



Grundwassermodell Flutpolder Bertoldsheim

Modelleinsatz

Juni 2020



GeoBüro Ulm

Arbeitsgemeinschaft Simultec – GeoBüro Ulm

c/o Simultec AG, KraftWerk1, Hardturmstr. 261, CH-8005 Zürich

Tel: +41 44 563 86 20, Fax: +41 44 563 86 29, E-Mail: info@simultec.ch

Grundwassermodell Flutpolder Bertoldsheim
Modelleinsatz

Inhalt

1	Einleitung, Ziel	1
2	Methodik	3
2.1	Quantifizierung von Auswirkungen	3
2.2	Hochwasserganglinien	3
2.3	Berechnungszeitraum.....	4
2.4	Kopplung mit dem hydraulischen Modell	5
2.5	Modellparameter	5
2.6	Sensitivitätsanalyse	6
3	Bezugszustände	8
3.1	Situation bei mittlerem Grundwasserstand	8
3.2	Donaubetontes Hochwasser.....	11
3.3	Lechbetontes Hochwasser	12
4	Auswirkungen der Planungszustände	14
4.1	Vorgehen.....	14
4.1.1	Zielsetzungen	14
4.1.2	Massgebende Lastfälle.....	14
4.1.3	Optimierung der Massnahmen	15
4.1.4	Darstellung der Auswirkungen.....	17
4.2	Standort Nord	17
4.2.1	Sensible Objekte	17
4.2.2	Auswirkungen ohne Massnahmen.....	18
4.2.3	Massnahmen und resultierende Auswirkungen	21
4.2.4	Sensitivitätsanalyse	30
4.3	Standort Süd	34
4.3.1	Sensible Objekte	34
4.3.1	Auswirkungen ohne Massnahmen.....	35
4.3.1	Massnahmen und resultierende Auswirkungen	38
4.3.2	Sensitivitätsanalyse	42
5	Zusammenfassung	44
6	Literatur	45

Anlage A: HQ200L, Polder Nord, Drainage und Sicherungsbrunnen,
Differenz der maximalen Grundwasserstände

Anlage B: HQ200L, Polder Nord, Drainage und Sicherungsbrunnen,
Flurabstand bei maximalem Grundwasserstand

Anlage C: HQ200L, Polder Süd, Drainage, Differenz der maximalen
Grundwasserstände

Anlage D: HQ200L, Polder Süd, Drainage, Flurabstand bei
maximalem Grundwasserstand

1 Einleitung, Ziel

Anlass	Entlang der Donau sollen gesteuerte Flutpolder erstellt werden, mit denen bei großen Hochwasserereignissen die Hochwasserspitzen gekappt und die unterhalb liegenden Hochwasserschutzanlagen entlastet werden können. Der Flutpolder Bertoldsheim ist einer der möglichen Flutpolderstandorte.
Auftrag	Für die Quantifizierung des Einflusses des Polders auf die Grundwasserverhältnisse werden ein hydrogeologisches Modell und darauf aufbauend ein Grundwassermodell für den Einflussbereich des Flutpolders Bertoldsheim erstellt.
Ziele	Mit dem Grundwassermodell werden folgende Ziele verfolgt: <ul style="list-style-type: none">- Berechnung der Auswirkungen des Flutpolderbetriebes auf die Grundwasserstände, resp. Flurabstände.- Quantifizierung der Auswirkungen auf benachbarte Trinkwasserbrunnen und die Abflüsse in der Binnenentwässerung.- Ausarbeitung von Planungsvorschlägen zur Optimierung der Polderumrisse und der baulichen Massnahmen.- Bemessung und Wirkungsnachweis der Massnahmen.- Unterstützung im Genehmigungsverfahren und der Öffentlichkeitsarbeit.
Untersuchungsgebiet	Das Untersuchungsgebiet umfasst das Donautal zwischen Genderkingen und Rennertshofen. Abbildung 1 zeigt den Rand des Grundwassermodells und die beiden Planungsbereiche südlich und nördlich der Donau. Der geplante Flutpolder wird entweder im nördlichen, oder im südlichen Planungsbereich realisiert.
Berichtsumfang	Die Arbeiten werden mit drei Teilberichten dokumentiert: <ul style="list-style-type: none">- Hydrogeologisches Modell und Modellkonzepte [1]- Modellaufbau, Kalibrierung und Modelltest [2]- Modelleinsatz <p>Der vorliegende Teilbericht beschreibt den Modelleinsatz.</p>

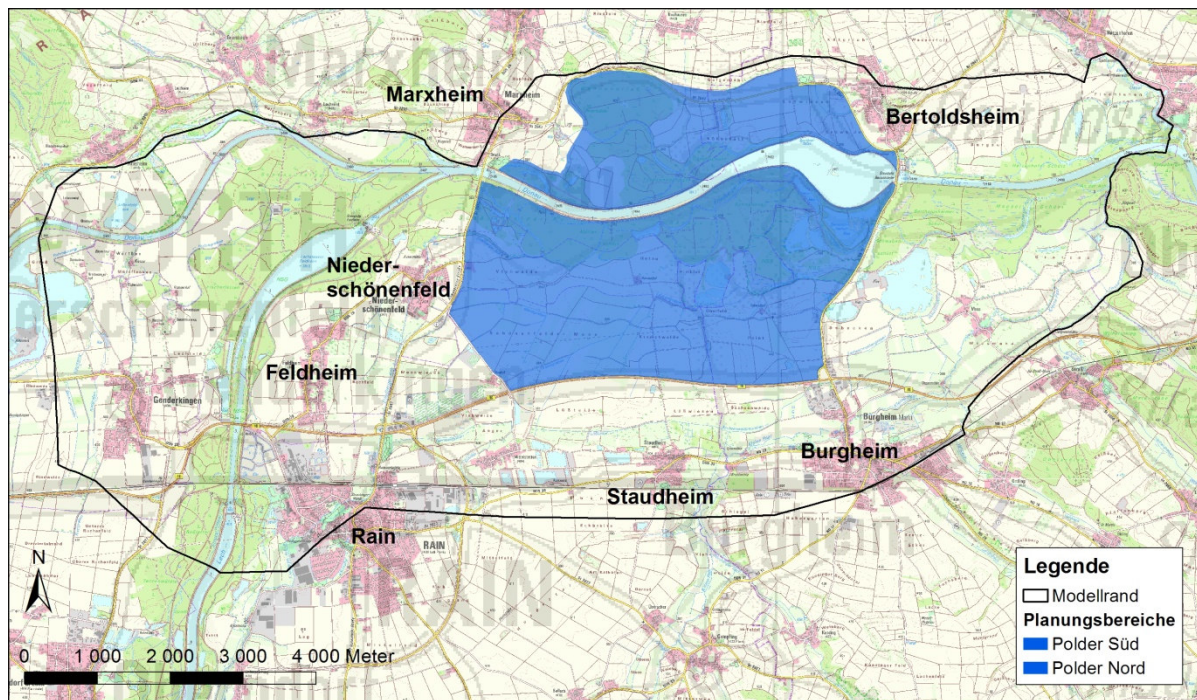


Abbildung 1: Situation mit Modellumriss und Planungsbereichen der Flutpolder.

Grundwasserpotential Der Begriff „Grundwasserpotential“ beschreibt die Höhe, auf welche das Grundwasser in einem in den Grundwasserleiter abgeteufte Standrohr ansteigt. Im Normalfall ist dies gleichbedeutend mit der Lage des Grundwasserspiegels. Bei gespannten Verhältnissen kann das Grundwasser im Standrohr über die Unterkante einer schlecht durchlässigen Schicht ansteigen, während die schlecht durchlässige Schicht selber nicht durchströmt wird. Im Grundwassermodell wird immer das Grundwasserpotential berechnet. Als alternativer Begriff zu Grundwasserpotential wird im vorliegenden Bericht auch der Begriff „Grundwasserstand“ verwendet.

2 Methodik

2.1 Quantifizierung von Auswirkungen

Modelleinsatz

Die Prognose der Auswirkungen erfolgt anhand von Berechnungen mit dem Grundwassermodell. Dabei wird zuerst ein Bezugszustand gerechnet, welcher die Bedingungen ohne Vorhandensein von Poldern beschreibt. Danach werden die Grundwasserverhältnisse unter der Annahme eines Planungszustands prognostiziert. Die Auswirkungen ergeben sich aus der Differenz der Prognose des Planungszustandes zum Bezugszustand.

2.2 Hochwasserganglinien

Abflussganglinien

Für die hydraulische Bemessung der Polderstandorte wurden beim Hochwassernachrichtendienst Abflussganglinien der Donau und des Lech erzeugt. Dabei wurde jeweils ein HQ 200 mit besonders hohem Donauabfluss und eines mit besonders hohem Lechabfluss generiert.

Diese Ganglinien wurden auch dem Grundwassermodell zugrunde gelegt. Da das Grundwassermodell einen längeren Vorlauf und Nachlauf benötigt, wurden die Ganglinien an Stelle des Mai-Hochwassers in die Abflussganglinie des Jahres 2019 eingesetzt (Abbildung 2).

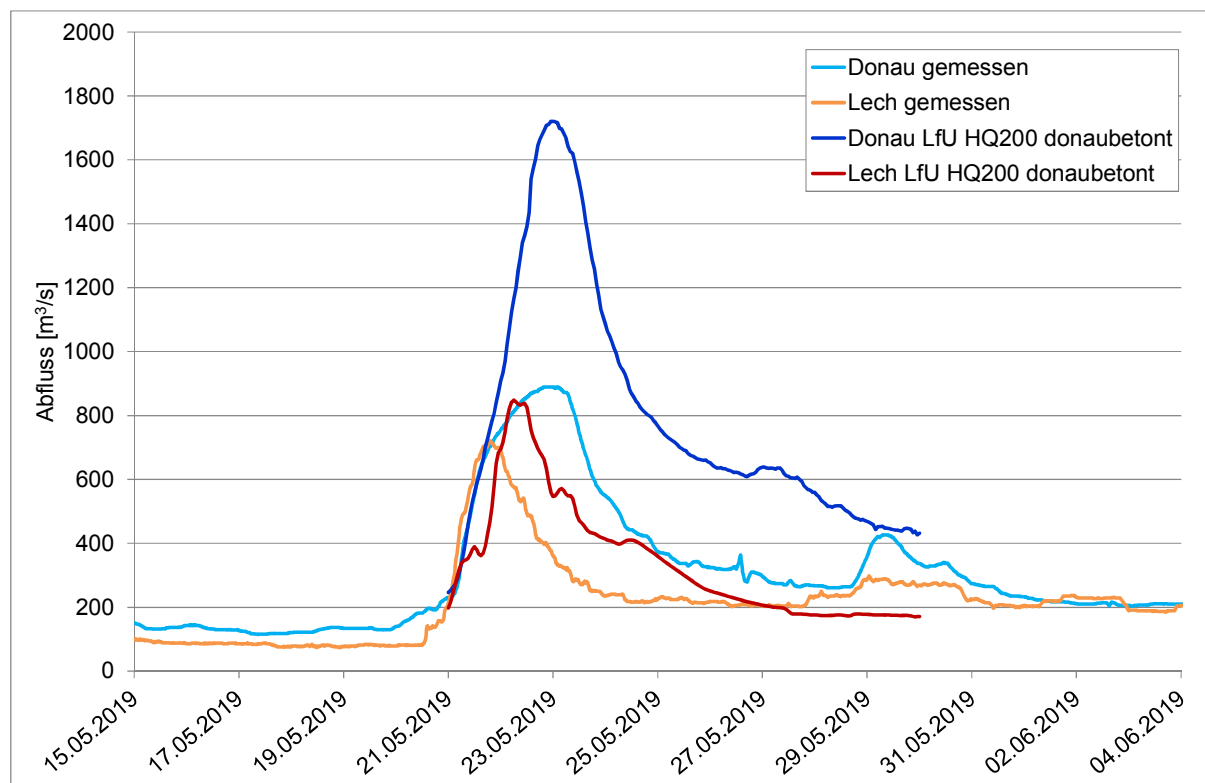


Abbildung 2:

Abflussganglinien der Donau und des Lech bei der Lechmündung während des Hochwassers 2019 und eingefügte Ganglinien des untersuchten HQ200 donaubetont.

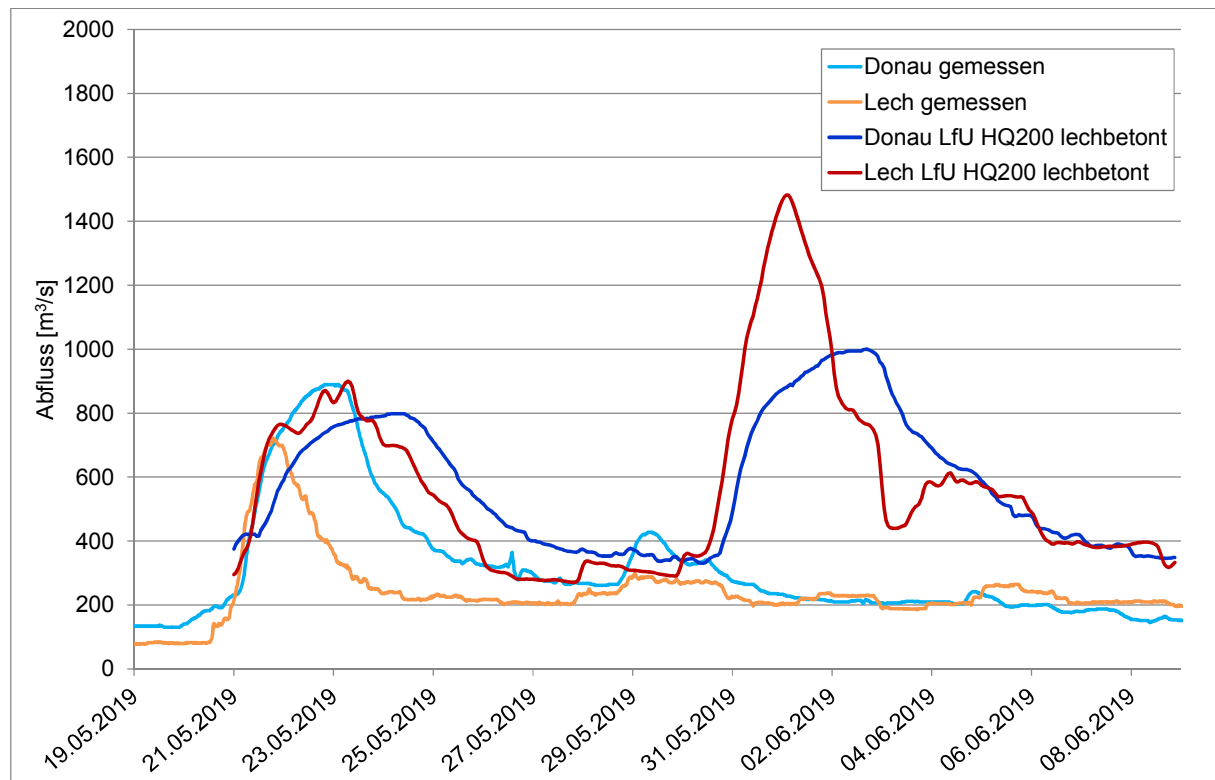


Abbildung 3: Abflussganglinien der Donau und des Lech bei der Lechmündung während des Hochwassers 2019 und eingefügte Ganglinien des untersuchten HQ200 lechbetont.

2.3 Berechnungszeitraum

Anforderungen

Der Berechnungszeitraum des vorgeschalteten hydraulischen Modells beträgt 6 (HQ200 donaubetont), resp. 15 (HQ200 lechbetont) Tage. Aus folgenden Gründen ist für die Grundwassermodellierung ein längerer Berechnungszeitraum erforderlich:

- Die Modelle für Planungszustände und Bezugszustände gehen vom gleichen Anfangszustand aus. Für die Anpassung an unterschiedliche Randbedingungen ist etwa 1 Monat erforderlich.
- Sofern Sicherungsmaßnahmen wie Sickerleitungen oder Dichtwände erforderlich werden, können diese auch Auswirkungen zu den übrigen Zeiten zur Folge haben. Zur Quantifizierung dieser Auswirkungen soll ein Zeitraum mit mittleren Bedingungen im Berechnungszeitraum enthalten sein.
- Bei der Ausscheidung von Grundwasserschutzzone ist eine Fließzeit von 50 Tagen maßgebend. Der Berechnungszeitraum soll deshalb mehr als 50 Tage umfassen.
- Die Reaktion des Grundwasserstandes auf die Füllung der Rückhalteräume erfolgt verzögert. Der Berechnungszeitraum soll deshalb noch eine Zeitdauer von ca. 20 Tagen nach der Entleerung der Rückhalteräume beinhalten.

Berechnungszeitraum Für die Berechnungen wird der Zeitraum vom 01.01.2019 bis 15.08.2019, mit einer Länge von 227 Tagen verwendet. Füllung und Entleerung der Polder finden im Zeitraum zwischen dem 140. und dem 165. Tag statt. Das Grundwassermodell rechnet in Tagesschritten. Im Zeitraum des betrachteten Hochwassers sind die Berechnungszeitschritte auf 3 h verkürzt.

Übrige Randbedingungen Das Grundwassermodell enthält neben den Gewässerrandbedingungen auch noch andere, von den klimatischen Verhältnissen abhängige Randbedingungen wie zum Beispiel Grundwasserneubildung aus Niederschlag, Seitenzuflüsse und Karstzuflüsse. Diese Randbedingungen sollten für eine Hochwassersituation typische Werte aufweisen. Die klimatischen Verhältnisse des Berechnungszeitraums 2019 erfüllen diese Bedingung.

2.4 Kopplung mit dem hydraulischen Modell

Kopplung Das Grundwassermodell wird entlang der Gewässer und in den Überflutungsgebieten mit dem hydraulischen Modell gekoppelt. Die Überflutung wird im Grundwassermodell mit einer Cauchy-Randbedingung berücksichtigt, da die Deckschicht einen Widerstand gegen die Versickerung ausübt. Zu jedem Berechnungszeitpunkt und in jedem Modellknoten wird überprüft, ob der im hydraulischen Modell resultierende Wasserspiegel über der Topografie liegt. Ist dies der Fall, so wird im Grundwassermodell der berechnete Wasserspiegel als Randbedingung vorgegeben und der Leakagewert für den Eintritt ins Modell erhält einen Wert grösser Null. Die Methodik zur Ermittlung des Leakagewerts ist im Bericht zum Modellaufbau detailliert beschrieben.

Restwasser in Senken Am Ende der hydraulischen Berechnung verbleibt im hydraulischen Modell in Senken Restwasser. Der Restwasserstand wird im Modell innerhalb eines Tages entfernt. Es zeigt sich, dass die höchsten Grundwasserstände vor diesem Zeitpunkt auftreten. Die Zeitdauer der Entleerung ist deshalb nicht relevant.

2.5 Modellparameter

Die Modellparameter werden aus dem kalibrierten Modell übernommen. Beim Modelltest für das Jahr 2013 wurden bereits großflächige Überflutungen der Niederung nachgebildet.

Deckschicht Für die Bestimmung der Auswirkungen von Poldern ist insbesondere der Austausch von Wasser zwischen dem Polder und dem darunterliegenden Grundwasserleiter wichtig. Der Austausch erfolgt einerseits über die im Polder vorhandenen Gräben bzw. deren Sohlen, andererseits über die Fläche des Polders in Abhängigkeit der vorhandenen Deckschichten. Während bei der Kalibrierung der Austausch mit den Gräben aufgrund von durchgeführten Abflussmessungen gut quantifi-

ziert werden konnte, zeigte sich das Modell nicht sehr sensitiv auf den Austausch über die Fläche resp. die Deckschichten.

Modellansatz Für die Bestimmung der Auswirkungen von Planzuständen wird eine Deckschichtdurchlässigkeit von 1×10^{-6} m/s als Ansatz zur sicheren Seite verwendet. Der Einfluss dieses Parameters wird zudem mit Sensitivitätsstudien untersucht.

2.6 Sensitivitätsanalyse

Bei der Sensitivitätsanalyse wurden diejenigen Parameter, welche einen großen Einfluss auf die resultierenden Grundwasserstände bei Füllung der Polder ausüben, innerhalb physikalisch sinnvoller Grenzen variiert.

Deckschicht Der Leakagewert für die als Cauchy-Randbedingung an der Modelloberfläche vorgegebenen Überflutungshöhen wird aus der Durchlässigkeit und der Mächtigkeit der Deckschicht berechnet [2]. Eine Erhöhung der Durchlässigkeit oder eine Reduktion der Mächtigkeit bewirkt also eine stärkere Infiltration bei Überflutung. Da sowohl im Planungszustand als auch im Bezugszustand Überflutungen auftreten, wird die Deckschichtdurchlässigkeit in beiden Fällen variiert. Es werden Werte zwischen 1×10^{-5} m/s und 1×10^{-7} m/s untersucht.

Baggerseen Im Standort Süd befinden sich einige Baggerseen. Bei der Überflutung von Baggerseen wird ebenfalls eine Cauchy-Randbedingung angesetzt. Der Leakagewert bildet in diesem Fall die Durchlässigkeit der Sohle und der Böschungen ab. Er wird aus einer fest vorgegebenen Sohlenmächtigkeit von 0.5 m und einer Sohlendurchlässigkeit ermittelt. Mögliche Werte liegen zwischen 1×10^{-3} m/s (Sohle etwa gleich durchlässig wie der Grundwasserleiter) und 1×10^{-6} m/s (kolmatisierte Sohle).

Drainagegräben Zur Kontrolle des Grundwasserstandes in bebauten Gebieten wird das Anlegen eines Drainagegrabens vorgeschlagen. Drainagen werden im Modell durch eine Cauchy-Randbedingung vorgegeben. Der Leakagewert einer Drainage kann je nach Bauausführung unterschiedlich sein. Für die Fallstudien wurde ein Leakagewert in der Größenordnung des kalibrierten Leakagewertes der Binnenentwässerung der Stauhaltung Bertoldsheim verwendet. Zur Quantifizierung der Unsicherheit wurde der Wert jeweils um einen Faktor 5 verkleinert und vergrößert.

Fülldauer Die Überflutungszeit des Polders Nord oder des Polders Süd beträgt gemäss den Resultaten des hydraulischen Modells etwa 3 Tage. Mit einer Sensitivitätsberechnung wird untersucht, welchen Einfluss eine Verlängerung des maximalen Füllstandes um zwei Tage ausübt.

Inhomogenität des Grundwasserleiters Erfahrungsgemäss besitzt der Kies in Abhängigkeit des Ortes sehr unterschiedliche Durchlässigkeiten. Zur Untersuchung des Einflusses einer solchen Heterogenität wurde eine Monte-Carlo-Simulation

durchgeführt. Dabei wurden je 500 Berechnungen mit einer im 200 x 200 m Raster log-normalverteilten Durchlässigkeitsverteilung durchgeführt. Mit einer Durchlässigkeitsverteilung wurden jeweils die Prognose mit Flutung des Polders und der Bezugszustand ohne Polder berechnet. Danach wurden die maximal während des Hochwasserdurchgangs erreichten Grundwasserstände miteinander verglichen und statistisch ausgewertet. Die benötigte Rechenzeit betrug drei Tage.

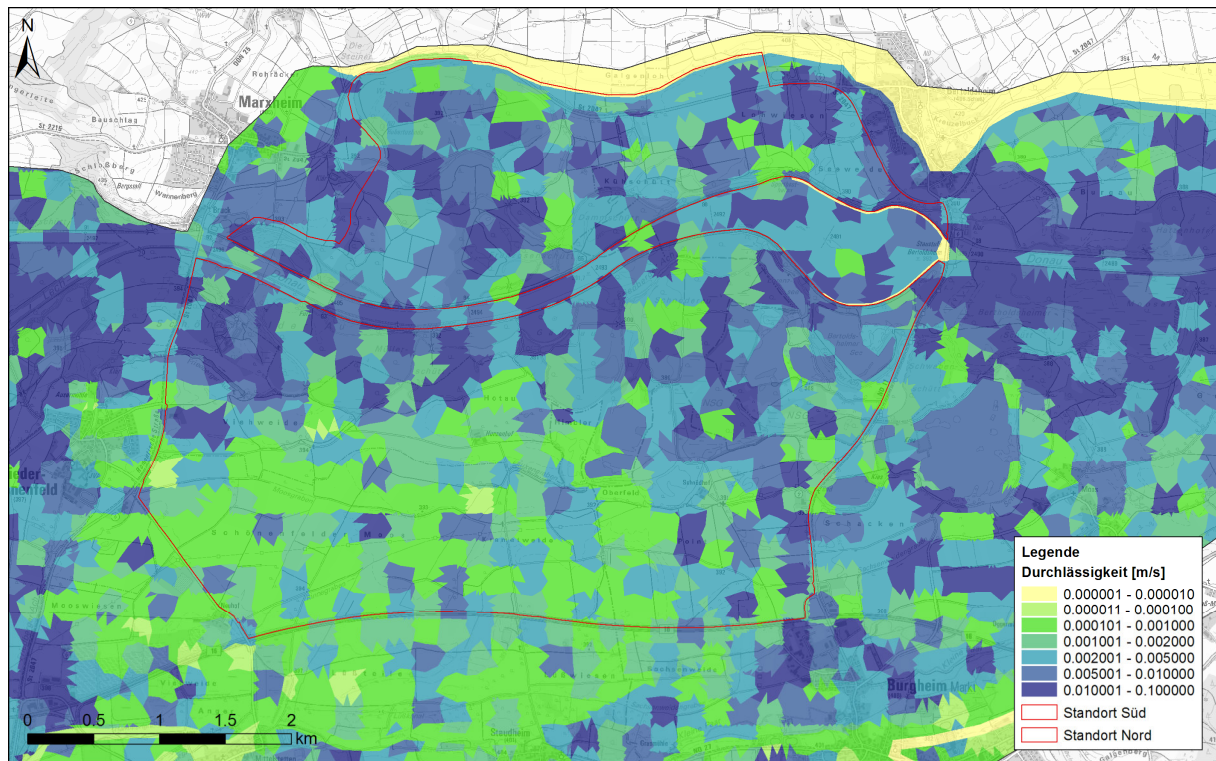


Abbildung 4: Realisationen einer log-normalverteilten Durchlässigkeit.

Parameter	Basiswert	Variationsfaktor Planungszustand		Variationsfaktor Bezugszustand	
		Min.	Max.	Min.	Max.
Deckschichtdurchlässigkeit	1×10^{-6} m/s	0.1	10	0.1	10
Durchlässigkeit Sohle Baggerseen	1×10^{-5} m/s	0.1	100	0.1	100
Leakagewert geplanter Drainagen	100	20	500	-	-
Dauer der Polderfüllung	ca. 3 Tage	ca. 5 Tage		-	
Heterogenität des Kieses	Innerhalb Zonen homogen	log-Normal $\sigma = 0.5$		log-Normal $\sigma = 0.5$	

Tabelle 1: Variationsfaktoren der Sensitivitätsanalyse

3 Bezugszustände

3.1 Situation bei mittlerem Grundwasserstand

Donau

Im Bereich der beiden untersuchten Polderstandorte war die Donau vor dem Bau der Staustufe Bertoldsheim der Vorfluter für das Grundwasser. Durch den Bau der Staustufe wurde im Stauraum der Wasserstand erhöht und die Donau wurde zum Infiltrant. Beidseitig des Stauraums wurden deshalb bestehende Nebengewässer zu Drainagegräben ausgebaut, welche heute die Vorfluterfunktion übernehmen. Zusätzlich wurde der Stauhaltungsdamm bei der Staustufe mit Dichtwänden versehen, welche in das Tertiär eingebunden sind.

Fließrichtungen

Abbildung 5 zeigt die Höhengleichen des Grundwasserspiegels und die Darcy-Fließgeschwindigkeiten bei Mittelwasserstand. Das Grundwasser strömt von beiden Talrändern in Richtung Donau. Der Standort Süd wird von Südwesten nach Nordosten durchströmt, der Standort Nord von Nordwesten nach Südosten. Der Talboden ist von Drainagegräben durchzogen, welche das Grundwasser drainieren. Im westlichen Teil der Stauhaltung strömt Wasser aus der Donau zu den Drainagegräben. Im östlichen Teil der Stauhaltung wird das Grundwasser durch die Dichtung des Stauhaltungsdamms nach Osten abgelenkt und gelangt unterhalb der Staustufe in die Donau.

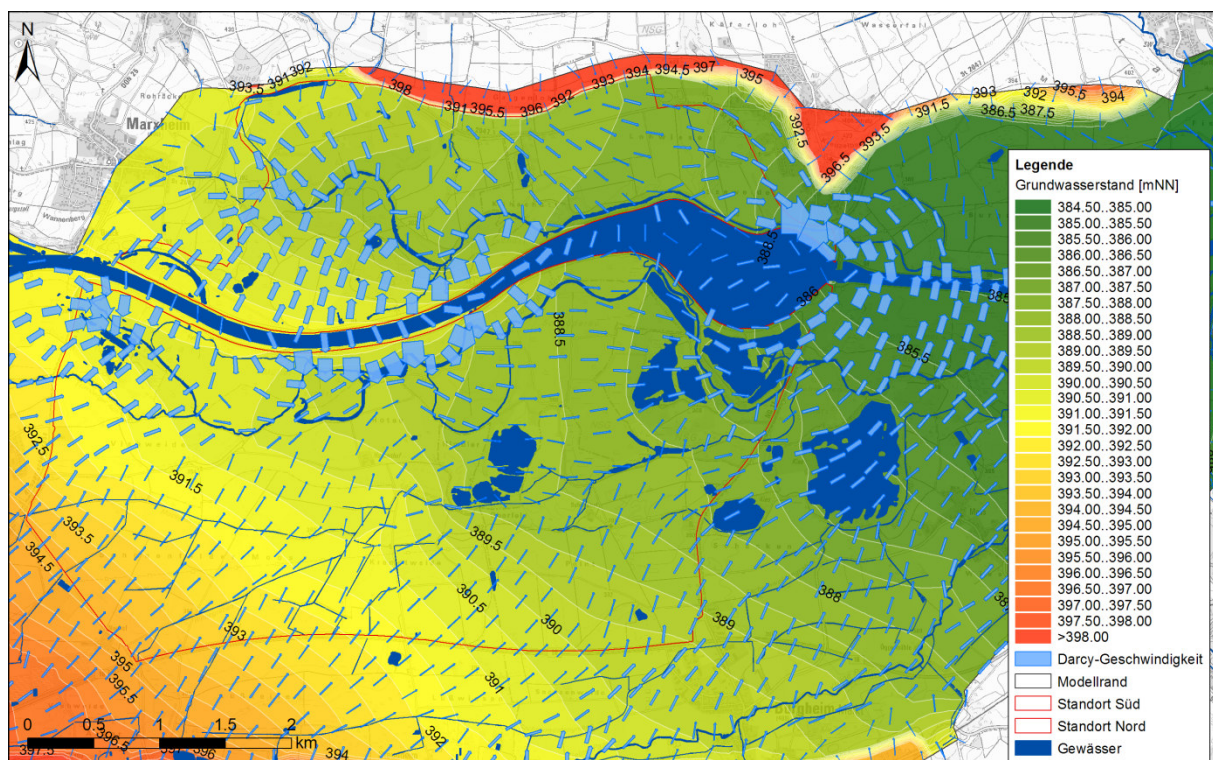


Abbildung 5: Höhengleichen des mittleren Grundwasserstands im Bezugszustand (01.05.2019) mit Darcy-Geschwindigkeiten.

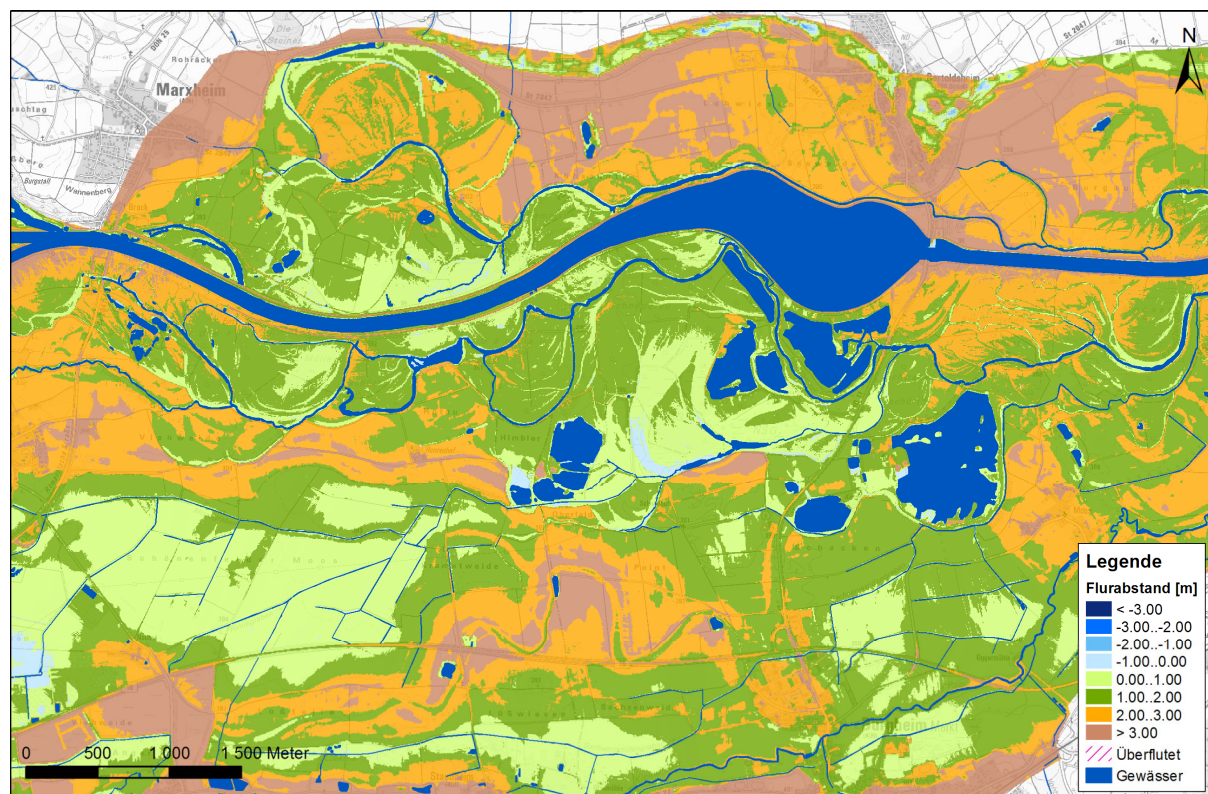


Abbildung 6: Flurabstand bei mittlerem Grundwasserstand am 01.05.2019

Flurabstand

Der Flurabstand beträgt in der Talebene bei mittlerem Grundwasserstand zwischen 0 und 2 m (Abbildung 6). Im östlichen Teil des Standorts Nord und entlang von alten Gewässerstrukturen im Standort Süd ist der Flurabstand grösser als 2 m. In den Bereichen mit kleinem Flurabstand befinden sich häufig Drainagegräben.

Drainagemengen

Die beiden Drainagegräben südlich und nördlich der Stauhaltung Bertoldsheim (Abbildung 7) drainieren bei mittlerem Grundwasserstand etwa $2 \text{ m}^3/\text{s}$ Grundwasser. Ein grosser Teil dieses Wassers stammt aus der Stauhaltung.

Zeitabhängigkeit des Grundwasserstands

Die jährlichen Schwankungen des Grundwasserstandes sind einerseits auf die Grundwasserneubildung aus Niederschlag, andererseits auf die Pegelschwankungen der Gewässer zurückzuführen. Aufgrund der hohen Evapotranspiration findet im Sommer kaum Grundwasserneubildung aus Niederschlag statt. Dies führt in den eher donaufernen Gebieten (Messstellen Bert2 und Bert9) zu einem Jahresgang mit hohen Grundwasserständen im Winter und Tiefständen im Herbst. In den Messstellen Bert6 und Bert7 sind die Grundwasserstände stärker durch die Donau und den Lech beeinflusst. Dies ist an den kurzen Spitzen während der Hochwasserereignisse erkennbar. Im Bereich der Stauhaltung (Messstelle BTHsued1106) folgt der Grundwasserspiegel dem Wasserspiegel in der Stauhaltung.

Insgesamt sind die Schwankungen des Grundwasserstandes mit maximal etwa 1.5 m eher gering. Dies ist auf die ausgleichende Wirkung der in der Niederung vorhandenen Drainagen zurückzuführen.

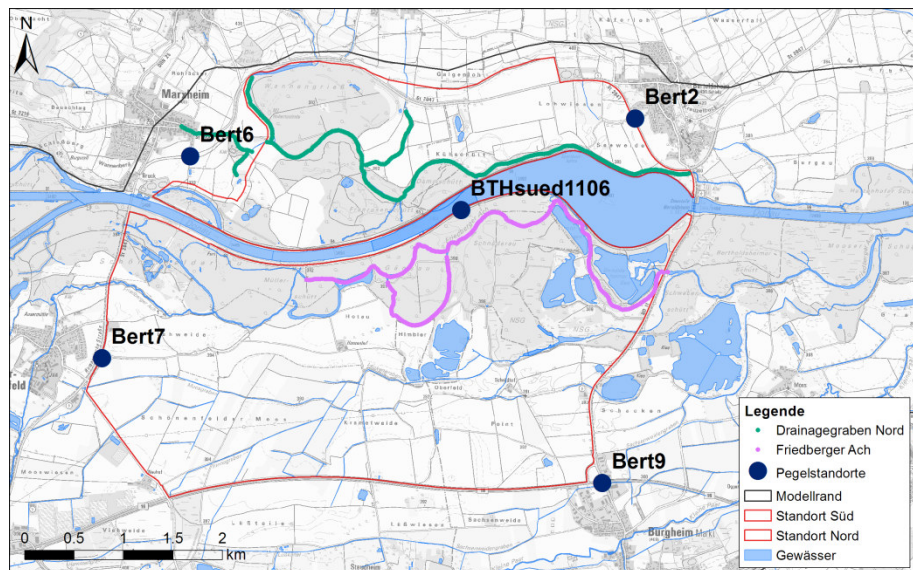


Abbildung 7: Lage der Drainagegräben und der Messstellen mit dargestellten Ganglinien.

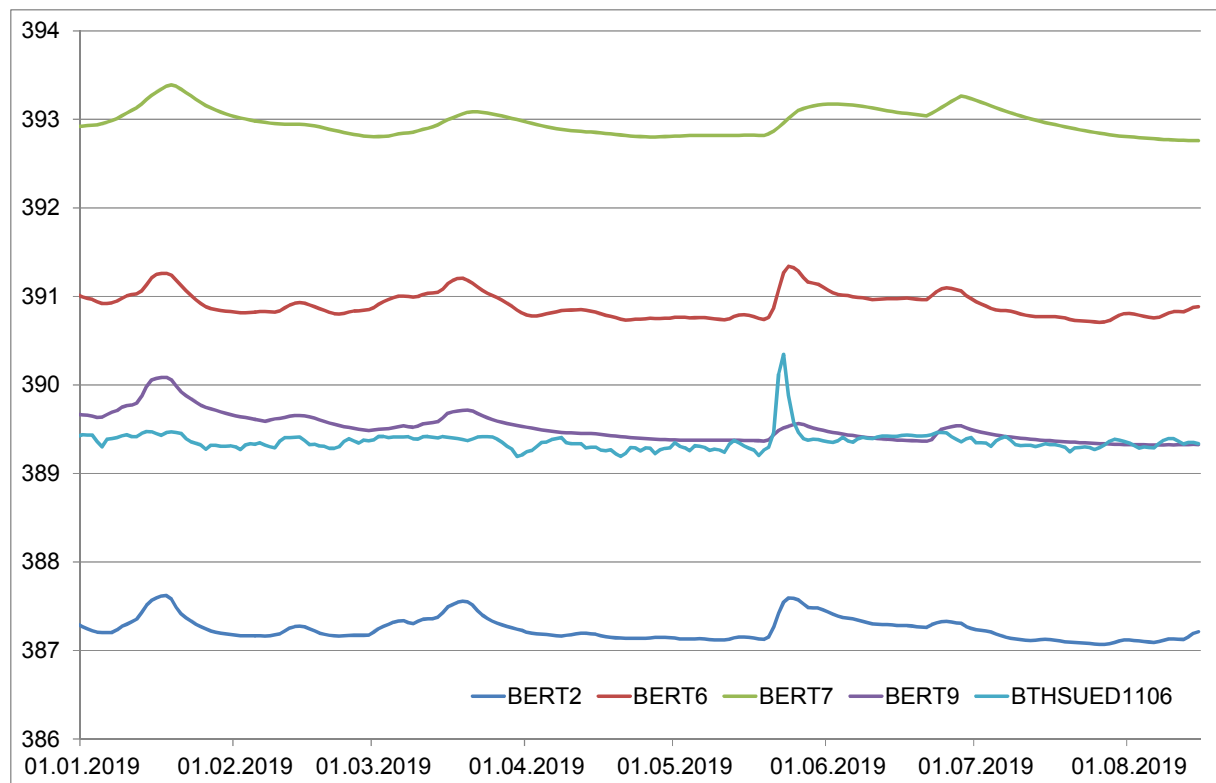


Abbildung 8: Zeitabhängigkeit des Grundwasserstandes am Rand der Standorte Nord und Süd

3.2 Donaubetontes Hochwasser

Fließrichtungen

Abbildung 9 zeigt die Höhengleichen des Grundwasserstands kurz nach der Spitze des donaubetonten Hochwassers. Bei hohem Wasserstand in der Donau infiltriert auf der gesamten Strecke der Donau Wasser ins Grundwasser. Die Nebengewässer südlich der Donau sind überflutet und weisen deshalb keine Drainagewirkung mehr auf. Die Baggerseen südlich der Donau wirken im Modell kurzzeitig als Senken.

Bei der Darstellung scheint es so, als ob die Nebengewässer südlich der Donau als Drainagen wirken. In Wirklichkeit strömt das Grundwasser zu den dort vorhandenen Grundwassersenkungen und füllt diese auf.

Flurabstand

Abbildung 10 zeigt den minimalen Flurabstand während des Hochwasserdurchgangs. In den schraffiert dargestellten überfluteten Gebieten beträgt der Flurabstand weniger als einen Meter, grossflächig liegt der Grundwasserstand sogar über Terrain. Ausserhalb der überfluteten Gebiete, insbesondere direkt nördlich der Stauhaltung und im Landwirtschaftsgebiet nordöstlich Rain am Lech, liegt der Grundwasserstand an einigen Stellen über dem Terrain. Dort ist, abhängig vom Vorhandensein einer dichten Deckschicht, ein Austreten von Qualmwasser möglich.

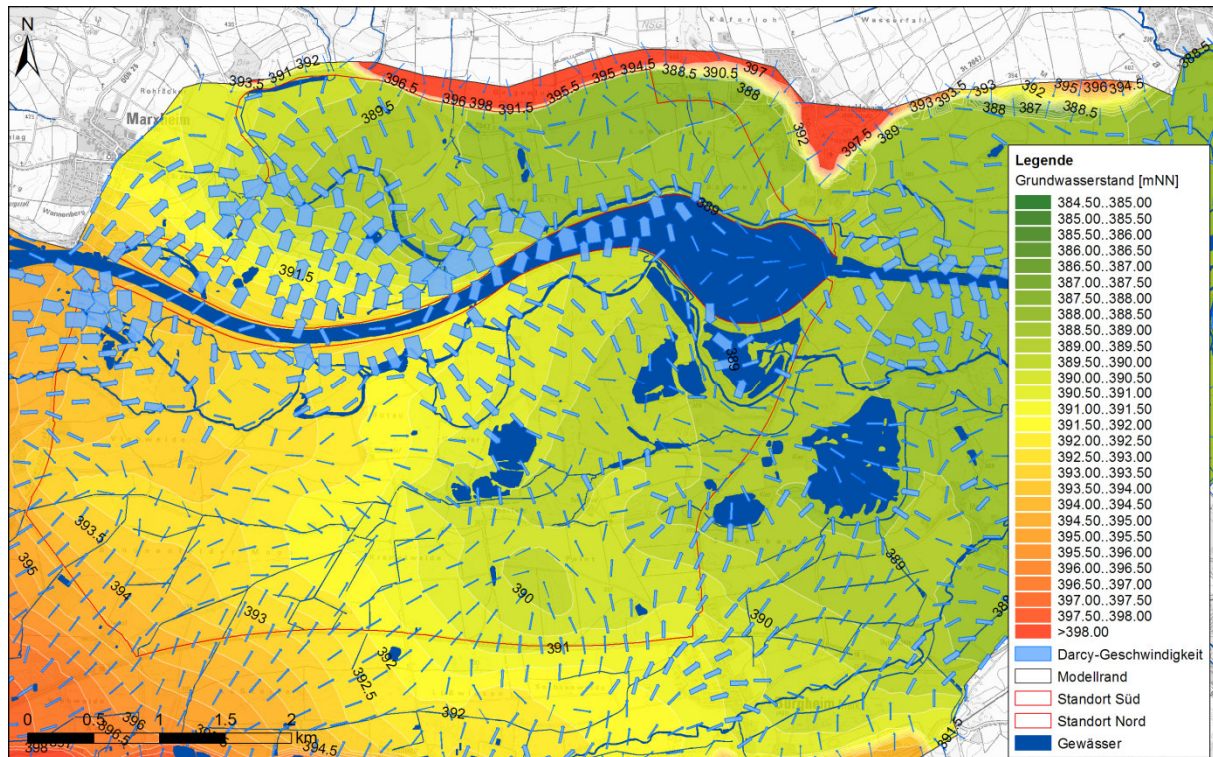


Abbildung 9: Höhengleichen bei hohem Grundwasserstand im Bezugszustand (nach der Hochwasserspitze des donaubetonten HQ200) mit Darcy-Geschwindigkeiten.

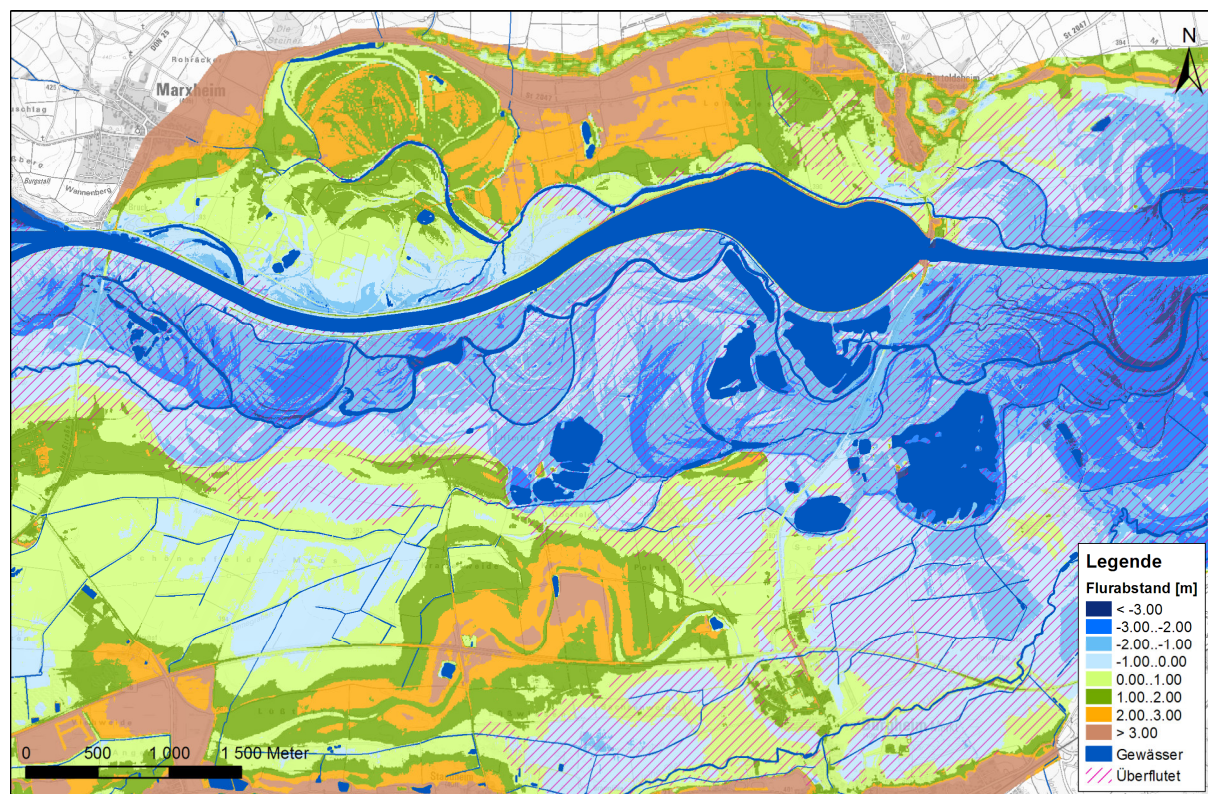


Abbildung 10: Minimaler Flurabstand während des Durchgangs des donaubetonten HQ200.

Drainagemengen

Die beiden Drainagegräben südlich und nördlich der Stauhaltung Bertoldsheim werden während des Hochwasserdurchgangs zu Infiltranten, da ein Rückstau aus der Donau erfolgt. Nach dem Absinken des Donauwasserstandes drainieren die beiden Gräben wegen des hohen Grundwasserstandes eine grössere Menge Grundwasser als bei Mittelwasserstand. Die Drainagemenge beträgt dann etwa $4 \text{ m}^3/\text{s}$.

3.3 Lechbetontes Hochwasser

Fließrichtungen

Die Situation ist beim lechbetonten Hochwasser praktisch gleich wie beim donaubetonten. Da die Abbildung 11 einen im Vergleich zur Hochwasserspitze etwas späteren Zustand zeigt als Abbildung 9, ist die Exfiltration aus der Donau unterhalb der Staustufe bereits deutlich zurückgegangen und die beiden Drainagegräben südlich und nördlich der Donau wirken wieder drainierend.

Flurabstand

Der minimale Flurabstand und überflutete Flächen unterscheiden sich beim lechbetonten Hochwasser nicht vom donaubetonten.

Drainagemengen

Bezüglich der Drainagemengen in den bestehenden Gerinnen unterscheiden sich donau- und lechbetontes Hochwasser kaum.

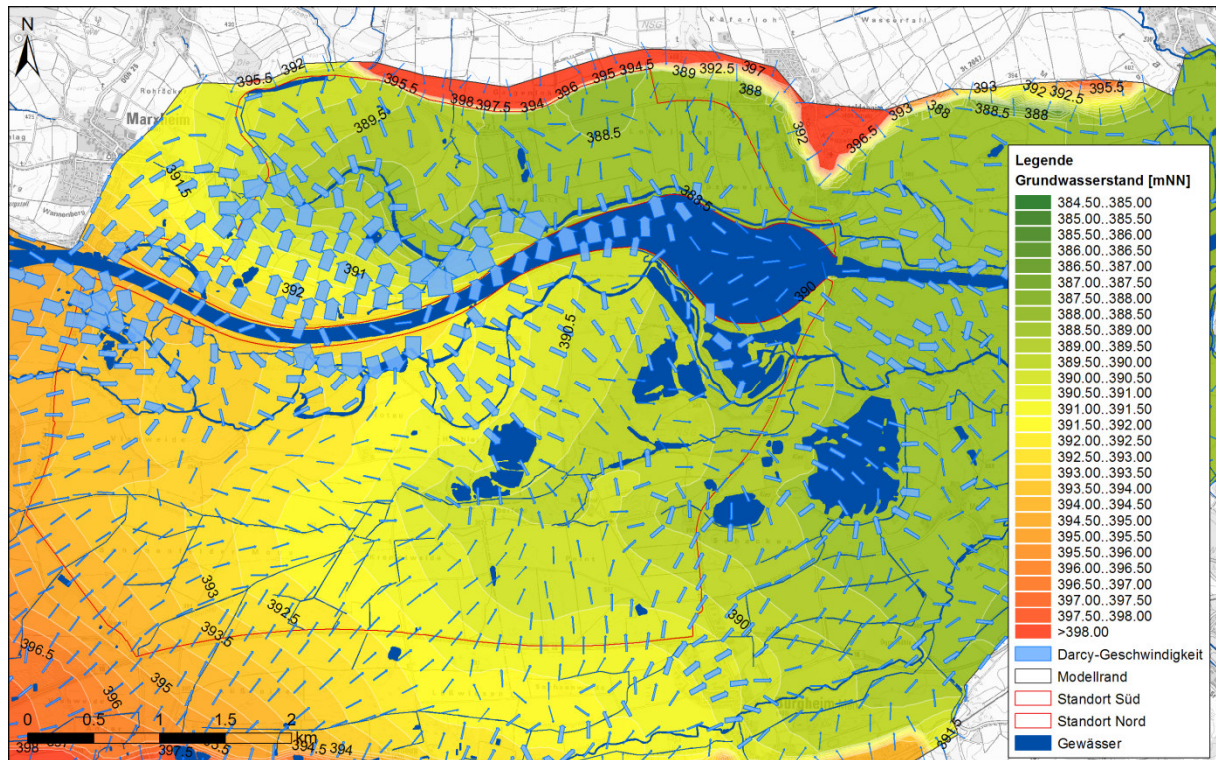


Abbildung 11: Höhengleichen bei hohem Grundwasserstand im Bezugszustand (nach der Hochwasserspitze des lechbetonten HQ200) mit Darcy-Geschwindigkeiten

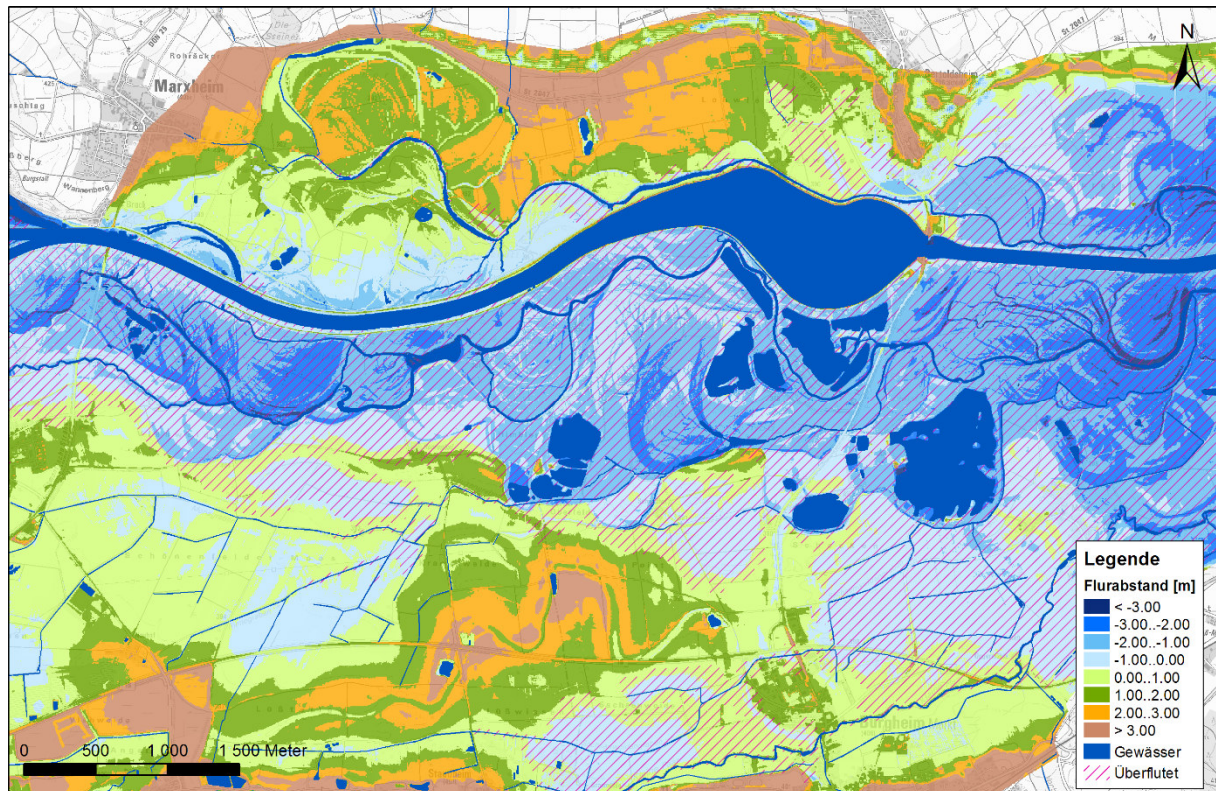


Abbildung 12 Minimaler Flurabstand während des Durchgangs des lechbetonten HQ200.

4 Auswirkungen der Planungszustände

4.1 Vorgehen

4.1.1 Zielsetzungen

Anlass	Die geplanten Deiche der untersuchten Polderstandorte verlaufen teilweise in der Nähe von besiedelten Gebieten. Ohne Gegenmassnahmen kann eine Flutung zu einem Grundwasseranstieg in diesen Gebieten führen. Um allfällig benötigte Massnahmen dimensionieren zu können, müssen deren Zielsetzungen klar definiert werden.
Ziele	<p>Da die Flutung der Polder ein sehr seltenes Ereignis darstellt, sollen primär die Anwohner geschützt werden. In der landwirtschaftlich genutzten Fläche kann ein kurzzeitiger Grundwasseranstieg toleriert werden. Es werden deshalb folgende Ziele vorgegeben:</p> <ul style="list-style-type: none">- Im bewohnten Gebiet soll der maximale GW-Anstieg gegenüber dem Bezugszustand < 10 cm sein. Die Grenze von 10 cm ergibt sich aus der Aussagegenauigkeit der Modelle.- Für das landwirtschaftlich genutzte Gebiet gibt es keine Vorgaben

4.1.2 Massgebende Lastfälle

Hochwasserwellen	Im hydraulischen Modell wurden zwei Hochwasserwellen betrachtet: Beim donaubetonten Hochwasser stammt der grössere Teil des Abflusses aus der Donau, während beim lechbetonten Hochwasser der Abfluss des Lech überwiegt. Die Wellen wurden so gestaltet, dass nach dem Zusammenfluss der beiden Gewässer ein Hochwasser mit einer Jährlichkeit von 200 Jahren entsteht.
Füllkurven	Abbildung 13 zeigt die im hydraulischen Modell berechnete Kurve der Polderfüllung und –entleerung für beide Hochwasserwellen und beide Polderstandorte. Für die Darstellung wurde jeweils ein Punkt im Osten der Polder gewählt. Die beiden Hochwasserwellen weisen geringfügige Unterschiede in der Fülldauer auf, die Füllhöhe ist identisch.
Hochwasserstand	Aufgrund der verzögerten Reaktion des Grundwasserstandes auf die Füllung der Polder ist zu erwarten, dass der Einfluss der Polderfüllung auf den maximal erreichten Grundwasserstand bei einer längeren Fülldauer grösser ist. Der Lastfall „lechbetonte Hochwasserwelle“ ist deshalb für das Grundwasser massgebend. Alle Fallstudien wurden jedoch für beide Hochwasserwellen gerechnet. Die Sensitivitätsstudien beschränken sich auf das lechbetonte Hochwasser.
Mittelwasserstand	Die Füllung der Polder stellt ein seltenes Ereignis dar. Es ist deshalb auch wichtig zu zeigen, dass allenfalls getroffene Massnahmen das Grundwasser in der übrigen Zeit nicht beeinflussen. Für diesen Nachweis wurde der Mittelwasserstand am 1. Mai 2019 verwendet.

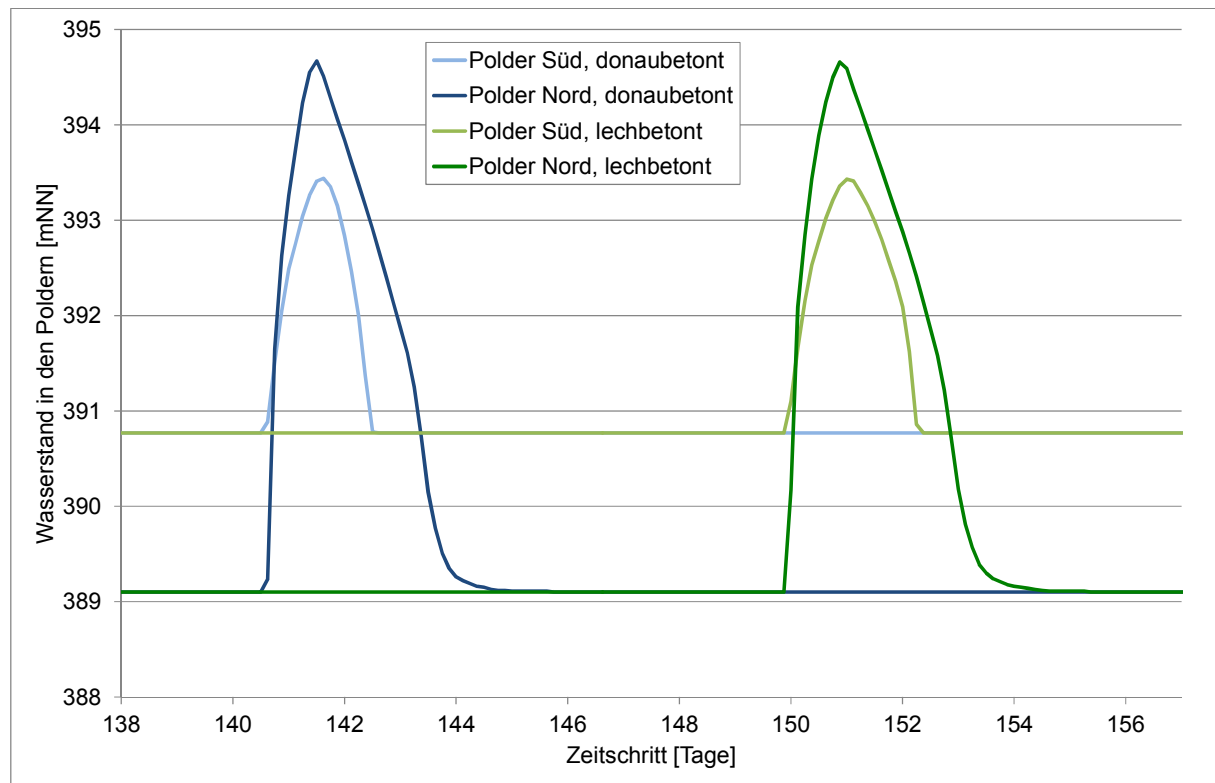


Abbildung 13: Füllkurven der Polder Nord und Süd bei einem donaubetonten und einem lechbetonten HQ200.

4.1.3 Optimierung der Massnahmen

Massnahmenkatalog Für die Optimierung der Massnahmen wurde ein Katalog von möglichen Massnahmen eingesetzt (Abbildung 14):

- Drainagegräben oder Drainagerohre
- Pumpen zur Wasserhaltung
- Dichtwände

Priorität Drainagegräben oder Drainagerohre sind die kostengünstigste Massnahme zur Kontrolle des Grundwasserstandes. Sie wurden deshalb in erster Priorität eingesetzt. Pumpen eignen sich insbesondere zur Absenkung des Grundwasserstandes bei Einzelobjekten. Ihr Vorteil ist, dass sie ausserhalb der Betriebszeit keinen Einfluss auf den Grundwasserstand ausüben. Dichtwände sind in der Erstellung teuer und sie können nur in Kombination mit einer Drainage oder mit Pumpen zur Kontrolle des Grundwasserstandes eingesetzt werden. Da sie zudem die Grundwasserverhältnisse auch im Zustand ohne Polderfüllung beeinflussen, wurden sie nur in dritter Priorität als Massnahme untersucht.

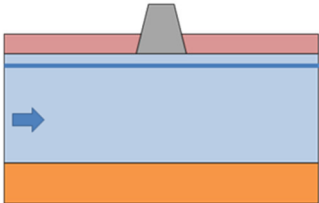
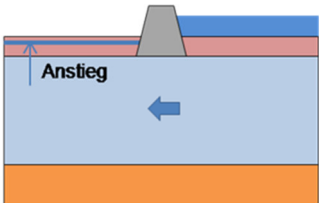
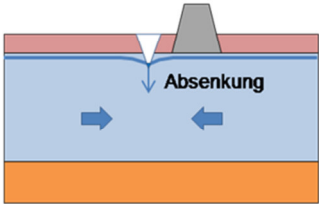
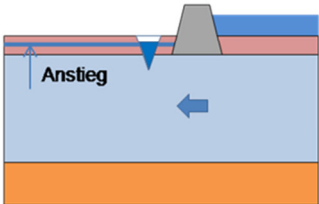
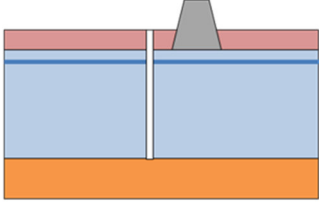
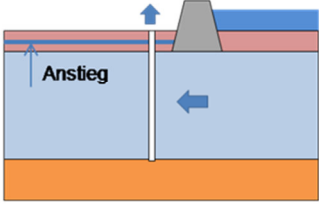
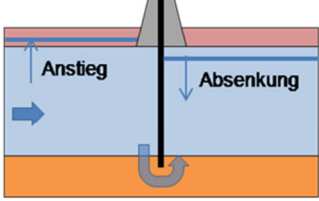
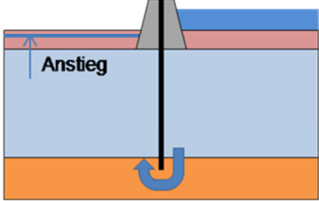
	Normalzustand	Mit Polderfüllung
Ohne Massnahme		
Drainagegräben oder Drainagerohr		
Sicherungsbrunnen		
Dichtwand		

Abbildung 14: Massnahmenkatalog

Vorgehen	Zur Bestimmung der notwendigen Massnahmen wurde folgendes Vorgehen gewählt:
Schritt 1	Als Erstes wurden die Auswirkungen einer Polderfüllung ohne Massnahmen gegen den Grundwasseranstieg bestimmt.
Schritt 2	Entlang von Deichabschnitten, wo die Zielsetzungen für den maximalen Grundwasseranstieg gemäss Kapitel 4.1.1 nicht erfüllt werden, wurden Drainagen in das Grundwassermodell eingebaut. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Höhenlage dieser Drainagen auf die Höhenlage bestehender Gewässer abgestimmt ist, d.h. eine Entwässerung über bestehende Gewässer möglich ist.
Schritt 3	Gab es danach immer noch Bereiche mit zu hohem Grundwasserstand, wurden weitere Massnahmen in Form von Dichtwänden oder Sicherungsbrunnen mit dem Grundwassermodell untersucht. Bei Dichtwänden muss jeweils auch der Zustand ohne Flutung der Polder betrachtet werden, da sie eine Stauwirkung ausüben können. Im Rahmen des Raumordnungsverfahrens wird dabei noch nicht fest-

gelegt, welche der weitergehenden Massnahmen optimaler ist. Es wird lediglich untersucht, ob die jeweilige Variante machbar ist.

4.1.4 Darstellung der Auswirkungen

Visualisierung

Die Auswirkungen der Polder werden mit folgenden Darstellungen visualisiert:

- Differenz der maximal erreichten Grundwasserpotentiale bei Polderfüllung zu den maximal erreichten Grundwasserpotentiale im Bezugszustand. Für jeden Standort werden der Fall ohne Massnahmen und zwei mögliche Varianten mit den Gegenmassnahmen zur Verhinderung unzulässiger Grundwasseranstiege dargestellt. Auf eine Darstellung von Zwischenschritten wird verzichtet.
- Bei Varianten mit Dichtwand wird zusätzlich die Differenz der Grundwasserpotentiale mit Massnahmen zu den Grundwasserständen ohne Massnahmen bei mittleren Verhältnissen dargestellt.
- Karte des Flurabstandes des Grundwasserpotentials. Das Grundwasserpotential kann dabei über der Geländehöhe liegen. In diesem Fall kann Qualmwasser austreten. Die Qualmwassermenge ist abhängig vom Vorhandensein und der Dichtigkeit einer Deckschicht.
- Ganglinie der in der Drainage und den Sicherungsbrunnen anfallenden Grundwassermenge.

4.2 Standort Nord

4.2.1 Sensible Objekte

Ortslagen

In der Nähe des Standorts Nord befinden sich die Ortslagen Marxheim und Bertoldsheim. Die Ortskerne sind bei beiden Orten etwas höher gelegen und befinden sich daher ausserhalb des Kiesgrundwasserleiters. Einige Gebäude wurden jedoch in der Niederung erstellt, weshalb eine Beeinflussung durch den Polder möglich ist. Bei Bertoldsheim ist bereits ohne Polderfüllung bei einem 200 jährlichem Hochwasser mit Überflutungen der tiefliegenden Ortsteile zu rechnen.

Einzelobjekte

Direkt am Rand des Standortes liegen die Kläranlage Marxheim und die Biogasanlage von Bertoldsheim. Diese Objekte liegen im Bereich des Kiesgrundwasserleiters und sind deshalb bei einem Polderinsatz durch den ansteigenden Grundwasserstand gefährdet.

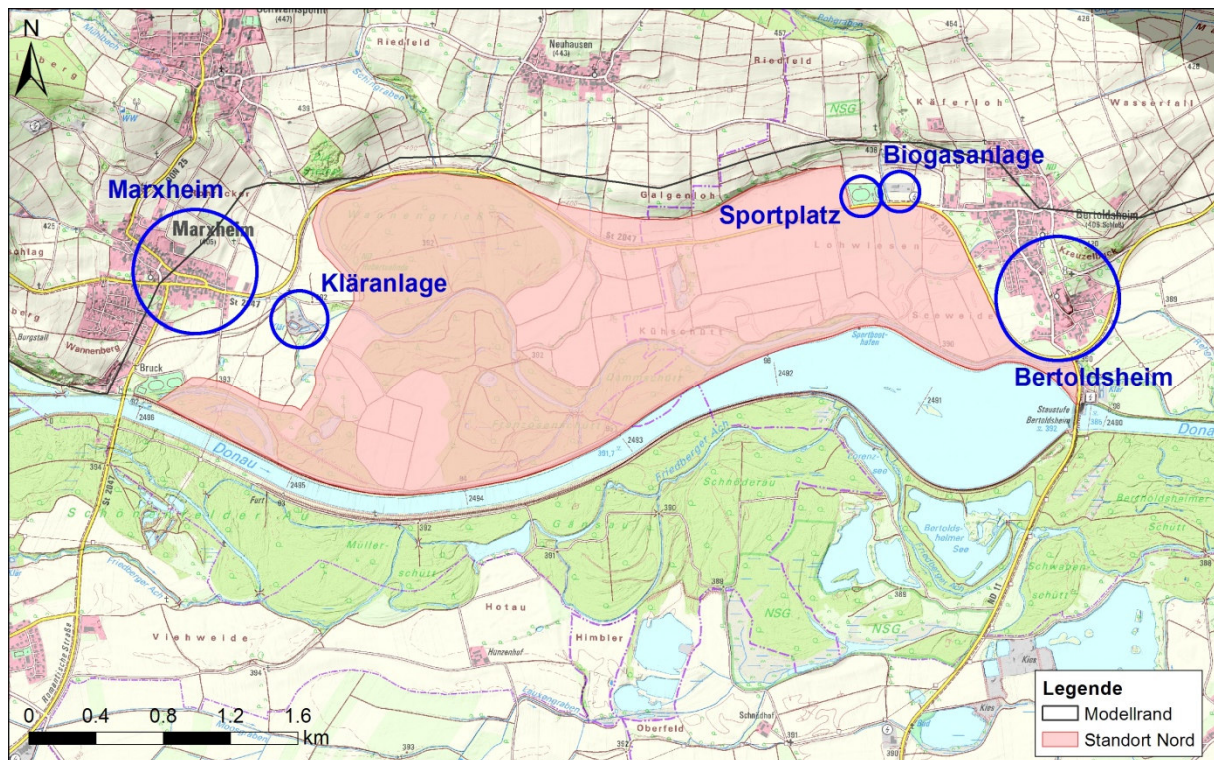


Abbildung 15: Umriss des Standorts Nord mit sensiblen Objekten

4.2.2 Auswirkungen ohne Massnahmen

- Grundwasseranstieg** Um die Notwendigkeit von Massnahmen beurteilen zu können, wurde als erstes der Planzustand mit Füllung des Polders Nord ohne Massnahmen berechnet. Abbildung 16 und Abbildung 17 zeigen die Differenz der maximalen Grundwasserzustände zwischen dem Planzustand mit Polder und dem Bezugzustand ohne Polder für das donau- und das lechbetonte Hochwasser.
- Flurabstand** Abbildung 18 und Abbildung 19 zeigen die minimalen Flurabstände während des Hochwasserdurchgangs, zusammen mit den bei Polderfüllung überfluteten Flächen.
- Beurteilung** Falls keine Massnahmen getroffen werden, ist westlich und östlich des Polders Nord mit einem Grundwasseranstieg um mehrere Meter zu rechnen. Im Osten übersteigt der Grundwasserstand im bewohnten Gebiet sogar die Terrainoberfläche. Es müssen deshalb Massnahmen zur Kontrolle des Grundwasserstandes angeordnet werden.
- Die Berechnung zeigt, dass die lechbetonte Hochwasserwelle einen etwas höheren Grundwasseranstieg bewirkt. Im Folgenden werden deshalb nur noch die Resultate dieser Hochwasserwelle dargestellt.
- Südlich der Donau ergibt sich gegenüber dem Zustand ohne Füllung des Polder Nords eine kleine Absenkung des Grundwasserstandes,

da durch den Polder Nord die Hochwasserspitze gekappt wird und deshalb die Überflutungstiefe etwas geringer ist.

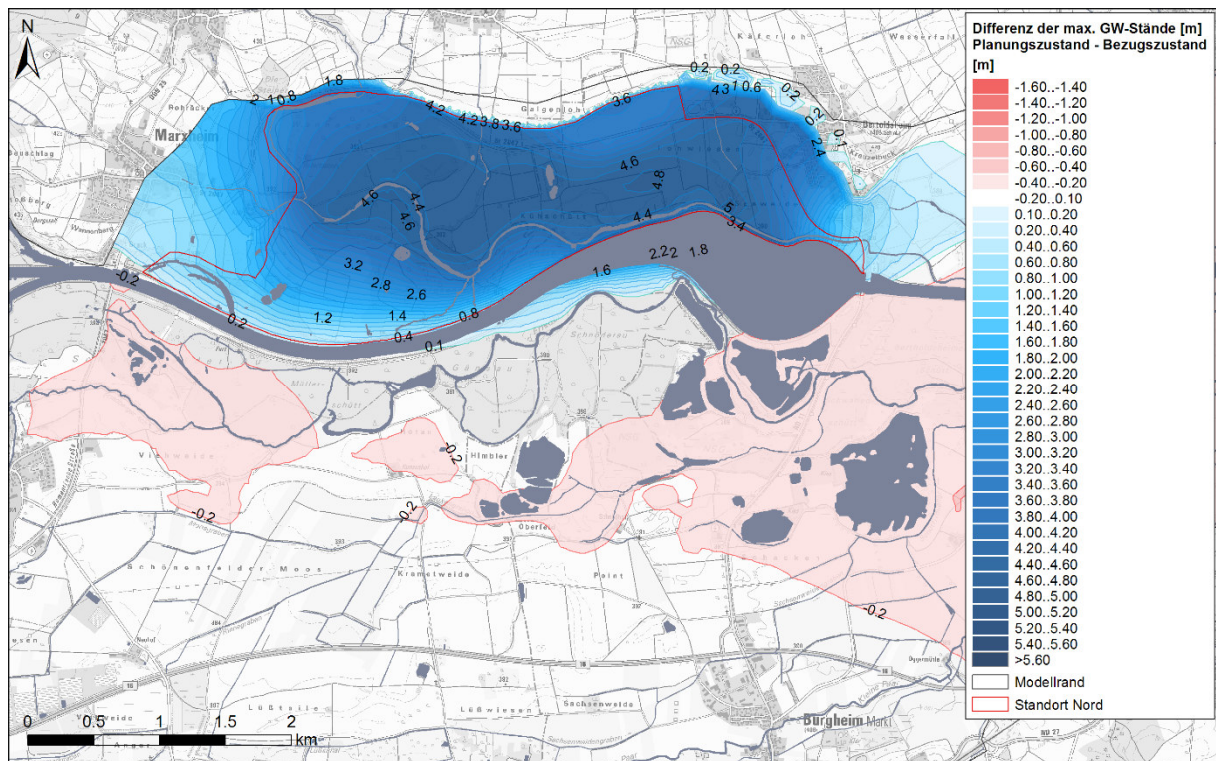


Abbildung 16: Differenz der maximalen Grundwasserstände beim donaconbeten HQ200 bei einer Polderfüllung ohne Massnahmen zum Bezugszustand ohne Polder.

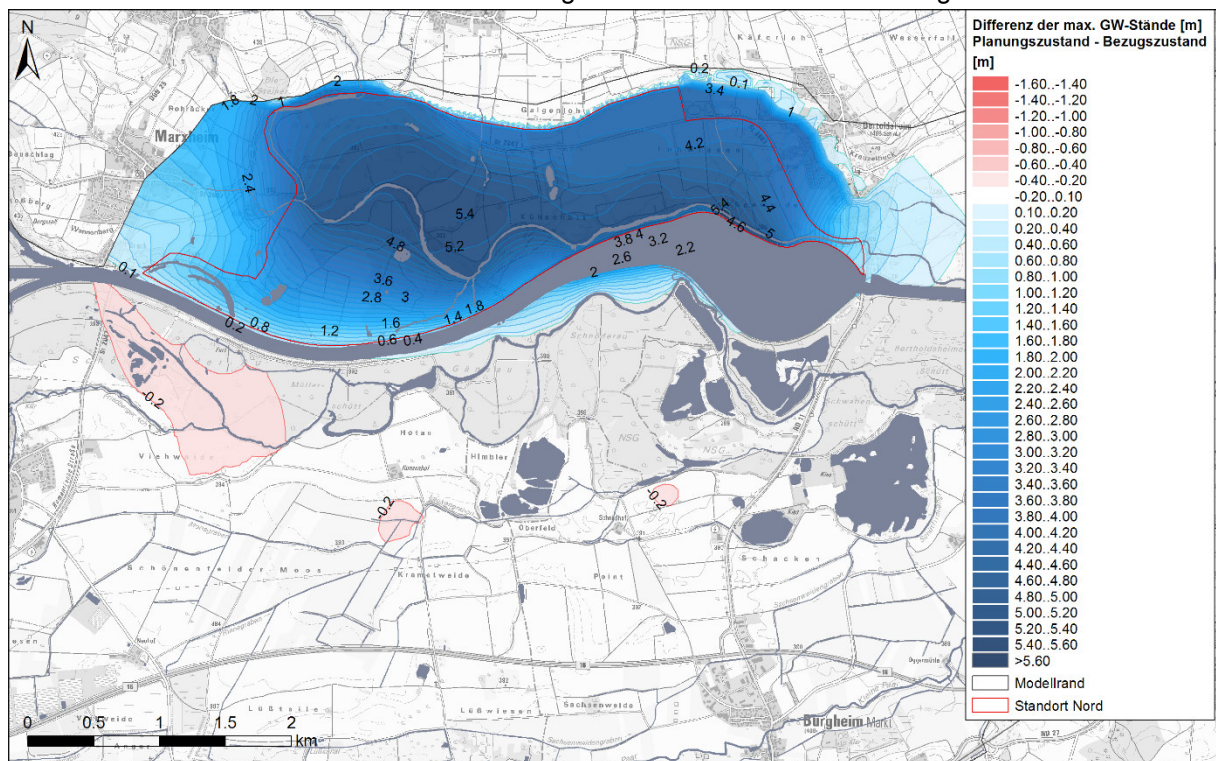


Abbildung 17: Differenz der maximalen Grundwasserstände beim lechbeten HQ200 bei einer Polderfüllung ohne Massnahmen zum Bezugszustand ohne Polder.

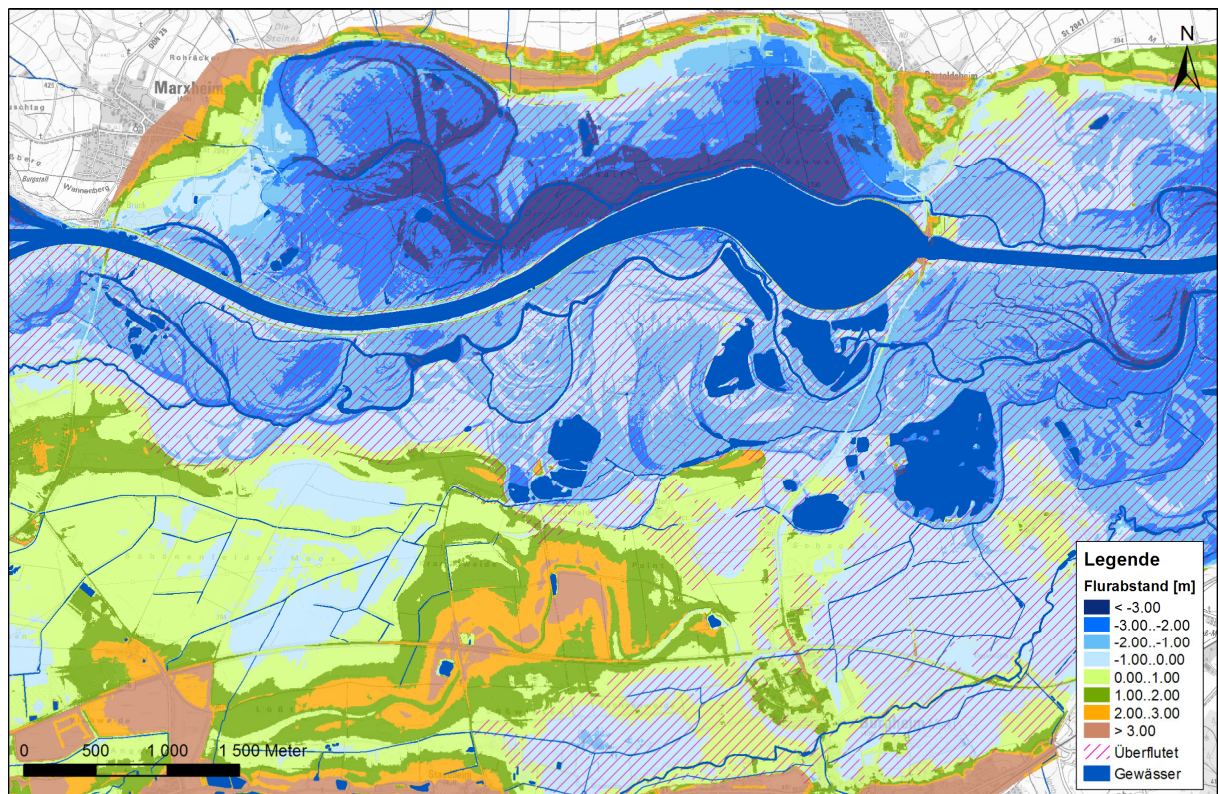


Abbildung 18: Minimaler Flurabstand beim donaubetonen HQ200 bei einer Polderfüllung ohne Massnahmen.

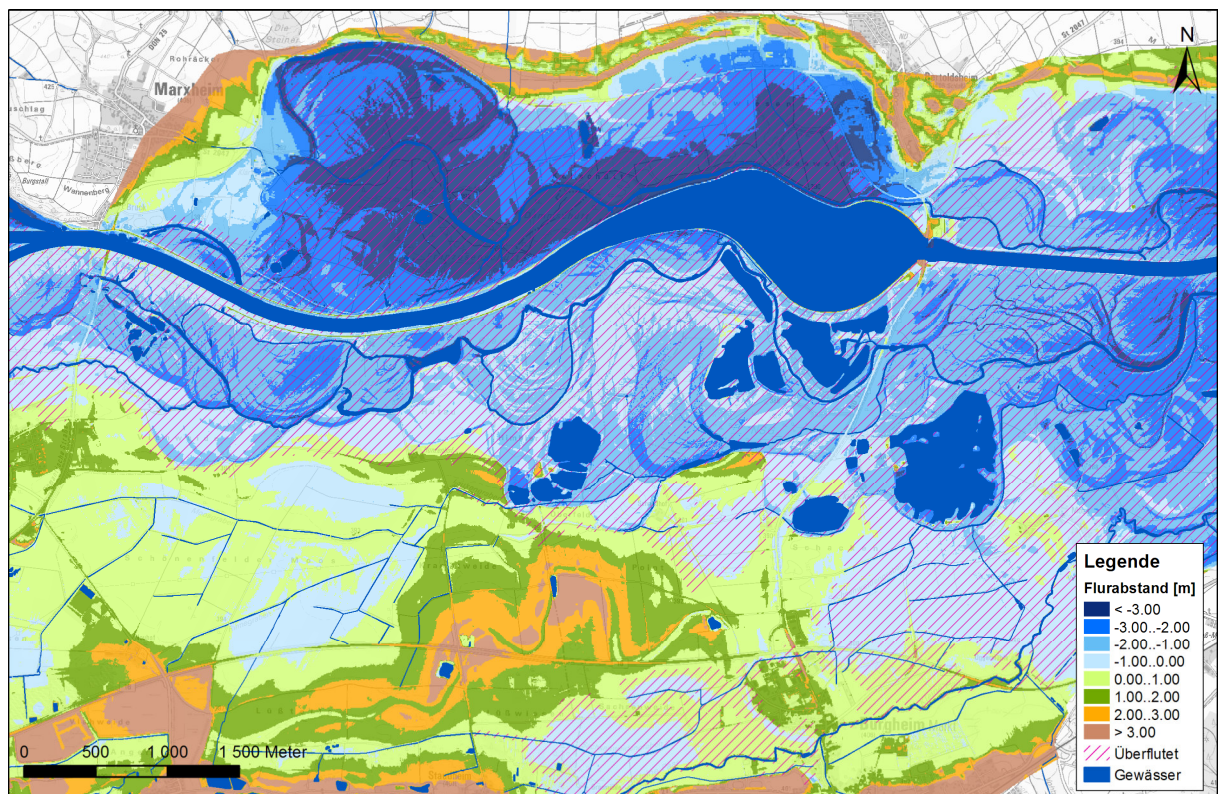


Abbildung 19: Minimaler Flurabstand beim lechbeton HQ200 bei einer Polderfüllung ohne Massnahmen.

4.2.3 Massnahmen und resultierende Auswirkungen

Untersuchte
Massnahmen

Für den Standort Nord wurden folgende Massnahmen untersucht:

- Drainagegräben entlang der West- und Ostgrenze des Polders
- Brunnen bei der Kläranlage Marxheim und beim Sportplatz Bertoldsheim
- Dichtwände entlang der West- und Ostgrenze des Polders
- Kurze Dichtwände bei der Kläranlage Marxheim und beim Sportplatz Bertoldsheim

Optimierung

Aus der Auswirkungsbetrachtung ergab sich, dass Dichtwände allein zur Kontrolle des Grundwasserspiegels bei Polderfüllung nicht ausreichen. Zusätzlich führen sie im Normalzustand zu einem Grundwasseranstieg im Anstrom.

Die Drainagegräben wurden in ihrer Länge und Höhenlage optimiert. Aufgrund der vorgegebenen Einleithöhe in die bestehenden Gewässer und einem minimal einzuhaltenden Gefälle können mit den Drainagegräben allein die Kläranlage Marxheim und die Biogasanlage Bertoldsheim nicht komplett geschützt werden.

Die Drainagegräben wurden deshalb einerseits mit Brunnen, andererseits mit kurzen Dichtwänden kombiniert. Mit beiden Massnahmenvarianten können die im Kapitel 4.1.1 formulierten Ziele eingehalten werden. Abbildung 20 zeigt die optimierte Lage der Massnahmen.

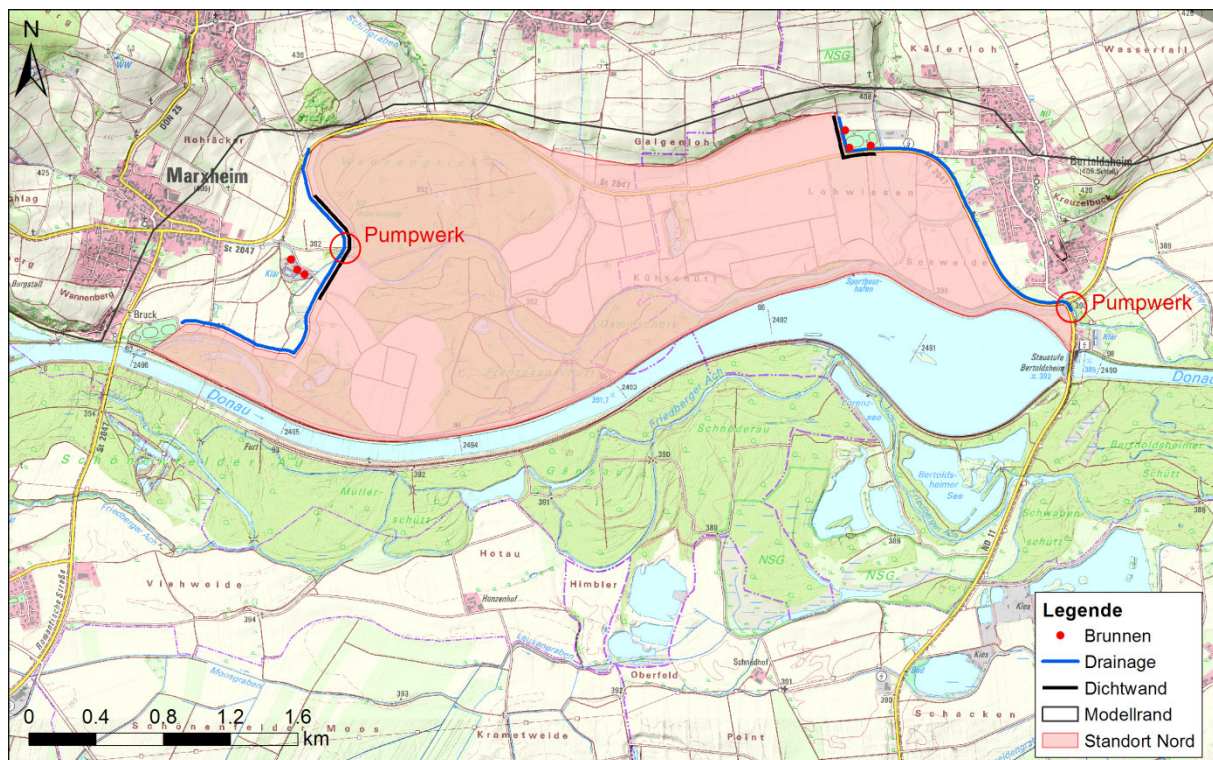


Abbildung 20: Lage der untersuchten Massnahmen (optimiert).

Höhenlage der Drainagen

Bezüglich ihrer Höhenlage müssen die Drainagegräben die folgenden Anforderungen einhalten:

- Im Zustand ohne Polderfüllung muss ein freier Abfluss in bestehende Gewässer möglich sein,
- Die Drainagegräben sollen ein Längsgefälle aufweisen (idealerweise mindestens 2 ‰),
- Die Drainagen sollen so hoch angeordnet werden, dass sie bei niedrigen Grundwasserständen keine Drainagewirkung aufweisen,
- Sie sollen so tief angeordnet werden, dass der Grundwasserstand bei Polderfüllung nicht höher ist als im Bezugszustand.

Geologische Situation

Abbildung 21 und Abbildung 22 zeigen Längsprofile entlang der optimierten Drainagen, zusammen mit den Schichten des hydrogeologischen Modells. Die Drainage Ost liegt vorwiegend in der Deckschicht. Zur Erzielung der erforderlichen Drainagewirkungen muss die Verbindung mit dem Grundwasserleiter zum Beispiel mittels Kiespfählen hergestellt werden. Bei der Drainage West kann sich diese Massnahme auf kurze Teilstücke beschränken.

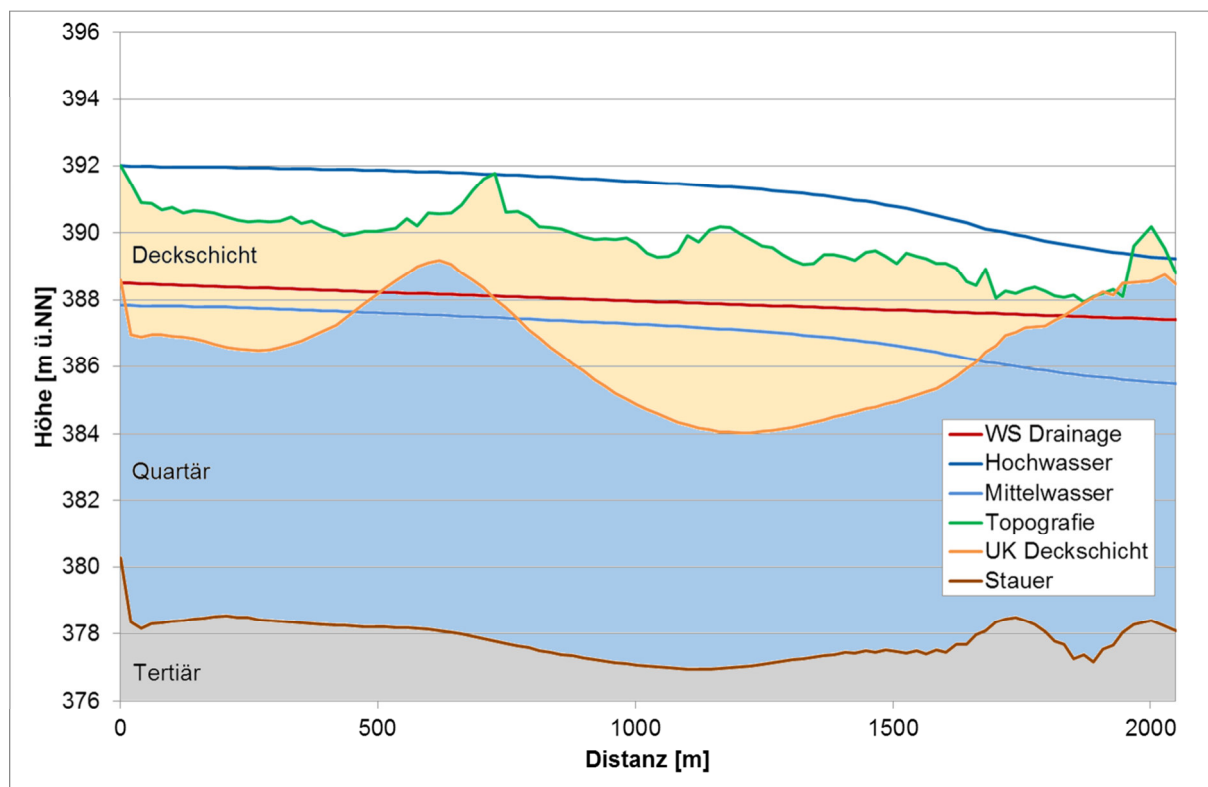


Abbildung 21:

Drainage Ost: Lage des Drainagewasserspiegels im Vergleich zu den Grundwasserständen des Bezugszustandes und den Schichtflächen

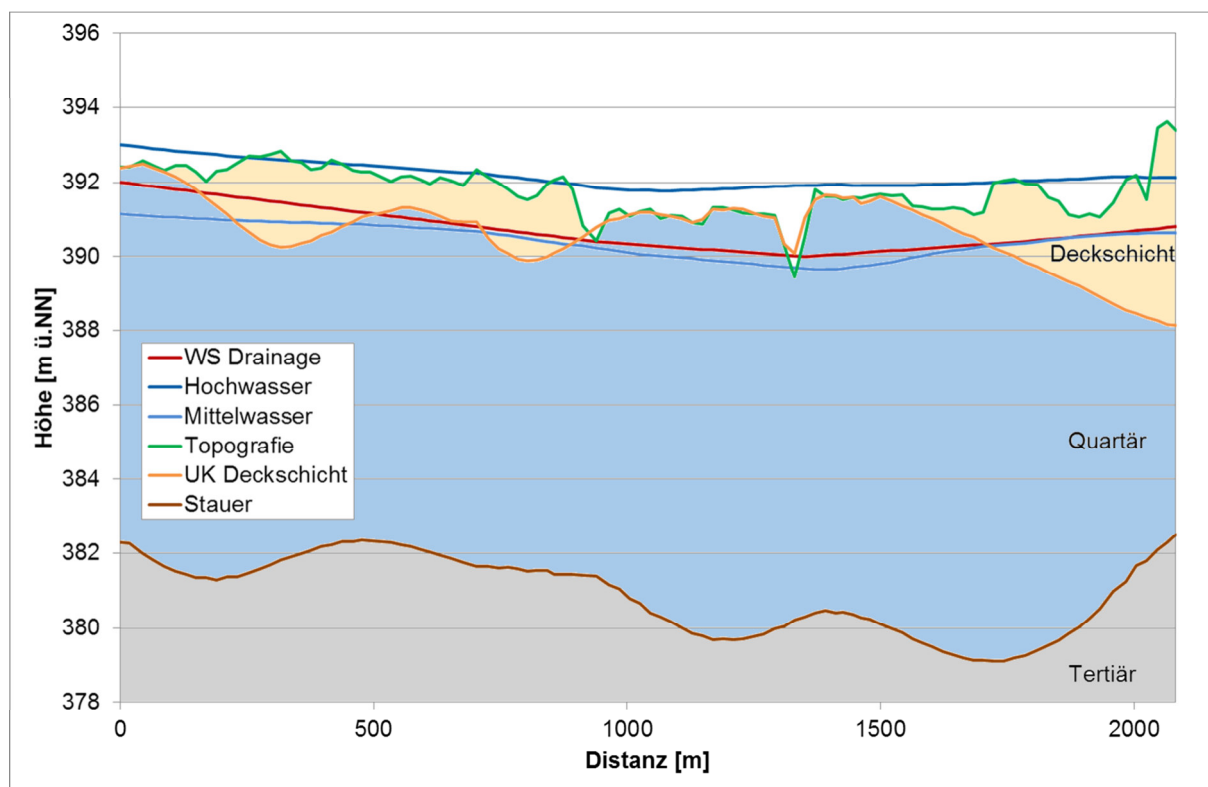


Abbildung 22: Drainage West: Lage des Drainagewasserspiegels im Vergleich zu den Grundwasserständen des Bezugzustandes und den Schichtflächen

- Grundwasseranstieg** Abbildung 23 und Abbildung 24 zeigen die Differenz der maximalen Grundwasserstände bei Füllung des Polders im Vergleich zum Bezugszustand ohne Polder bei den Massnahmenkombinationen Drainage + Sicherungsbrunnen und Drainage + Dichtwände. Bei beiden Massnahmenvarianten beschränkt sich der Grundwasseranstieg auf unbesiedelte Gebiete.
- Flurabstände** Die mit den vorgeschlagenen Massnahmen resultierenden minimalen Flurabstände bei Polderfüllung sind in Abbildung 25 und Abbildung 26 dargestellt. Die Bereiche mit sehr kleinem Flurabstand beschränken sich auf die überfluteten Gebiete.
- Dichtwände** Die Massnahmevariante mit Dichtwänden wirkt sich auch auf die Zustände ohne Polderfüllung aus. Abbildung 27 zeigt, dass westlich der Dichtwand bei Marxheim ein kleiner Aufstau des Grundwasserstandes stattfindet. Die maximale Erhöhung des Grundwasserspiegels beträgt jedoch maximal etwa 30 cm. Der Flurabstand (Abbildung 28) beträgt an dieser Stelle bei Mittelwasser und Dichtwand etwa einen Meter. Der durch die Dichtwand verursachte Grundwasseranstieg liegt innerhalb der natürlichen Schwankungsbreite des Grundwasserstandes (Abbildung 8).

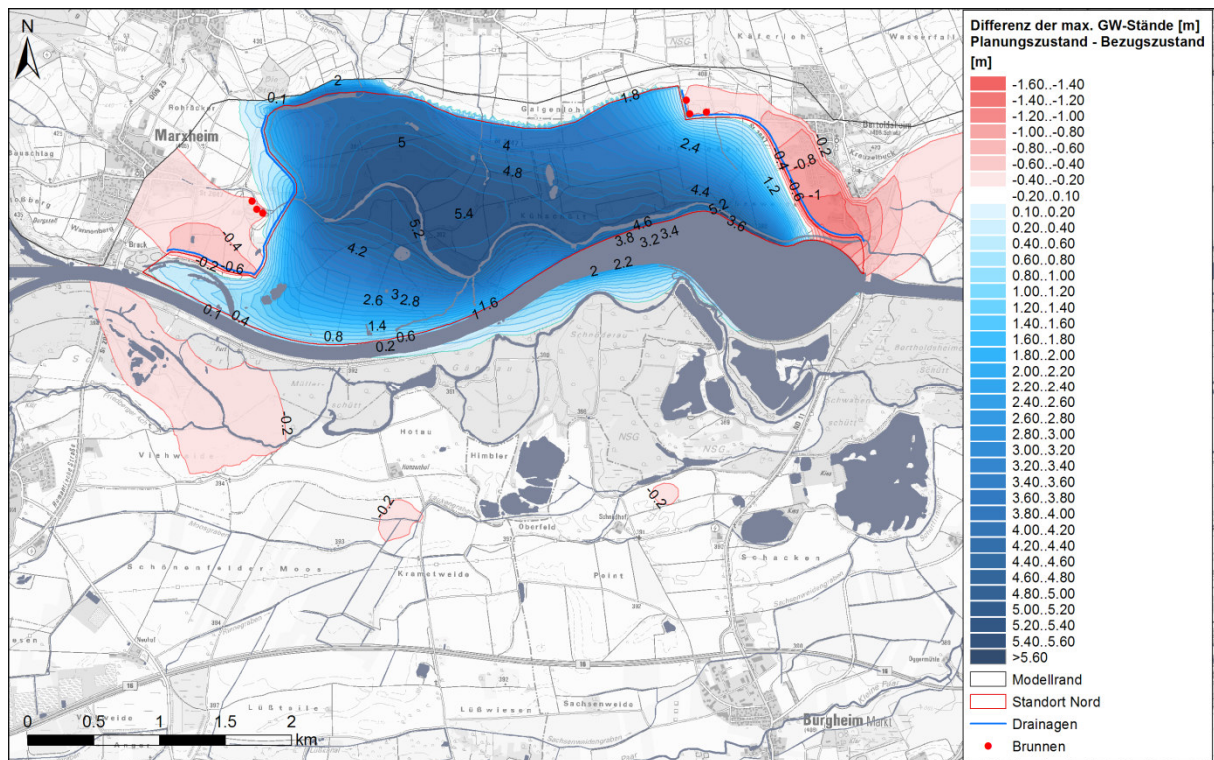


Abbildung 23: Differenz der maximalen Grundwasserstände beim lechbetonten HQ200 bei einer Polderfüllung mit Drainagegräben und Sicherungsbrunnen zum Bezugszustand ohne Polder.

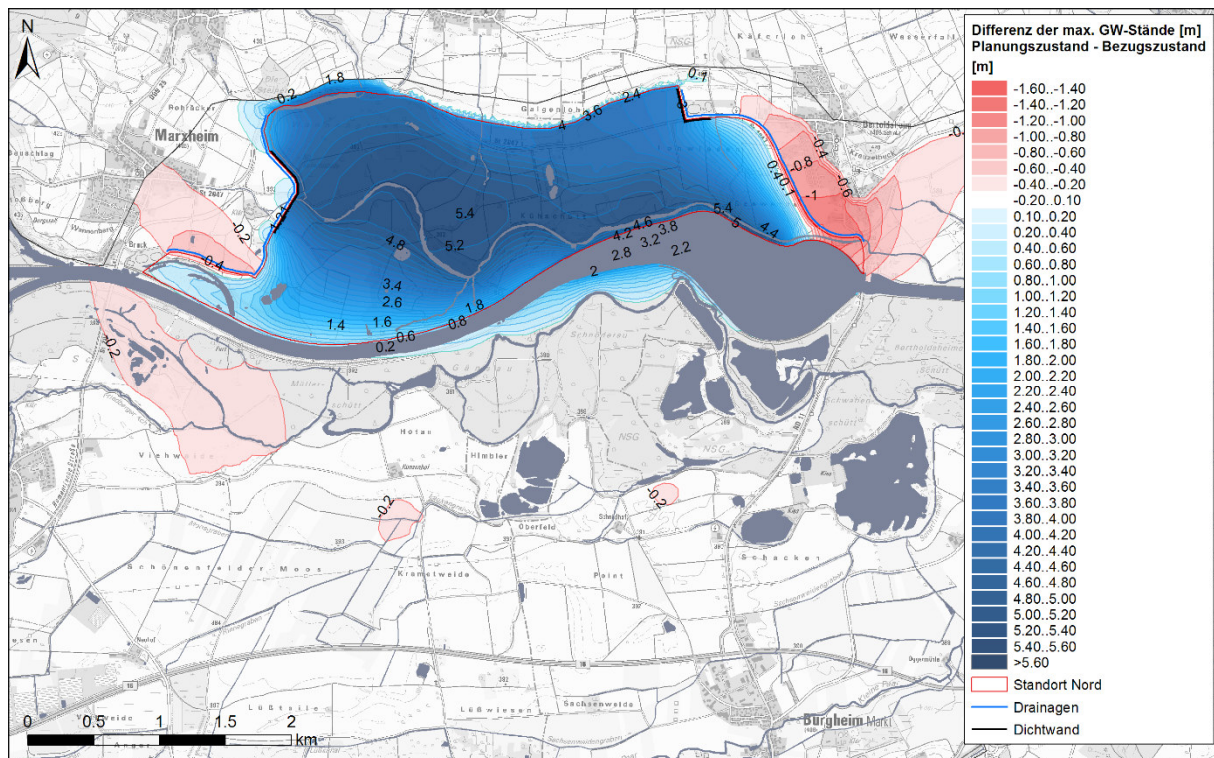


Abbildung 24: Differenz der maximalen Grundwasserstände beim lechbetonten HQ200 bei einer Polderfüllung mit Drainagegräben und kurzen Dichtwänden zum Bezugszustand ohne Polder.

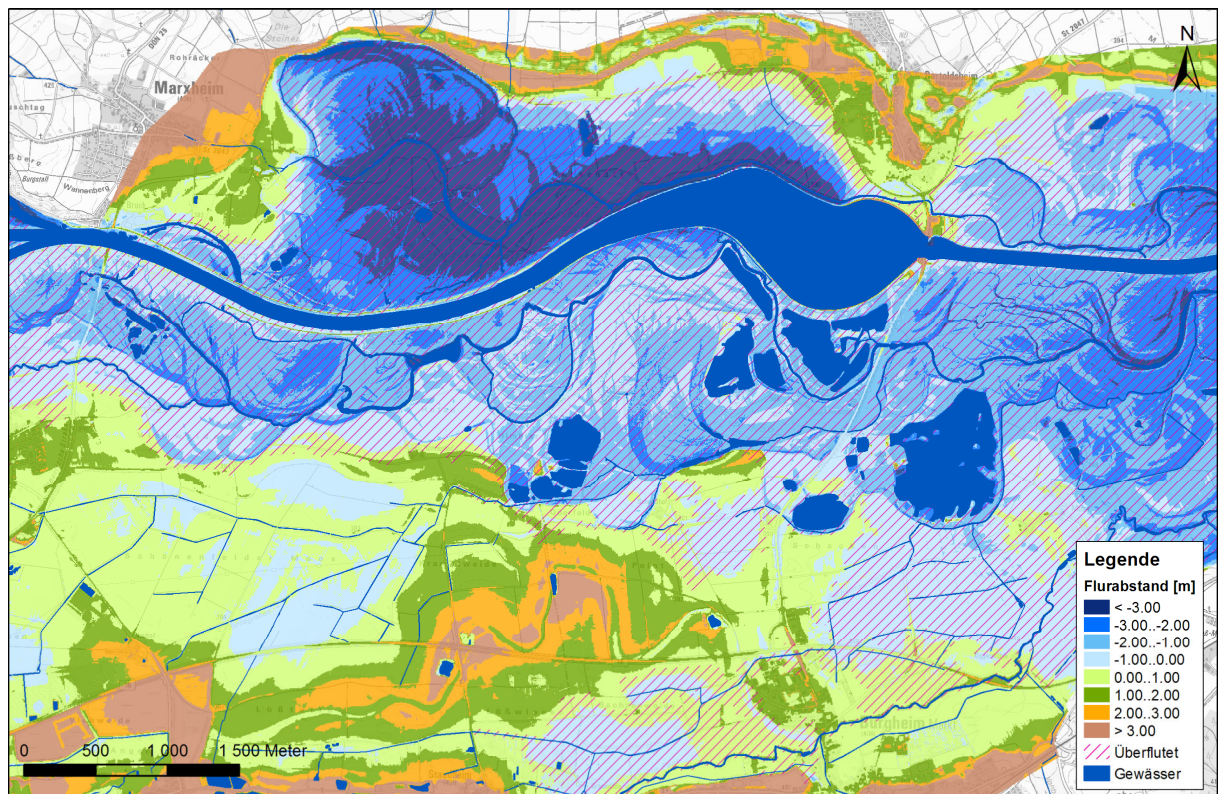


Abbildung 25: Minimaler Flurabstand beim lechbetonten HQ200 bei einer Polderfüllung mit Drainagegräben und Sicherungsbrunnen.

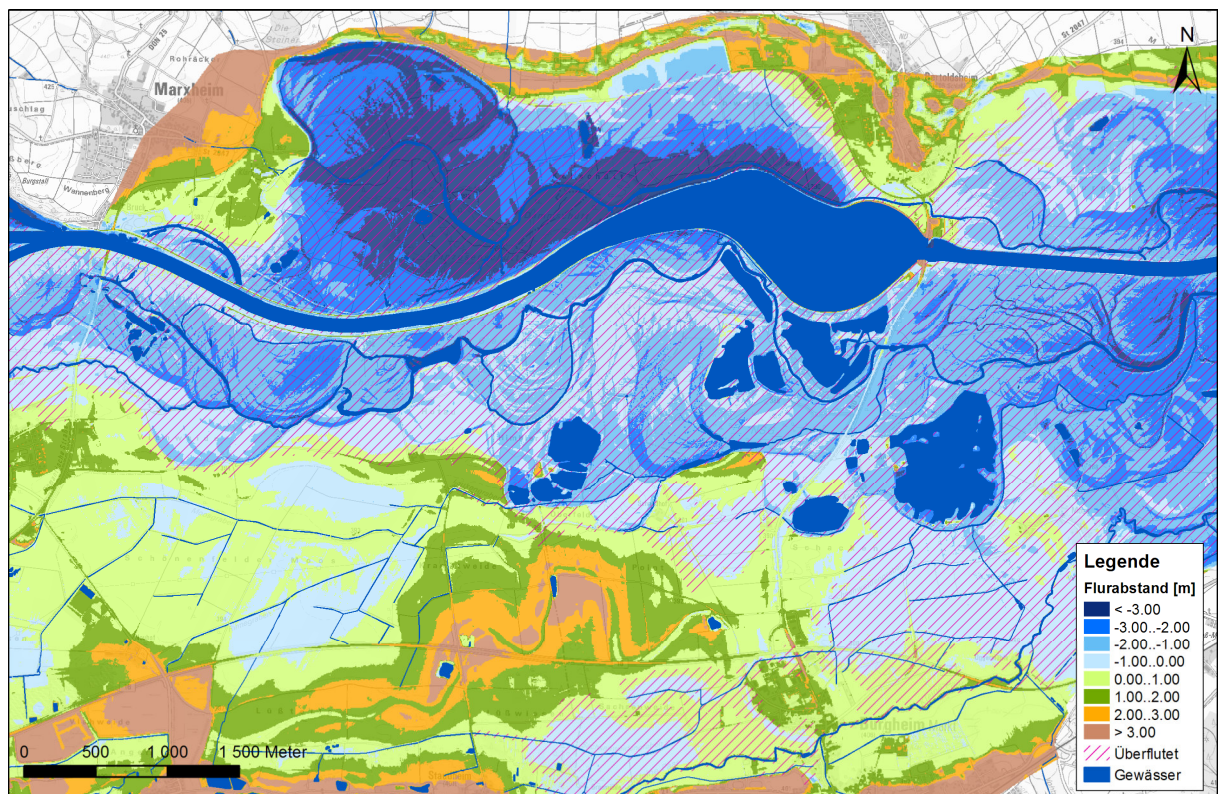


Abbildung 26: Minimaler Flurabstand beim lechbetonten HQ200 bei einer Polderfüllung mit Drainagegräben und kurzen Dichtwänden.

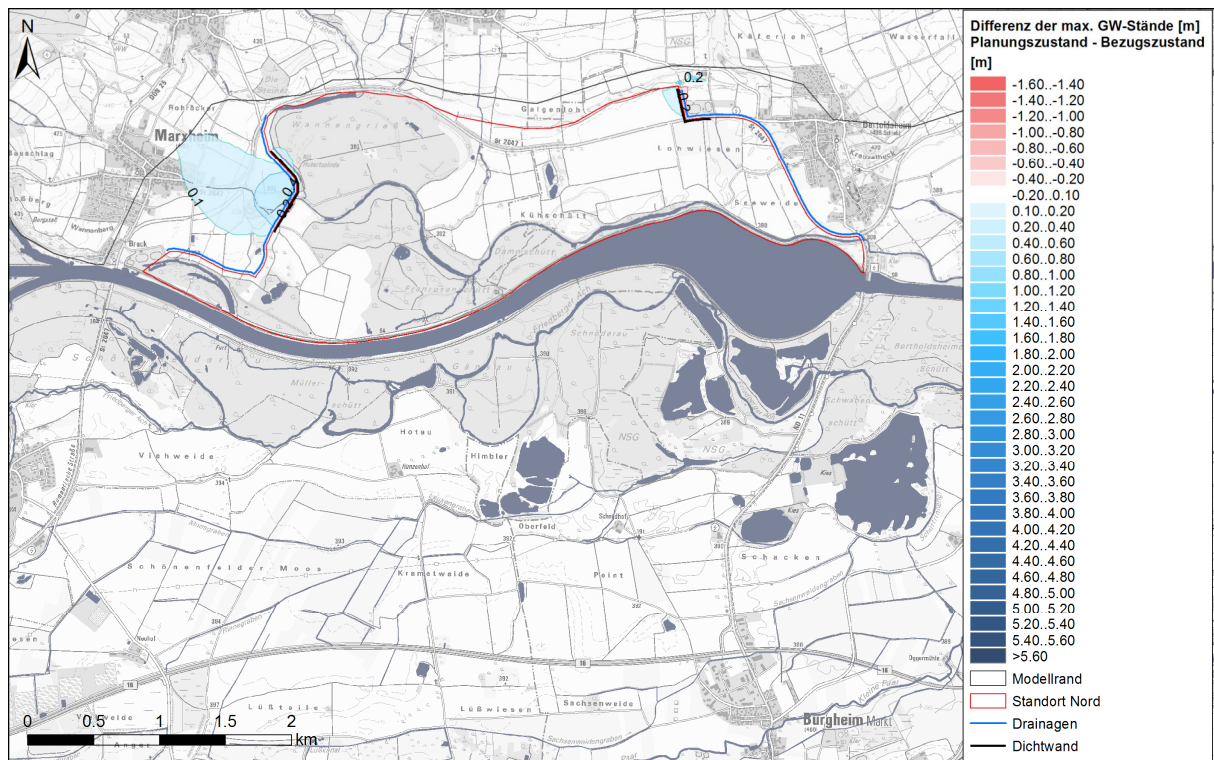


Abbildung 27: Differenz der Grundwasserstände bei Mittelwasser (01.05.2019) bei einer Polderfüllung mit Drainagegräben und kurzen Dichtwänden zum Bezugszustand ohne Polder und Dichtwände

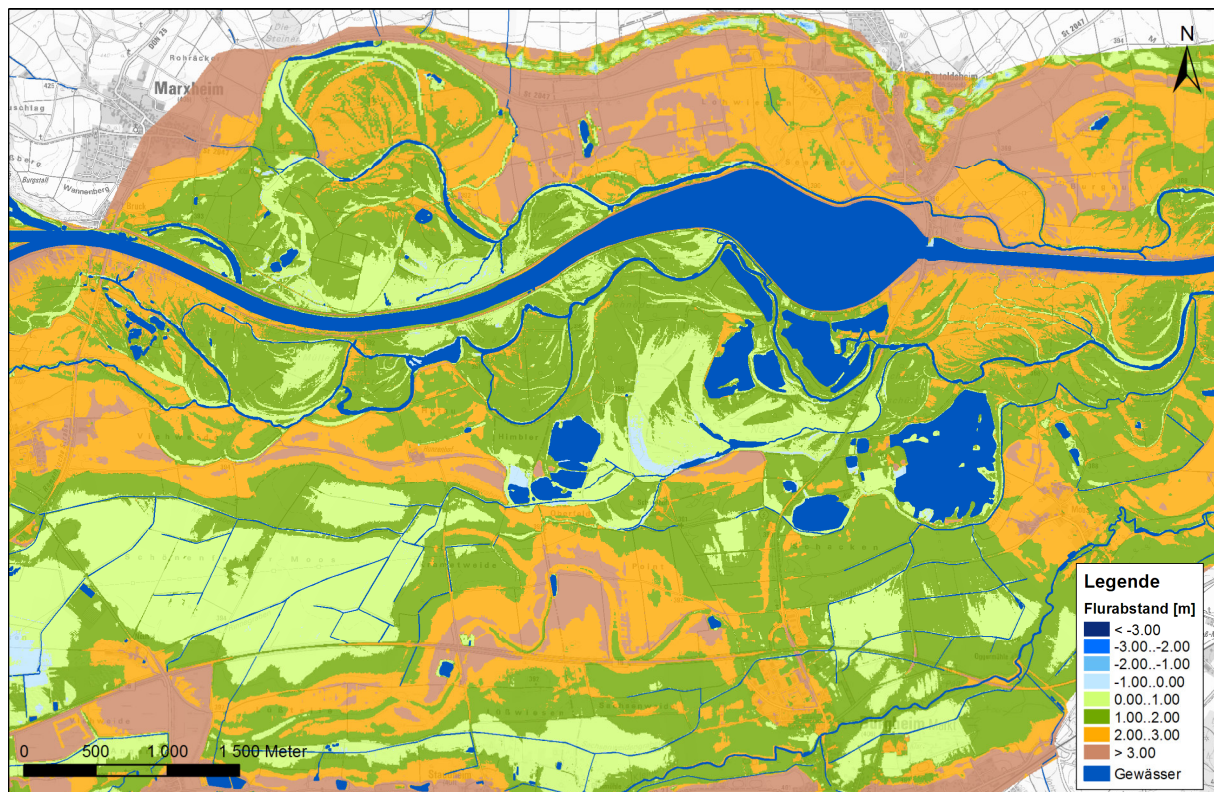


Abbildung 28: Flurabstand bei Mittelwasser (01.05.2019) und Anordnung von kurzen Dichtwänden bei der KA Marxheim und dem Sportplatz Bertoldsheim.

Fördermengen Bei der Variante mit Drainagegräben und Sicherungsbrunnen muss Grundwasser gefördert werden. Abbildung 29 zeigt die prognostizierten Fördermengen bei der Kläranlage Marxheim und dem Sportplatz Bertoldsheim. An beiden Orten betragen die maximalen Fördermengen etwa $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$ oder $18'000 \text{ l}/\text{min}$.

Pumpwerke Das in den Drainagegräben anfallende Wasser muss in den Rückhalteraum gepumpt werden. Es ist zu erwarten, dass bei einem Hochwasserereignis im Lech oder in der Donau gleichzeitig auch im Gebiet des Polders Starkniederschläge auftreten. Zur Dimensionierung der Pumpwerke wurden deshalb einerseits im Grundwassermodell die zu erwartenden Drainagemengen berechnet, andererseits wurde der Hochwasserabfluss in den Gewässern berechnet, welche durch den Polder abgeschnitten werden.

Hochwasserabflüsse Zur Abschätzung der Hochwasserabflüsse wurde die Methode nach Kölla verwendet, welche sich für Einzugsgebiete $< 10 \text{ km}^2$ eignet [3]. Die dazu benötigten Starkniederschlagshöhen wurden den publizierten Werten des Deutschen Wetterdienstes (KOSTRA-DWD-2000, [4]) entnommen. Die berücksichtigten Gewässer und deren Einzugsbereiche sind in Abbildung 30 dargestellt. Das Einzugsgebiet im Westen (Mühlgraben) besitzt eine aufsummierte Gewässerlänge von 11.4 km und eine Fläche von 8.2 km^2 , das Einzugsgebiet im Osten (Rehgraben) eine Gewässerlänge von 6.5 km und eine Fläche von 4.9 km^2 . Tabelle 2 zeigt die mit der Methode Kölla abgeschätzten Hochwasserabflüsse.

	Mühlgraben	Rehgraben
HQ20	$2.3 \text{ m}^3/\text{s}$	$1.3 \text{ m}^3/\text{s}$
HQ100	$3.8 \text{ m}^3/\text{s}$	$2.1 \text{ m}^3/\text{s}$

Tabelle 2: Mit der Methode Kölla abgeschätzte Hochwasserabflüsse

Drainagemengen Die mit dem Grundwassermodell berechneten Drainagemengen betragen bei der westlichen Drainage etwa $2.8 \text{ m}^3/\text{s}$, bei der östlichen Drainage $1.6 \text{ m}^3/\text{s}$ (Abbildung 31). Insgesamt müssen die Pumpwerke bei gleichzeitiger Annahme eines HQ20 in den Oberflächengewässern auf eine Fördermenge von 5.1 , resp. $2.9 \text{ m}^3/\text{s}$ ausgelegt werden. Zusätzlich ist ein Sicherheitsfaktor einzurechnen, siehe dazu auch die Sensitivitätsstudie.

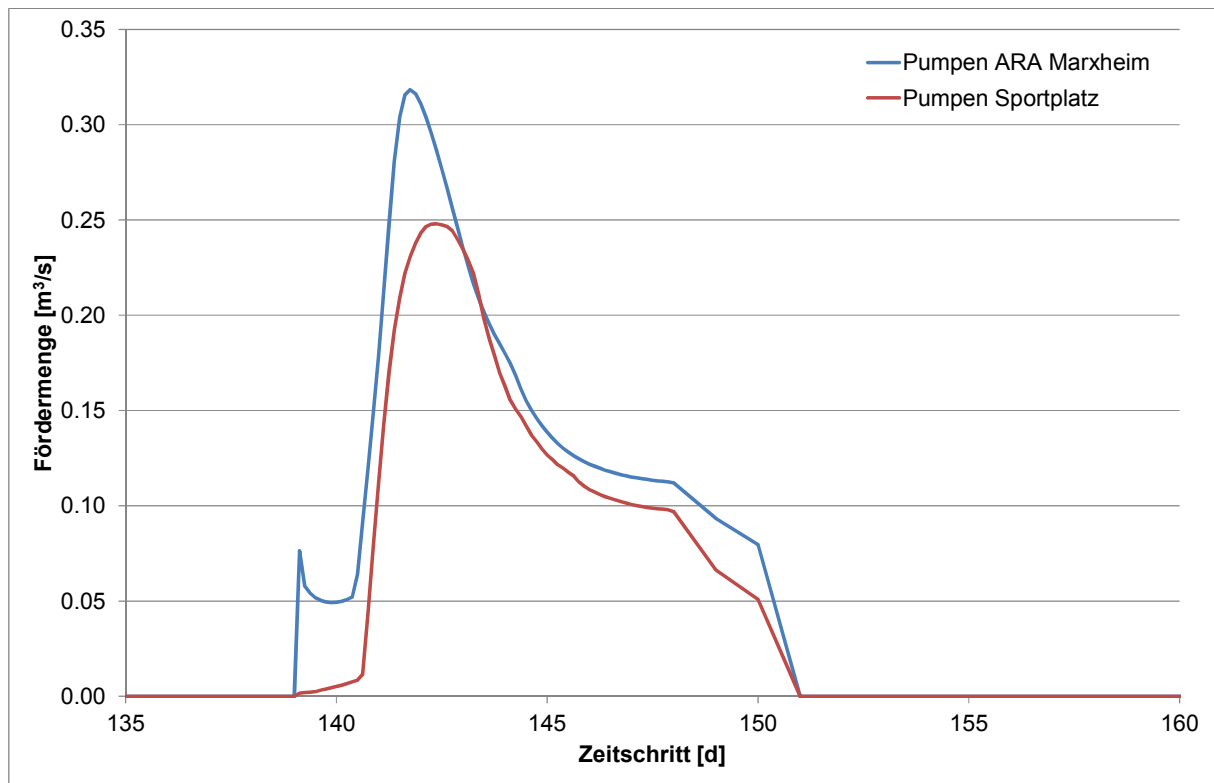


Abbildung 29: Fördermengen der Sicherungsbrunnen während des Durchgangs eines HQ200 lechbetont.

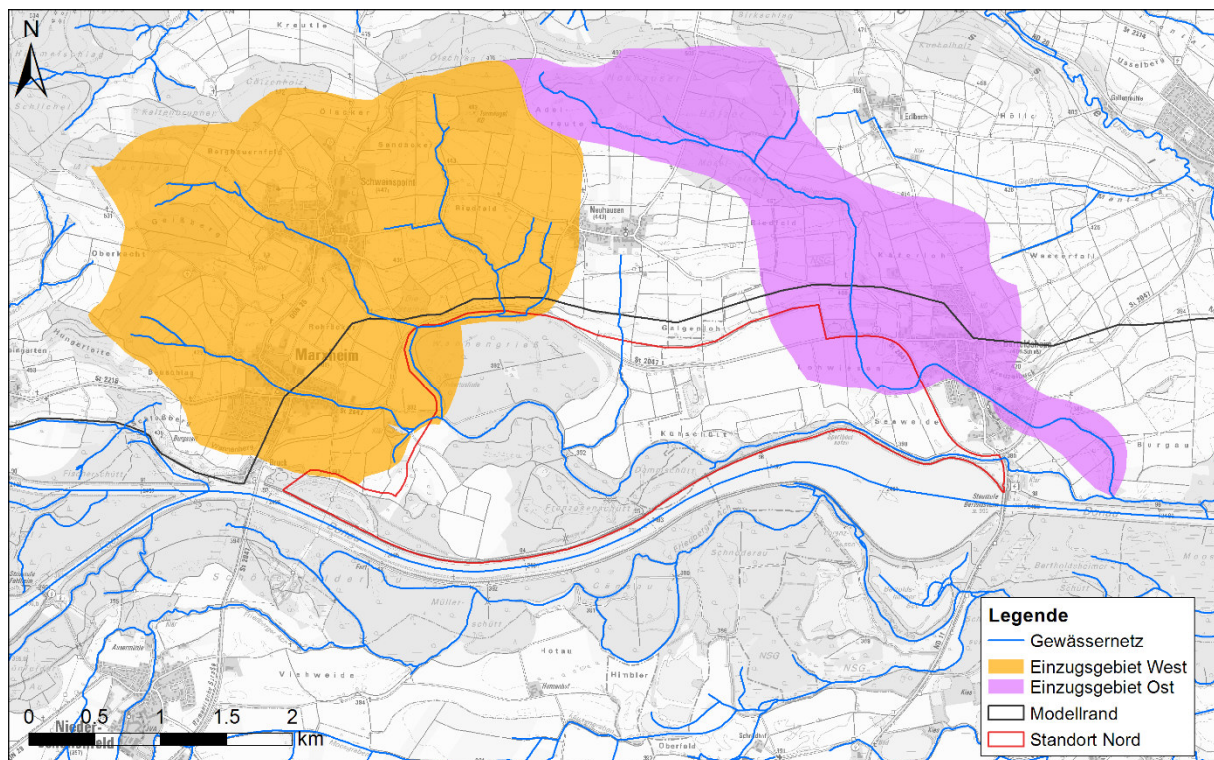


Abbildung 30: Einzugsbereiche der Oberflächengewässer, welche über die Pumpwerke in den Polder gefördert werden müssen (Quelle LfU).

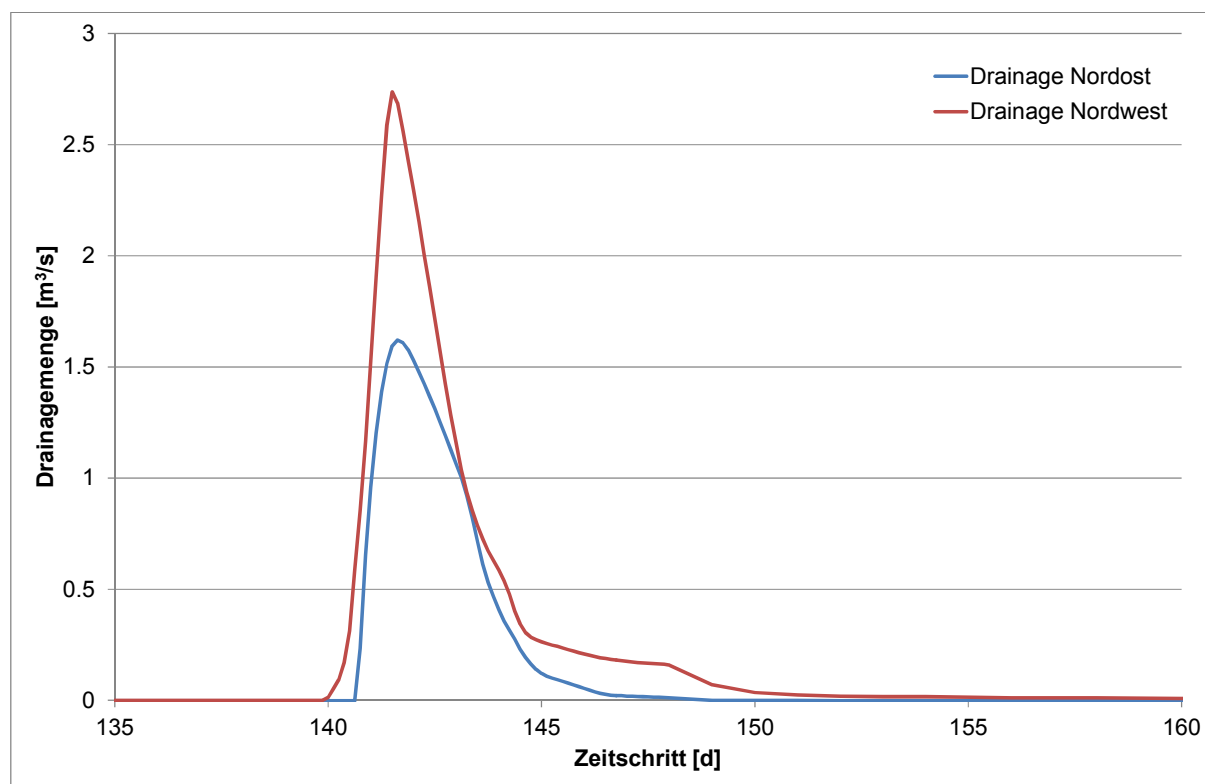


Abbildung 31: Drainagemengen in den Drainagen westlich und östlich des Polders Nord während des Durchgangs eines HQ200 lechbetont.

Wasserbilanz

Bei der Füllung des Polders dringt Wasser in den Untergrund ein und füllt dort die noch vorhandenen Porenräume. Bei der Berechnung der Wasserstände im Polder mit dem hydraulischen Modell wurde dies vernachlässigt. Ebenfalls nicht berücksichtigt ist bei der Berechnung, dass das drainierte und in den Brunnen geförderte Wasser in den Polder zurückgepumpt wird. Mit Hilfe einer Wasserbilanz über das Poldervolumen wird überprüft, ob diese Vereinfachungen gerechtfertigt sind.

Darstellung

Abbildung 32 zeigt die Ganglinie der aufsummierten Bilanzanteile des Polders Nord. Die gelbe Linie zeigt die mit dem hydraulischen Modell berechnete Füllkurve des Polders (Summe der Differenz zwischen Zufluss und Abfluss). Die rote Linie zeigt den Volumenbeitrag des Grundwassers. Er errechnet sich aus der aufsummierten Infiltration ins Grundwasser abzüglich des in den Polder zurückgepumpten Drainage- und Pumpenwassers.

Die Darstellung zeigt, dass das Poldervolumen über die Infiltration ins Grundwasser nur um etwa 10% erhöht wird. Während der Füllzeit des Polders wird dem Polder durch Infiltration mehr Wasser entnommen, als über die Pumpwerke zurückgegeben wird. Die oben genannte Vereinfachung liegt also auf der sicheren Seite und wirkt sich nicht wesentlich auf die Resultate der Hydraulik aus.

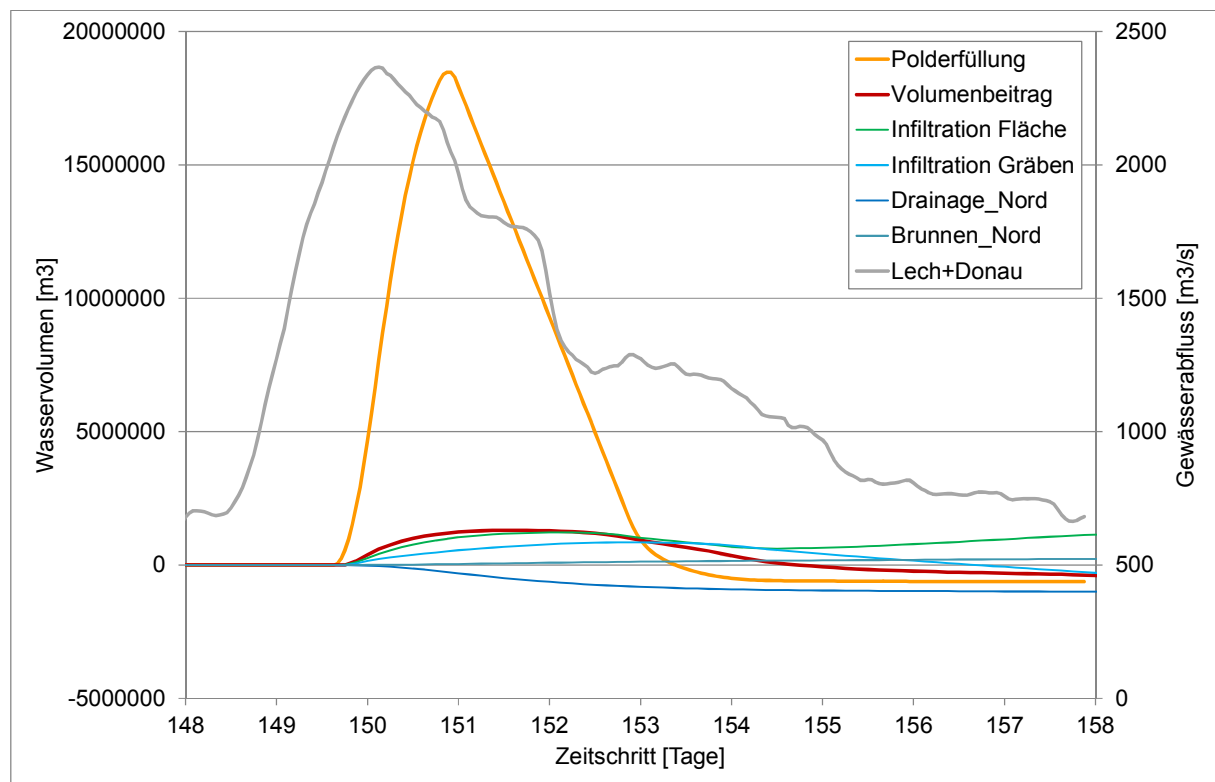


Abbildung 32: Wasserbilanz über das Volumen des Polders Nord

4.2.4 Sensitivitätsanalyse

- Grundwasserstand** In der Sensitivitätsanalyse wurden die Modellparameter gemäss Kapitel 2.6 variiert. Von den acht untersuchten Fällen wurde jeweils die 10-cm-Grenze des Grundwasseranstieges ermittelt und davon die Umhüllende gezeichnet (Abbildung 33). Die äussere Grenze entspricht der ungünstigsten Parametervariation, die innere Grenze der günstigsten. In den meisten Fällen bilden die beiden Varianten „heterogener Kies“ und „längere Fülldauer“ die äussere Grenze.
- Kombination** Auf eine Kombination ungünstiger Parameter wurde verzichtet, da mit den einzelnen Parametern bereits Extremfälle untersucht wurden. Die Wahrscheinlichkeit einer Kombination von diesen Extremfällen ist sehr gering.
- Bei der Variante „heterogener Kies“ wurde für die Darstellung in jedem Modellknoten das 95%-Perzentil der maximalen Grundwasserstände aller Rechenfälle verwendet.

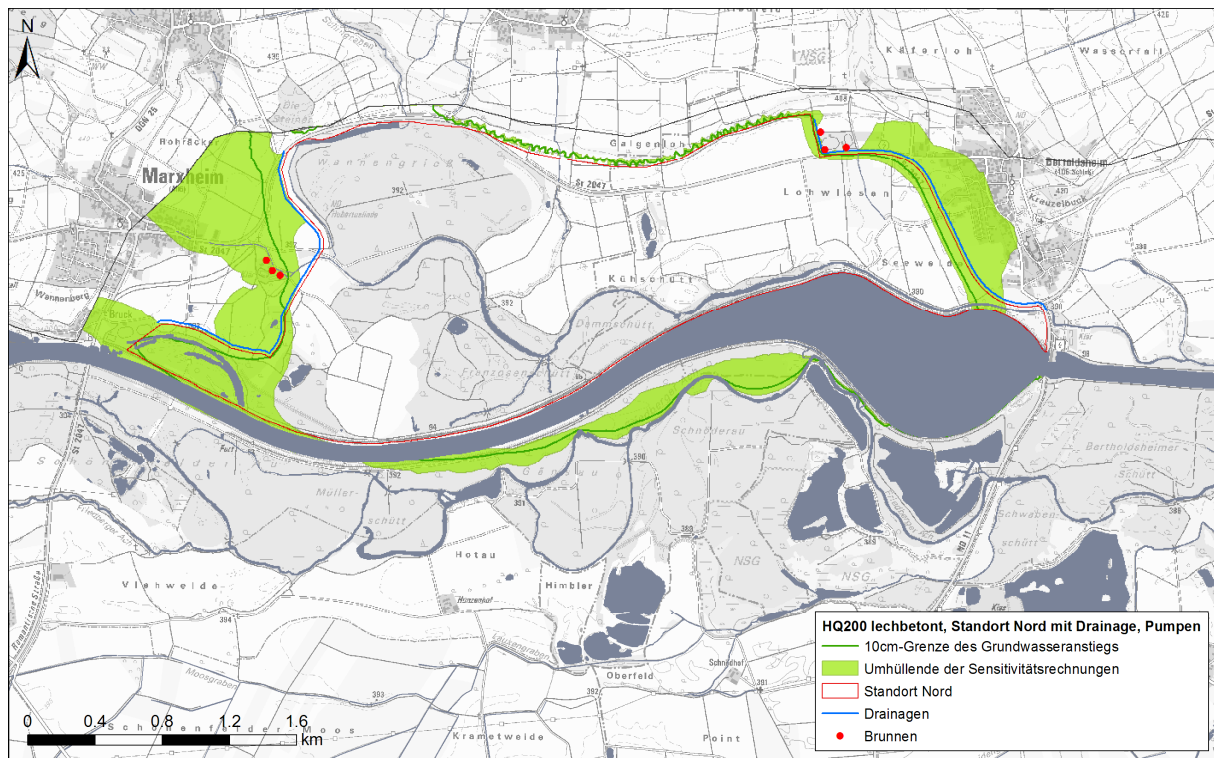


Abbildung 33: Umhüllende der 10-cm-Grenze des Grundwasseranstiegs aller berechneten Sensitivitätsfälle.

Drainagemengen

Die in den Drainagegräben anfallende Wassermenge wurde für alle Sensitivitätsfälle in Abbildung 34 und Abbildung 35 dargestellt. Es zeigt sich, dass die Variante mit durchlässiger Deckschicht zu den höchsten Drainagemengen führt. In der westlichen Drainage führt eine Erhöhung der Deckschichtdurchlässigkeit zu einer Erhöhung der Drainagemenge um den Faktor 1.5, in der östlichen Drainage um den Faktor 2. An der Ostgrenze des Polders ist es deshalb sinnvoll, in einem nächsten Planungsschritt die Deckschicht genauer zu untersuchen.

Fördermengen

Abbildung 36 und Abbildung 37 zeigen die erforderlichen Fördermengen zur Kontrolle des Grundwasserstandes bei der Kläranlage Marxheim und der Biogasanlage Bertoldsheim für die verschiedenen Sensitivitätsfälle. Bei der KA Marxheim sind die maximalen Fördermengen dann erforderlich, wenn die Drainage schlecht an den Grundwasserleiter angebunden ist. Die Pumpen müssen dann einen Teil der Aufgabe der Drainage übernehmen. Bei den Brunnen beim Sportplatz Bertoldsheim führt die Annahme einer durchlässigeren Deckschicht zu den höchsten Fördermengen.

Bereits bei der ersten Welle des Hochwassers (beim Zeitschritt 142) steigt der Grundwasserstand stark an. Dies bewirkt, dass die Drainage bereits zu diesem Zeitpunkt Wasser führt. Auch in den Sicherungsbrunnen fällt Wasser an, da diese im Modell mit einem

konstanten Grundwasserpotential vorgegeben werden. (Abbildung 34 bis Abbildung 37).

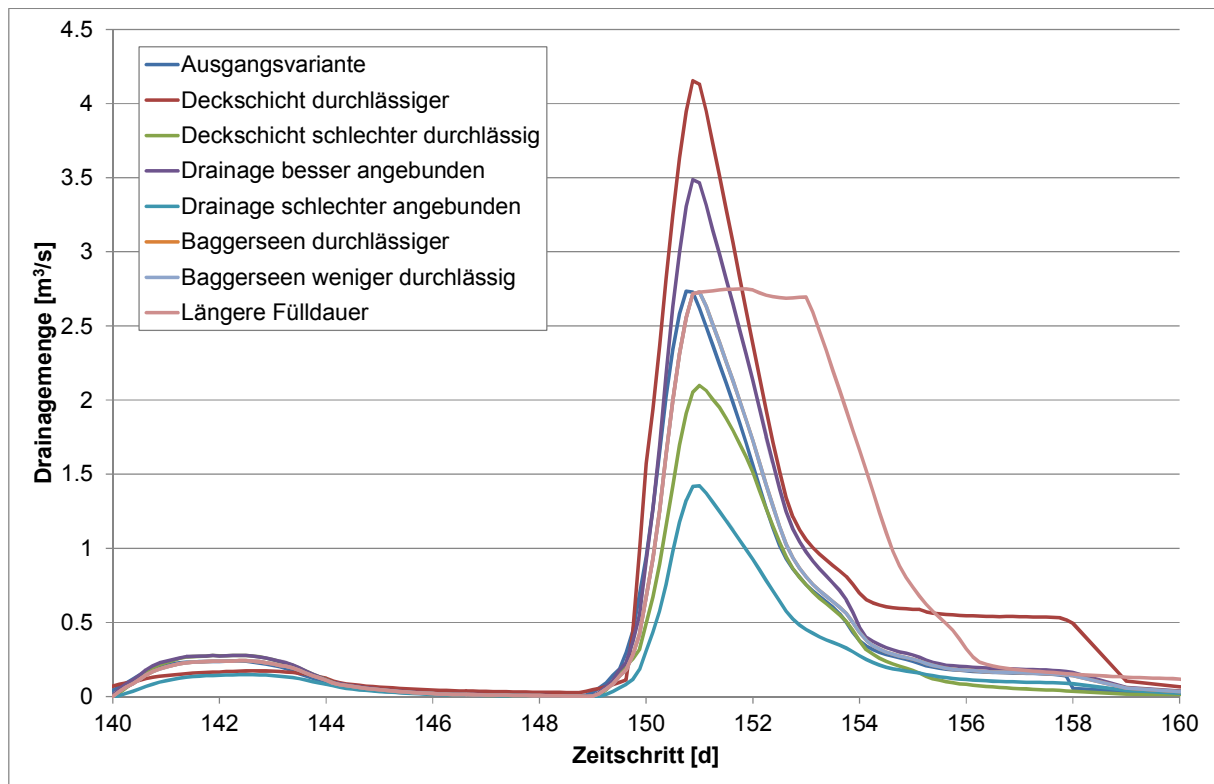


Abbildung 34: Drainage West: Sensitivität der Drainagemenge auf die Variation der Parameter.

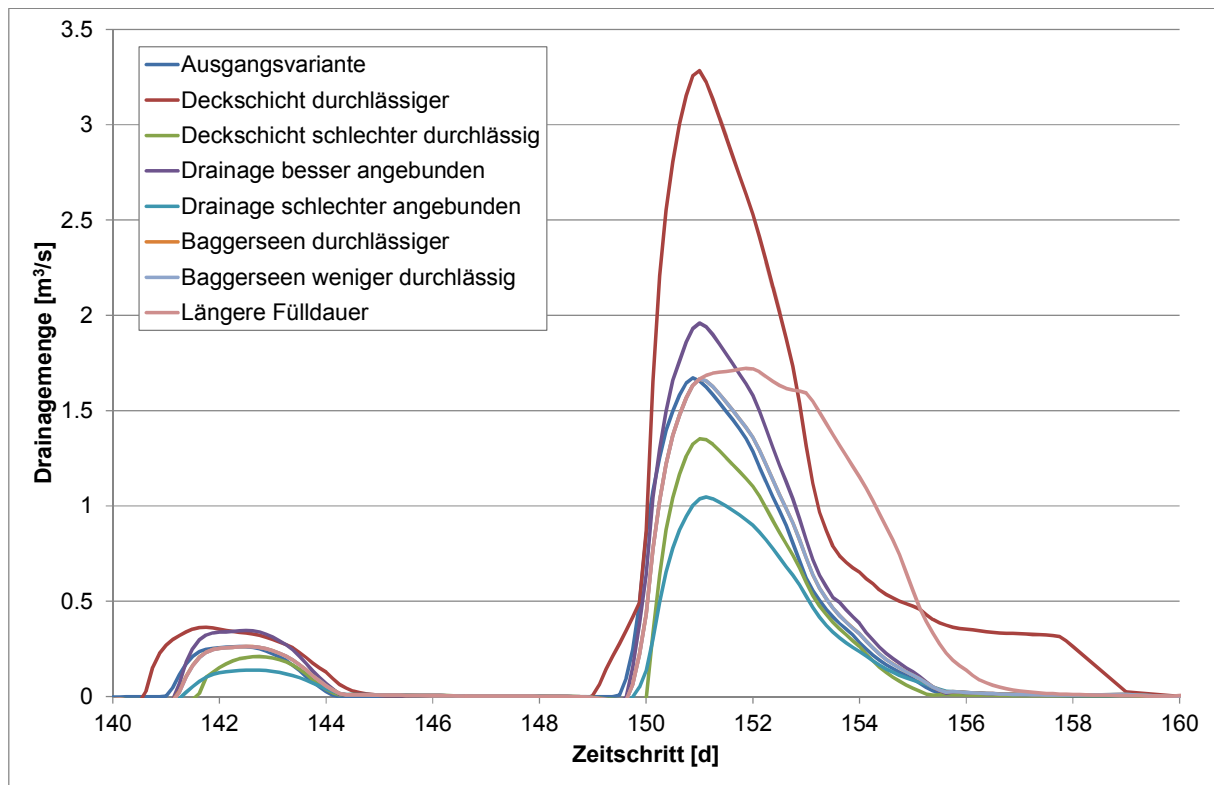


Abbildung 35: Drainage Ost: Sensitivität der Drainagemenge auf die Variation der Parameter.

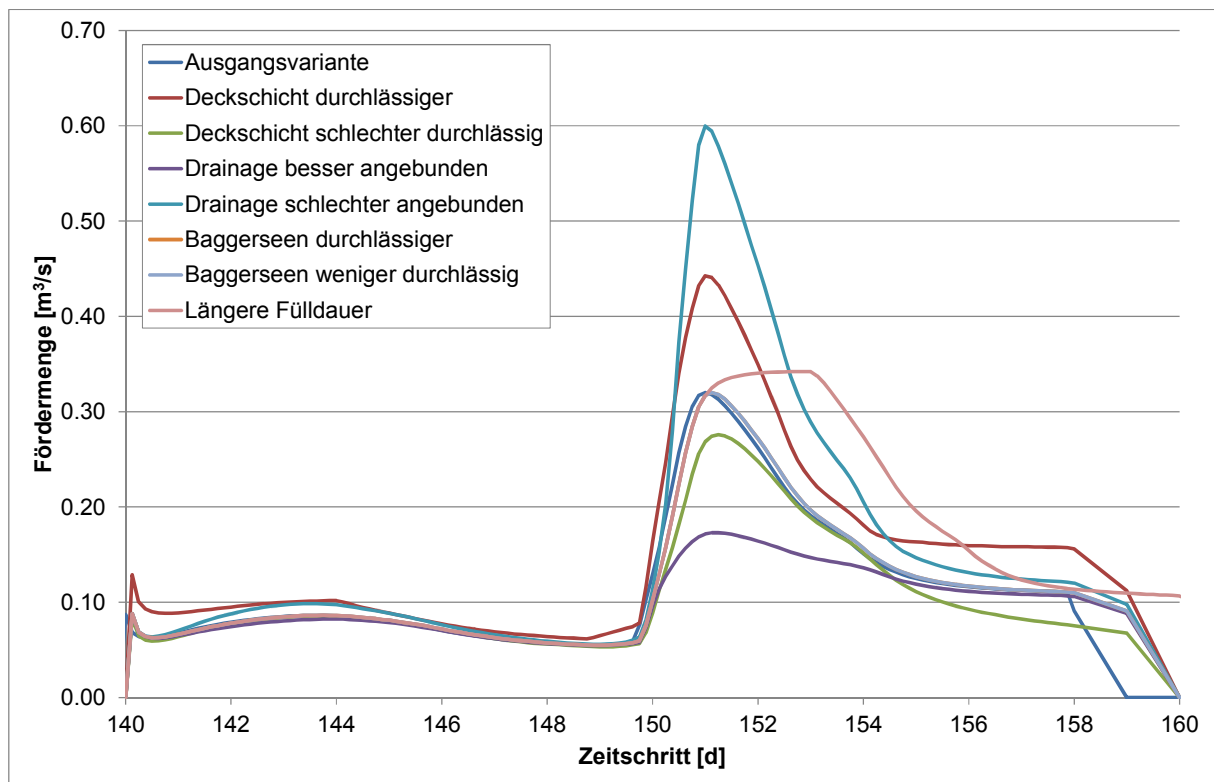


Abbildung 36: Erforderliche Fördermenge in den Brunnen bei der ARA Marxheim.

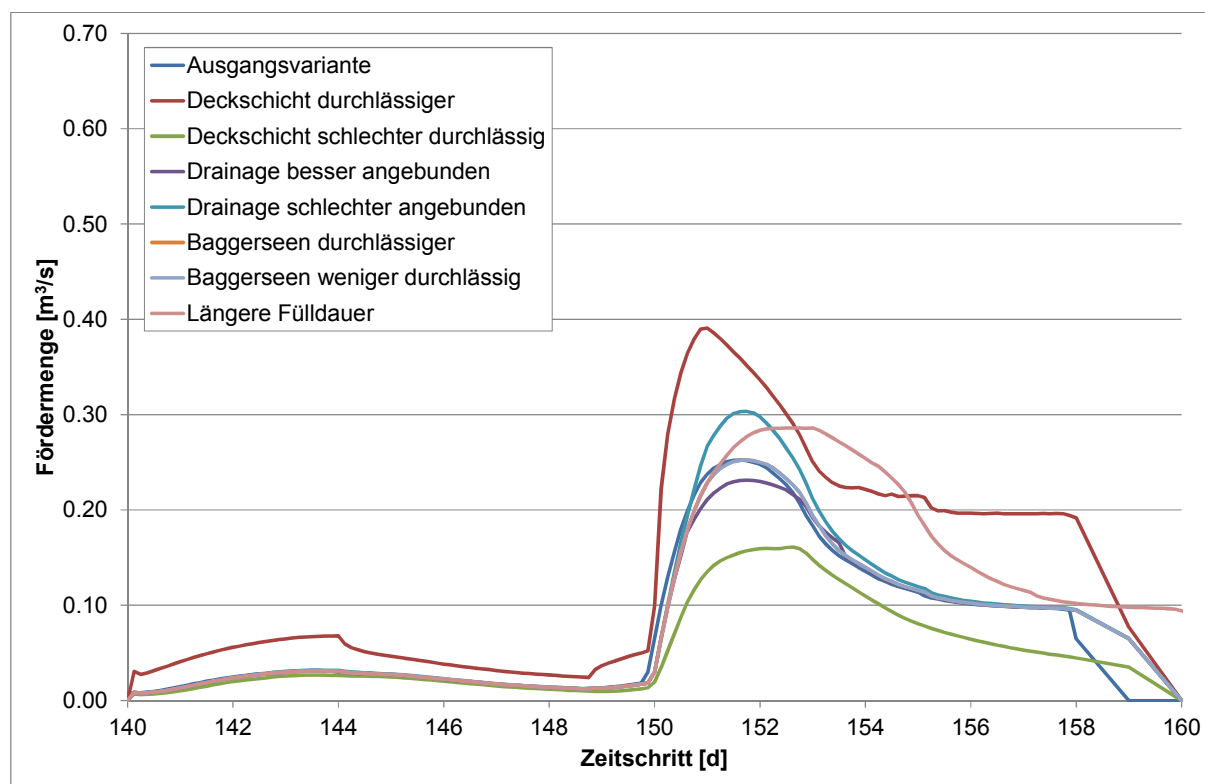


Abbildung 37: Erforderliche Fördermenge in den Brunnen beim Sportplatz Bertoldsheim.

4.3 Standort Süd

4.3.1 Sensible Objekte

Ortslagen

In der Nähe des Standorts Süd befinden sich die Ortslagen Burgheim und Niederschönenfeld. Der Ortskern von Burgheim liegt etwa 10 m über der Talebene, oberhalb der Terrassenkante des Kieses. Es besteht deshalb keine Gefährdung durch einen Grundwasseranstieg unterhalb der Terrassenkante. In den Ortsteilen unterhalb der Terrassenkante ist eine Beeinflussung durch den Polder möglich. Niederschönenfeld liegt an der Westgrenze des Polderstandortes. Die Überflutungsfläche des Polders Süd beginnt etwa 500 m weiter östlich.

Einzelobjekte

Die beiden Höfe „Hunzenhof“ und „Schnödhof“ liegen innerhalb des Standorts Süd. Für die Beurteilung des Standortes wird davon ausgegangen, dass diese Höfe abgesiedelt werden. Der Neuhof liegt an der Westgrenze des Standortes, wo kein Grundwasseranstieg erwartet wird. Entlang der Ostgrenze des Standortes führt die Strasse Burgheim-Bertoldsheim. Diese Strasse soll bei einer Realisierung des Polderprojektes über den Polderdeich geführt werden und ist dadurch vor Überflutung geschützt.

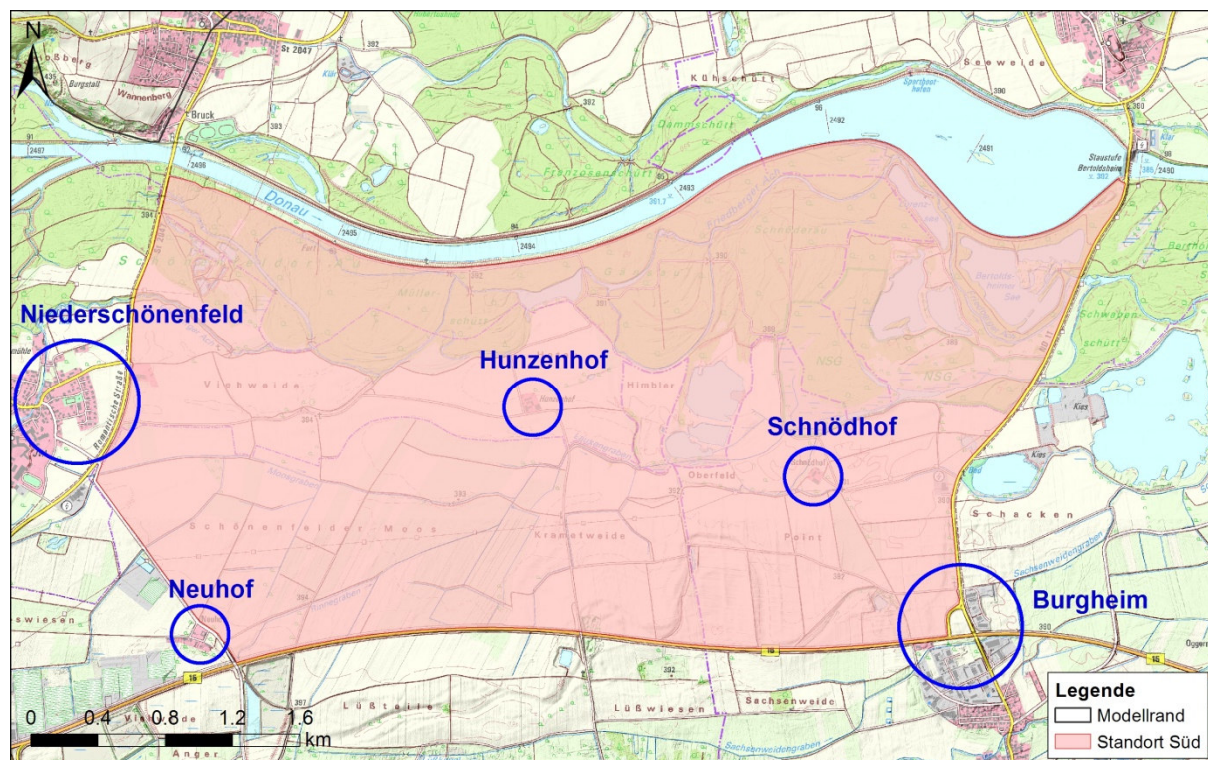


Abbildung 38: Umriss des Standorts Süd mit sensiblen Objekten

4.3.1 Auswirkungen ohne Massnahmen

Grundwasseranstieg Um die Notwendigkeit von Massnahmen beurteilen zu können, wurde als Erstes der Planzustand mit Füllung des Polders Süd ohne Massnahmen berechnet. Abbildung 39 und Abbildung 40 zeigen die Differenz der maximalen Grundwasserzustände zwischen dem Planzustand mit Polder und dem Bezugszustand ohne Polder.

Flurabstand Abbildung 41 und Abbildung 42 zeigen die minimalen Flurabstände während des Hochwasserdurchgangs, zusammen mit den bei Polderfüllung überfluteten Flächen.

Beurteilung Falls keine Massnahmen getroffen werden, ist an der Südostecke des Polders mit einem Grundwasseranstieg um bis zu einem Meter zu rechnen. Dort müssen deshalb Massnahmen zur Kontrolle des Grundwasserstandes angeordnet werden. Im Westen des Polders ist nicht mit einem Grundwasseranstieg zu rechnen.

Die Berechnung zeigt, dass die lechbetonte Hochwasserwelle einen etwas höheren Grundwasseranstieg bewirkt. Im Folgenden werden deshalb nur noch die Resultate dieser Hochwasserwelle dargestellt.

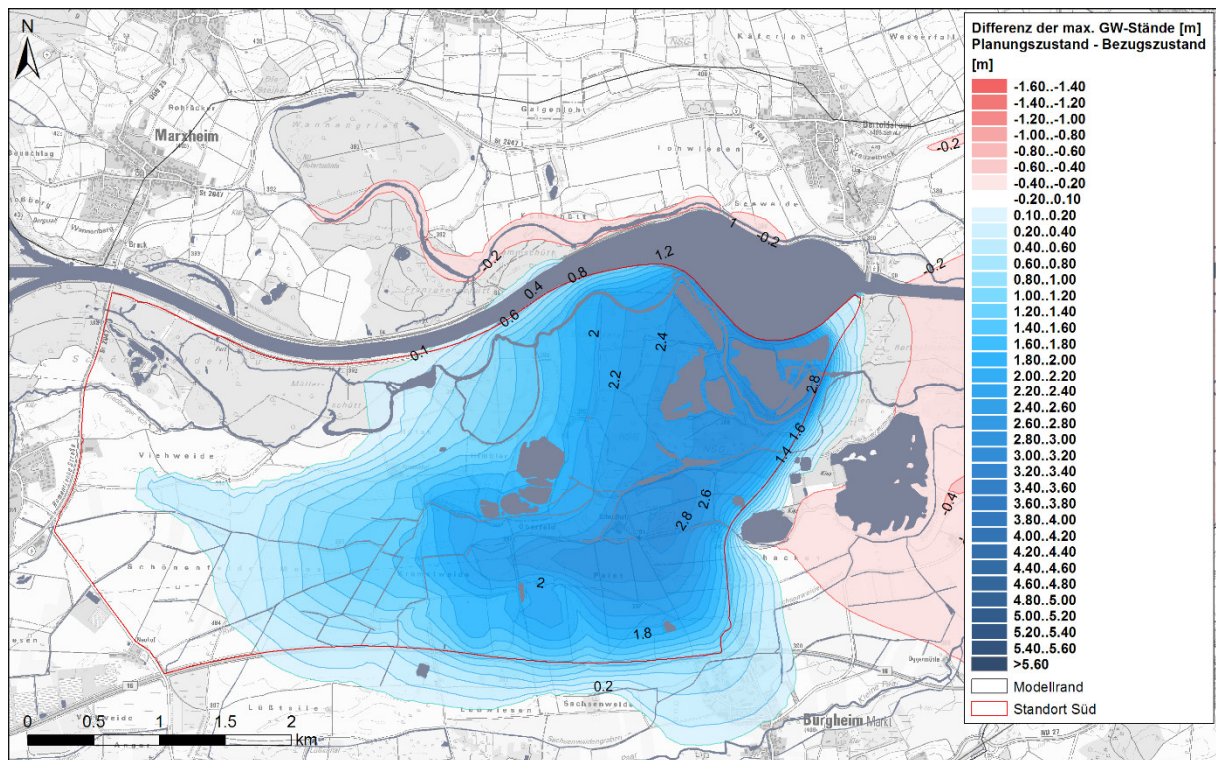


Abbildung 39: Differenz der maximalen Grundwasserstände beim donabentonen HQ200 bei einer Polderfüllung ohne Massnahmen zum Bezugszustand ohne Polder.

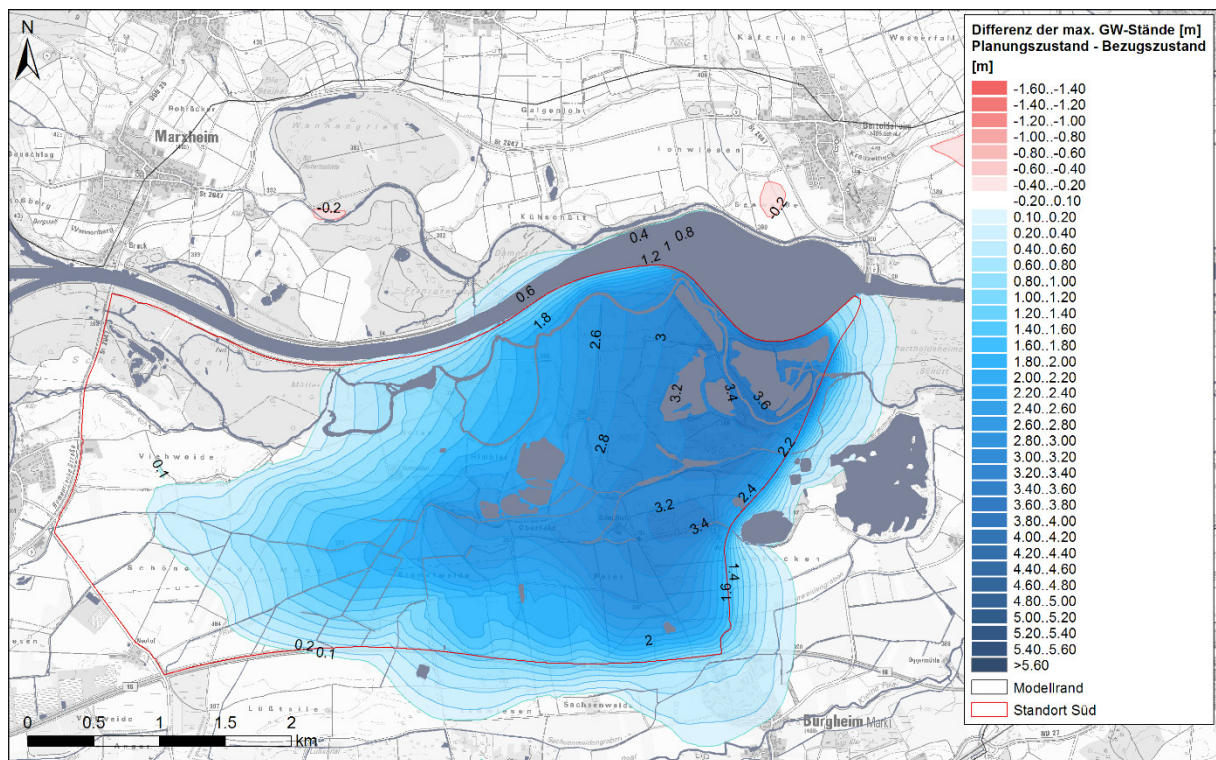


Abbildung 40: Differenz der maximalen Grundwasserstände beim lechbeton HQ200 bei einer Polderfüllung ohne Massnahmen zum Bezugszustand ohne Polder.

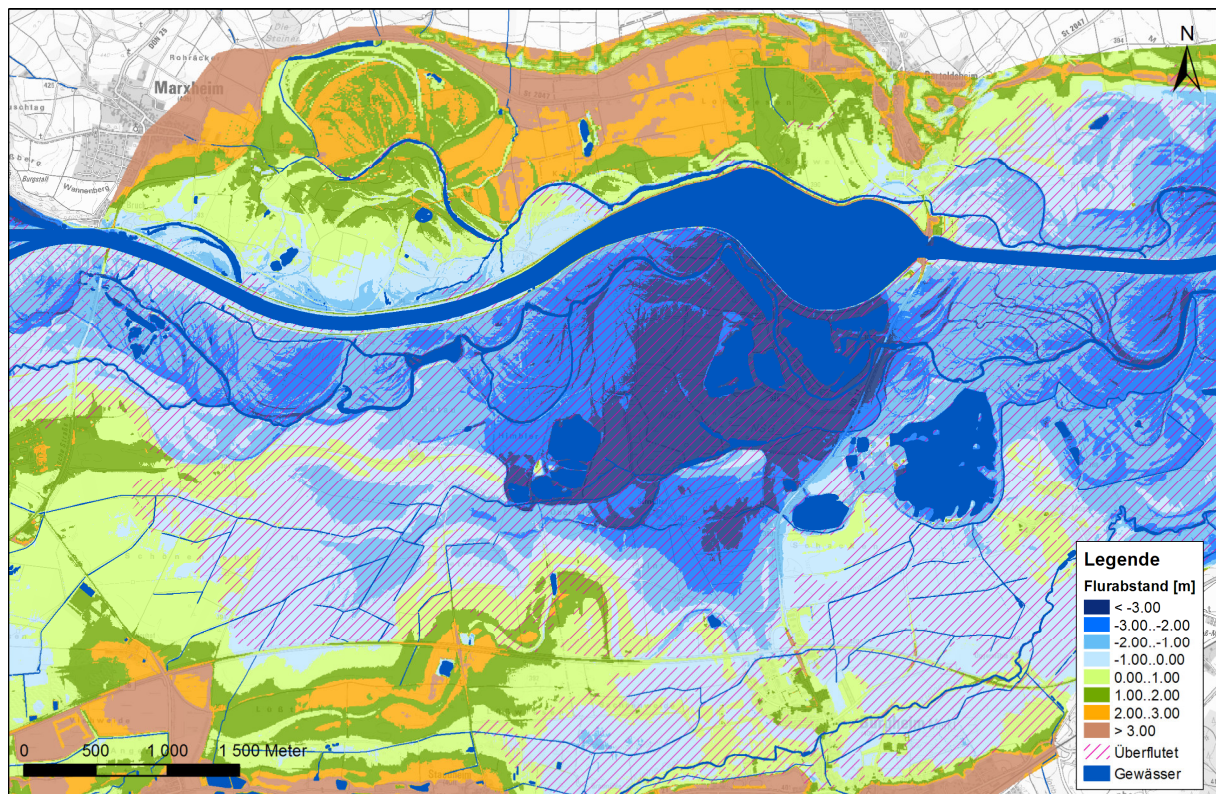


Abbildung 41: Minimaler Flurabstand beim donaubetonen HQ200 bei einer Polderfüllung ohne Massnahmen.

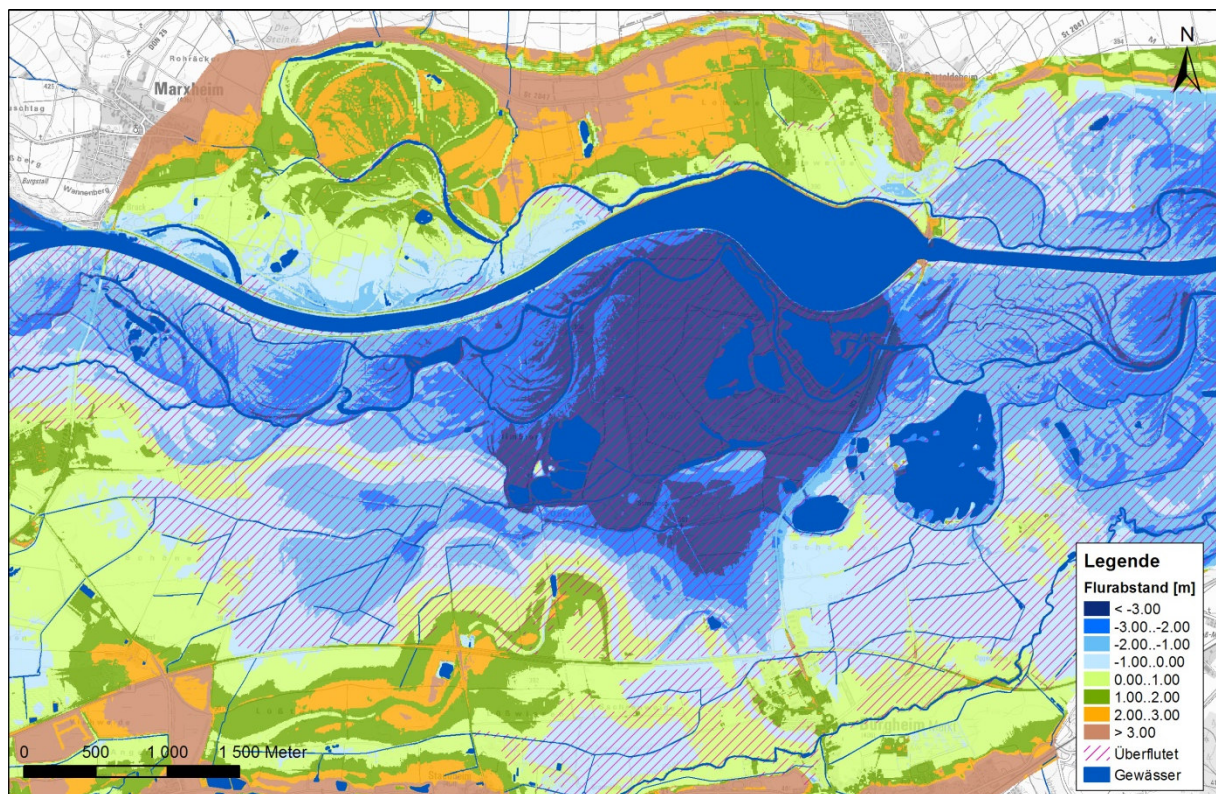


Abbildung 42: Minimaler Flurabstand beim lechbetonten HQ200 bei einer Polderfüllung ohne Massnahmen.

4.3.1 Massnahmen und resultierende Auswirkungen

Untersuchte
Massnahmen

Für den Standort Süd wurden folgende Massnahmen untersucht:

- Drainagegraben an der Südostecke des Polders
- Lange Dichtwand entlang der Süd- und Ostgrenze des Polders
- Kurze Dichtwand an der Südostecke des Polders

Optimierung

Die Variantenrechnungen ergaben, dass weder eine lange noch eine kurze Dichtwand zur Kontrolle des Grundwasserspiegels bei Polderfüllung ausreicht. Im Normalzustand führten zudem beide Dichtwandvarianten zu einem Grundwasseranstieg im Anstrom.

Ein kurzer Drainagegraben an der Südostecke ist zur Sicherung der Grundwasserstände bei Burgheim ausreichend. Es wurde deshalb auf die Untersuchung weiterer Massnahmenkombinationen verzichtet. Der Drainagegraben kann an den Sachsenweidengraben angeschlossen werden. Ein Pumpwerk ist nicht erforderlich. Das Gebiet östlich des Polders ist auch bei einem Poldereinsatz überflutet, da die in die Donau einmündenden Gewässer und deren Nebenzuflüsse aufgrund des hohen Donauwasserstandes zurückgestaut werden.

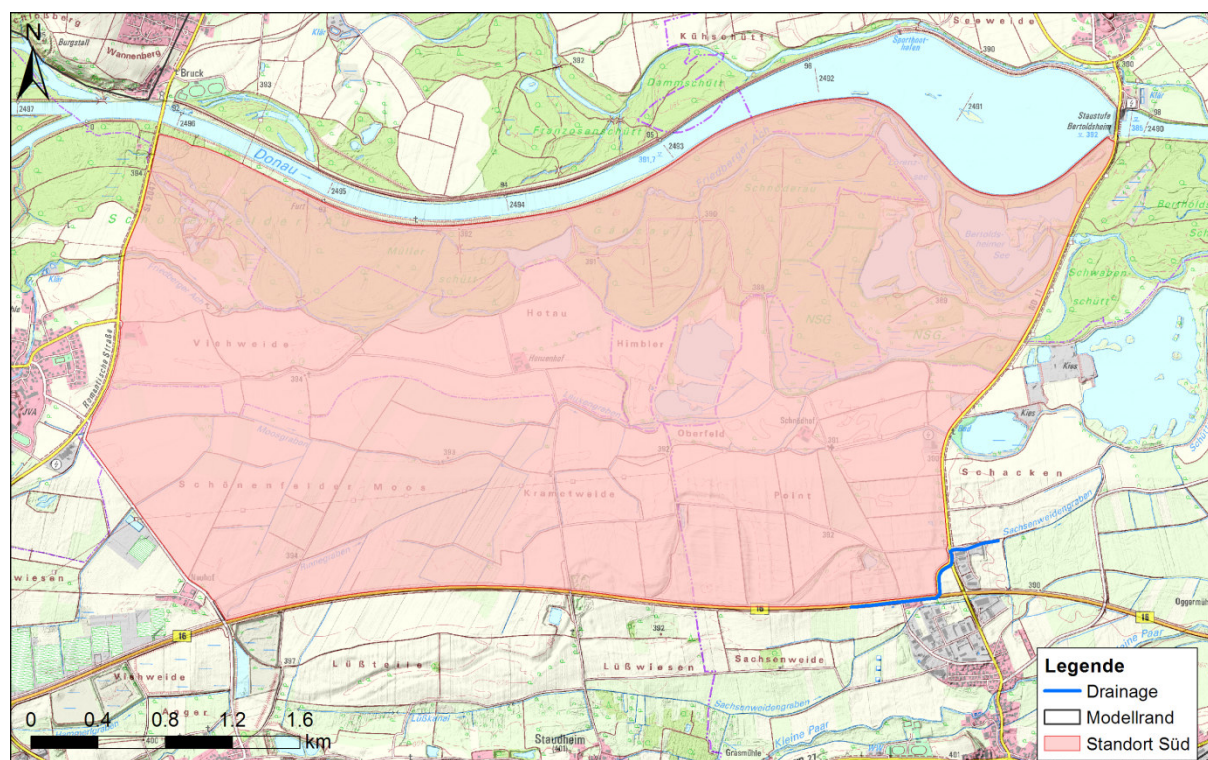


Abbildung 43: Lage der untersuchten Massnahmen bei Burgheim

Höhenlage der Drainage

Bezüglich der Höhenlage muss der Drainagegraben die folgenden Anforderungen einhalten:

- Im Zustand ohne Polderfüllung muss ein freier Abfluss in den Sachsenweidengraben möglich sein,
- Der Drainagegraben sollen ein Längsgefälle aufweisen (idealerweise mindestens 2 ‰),
- Die Drainage soll so hoch angeordnet werden, dass sie bei niedrigen Grundwasserständen keine Drainagewirkung aufweist,
- Sie soll so tief angeordnet werden, dass der Grundwasserstand bei Polderfüllung nicht höher ist als im Bezugszustand.

Geologische Situation

Abbildung 44 zeigt ein Längsprofil entlang der optimierten Drainage, zusammen mit den Schichten des hydrogeologischen Modells. Da praktisch keine Deckschicht vorhanden ist, ist die Verbindung zum Grundwasserleiter gewährleistet. Dies ist jedoch bei einer zukünftigen Deckschichterkundung zu überprüfen.

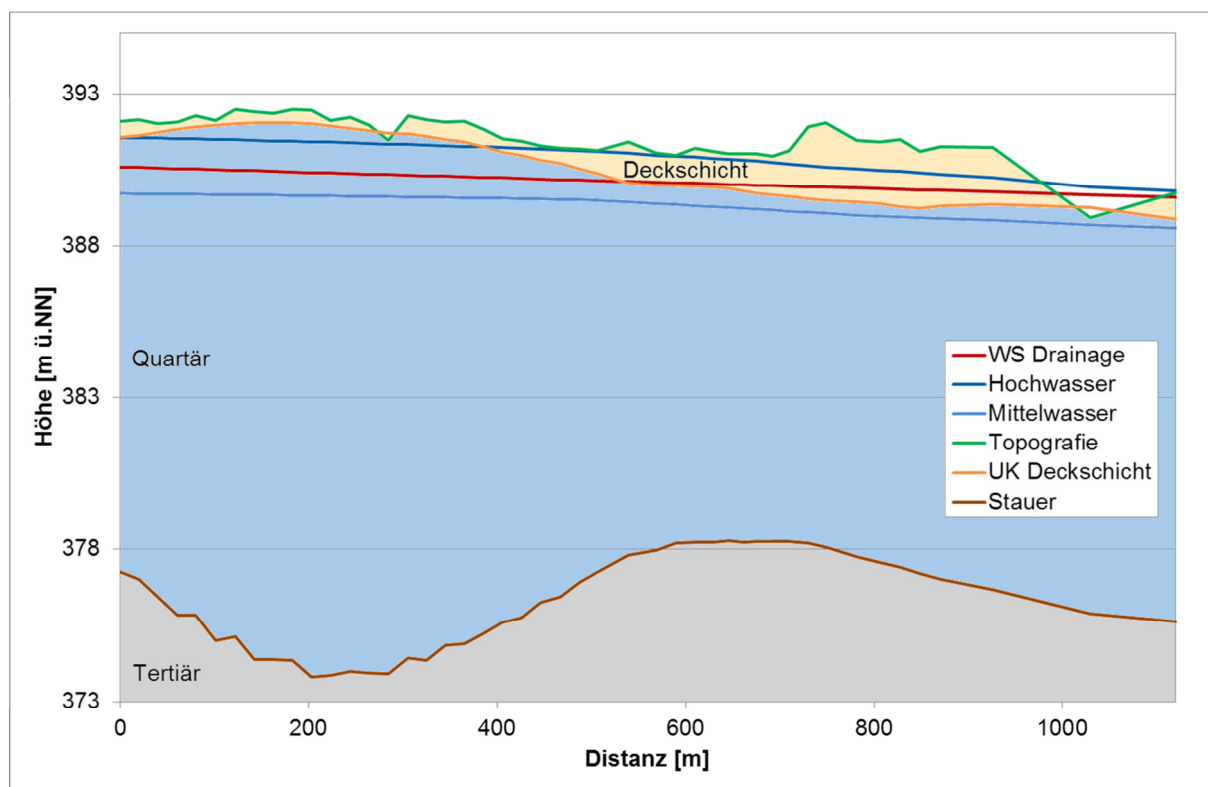


Abbildung 44:

Im Modell vorgegebener Wasserstand der Drainage in Bezug zu den Grundwasserständen des Bezugszustandes und den geologischen Schichtgrenzen.

Grundwasseranstieg

Abbildung 45 zeigt die Differenz der maximalen Grundwasserstände bei Füllung des Polders im Vergleich zum Bezugszustand ohne Polder bei Ausführung einer Drainage an der Südostecke des Polders. Der Grundwasseranstieg beschränkt sich auf unbesiedelte Gebiete.

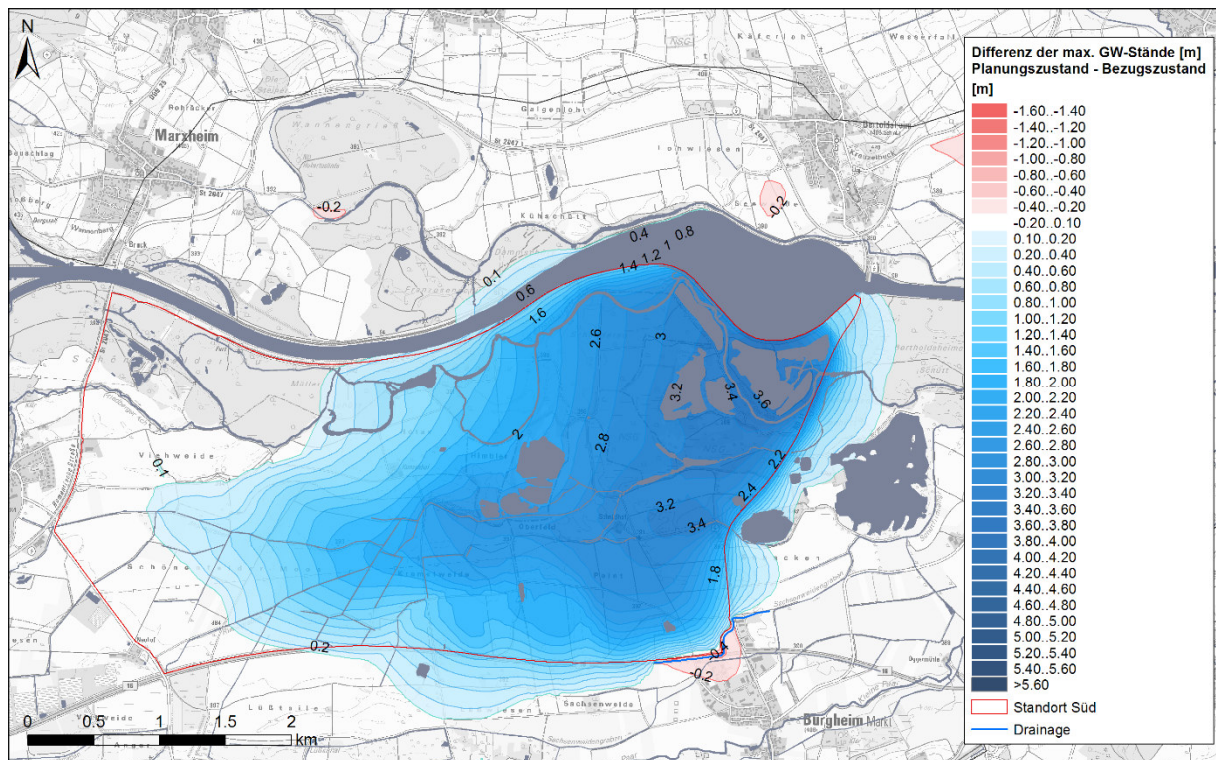


Abbildung 45: Differenz der maximalen Grundwasserstände beim lechbetonten HQ200 bei einer Polderfüllung mit Drainage zum Bezugszustand ohne Polder.

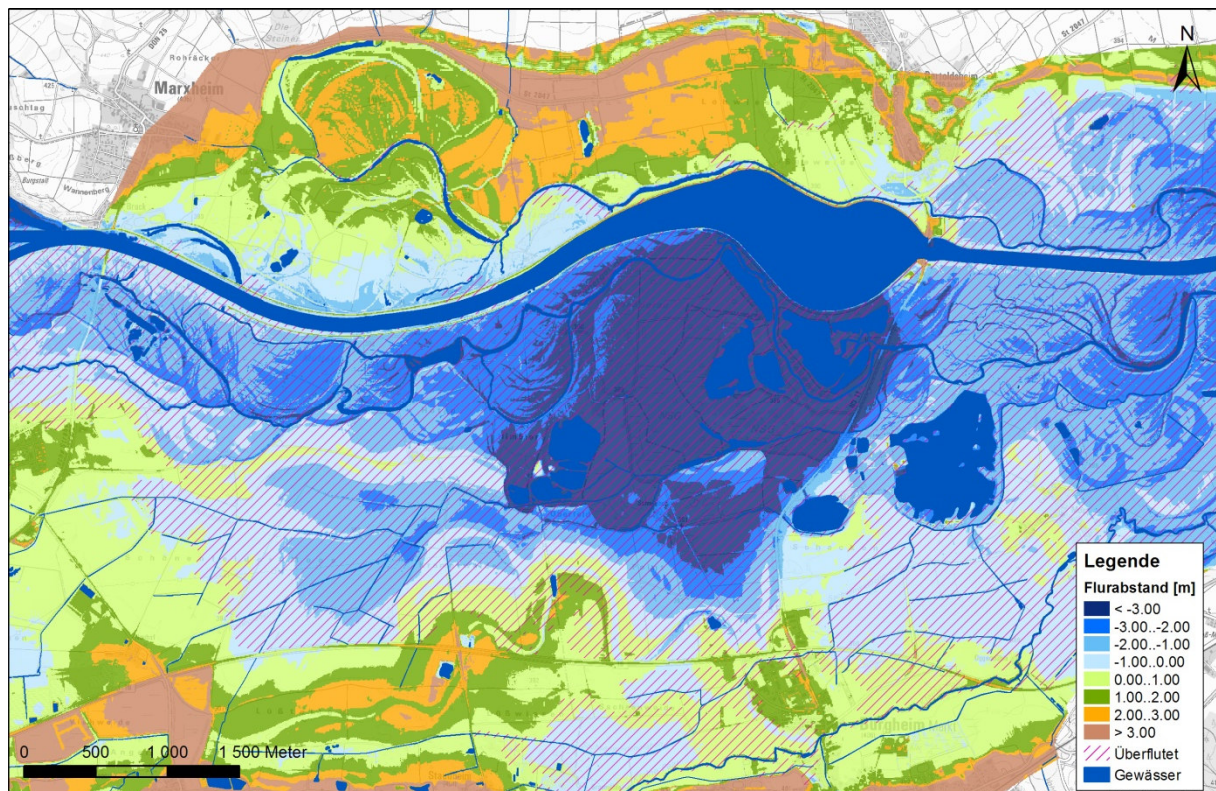


Abbildung 46: Minimaler Flurabstand beim lechbetonten HQ200 bei einer Polderfüllung mit Drainage an der Südostecke des Polders.

- Flurabstände** Die mit den vorgeschlagenen Massnahmen resultierenden minimalen Flurabstände bei Polderfüllung sind in Abbildung 46 dargestellt. Die Bereiche mit sehr kleinem Flurabstand beschränken sich auf die überfluteten Gebiete.
- Drainagemengen** Die mit dem Grundwassermodell berechneten Drainagemengen betragen etwa $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (Abbildung 47). Da infolge des Rückstaus in den Gewässern östlich des Polders der Grundwasserstand nach dem Hochwasser erst langsam absinkt, wirkt die Drainage auch nach dem Entleeren der Polder noch eine Weile.

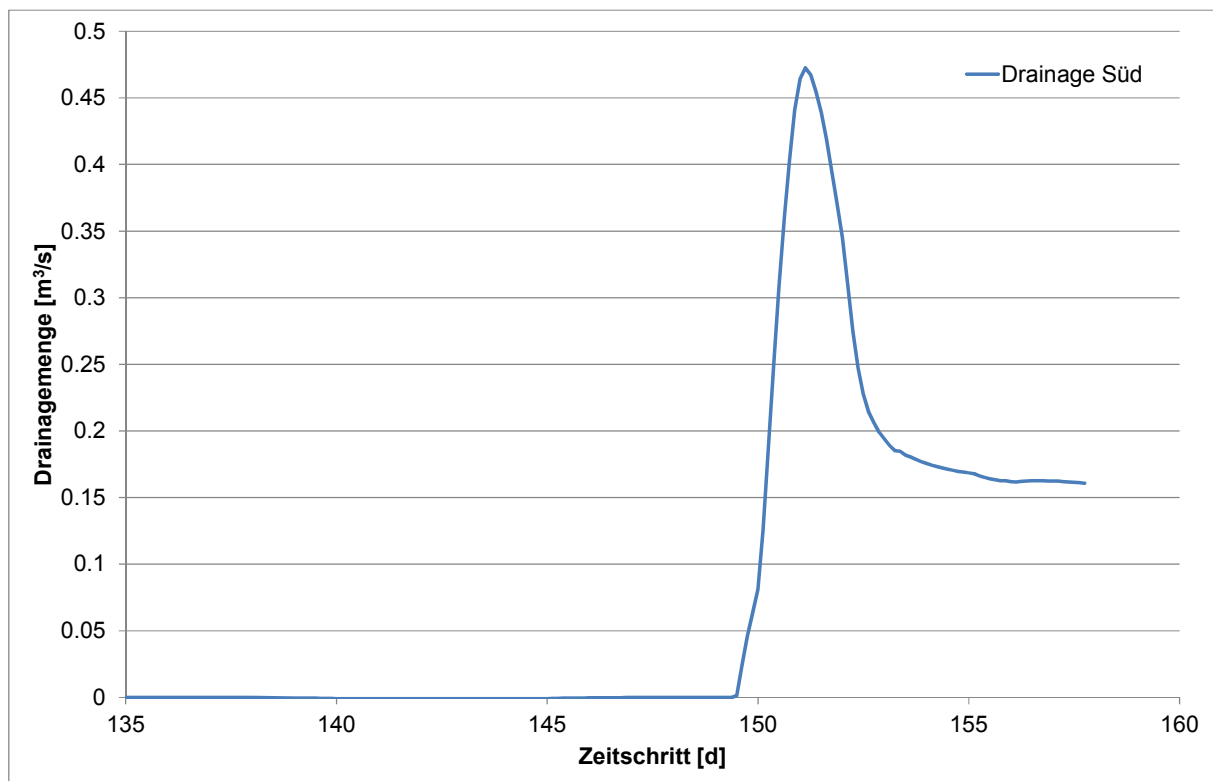


Abbildung 47: Berechnete Exfiltration in der Drainage an der Südostecke des Polders.

- Wasserbilanz** Bei der Füllung des Polders dringt Wasser in den Untergrund ein und füllt dort die noch vorhandenen Porenräume. Bei der Berechnung der Wasserstände im Polder mit dem hydraulischen Modell wurde dies vernachlässigt. Mit Hilfe einer Wasserbilanz über das Poldervolumen wird überprüft, ob diese Vereinfachungen gerechtfertigt sind.
- Darstellung** Abbildung 48 zeigt die Ganglinie der aufsummierten Bilanzanteile des Polders Süd. Die gelbe Linie zeigt die mit dem hydraulischen Modell berechnete Füllkurve des Polders (Summe der Differenz zwischen Abfluss mit und ohne Polder). Die rote Linie zeigt den Volumenbeitrag des Grundwassers. Er errechnet sich aus der aufsummierten Infiltration ins Grundwasser.

Die Darstellung zeigt, dass das Poldervolumen über die Infiltration ins Grundwasser um weniger 10% erhöht wird. Die oben genannte Vereinfachung liegt also auf der sicheren Seite und wirkt sich nicht wesentlich auf die Resultate der Hydraulik aus.

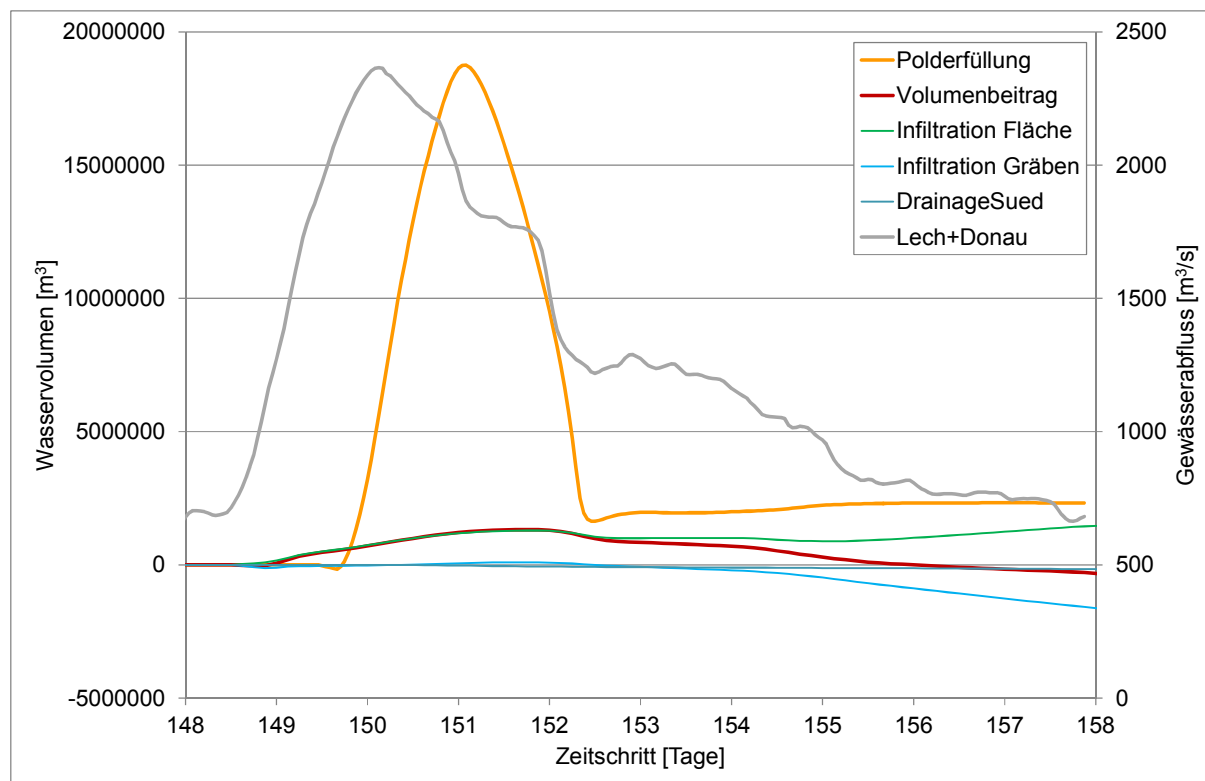


Abbildung 48: Wasserbilanz über das Volumen des Polders Süd.

4.3.2 Sensitivitätsanalyse

Grundwasserstand In der Sensitivitätsanalyse wurden die Modellparameter gemäss Kapitel 2.6 variiert. Von den acht untersuchten Fällen wurde jeweils die 10-cm-Grenze des Grundwasseranstieges ermittelt und davon die Umhüllende gezeichnet (Abbildung 33). Die äussere Grenze entspricht der ungünstigsten Parametervariation, die innere Grenze der günstigsten. In den meisten Fällen bilden die beiden Varianten „heterogener Kies“ und „längere Fülldauer“ die äussere Grenze.

Drainagemengen Die in den Drainagegräben anfallende Wassermenge wurde für alle Sensitivitätsfälle in Abbildung 50 dargestellt. Es zeigt sich, dass die Variante mit durchlässiger Deckschicht zu den höchsten Drainagemengen führt.

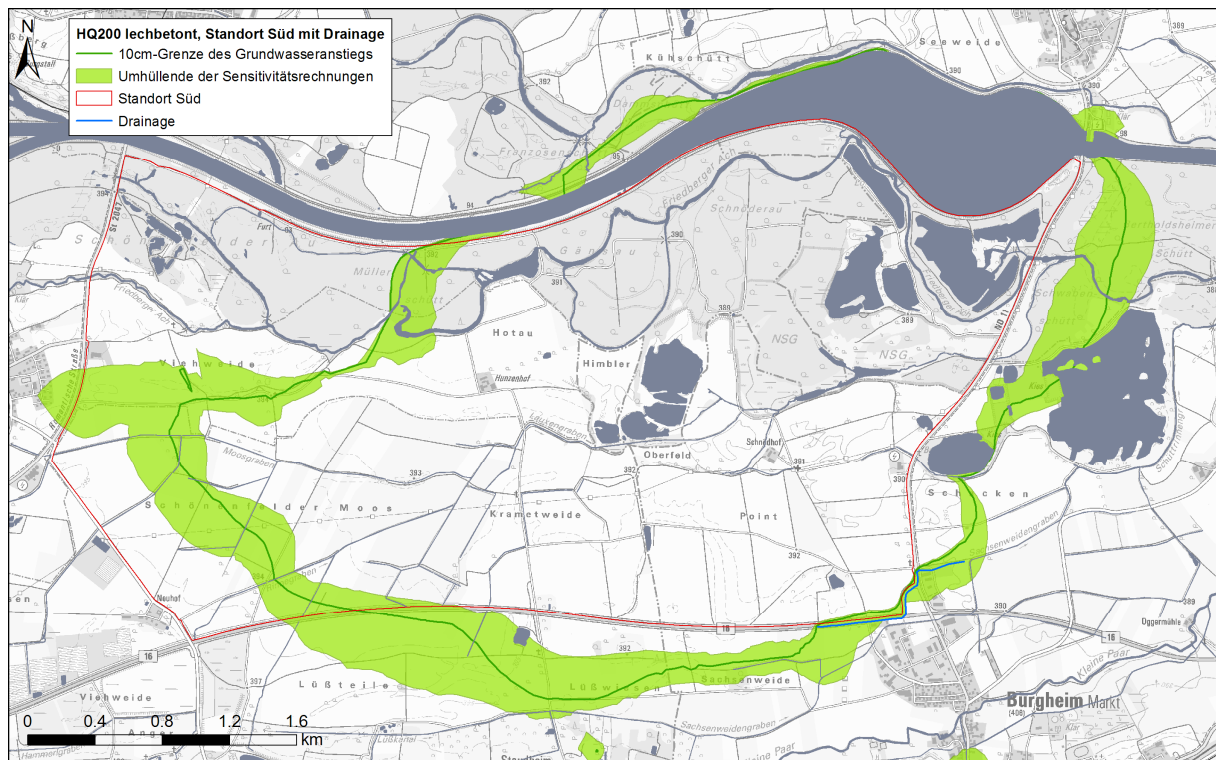


Abbildung 49: Umhüllende der 10-cm-Grenze des Grundwasseranstiegs aller berechneten Sensitivitätsfälle.

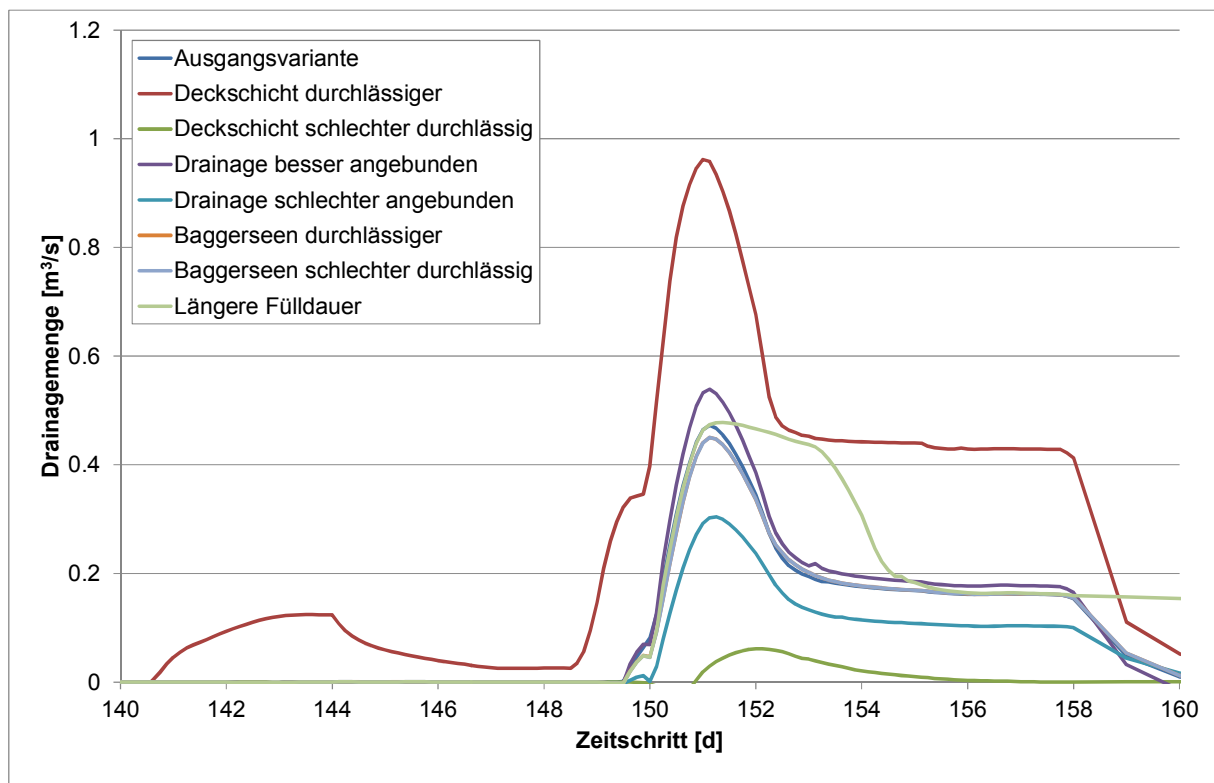


Abbildung 50: Sensitivität der Drainagemenge auf die Variation der Parameter.

5 Zusammenfassung

Grundwassermodell	An der bayerischen Donau sind gesteuerte Flutpolder zur Verzögerung und Abflachung von Hochwasserspitzen vorgesehen. Im Bereich östlich des Lech wurden die Standorte Nord und Süd als mögliche Flutpolderstandorte identifiziert. Für den Einflussbereich dieser Flutpolder wurde ein Grundwassermodell erstellt. Das Grundwassermodell besitzt zeitabhängige Randbedingungen, der Grundwasserspiegel wird als frei, resp. bei hohen Wasserständen als teilgespannt betrachtet. Es wurde an Grundwasserspiegelmessungen, sowie den Abflussmengen von Drainagegerinnen kalibriert und validiert.
Ziele	Mit Hilfe des Grundwassermodells wurden die Auswirkungen der beiden Flutpolderstandorte auf den Grundwasserspiegel quantifiziert. Die erforderlichen Massnahmen zur Beschränkung des Grundwasseranstiegs in besiedelten Gebieten wurden mit dem Modell konzipiert. Für Drainagen und Sicherungsbrunnen wurden die anfallenden Wassermengen errechnet.
Hochwasserfälle	Den Berechnungen wurden zwei Hochwasserwellen mit Wiederkehrintervallen von 200 Jahren (HQ200) zugrunde gelegt. Dabei ist eine der Wellen donaubetont, d.h. durch einen hohen Abfluss der Donau verursacht, die andere lechbetont, d.h. durch einen hohen Abfluss des Lech verursacht.
Bezugszustand	Bereits im Bezugszustand, also dem Zustand ohne die Polder, sind grosse Gebiete südlich und nördlich der Donau bei einem HQ200 überflutet. Ausserhalb der überfluteten Gebiete ist teilweise Qualmwasser zu erwarten.
Standort Nord	Wird am Standort Nord ein Flutpolder errichtet, so ist ohne weitere Massnahmen gegenüber dem Bezugszustand ein Anstieg des Grundwasserstandes in besiedelten Gebieten zu erwarten. Mit einer Drainage westlich und östlich des Polders kann dieser Anstieg verhindert werden. Das drainierte Wasser muss, zusammen mit dem dort anfallenden Oberflächenabfluss bestehender Gewässer, in den Flutpolder hinein gepumpt werden. Zusätzlich sind im Bereich der Kläranlage Marxheim und dem Sportplatz Bertoldsheim Sicherungsbrunnen erforderlich. Wahlweise könnten an diesen Stellen auch kurze, in die Tertiärschichten eingebundene Dichtwände angeordnet werden.
Standort Süd	Am Standort Süd sind bei Errichtung eines Flutpolders lediglich die tiefliegenden Ortsteile von Burgheim durch einen Grundwasseranstieg betroffen. Mit einer kurzen Drainage, welche in den Sachsenweidengraben entwässert, kann ein Grundwasseranstieg gegenüber dem Bezugszustand verhindert werden.

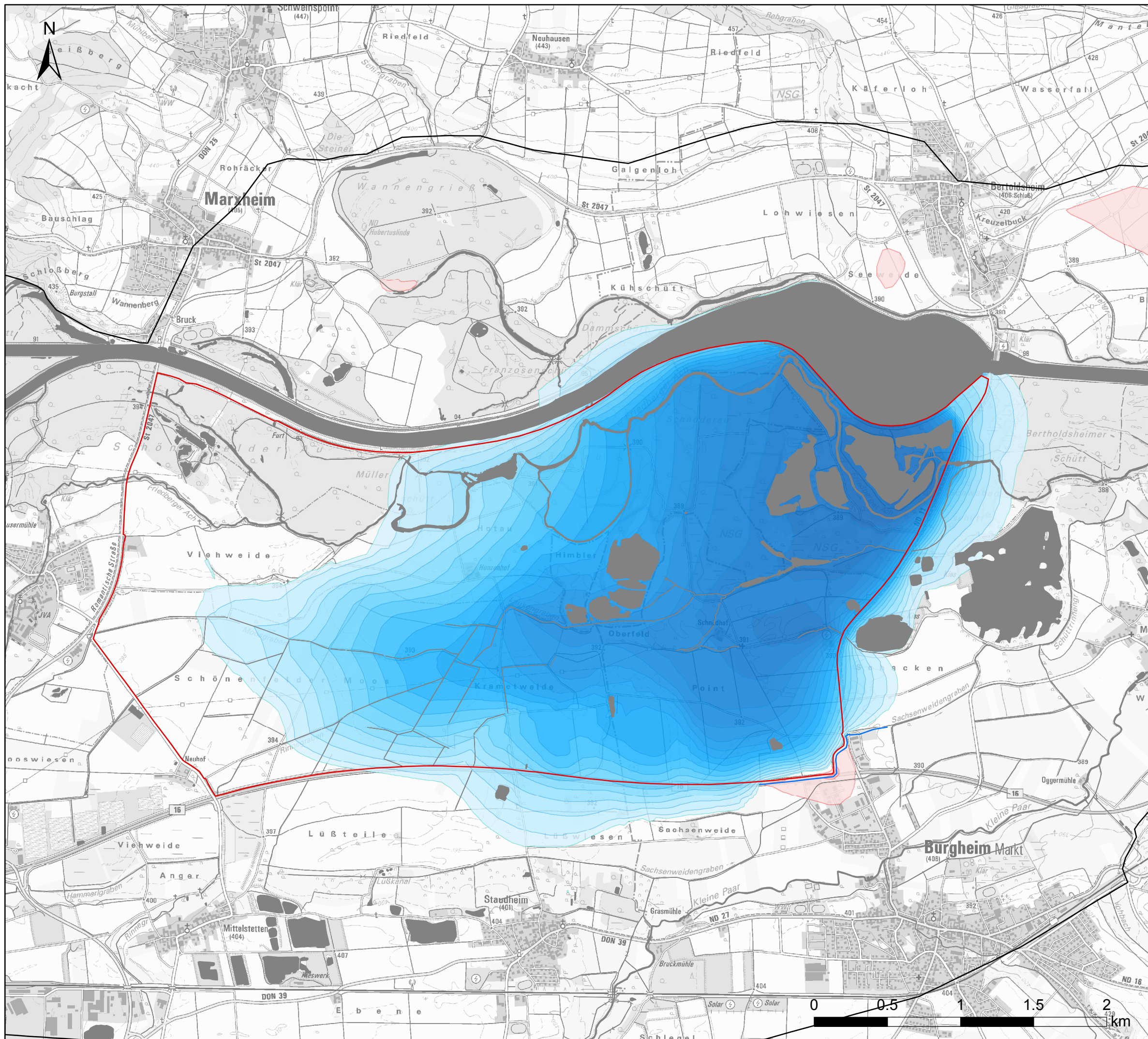
Unsicherheiten

Zur Quantifizierung der Unsicherheiten wurden umfangreiche Sensitivitätsuntersuchungen durchgeführt. Mit einer Monte-Carlo-Simulation wurde der Einfluss einer Inhomogenität der Kiesdurchlässigkeit untersucht. Die Untersuchungen zeigen, dass mit den vorgeschlagenen Massnahmen auch bei ungünstigen Annahmen der Parameterwerte nur ein geringfügiger Anstieg des Grundwasserstands gegenüber dem Bezugszustand zu erwarten ist.

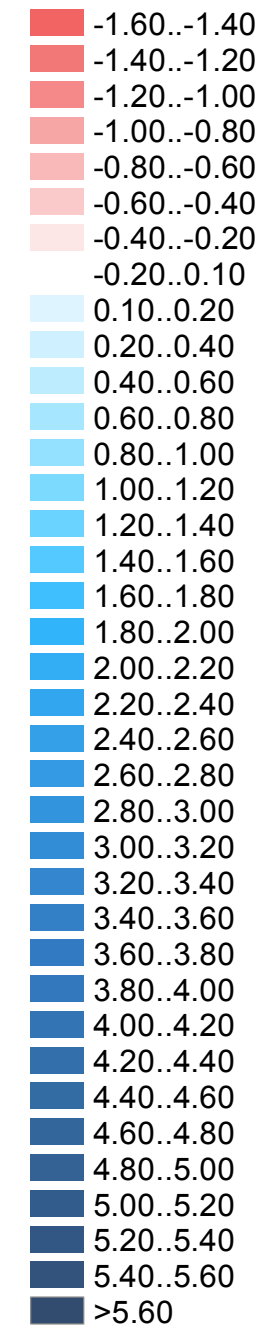
Die Unsicherheiten müssen in der weiteren Planung entweder durch genauere Erkundungen reduziert werden oder mit technischen Massnahmen, zum Beispiel mit einer erhöhten Leistung der Pumpwerke, berücksichtigt werden.

6 Literatur

- [1] ARGE Simultec –Geobüro Ulm (2019): Grundwassermodell Flutpolder Bertoldsheim: Hydrogeologisches Modell und Modellkonzepte. *Im Auftrag des WWA Ingolstadt*
- [2] ARGE Simultec –Geobüro Ulm (2019): Grundwassermodell Flutpolder Bertoldsheim: Modellaufbau und Kalibrierung. *Im Auftrag des WWA Ingolstadt*
- [3] Hochwasserabschätzungen in schweizerischen Einzugsgebieten, Praxishilfe (2003), *Bundesamt für Wasser und Geologie, Schweiz.*
- [4] KOSTRA-DWD-2000, Starkniederschlagshöhen in Deutschland (2005), *Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main.*



**Differenz der max. GW-Stände [m]
Planungszustand - Bezugszustand**



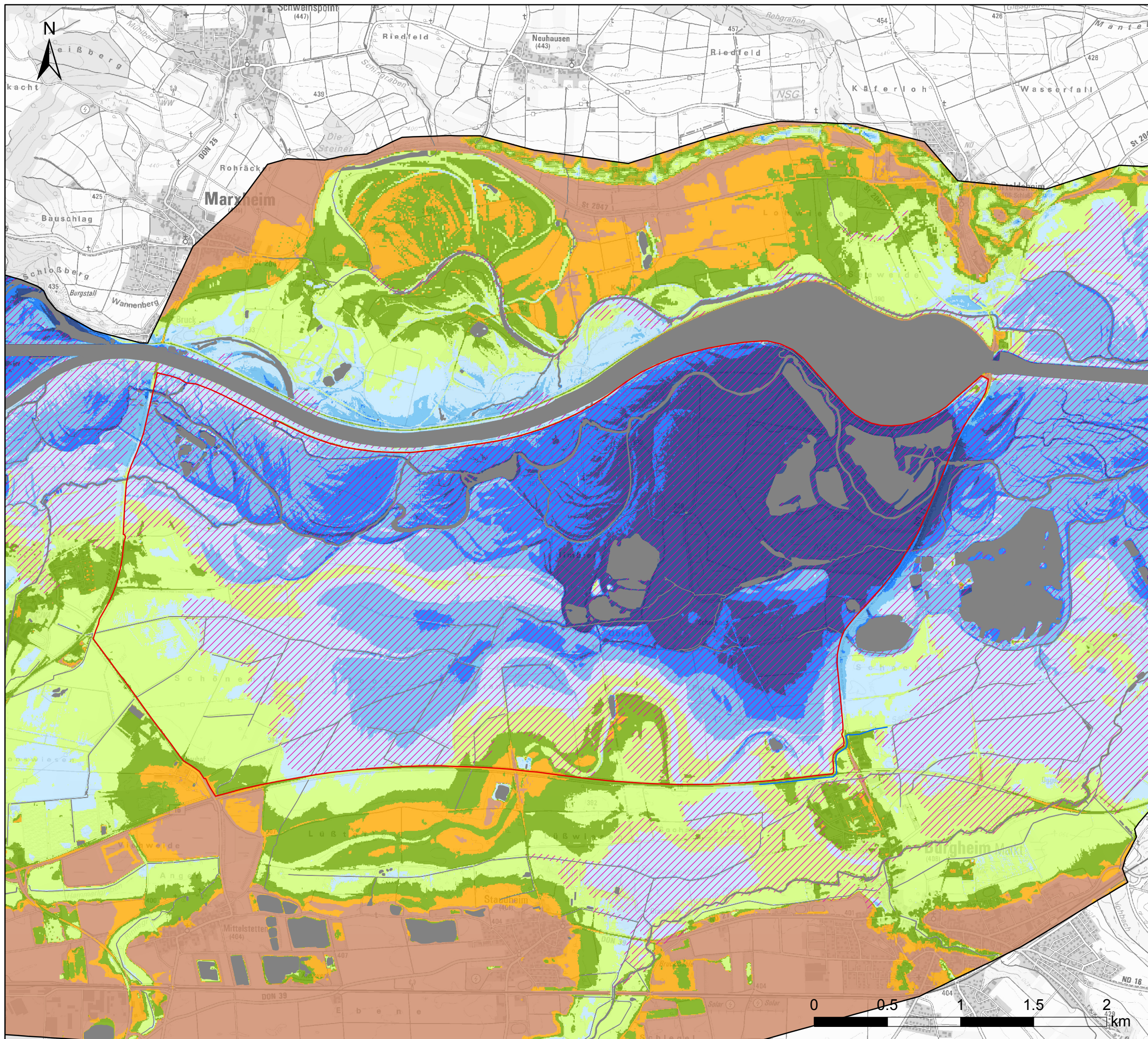
- Modellrand
- Standort Süd
- Drainage

Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt

Flutpolder Bertoldsheim
 Modelleinsatz, Anlage C
 Masstab 1:25'000

**HQ200 lechbetont, Polder Süd,
 Drainage**





Legende

Flurabstand [m]

- <math>< -3.00</math>
- 3.00..-2.00
- 2.00..-1.00
- 1.00..0.00
- 0.00..1.00
- 1.00..2.00
- 2.00..3.00
- > 3.00

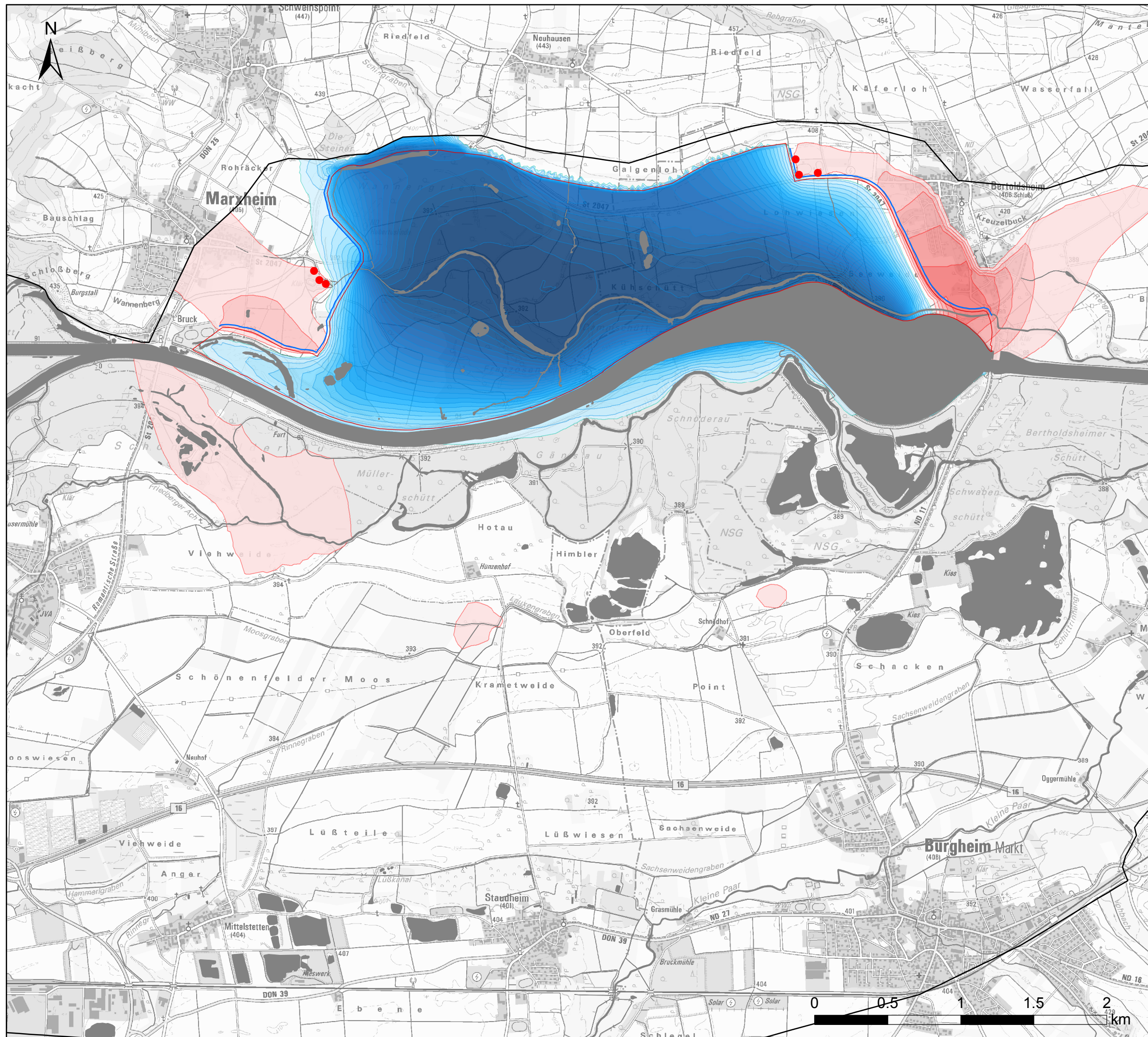
- Überflutet
- Modellrand
- Standort Süd
- Drainage

Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt

Flutpolder Bertoldsheim
 Modelleinsatz, Anlage D
 Masstab 1:25'000

**HQ200 lechbetont, Polder Süd,
 Drainage**





**Differenz der max. GW-Stände [m]
Planungszustand - Bezugszustand**

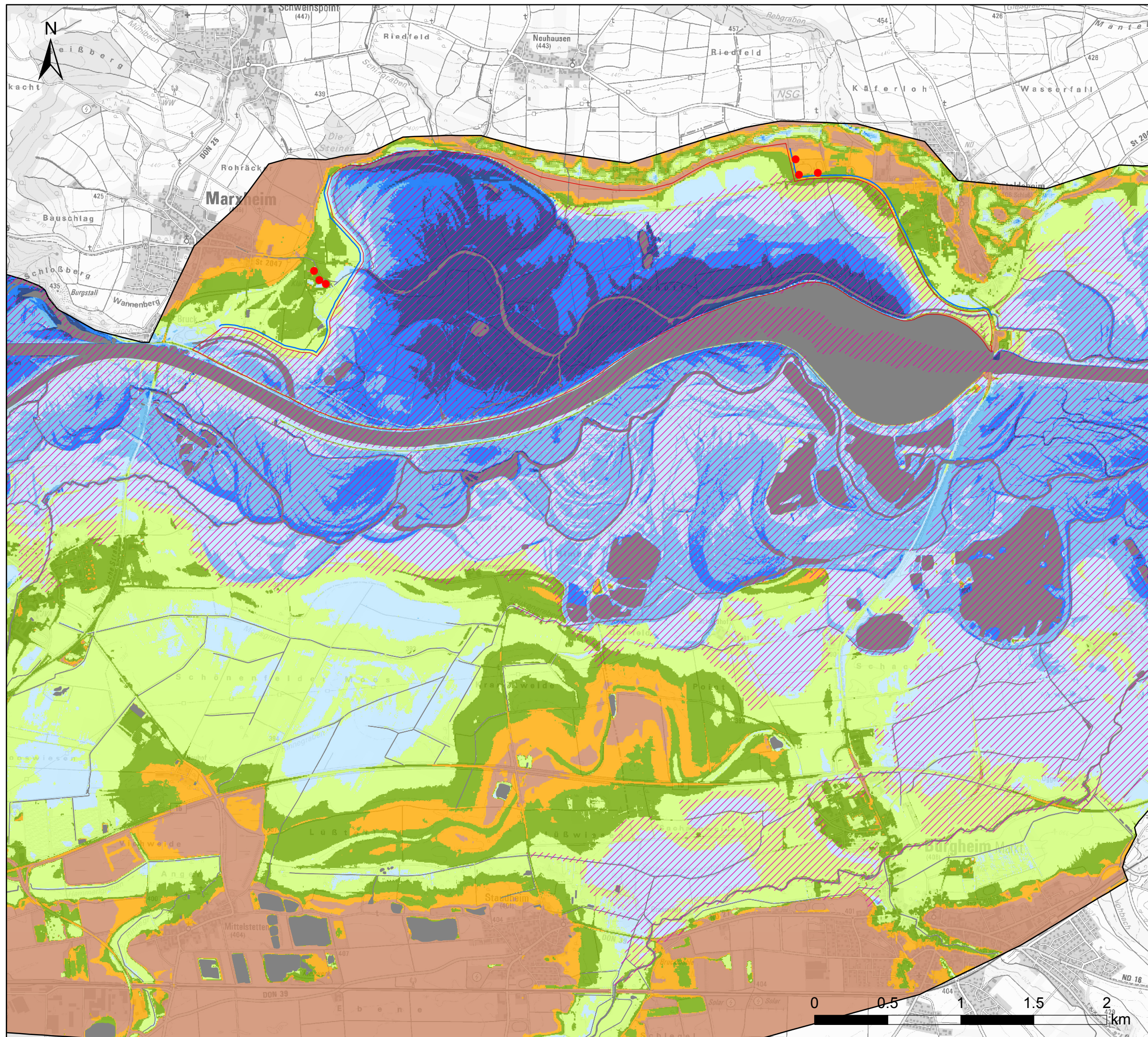
- 1.60..-1.40
- 1.40..-1.20
- 1.20..-1.00
- 1.00..-0.80
- 0.80..-0.60
- 0.60..-0.40
- 0.40..-0.20
- 0.20..0.10
- 0.10..0.20
- 0.20..0.40
- 0.40..0.60
- 0.60..0.80
- 0.80..1.00
- 1.00..1.20
- 1.20..1.40
- 1.40..1.60
- 1.60..1.80
- 1.80..2.00
- 2.00..2.20
- 2.20..2.40
- 2.40..2.60
- 2.60..2.80
- 2.80..3.00
- 3.00..3.20
- 3.20..3.40
- 3.40..3.60
- 3.60..3.80
- 3.80..4.00
- 4.00..4.20
- 4.20..4.40
- 4.40..4.60
- 4.60..4.80
- 4.80..5.00
- 5.00..5.20
- 5.20..5.40
- 5.40..5.60
- >5.60

- Modellrand
- Standort Nord
- Drainagen
- Sicherungsbrunnen

Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt

Flutpolder Bertoldsheim
 Modelleinsatz, Anlage A
 Masstab 1:25'000

**HQ200 lechbetont, Polder Nord,
 Drainage und Sicherungsbrunnen**



Legende

Flurabstand [m]

- < -3.00
- 3.00..-2.00
- 2.00..-1.00
- 1.00..0.00
- 0.00..1.00
- 1.00..2.00
- 2.00..3.00
- > 3.00

- Überflutet
- Modellrand
- Standort Nord
- Drainagen
- Sicherungsbrunnen

Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt

Flutpolder Bertoldsheim
 Modelleinsatz, Anlage B
 Masstab 1:25'000

**HQ200 lechbetont, Polder Nord,
 Drainage und Sicherungsbrunnen**