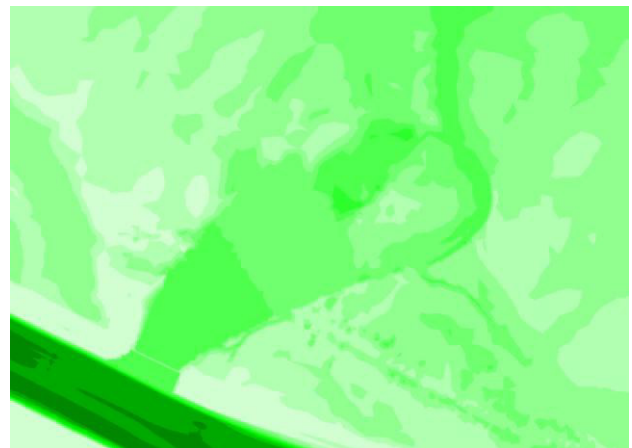
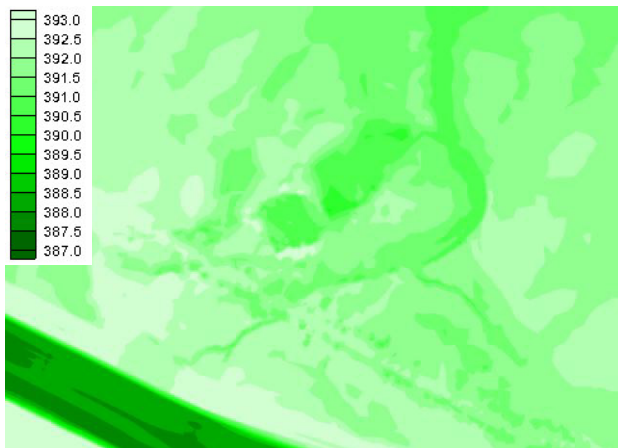
**Anlage 17 Anpassung Geländehöhe Poldervariante B, Auswirkung auf die
Wasserspiegellagen im Nahbereich Poldereinlauf (t = 48h)**

originales Gelände

angepasstes Gelände



Höhenlinien

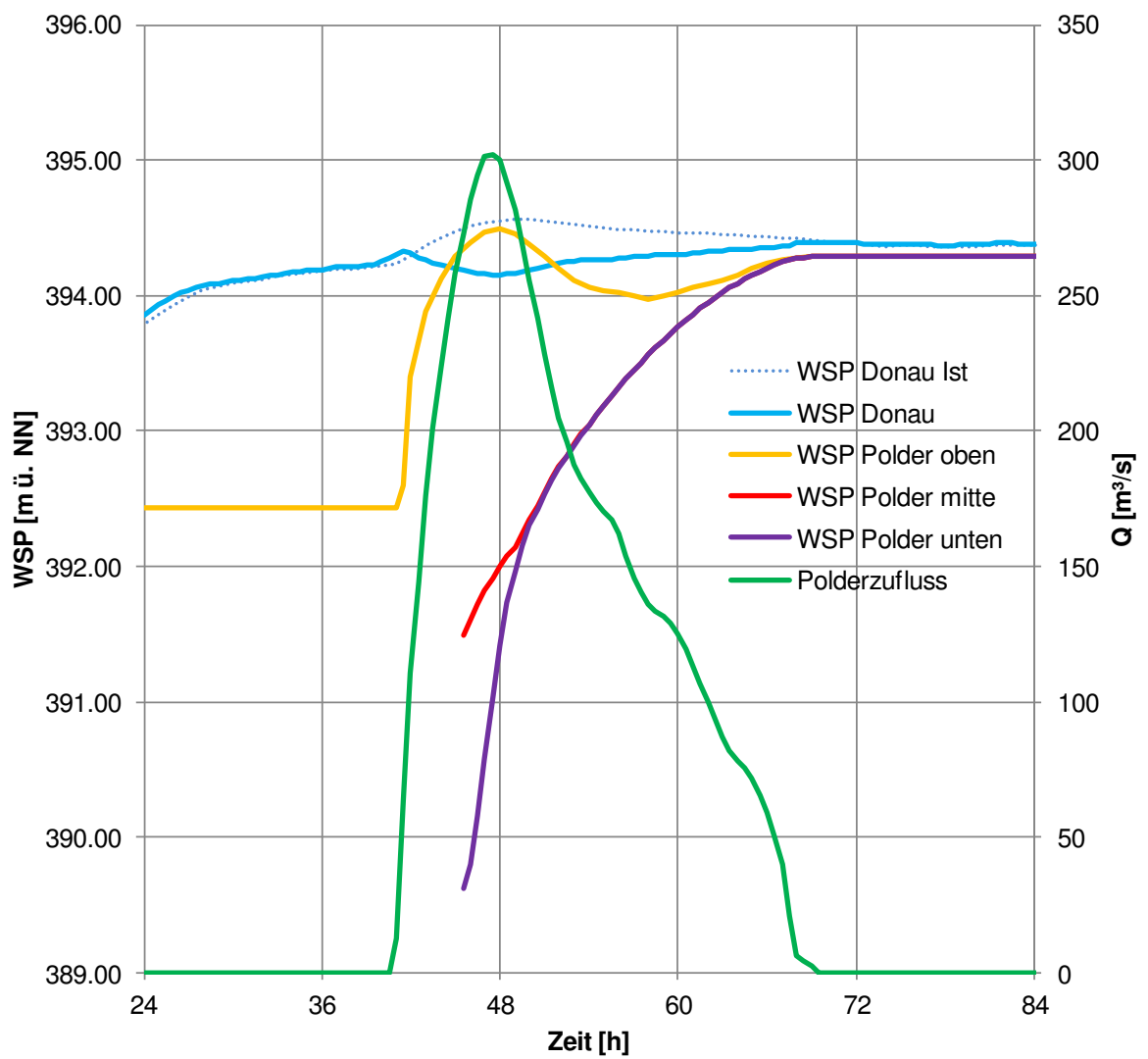
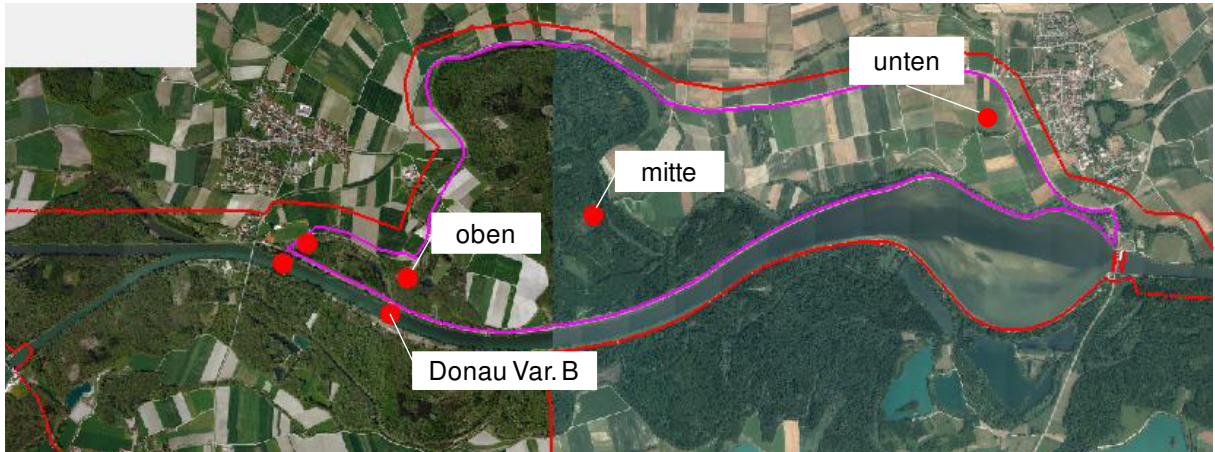


Geländehöhen (m ü. NN)

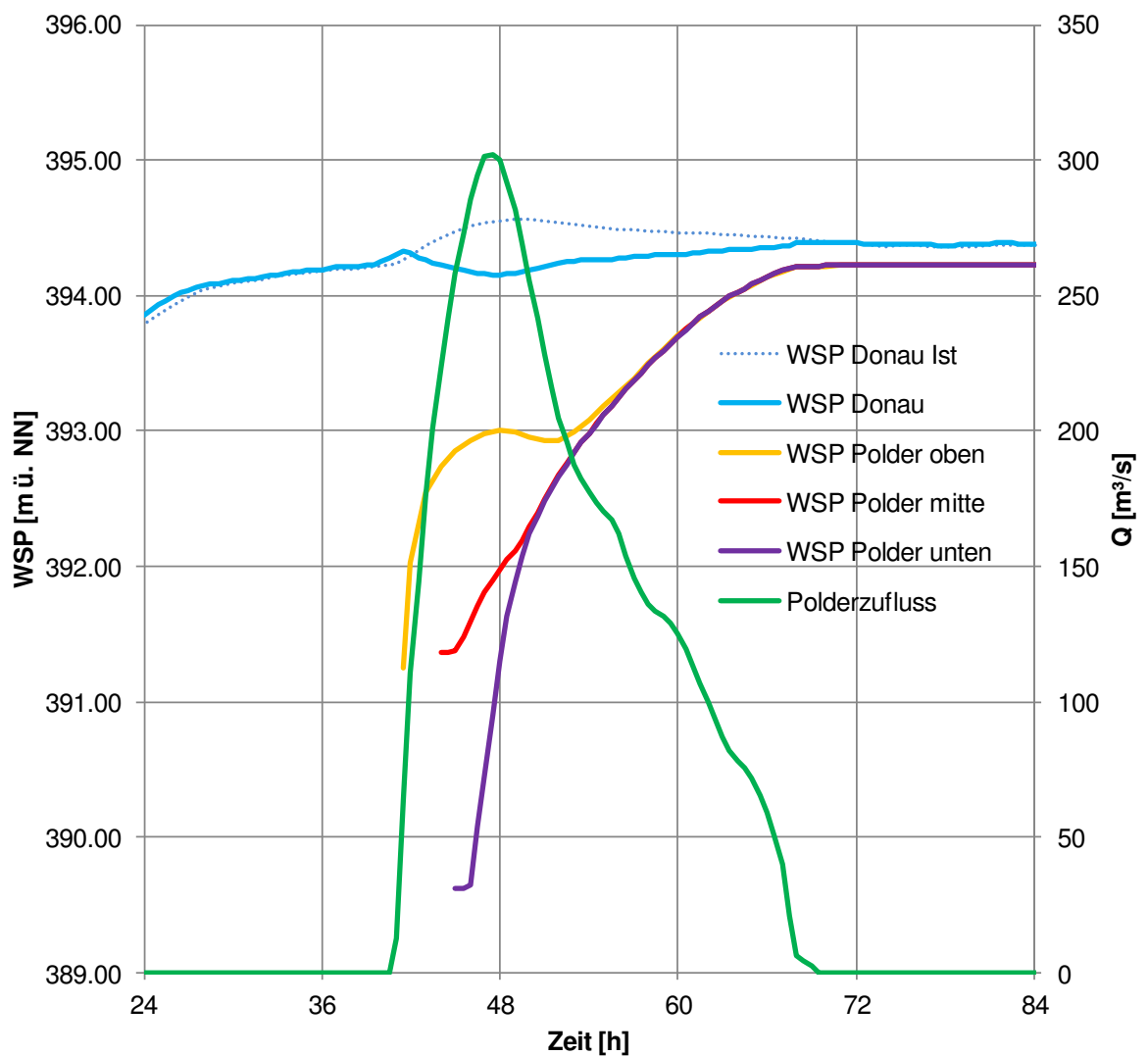
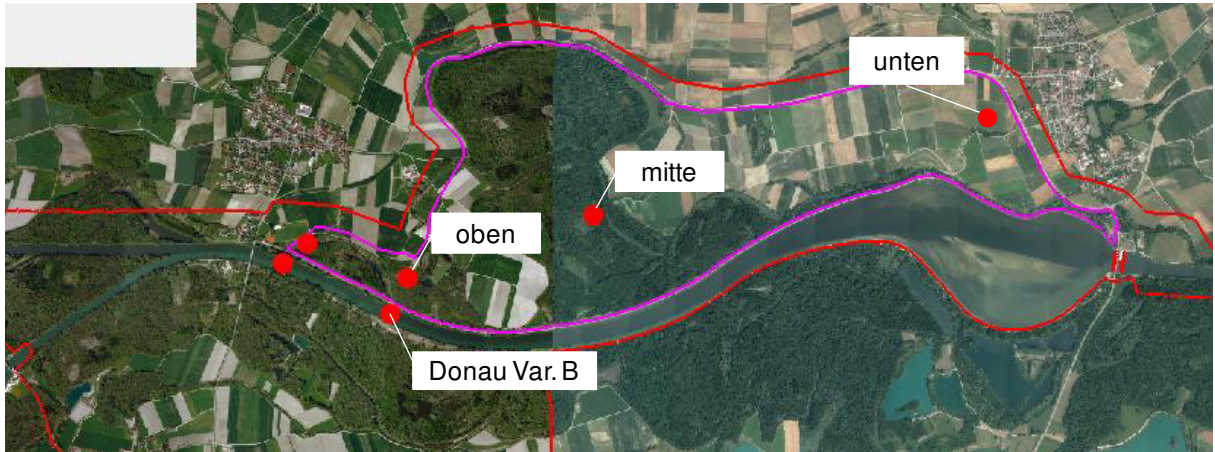


Wasserspiegellagen (m ü.NN)

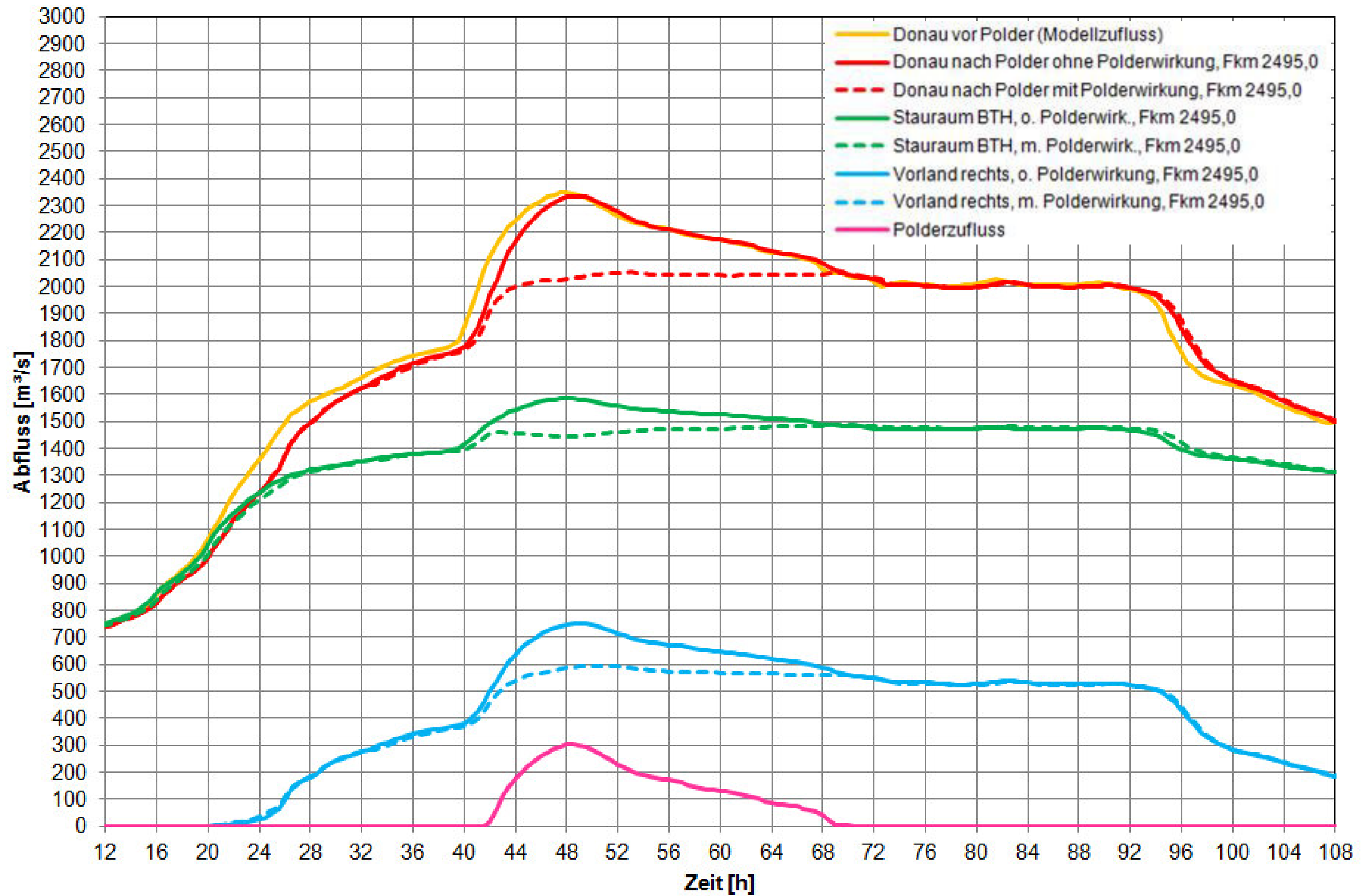
**Anlage 18 Bemessungsabfluss 1, Poldervariante B ohne Anpassung:
Wasserspiegellagen in Donau und Polder, Polderzufluss,
mit Darstellung der Lage der Pegelpunkte (oben)**



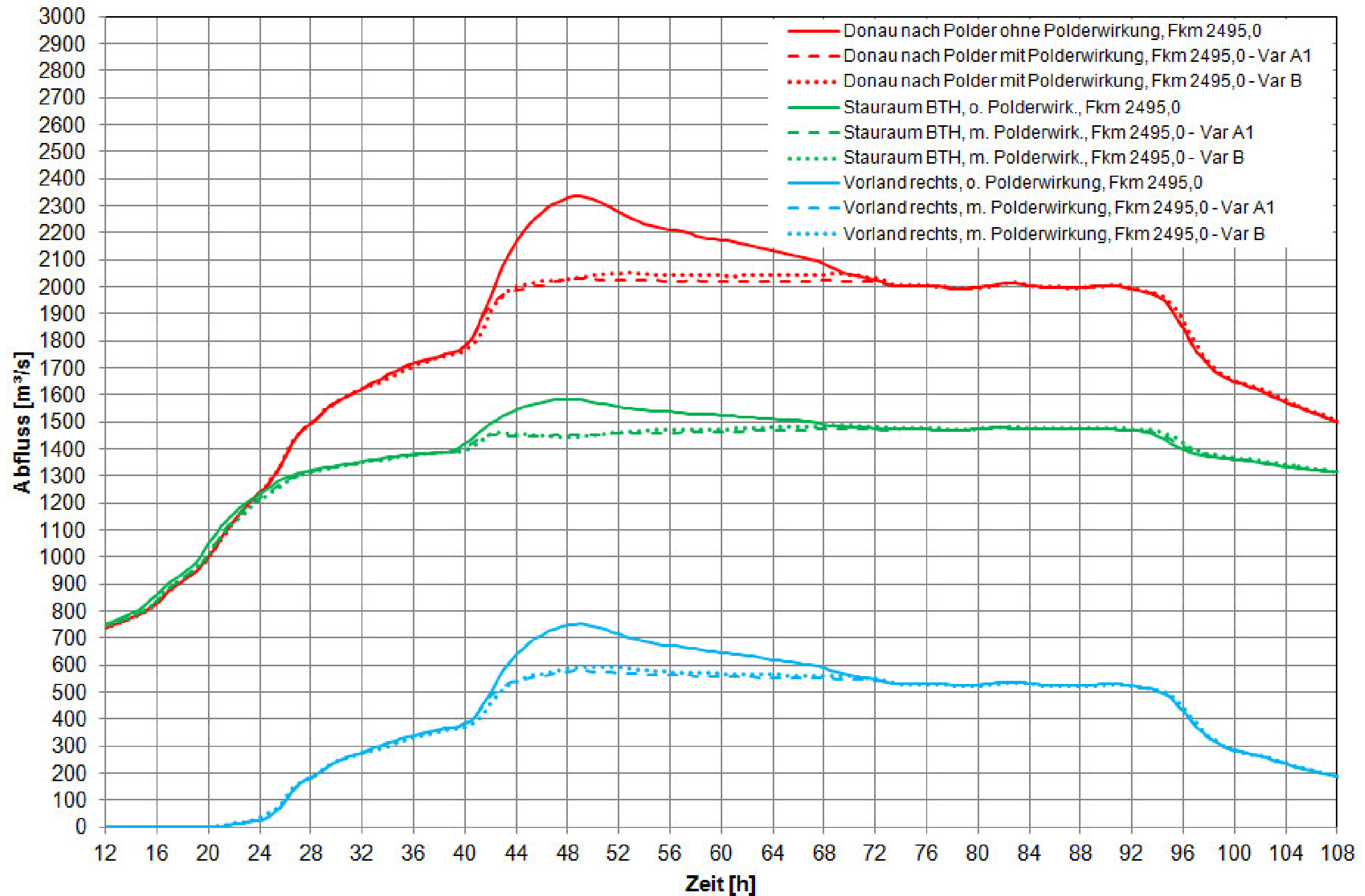
**Anlage 19 Bemessungsabfluss 1, Poldervariante B mit Anpassung:
Wasserspiegellagen in Donau und Polder, Polderzufluss,
mit Darstellung der Lage der Pegelpunkte (oben)**



Anlage 20 Vergleich Ganglinien Ist und Poldervariante B, Bemessungsabfluss 1

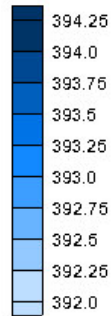


Anlage 21 Vergleich Ganglinien Poldervariante A und B, Bemessungsabfluss 1



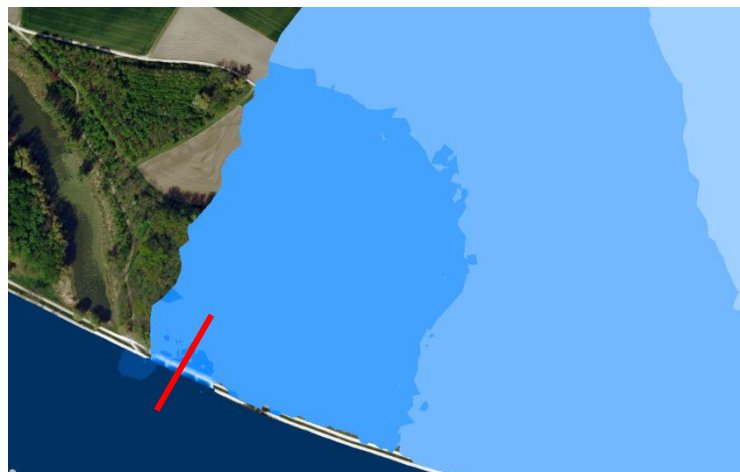
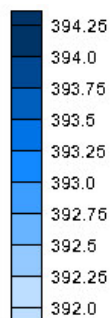
Anlage 22 Vergleich Wasserspiegel Poldervariante B: Berechnungen mit Zu- und Abflussrandbedingungen und stationäre 2D-Berechnung Polder mit Qmax Polder

WSPL (m ü.NN)



Berechnung mit innerer Zuflussrandbedingung

WSPL (m ü.NN)



Berechnung 2D stationär mit Längsschnittlage

