



Anlage 7.3

Grundwassermodell Flutpolder Eltheim und Wörthhof

Modelleinsatz Flutpolder Wörthhof

Mai 2022



Arbeitsgemeinschaft Simultec – tewag

Simultec AG, Hardturmstr. 261, CH-8005 Zürich, +41 44 563 86 20, www.simultec.ch

tewag GmbH, Blumenstr. 24, D-93055 Regensburg, +49 941 208633-60, www.tewag.de

Inhalt

1	Einleitung, Ziel	1
2	Methodik	1
2.1	Hochwasserganglinie	1
2.2	Berechnungszeitraum.....	2
2.3	Berücksichtigung von Überflutungsflächen im Modell.....	3
2.3.1	Randbedingung	3
2.3.2	Leakagewert.....	4
3	Beschreibung des Bezugszustandes	7
3.1	Wahl des Bezugszustandes	7
3.2	Beschreibung der Grundwasserverhältnisse	7
4	Auswirkungen des Flutpolders Wörthhof	10
4.1	Vorgehen.....	10
4.1.1	Massnahmen zur Kontrolle der Auswirkungen.....	10
4.1.2	Darstellung der Auswirkungen.....	11
4.2	Erkenntnisse des Variantenstudiums.....	11
4.3	Auswirkungen der gewählten Variante „Wörthhof gross“	12
4.4	Zeitlicher Verlauf des Grundwasserstandes	17
4.5	Wasserbilanz.....	21
4.6	Beregnungsbrunnen	22
4.7	Wasserwerk Giffa	23
4.8	Sensitivitätsuntersuchungen.....	24
4.8.1	Durchlässigkeit der Deckschicht.....	25
4.8.2	Wirksamkeit der Drainagen	26
4.8.3	Dauer der Polderfüllung.....	28
4.8.4	Heterogenität des Schotters	29
5	Zusammenfassung	33
6	Literatur	34

1 Einleitung, Ziel

Situation	Der Ministerrat hat das Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz beauftragt, das Flutpolderprogramm an der Donau mit den neun Standorten Leipheim, Helmeringen, Neugeschüttwörth, Bertoldsheim, Riedensheim, Großmehring, Katzau, Wörthhofgroß und Oberauer Schleife fortzuführen. Bei der Umsetzung des Flutpolderprogramms sind die Flutpolder Wörthhof (Baubeginn frühestens ab dem Jahr 2031) und Bertoldsheim (Baubeginn frühestens ab dem Jahr 2032) zeitlich als letztes zu realisieren.
Auftrag	Zur Quantifizierung des Einflusses auf die Grundwasserverhältnisse wurden ein hydrogeologisches Modell und darauf aufbauend ein Grundwassermodell für den Einflussbereich der Flutpolder Eltheim und Wörthhof erstellt.
Ziele	Mit dem Grundwassermodell wurden im Rahmen der Planung des Flutpolders Wörthhof die folgenden Ziele verfolgt: <ul style="list-style-type: none">- Berechnung der Auswirkungen des Flutpolderbetriebs auf die Grundwasserstände.- Quantifizierung der Auswirkungen auf das Trinkwasserwerk Giffa.- Optimierung der baulichen Massnahmen.
Berichtsumfang	Die Arbeiten werden mit drei Teilberichten dokumentiert: <ul style="list-style-type: none">- Hydrogeologisches Modell und Modellkonzepte- Modellaufbau und Kalibrierung- Modelleinsatz <p>Der vorliegende Teilbericht beschreibt den Modelleinsatz für den Flutpolder Wörthhof in der Variante „Wörthhof gross“.</p>

2 Methodik

2.1 Hochwasserganglinie

Allgemeine Methodik	Die Prognose der Auswirkungen erfolgt anhand von Berechnungen mit dem numerischen Grundwassermodell. Dabei wird als erstes ein Bezugszustand gerechnet, welcher ohne Polder eintreten würde. Als zweites werden die Grundwasserverhältnisse unter der Annahme einer Polderfüllung prognostiziert. Die Auswirkungen ergeben sich aus der Differenz der Prognose mit Polderfüllung zum Bezugszustand ohne Polderfüllung.
Bemessungsganglinie	Für die hydraulische Bemessung der Flutpolder wurde beim LfU eine Abflussganglinie der Donau erzeugt, welche eine Abflussspitze entsprechend einem HQ150 aufweist. Diese Ganglinie wurde auch dem Grundwassermodell zugrunde gelegt. Da das Grundwassermodell einen längeren Vorlauf und Nachlauf benötigt, wurde diese Ganglinie

in die Abflussganglinie des Jahres 2013 an Stelle des Juni-Hochwassers eingesetzt (Abbildung 1).

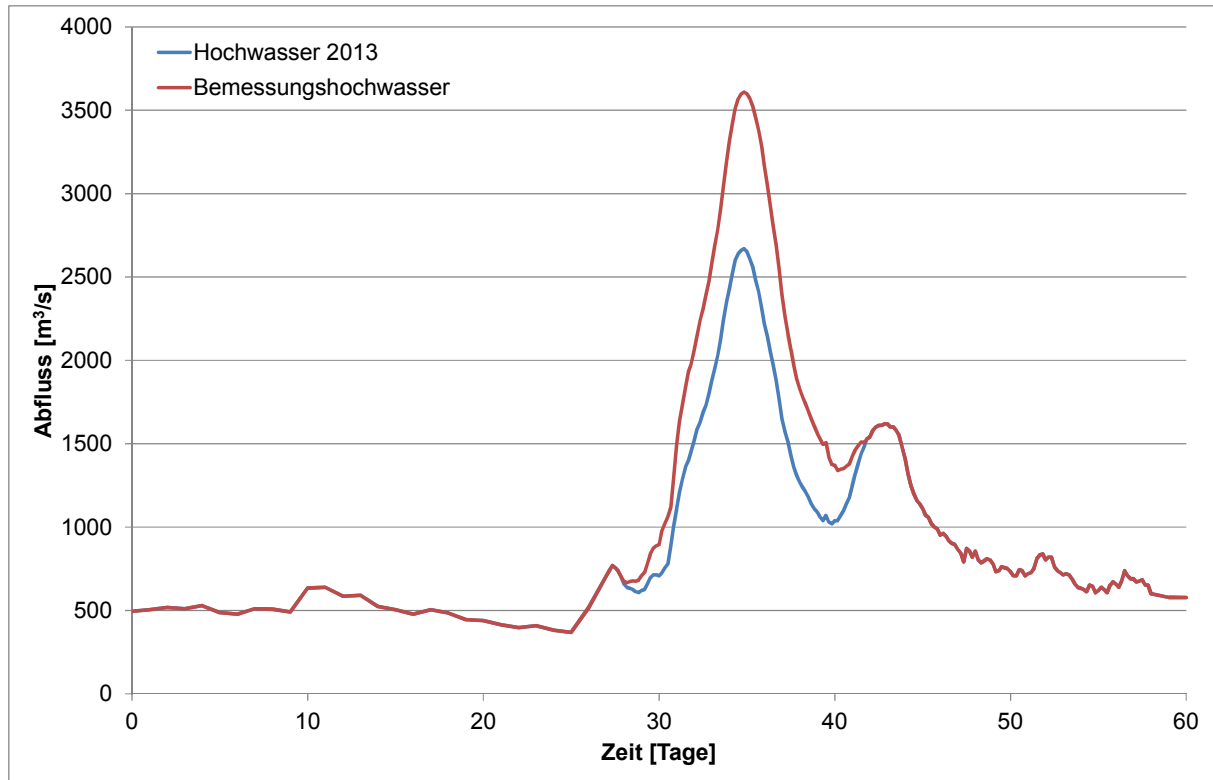


Abbildung 1: Ganglinien des Bemessungshochwassers und des Hochwassers 2013.

Kappung

Die Beeinflussung der Hochwasserganglinie (Kappung) durch die Polderfüllung wurde im hydraulischen Modell berechnet. Im Grundwassermodell wird für den Donauabschnitt oberhalb der Staustufe Geisling die in Abbildung 1 gezeigte Ganglinie (Bemessungshochwasser) als Randbedingung vorgegeben. Unterhalb der Staustufe unterscheiden sich Prognose und Referenz. Während bei der Prognose mit einer gekappten Hochwasserspitze gerechnet wird, muss im Bezugszustand von einer unveränderten Ganglinie ausgegangen werden. Dabei wird angenommen dass das HQ150 beim Bezugszustand innerhalb der bestehenden Deiche abgeführt werden kann.

2.2 Berechnungszeitraum

Anforderungen

Der Berechnungszeitraum des hydraulischen Modells beträgt 12 Tage. Aus folgenden Gründen ist für die Grundwassermodellierung ein längerer Berechnungszeitraum erforderlich:

- Massnahmen zur Kontrolle des Grundwasserstands während der Polderfüllung können auch Auswirkungen zu den übrigen Zeiten zur Folge haben. Zur Quantifizierung dieser Auswirkungen soll ein Zustand mit mittleren Verhältnissen im Berechnungszeitraum enthalten sein.

- Bei der Ausscheidung von Grundwasserschutzzonen ist eine Fließzeit von 50 Tagen massgebend. Der Berechnungszeitraum soll deshalb mehr als 50 Tage umfassen.
- Die Reaktion des Grundwasserstands auf die Polderfüllung erfolgt verzögert. Der Berechnungszeitraum soll deshalb noch eine Zeitdauer von ca. 20 Tagen nach der Polderentleerung beinhalten.

Zeitraum	Für die Berechnungen wird ein Zeitraum von 60 Tagen Länge verwendet, wobei Polderfüllung und Entleerung im Zeitraum zwischen dem 30. und dem 40. Tag stattfinden. Da das Bemessungshochwasser anstelle des Junihochwassers 2013 in die Abflussganglinie der Donau eingesetzt wurde, entspricht dies dem Zeitraum vom 1. Mai bis zum 30. Juni 2013.
Übrige Randbedingungen	Das Grundwassermodell enthält neben der Donaurandbedingung auch noch andere, von den klimatischen Verhältnissen abhängige Randbedingungen wie zum Beispiel Grundwasserneubildung aus Niederschlag, Seitenzuflüsse oder Wasserstände anderer Gewässer. Diese Randbedingungen sollten für eine Hochwassersituation typische Werte aufweisen. Die klimatischen Verhältnisse des Berechnungszeitraums erfüllen diese Bedingung.

2.3 Berücksichtigung von Überflutungsflächen im Modell

2.3.1 Randbedingung

Bezugszustand	Die Flächen des geplanten Flutpolders liegen hinter den heutigen Deichen und werden bei Hochwasserereignissen nicht geflutet. Während eines Hochwasserereignisses steigt der Grundwasserstand auch in diesem Bereich stark an und es kann zu Qualmwasseraustritten kommen.
Qualmwasser-Randbedingung	Im Grundwassermodell ist die Polderfläche mit einer Cauchy-Randbedingung belegt. Dabei wird die Topografie als Potential vorgegeben. Der Leakagewert für den Eintritt ins Modell wird zu Null gesetzt, der Leakagewert für den Austritt aus dem Modell erhält einen Wert grösser Null. Damit wird erreicht, dass die Randbedingung nur aktiv wird, wenn die Potentialhöhe des Grundwassers über die Topografie ansteigt.
Planungszustand	Zur Berechnung der Auswirkungen im Planungszustand wird das Grundwassermodell innerhalb der Flutpolderfläche mit dem hydraulischen 2D-Modell gekoppelt. Die Flutung des Polders wird im Grundwassermodell mit einer Cauchy-Randbedingung berücksichtigt, da die Deckschicht einen Widerstand gegen die Durchströmung 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. Der Leakagewert für den Austritt aus dem Modell wird für die Zeit der Überflutung zu Null gesetzt. Während der restlichen Berechnungszeit erhalten die im Überflutungsbereich liegenden Knoten eine Qualmwasser-Randbedingung.

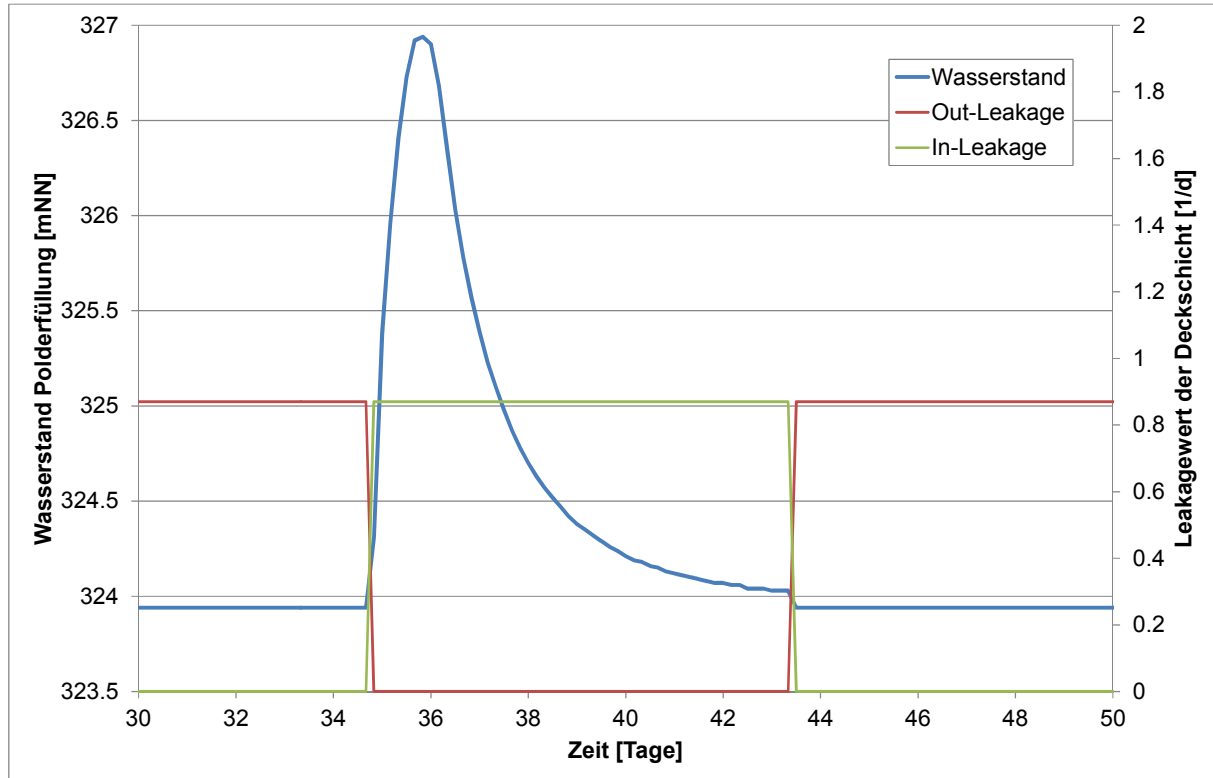


Abbildung 2: Verlauf des vorgegebenen Wasserspiegels der Polderfüllung und der In- und der Out-Leakage der Deckschicht.

2.3.2 Leakagewert

Bedeutung

Für die numerischen Berechnungen wurde FEFLOW in der Version 6.2 eingesetzt. FEFLOW ist ein Softwarepaket zur Berechnung von Wasserströmung, Massen- und Wärmetransport in porösen Medien. In FEFLOW ist der Leakagewert eigentlich für die Anwendung von Gewässern in Form von Linien gedacht. Die zum Modell zu- resp. vom Modell abströmende Wassermenge errechnet sich aus der Differenz zwischen vorgegebenem Randpotential und berechnetem Grundwasserstand, dem Leakagewert und der Länge der an zwei benachbarte Leakage-Knoten angrenzenden Seiten.

$$Q = (H_P(t) - H_{GW}(t)) \times f_{LEAK}(t) \times L$$

Q: Zugegebene oder entnommene Wassermenge [m³/Tag].

H_P: Wasserspiegel [mNN].

H_{GW}: Grundwasserstand [mNN].

f_{LEAK}: Leakagewert [m/Tag].

L: Länge der zugeordneten Elementseiten [m].

Überflutung

Von einer Überflutung sind jedoch mehrere Knoten in der Fläche betroffen. Wird die Überflutung mit einer Cauchy-Randbedingung berücksichtigt, so ist der berechnete Zufluss zum Modell abhängig von der Gesamtlänge aller im Überflutungsgebiet liegenden Seiten. Der Zufluss ist daher abhängig von der Netzfeinheit des Modells, da die Summe der Seitenlängen umso grösser ist, je kleiner die Elemente sind. Um bei unterschiedlicher Elementgrösse einen räumlich konstanten Zuflusswiderstand zu erhalten müssen also allen Elementen individuelle Leakagewerte zugeordnet werden.

Berechnung

Zur Berechnung der Leakagewerte wird die Mächtigkeit der Deckschicht und deren Durchlässigkeit beigezogen. Mit nachfolgender Formel errechnet sich der Leakagewert eines finiten Elementes in Abhängigkeit seiner Fläche und der angrenzenden Seitenlängen.

$$f_{LEAK} = \frac{A \times k_f_{DECK} \times 86400}{(s_1 + s_2 + s_3) \times M_{DECK}}$$

A: Dreiecksfläche [m²]

s₁, s₂, s₃: Längen der Dreiecksseiten [m]

86400: Anzahl Sekunden pro Tag [s/Tag]

k_{f DECK}: Durchlässigkeit der Deckschicht [m/s]

M_{DECK}: Mächtigkeit der Deckschicht [m]

Zuordnung

Da FEFLOW jeweils die Leakagewerte den angrenzenden Seiten, und diese wiederum den angrenzenden Knoten zuordnet, wird die Deckschichtdurchlässigkeit schlussendlich den Eckknoten zugeordnet. In jedem Knoten wird jeweils ein Drittel der Deckschichtdurchlässigkeit der angrenzenden Elemente erfasst (Abbildung 3).

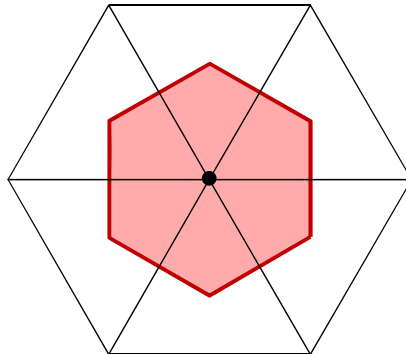


Abbildung 3:

Dem Leakage-Knoten zugeordnete Elementfläche

**Deckschicht-
durchlässigkeit**

Bei der Erkundung der Polderbereiche wurden Deckschichten mit einer Mächtigkeit zwischen 0.7 und 4 m angetroffen. Die Körnigkeit des Materials reicht dabei von Feinsand bis zu Ton. Bei 4 Infiltrationsversuchen mit dem Doppelringinfiltrimeter, sowie Korngrössenanalysen wurden Durchlässigkeitswerte von 1×10^{-8} m/s bis 1×10^{-5} m/s ermittelt. Für die Modellierung wird ein Wert von 1×10^{-6} m/s angenommen. Die Unsicherheiten werden mit Sensitivitätsanalysen abgedeckt.

Deckschicht-
mächtigkeit

Abbildung 4 zeigt die im Modell verwendete Deckschichtmächtigkeit. Eine besonders grosse Deckschichtmächtigkeit wurde im Bereich des Wörthhofs erhöht, eine geringe Deckschichtmächtigkeit ist im Bereich von Kiefenholz, sowie im östlichen Teil des geplanten Flutpolders zu erwarten.

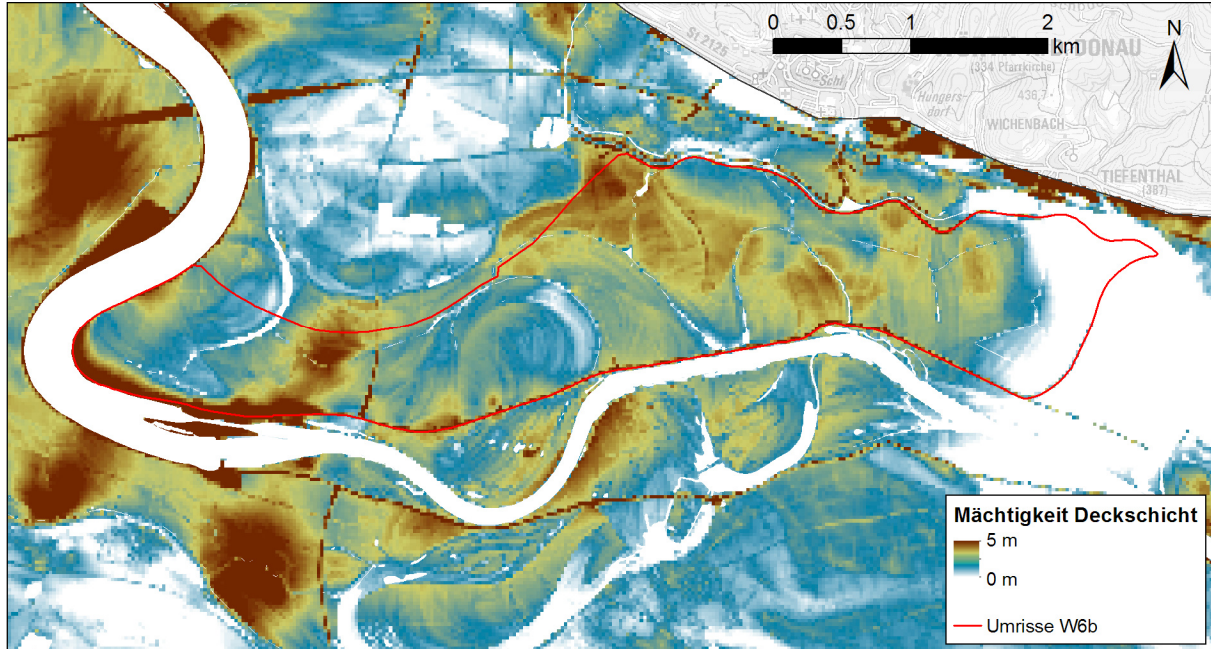


Abbildung 4: Mächtigkeit der Deckschicht im Gebiet des Flutpolders Wörthhof

Gewässer

Drainagen

Innerhalb des Flutpolders wurden Gewässer angelegt, welche zur Drainage des Grundwassers bei hohen Wasserständen dienen. Die Wasserspiegel im Bereich dieser Drainagen werden während der Berechnungszeit des hydraulischen Modells ebenfalls aus dem hydraulischen Modell entnommen. Im Grundwassermodell werden die Gewässer als Linien betrachtet. Der zugeordnete Leakagewert bezieht sich deshalb auf eine Linie und nicht wie bei der Überschwemmungsfläche auf eine Fläche. Dies soll auch im Überschwemmungsfall so bleiben. Die Gewässerrandbedingungen müssen deshalb jeweils mit einem Knoten ohne Randbedingungen von den Überflutungsknoten getrennt werden.

Leakagewerte

Die Leakagewerte für Infiltration und Exfiltration entlang der Gewässer werden während der Überflutungszeit als unverändert betrachtet. Während der Überflutung wird für die Infiltration ein Leakagewert vorgegeben, welcher dem kalibrierten Wert für die Exfiltration entspricht.

3 Beschreibung des Bezugszustandes

3.1 Wahl des Bezugszustandes

Bestehende Nachbildungen	Zur Kalibrierung des Grundwassermodells wurden die Zeiträume 1976 - 1977, 1988 - 1989, 1997 - 1999 und 2009 nachgebildet. Der Zeitraum von 1990 - 1996 diente zur Validierung des Modells. Im Rahmen der Arbeiten zur Quantifizierung der Auswirkungen der Staustufen, zur Nachbildung von Hochwasserständen und zur Modellpflege wurde der Nachbildungszeitraum erweitert, so dass über die Zeiträume von 1970 bis 1977 und 1984 bis 2021 insgesamt Nachbildungen über 45 Jahre vorliegen.
Entwicklung	Die Staustufe Geisling wurde Anfang 1986 in Betrieb genommen, die Staustufe Straubing im Jahr 1995. Seit diesem Zeitpunkt wurden keine wesentlichen Eingriffe mehr in die Grundwasserverhältnisse vorgenommen. Kleinere Eingriffe waren die Renaturierung der Pfatter im Jahr 2002 und die laufende Kiesausbeutung im Bereich der Niederterrasse. Letztere findet jedoch nicht im Auswirkungsbereich des Flutpolders statt. Anhand der abnehmenden Pumpmengen im Schöpfwerk Auburg kann zudem seit dem Aufstau der Staustufe Geisling eine abnehmende Sohlendurchlässigkeit der Donau festgestellt werden. Dies ist eine Folge der Ablagerung von Feinsedimenten im Stauraum.
Festlegung	Im Jahr 2013 gab es zum bisher letzten Mal ein markantes Donauhochwasser. Die in diesem Jahr gemessenen Querprofile wurden zur Bestimmung der Wasserstände in der Donau verwendet. Das Jahr 2013 eignet sich deshalb besonders gut zur Festlegung eines Bezugszustandes. Wie im Kapitel 2.1 beschrieben, wurde das reale Donauhochwasser zur Erzeugung des Bezugszustandes durch das Bemessungshochwasser ersetzt.

3.2 Beschreibung der Grundwasserverhältnisse

Grundwasserherkunft	Das Grundwasser im Gebiet des geplanten Flutpolders Wörthhof stammt grösstenteils vom Talhang resp. wird durch Infiltration aus den dort in die Talebene mündenden Gewässern gebildet. Der geplante Flutpolder erstreckt sich über eine längere Distanz und grenzt hauptsächlich an den unterhalb der Staustufe Geisling liegenden Donauabschnitt. Die Donau wirkt in diesem Abschnitt bei Nieder- und Mittelwasser als Vorfluter (Abbildung 5), bei Hochwasser erfolgt kurzfristig eine Strömungsumkehr (Abbildung 6).
Flurabstand	Abbildung 7 und Abbildung 8 zeigen den Flurabstand des Grundwasserpotentials bei Niederwasser- und bei Hochwasserstand. Bei Hochwasserstand liegt das Grundwasserpotential in weiten Teilen des geplanten Flutpolders auch im Bezugszustand über der Geländehöhe. Dies heisst nicht zwingend, dass das Grundwasser über der Geländeoberfläche ansteht, sondern lediglich, dass es unter der Deck-

schicht artesisch gespannt ist. Dies kann, abhängig von der Durchlässigkeit der Deckschicht, zu Qualmwasseraustritten führen.

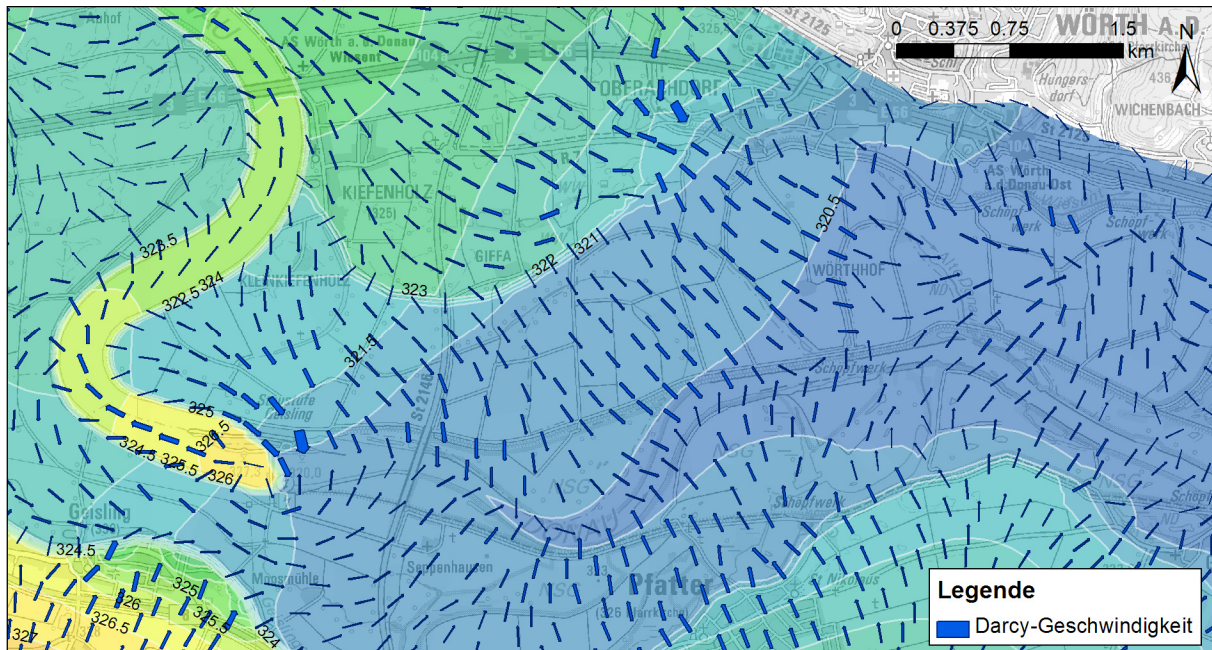


Abbildung 5: Isolinen des Grundwasserpentials mit Darcy-Geschwindigkeiten bei mittleren Verhältnissen (Mai 2013)

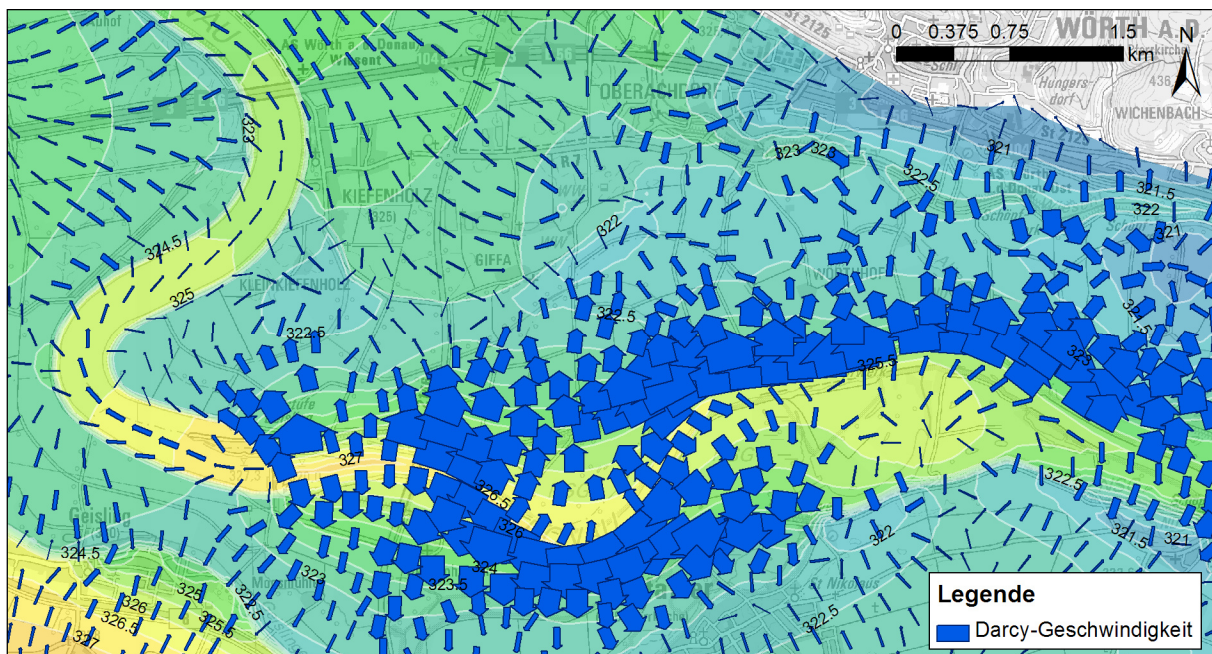


Abbildung 6: Isolinen des Grundwasserpentials mit Darcy-Geschwindigkeiten bei Hochwasser (HQ150)

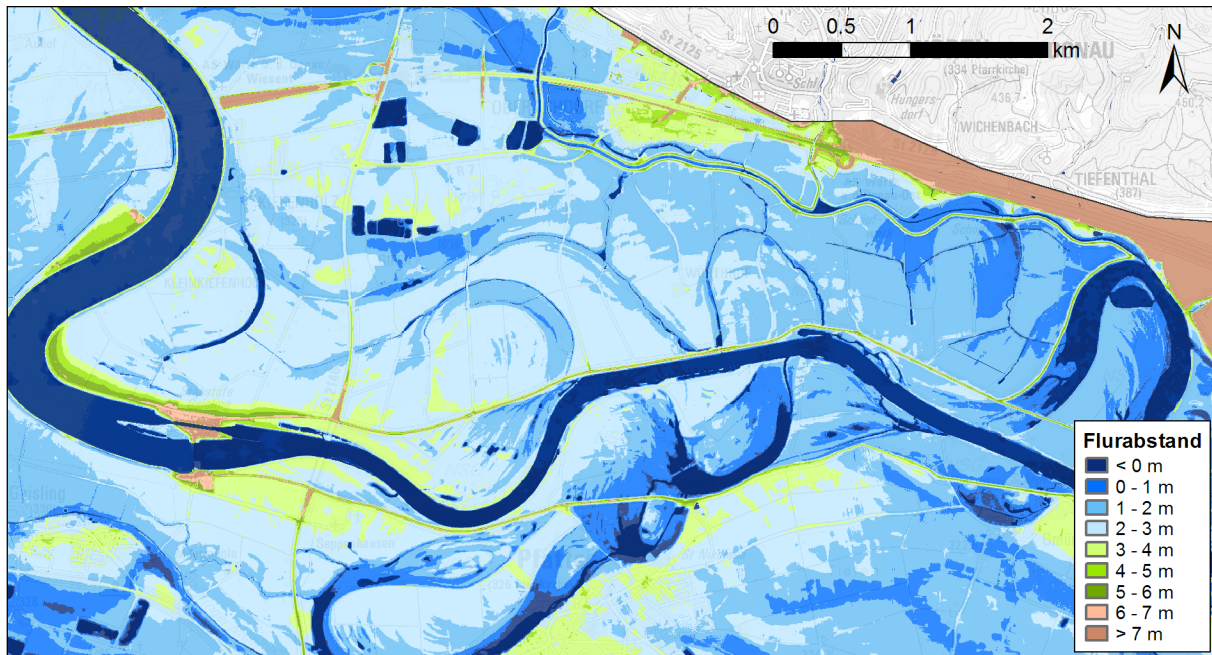


Abbildung 7: Flurabstand des Bezugszustandes bei mittleren Verhältnissen (Mai 2013).

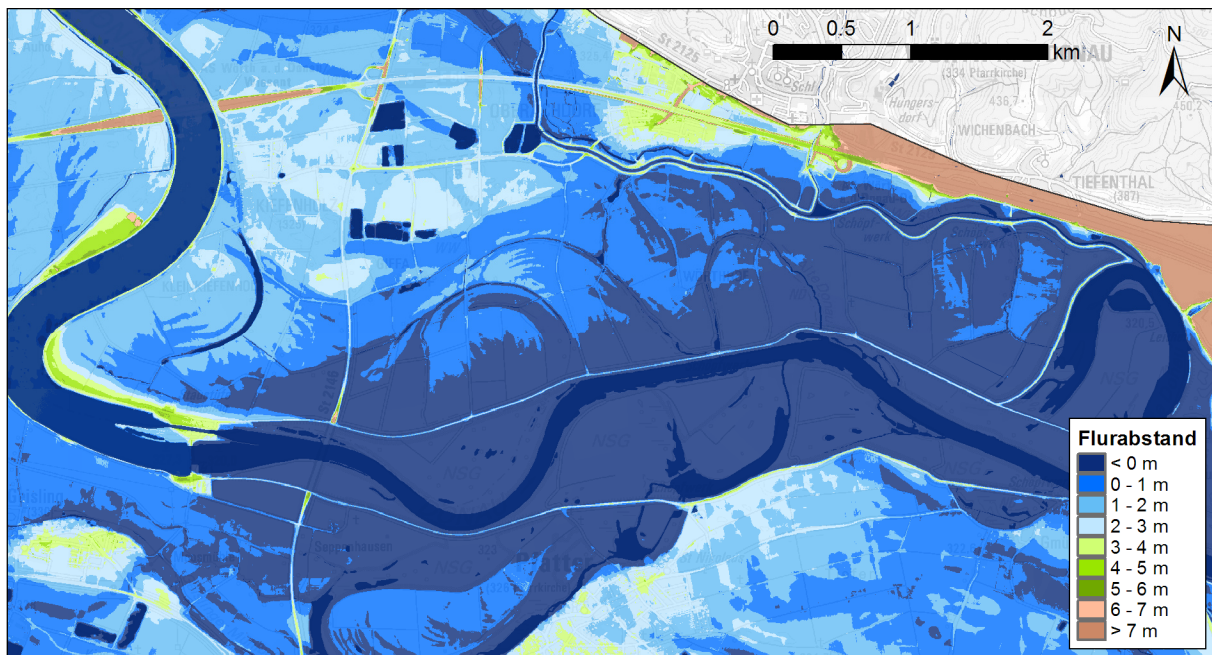


Abbildung 8: Flurabstand des Bezugszustandes bei Hochwasser (HQ150).

Beregnungsbrunnen In den Umrissen des geplanten Flutpolders befinden sich etwa 15 – 20 Beregnungsbrunnen (Abbildung 9). Die Bewässerung wurde im Grundwassermodell bei der Bestimmung der Grundwasserneubildung berücksichtigt. Die Beregnungsbrunnen perforieren die Deckschicht und erhöhen damit lokal die Deckschichtdurchlässigkeit. Im Modell wird dies durch eine vorsichtige Annahme zur Deckschichtdurchlässigkeit berücksichtigt.

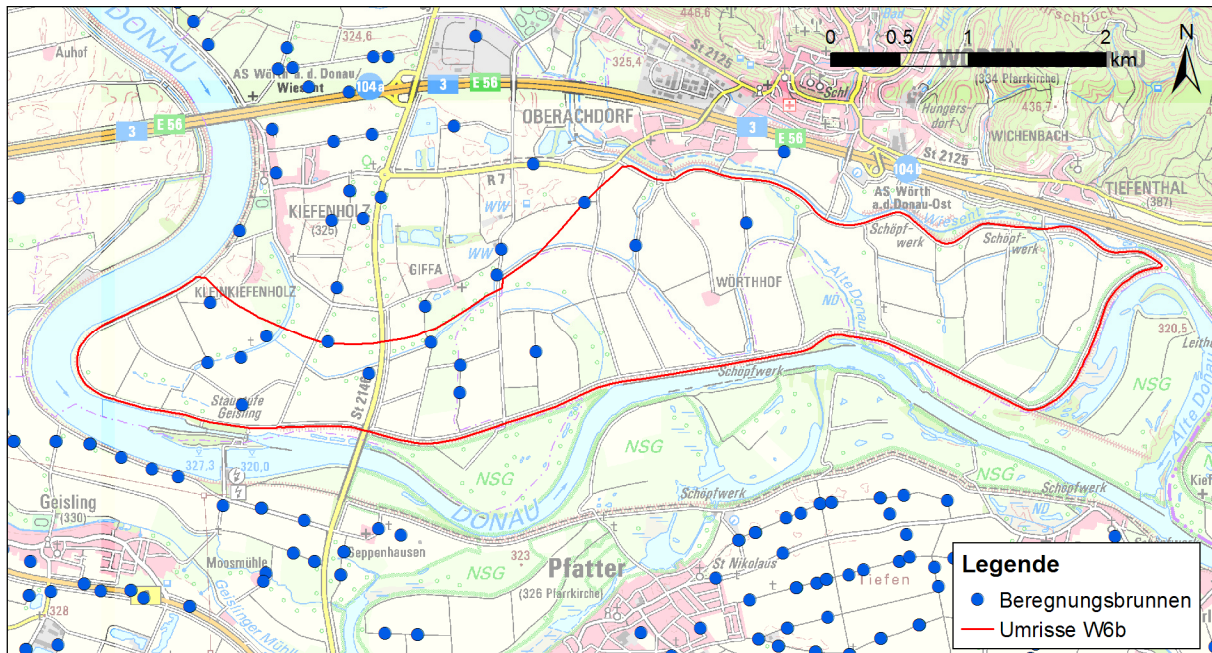


Abbildung 9: Beregnungsbrunnen im Gebiet des geplanten Flutpolders (Stand 2015)

4 Auswirkungen des Flutpolders Wörthhof

4.1 Vorgehen

4.1.1 Massnahmen zur Kontrolle der Auswirkungen

Notwendigkeit von Massnahmen	Die Deiche des geplanten Flutpolders verlaufen in unmittelbarer Nähe zu besiedelten Gebieten. Ohne Gegenmassnahmen würde eine Flutung zu einem starken Grundwasseranstieg in diesen Gebieten führen, welcher nicht akzeptiert werden kann. 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 mit nicht akzeptierbarem Grundwasseranstieg wurden Drainagen in das Grundwassermodell eingebaut. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Höhenlage dieser Drainagen auf die Höhenlage bestehender Gewässer abgestimmt ist, d.h. Mündungen zu bestehenden Gewässern sollen auf Höhe deren Wasserspiegel liegen. Für die Drainagen wurde ein Gefälle von 0.2 Promille angesetzt.
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 festgelegt, welche der weitergehenden Massnahmen optimal ist. Es wird lediglich untersucht, ob der Flutpolder machbar ist.

4.1.2 Darstellung der Auswirkungen

Visualisierung	<p>Die Auswirkungen des Flutpolders werden mit folgenden Darstellungen visualisiert:</p> <ul style="list-style-type: none">- Differenz der maximal erreichten Grundwasserpotentiale bei Polderfüllung zu den maximal erreichten Grundwasserpotentialen im Bezugszustand. Dabei wird jeweils der Fall ohne Massnahmen und der Fall mit den notwendigen Gegenmassnahmen zur Verhinderung unzulässiger Grundwasseranstiege dargestellt. Auf eine Darstellung von Zwischenschritten wird verzichtet.- Differenz der Grundwasserpotentiale mit Massnahmen zu den Grundwasserständen ohne Massnahmen bei mittleren Verhältnissen, sofern diese 20 cm übersteigen.- 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.- In der Drainage und den Sicherungsbrunnen anfallende Grundwassermenge.- Die Fliesswege des innerhalb von 50 Tagen zu den Brunnen des Trinkwasserwerks Giffa zuströmenden Grundwassers werden für den Fall einer Polderfüllung und den Bezugszustand ohne Polderfüllung dargestellt.
Grundwasserpotential	<p>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 nur sehr langsam durchströmt wird. Im Grundwassermodell wird immer das Grundwasserpotential berechnet. Als alternativer Begriff zu Grundwasserpotential wird im vorliegenden Bericht auch der Begriff „Grundwasserstand“ verwendet.</p>

4.2 Erkenntnisse des Variantenstudiums

	<p>Im Verlauf erster Abklärungen wurden verschiedene Poldervarianten untersucht. Aus den Erkenntnissen dieser Untersuchungen wurde schlussendlich die Variante „Wörthhof gross“ (W6b) ausgewählt.</p>
Situation	<p>Beim Flutpolder Wörthhof ist die Stufe zwischen der Aue und der Niederterrasse nicht stark ausgeprägt, so dass sich ein Anstieg des Grundwasserstandes in der Aue auch auf den Grundwasserstand der Niederterrasse auswirkt. Im Polderbereich ist zwar eine Deckschicht vorhanden, sie wird jedoch im Westteil des Polders durch den Sichelsee in unmittelbarer Nähe zum Siedlungsgebiet durchbrochen. Im</p>

Osten des Flutpolders ist die Deckschicht vermutlich nicht durchgängig vorhanden.

Sichelsee	Wird der Polderdeich zwischen Sichelsee und Kiefenholz angeordnet, so muss in Kiefenholz mit einem Grundwasseranstieg gerechnet werden, welcher nur sehr schwierig zu beherrschen ist. Eine Dichtwand kann an dieser Stelle nicht realisiert werden, weil sie den natürlichen Grundwasserstrom zwischen dem Talrand und der Donau unterbrechen würde. Der Polderdeich muss deshalb in einer grösseren Distanz zu Kiefenholz angeordnet werden, so dass der Wasserspiegel des Sichelsees landseitig des Polders kontrolliert werden kann. Damit ist auch das direkt angrenzende Siedlungsgebiet geschützt.
Wörthhof	Einige der untersuchten Poldervarianten klammerten den Wörthhof mit einem schmalen Korridor aus dem Poldergebiet aus. Die beidseitig des Wörthhofs vorhandenen Drainagen, welche über das Schöpfwerk Wörthhof in die Donau entwässert werden, lagen innerhalb des Poldergebiets. Durch die Drainagen gelangen grosse Wassermengen in den Grundwasserleiter, welche nur mit Dichtwänden kontrollierbar sind. Eine Absperrung des Grundwasserleiters ist jedoch an dieser Stelle nicht erwünscht.

4.3 Auswirkungen der gewählten Variante „Wörthhof gross“

Kurzbeschreibung	Bei der Variante „Wörthhof gross“ wird der Sichelsee durch den Deich in zwei Teile unterteilt. Der Wörthhof wird abgesiedelt. Die Füllhöhe beträgt 327 mNN.
Auswirkungen	<p>Im heutigen Zustand wird das Poldergebiet über die beiden Schöpfwerke Wörthhof und Tiefenthal entwässert. Die Wiesent läuft durch das Siedlungsgebiet von Oberachdorf. Führt die Donau Hochwasser, so staut sie in die Wiesent zurück. Die Wiesent wird deshalb mit zwei Sielen westlich und östlich von Oberachdorf abgesperrt und über die Flutmulde abgeleitet. Das im normalen Gerinne der Wiesent anfallende Restwasser wird mit einem Düker unter der Flutmulde hindurch zum Schöpfwerk Wörthhof abgeleitet und von dort in die Donau gepumpt.</p> <p>Bei einer Füllung des Polders ist eine Entwässerung der Gebiete nördlich des Polderdeiches über das Schöpfwerk Wörthhof nicht mehr möglich. Das Restwasser der Wiesent und hinter dem Deich anfallendes Qualmwasser kann nicht abgeführt werden. Zur Verhinderung eines allgemeinen Anstiegs des Grundwasserstandes müssen deshalb Massnahmen vorgesehen werden. Abbildung 10 zeigt den zu erwartenden Grundwasseranstieg ohne Massnahmen.</p>
Entwässerung	<p>Zur Kontrolle der Grundwasserstände sind beim Flutpolder Wörthhof folgende Entwässerungsmaßnahmen erforderlich (Abbildung 11):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Drainagekanal südlich von Kleinkiefenholz zwischen Donau und Sichelsee mit Ableitung in den Sichelsee. - Drainagekanal zwischen Sichelsee und Flutmulde mit Schöpfwerk bei der Flutmulde.

- Verlängerung der Wiesent bis zum Schöpfwerk Osterbach zum Schutz der Kläranlage Wörth
- Verbesserung der Drainagewirkung der Wiesent im Bereich der Ortslage Oberachdorf, zum Beispiel durch Abteufen von Kiesspfählen.

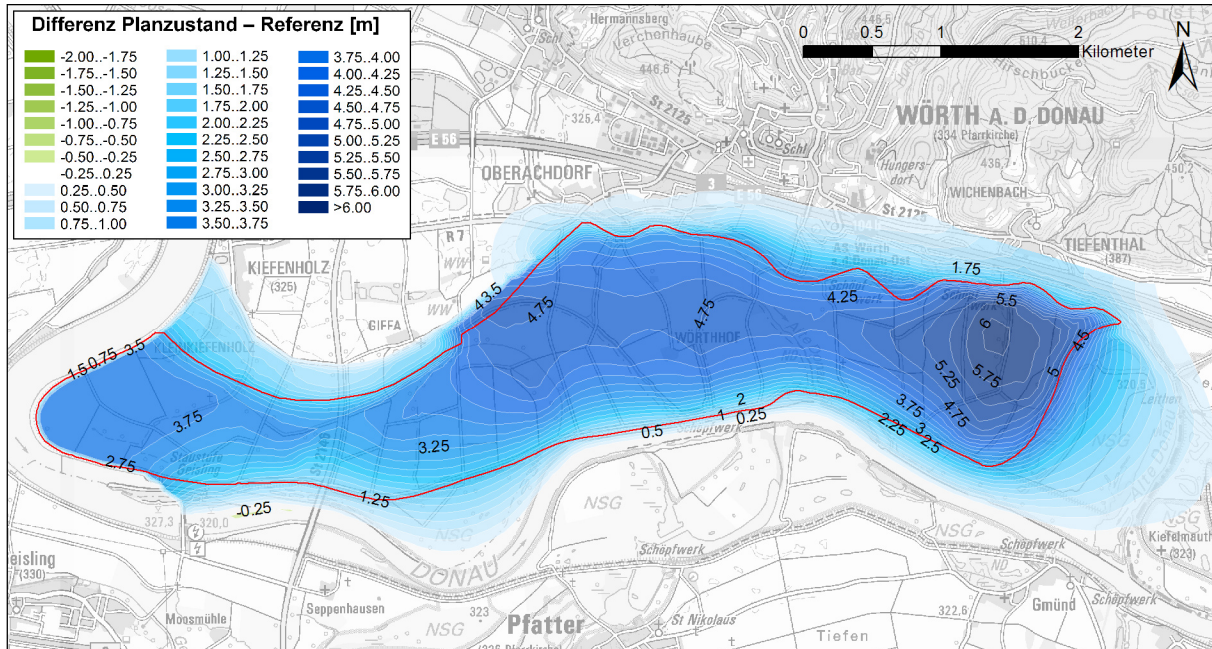


Abbildung 10: Flutpolder Wörthhof ohne Massnahmen: Differenz des maximalen Grundwasser-potentials bei Polderfüllung zur Referenz ohne Polderfüllung.

Anbindung an den Schotter

Abbildung 13 und Abbildung 14 zeigen schematische hydrogeologische Längsschnitte entlang der beiden Drainageabschnitte, zusammen mit dem mittleren und hohen Grundwasserstand. Um die gewünschte Drainagewirkung zu erzielen, muss die Drainage mit dem durchlässigen Schotter verbunden werden. Dies kann bei kleiner Deckschichtmächtigkeit durch einen Materialersatz an der Sohle des Grabens, bei grosser Deckschichtmächtigkeit durch Kiessäulen erzielt werden.

Zusätzliche Massnahmen

Trotz der angeordneten Binnenentwässerung steigt der Grundwasserstand bei Kleinkiefenholz und Oberachdorf gegenüber dem Bezugszustand immer noch an. Dort müssen zusätzlich Dichtwände vorgesehen werden. Alternativ dazu kann in Kleinkiefenholz auch eine Grundwasserpumpe eingesetzt werden.

Als Alternative kann zum Schutz von Oberachdorf auch eine Abspernung der Flutmulde beim Siel Oberachdorf in Betracht gezogen werden. Dadurch würde ein Rückstau aus der Donau verhindert. Der Abfluss der Wiesent müsste dann jedoch während der Füllzeit des Polders mit einem Schöpfwerk über die Abspernung geführt werden.

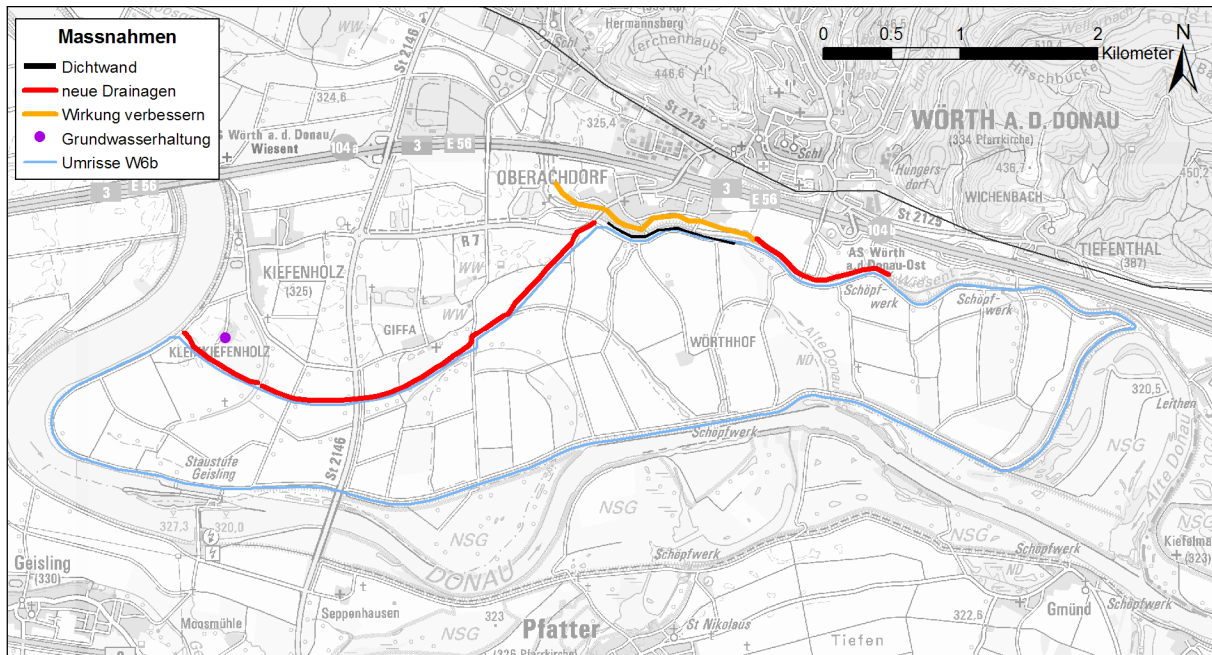


Abbildung 11: Flutpolder Wörthhof: Massnahmen zur Kontrolle des Grundwasserstands

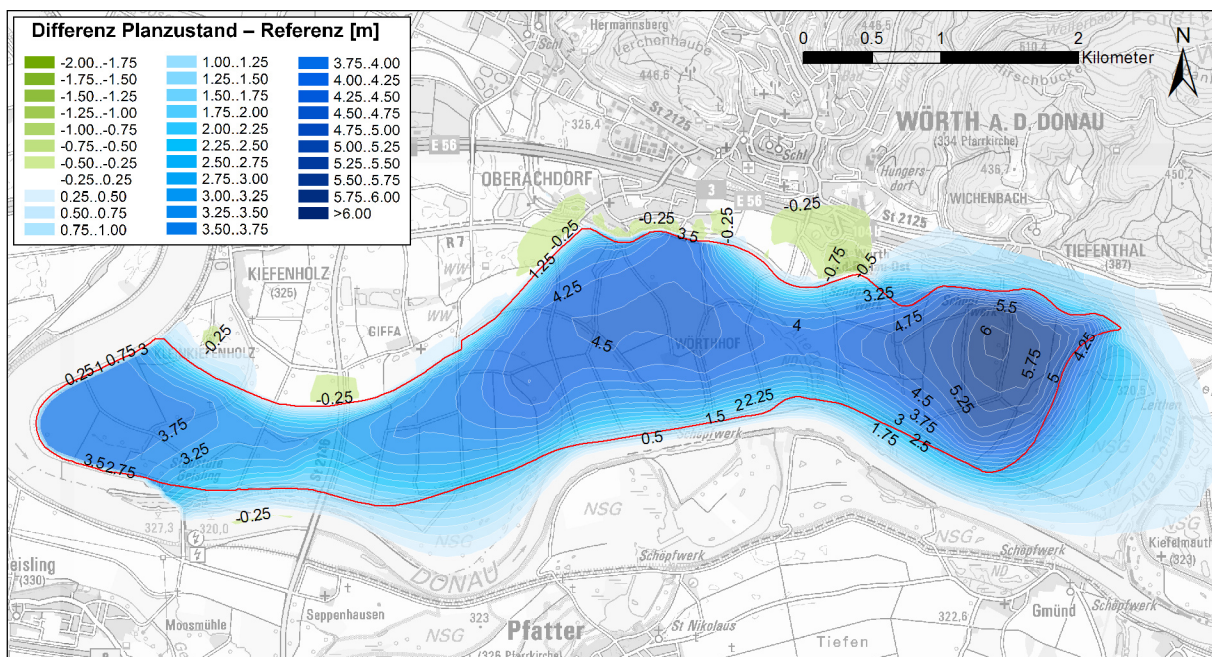


Abbildung 12: Flutpolder Wörthhof mit Massnahmen: Differenz des maximalen Grundwasserpotentials bei Polderfüllung zur Referenz ohne Polderfüllung.

Machbarkeit

Mit den angeordneten Massnahmen kann der Anstieg des Grundwasserstandes in den Ortslagen Kiefenholz, Oberachdorf und dem Weiler Giffa verhindert werden (Abbildung 12). Abbildung 15 zeigt den prognostizierten minimalen Flurabstand während der Dauer der Polderfüllung. Ausserhalb des Polders entspricht der Flurabstand praktisch jenem des Bezugszustandes (Abbildung 8).

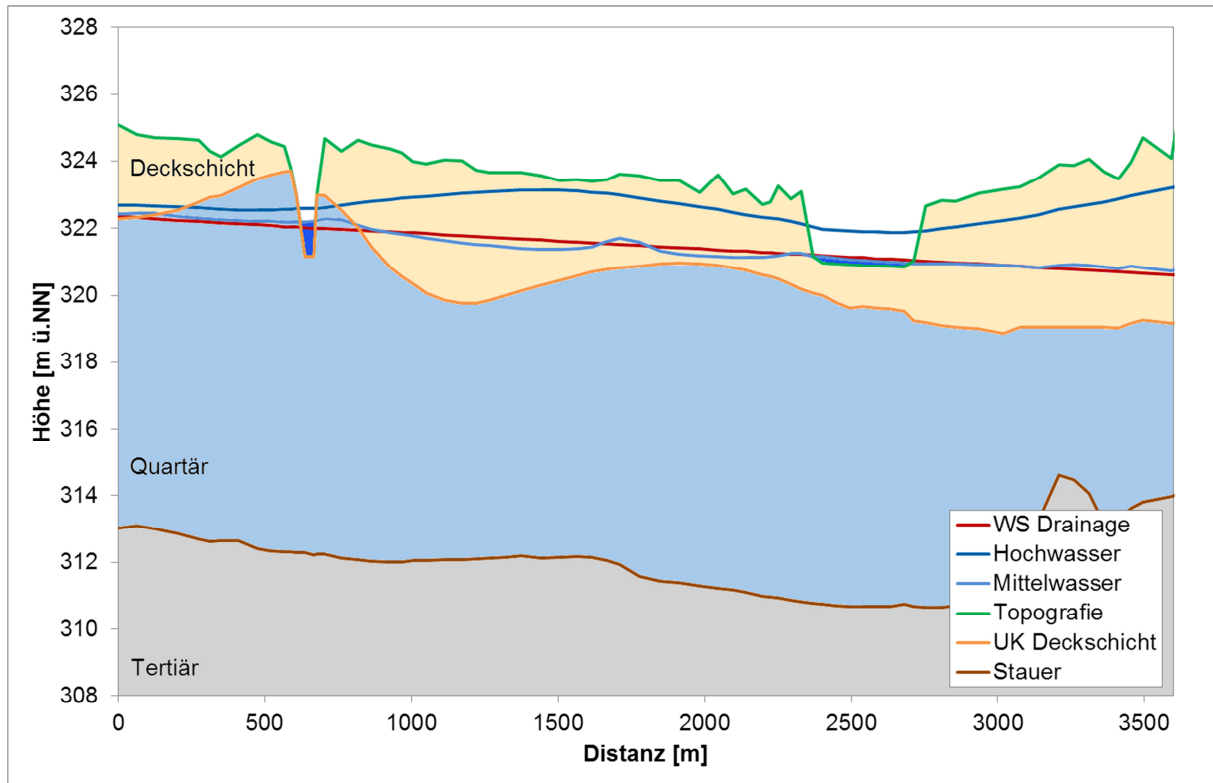


Abbildung 13: Schematischer hydrogeologischer Längsschnitt entlang der Drainage Kleinkiefenholz – Oberachdorf

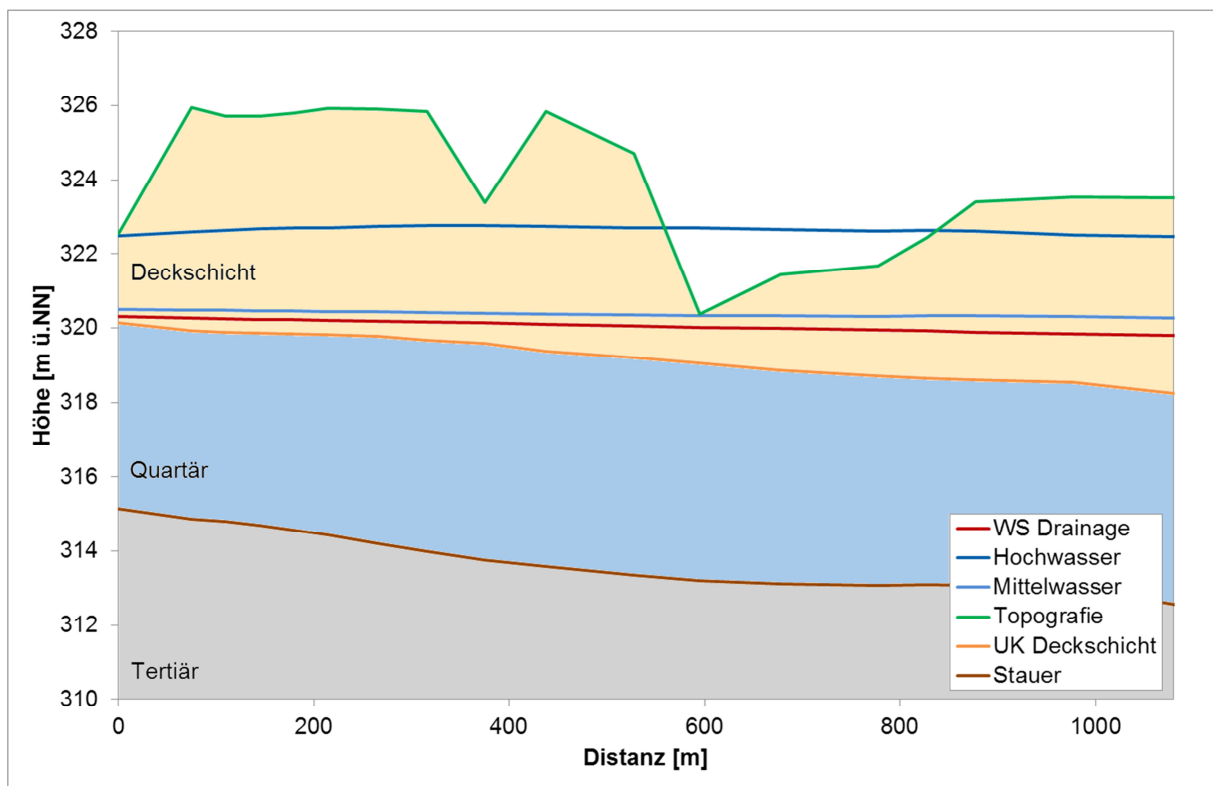


Abbildung 14: Schematischer hydrogeologischer Längsschnitt entlang der Verlängerung der Wiesent

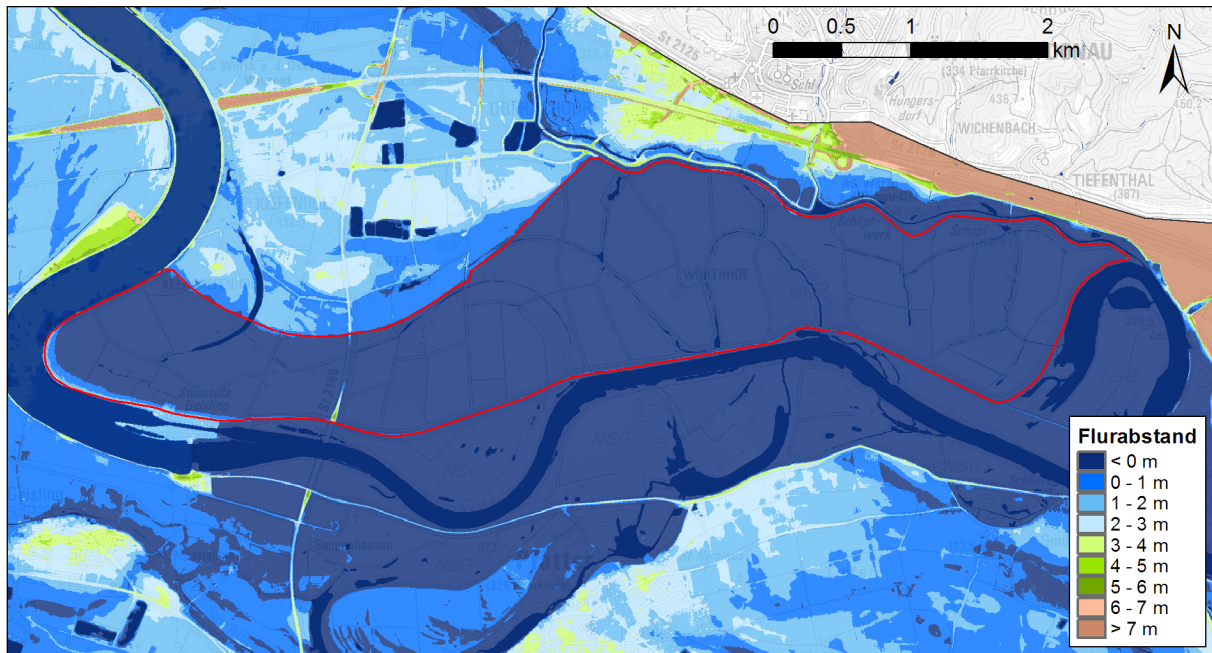


Abbildung 15: Flutpolder Würthhof mit Massnahmen: Minimaler Flurabstand des Grundwasserpotentials bei Polderfüllung.

Mittlere Verhältnisse Bei mittleren Verhältnissen wird in Folge der neu angelegten Binnenentwässerung bei Oberachdorf eine lokal begrenzte Absenkung des Grundwasserstands prognostiziert (Abbildung 16). Durch die Anordnung eines Siels kann die Absenkung verhindert werden.

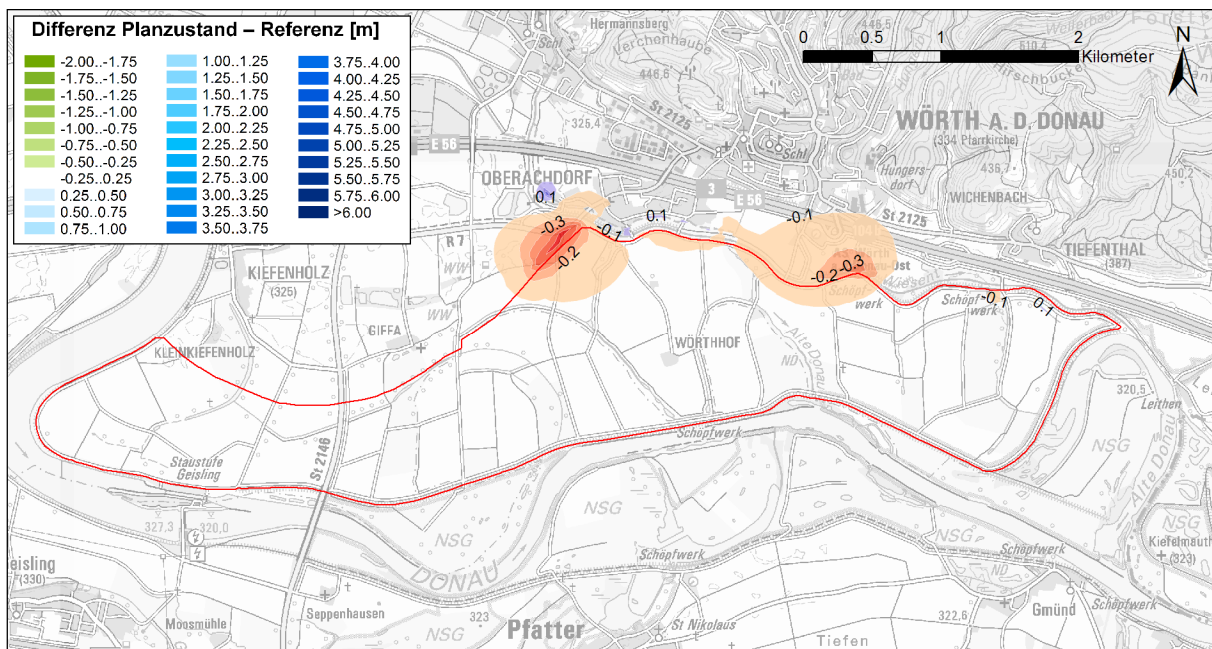


Abbildung 16: Flutpolder Würthhof: Auswirkungen der Massnahmen auf den Grundwasserstand bei mittleren Verhältnissen.

4.4 Zeitlicher Verlauf des Grundwasserstandes

Darstellung

Der zeitliche Verlauf des Grundwasserstandes wird exemplarisch anhand ausgewählter Stellen dargestellt. Dabei werden jeweils die Wasserstände der Polderfüllung zusammen mit den Grundwasserständen gezeigt. Um örtliche Unterschiede aufzuzeigen, wurden jeweils 3 Punkte innerhalb und 3 Punkte ausserhalb des Polders ausgewählt (siehe Abbildung 17).

Innerhalb Polder Wörthhof

In Abbildung 18 bis Abbildung 20 sind die Ganglinien des Grundwasserstandes innerhalb des Polders Wörthhof dargestellt. An den Zeiträumen vor und nach der Polderfüllung erkennt man die Höhe der Topografie an der betreffenden Stelle.

Vor der Füllung des Polders weichen die Ganglinien kaum von jenen des Bezugszustands ab. Während der Polderfüllung steigt an allen Stellen der Grundwasserstand praktisch bis zum Wasserstand der Polderfüllung an. Am stärksten ist dies bei der Messstelle L57/A ausgeprägt, da dort nur eine geringmächtige Deckschicht vorhanden ist.

Beim Entleeren des Polders sinkt der Grundwasserstand parallel zum Wasserstand des Polders ab. Nach dem Trockenfallen des Polders fällt der Grundwasserstand weiter ab, bis er nach etwa einer Woche wieder den ursprünglichen Zustand erreicht.

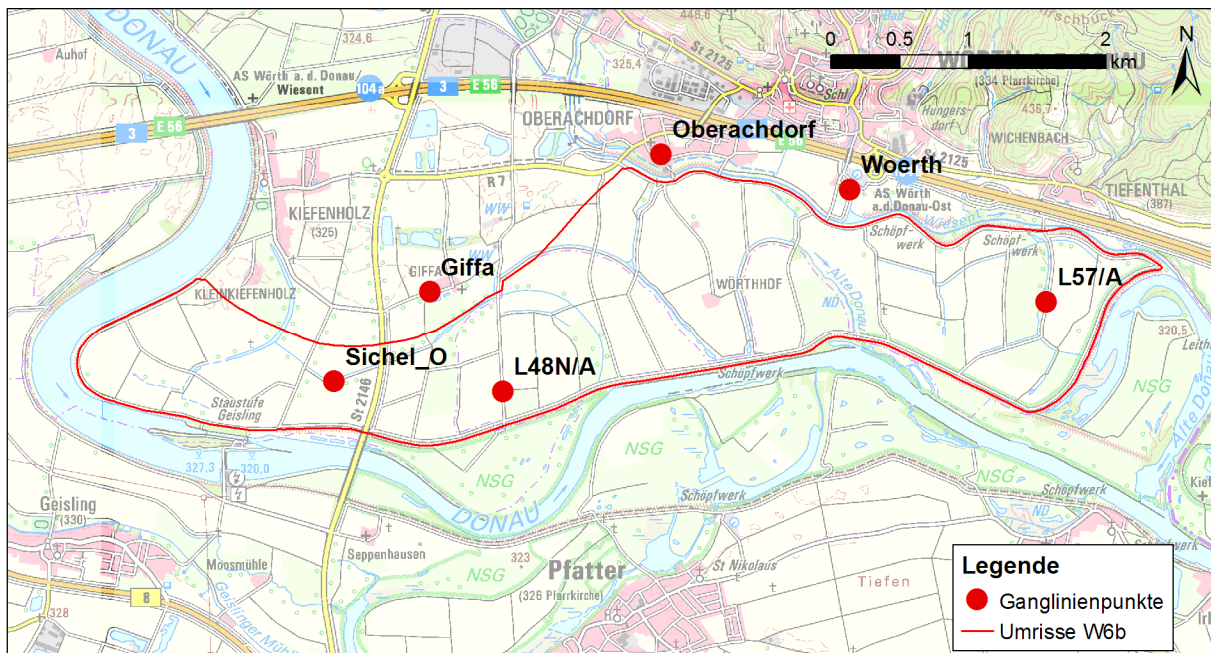


Abbildung 17:

Punkte, an denen der zeitliche Verlauf des Grundwasserspiegels dargestellt wird.

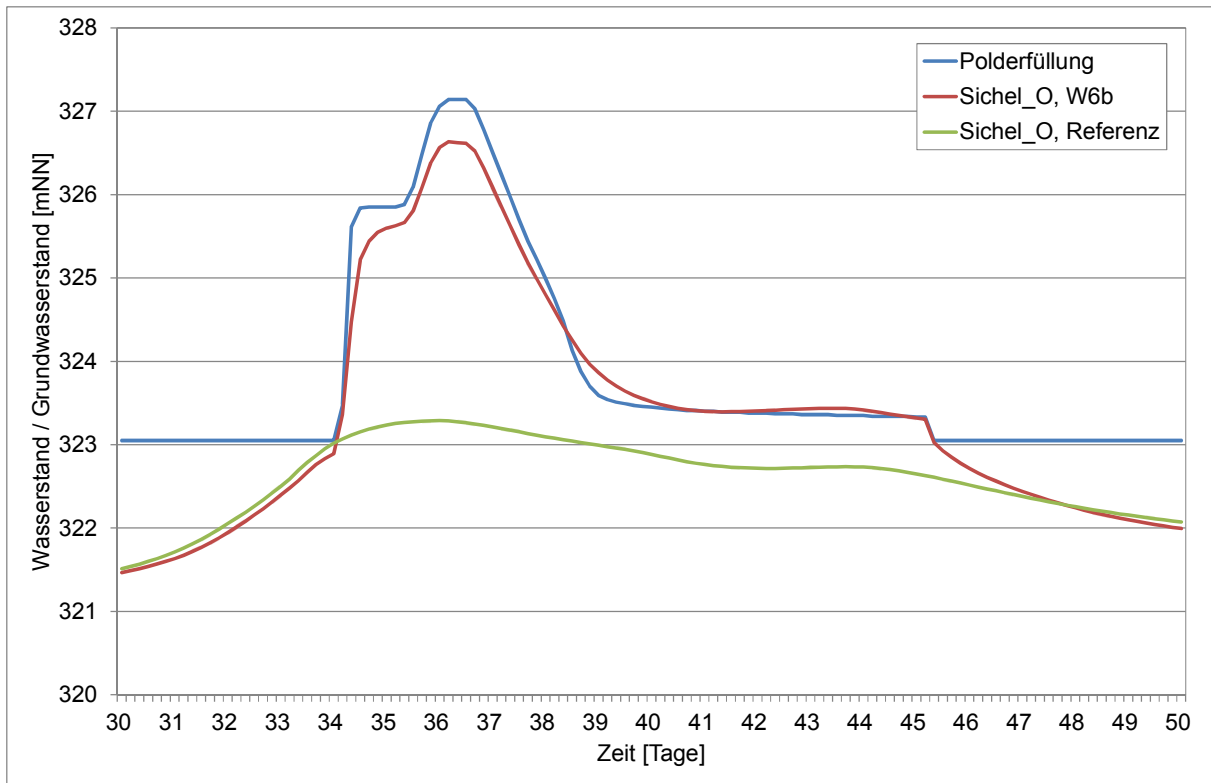


Abbildung 18: Ganglinie der Polderfüllung und des Grundwasserstandes unterhalb der Deckschicht an der Stelle Sichel_O mit und ohne Projekt.

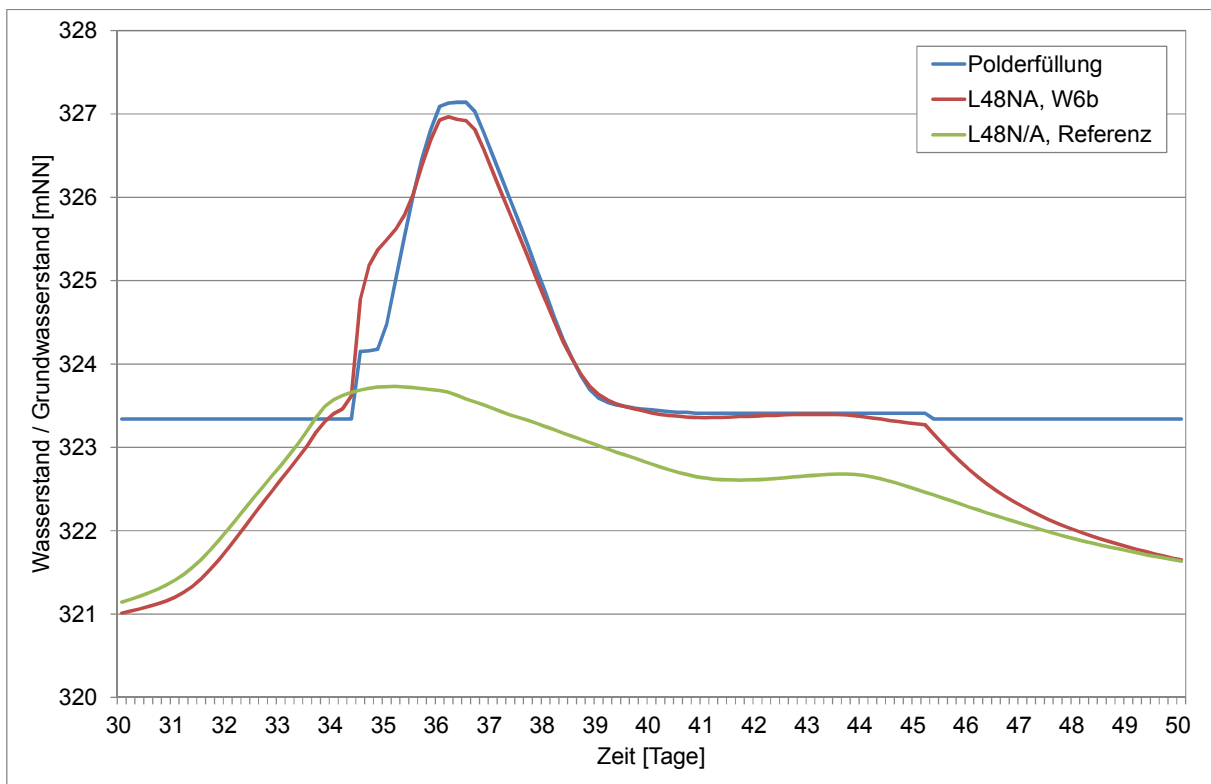


Abbildung 19: Ganglinie der Polderfüllung und des Grundwasserstandes unterhalb der Deckschicht an der Stelle L48N/A mit und ohne Projekt.

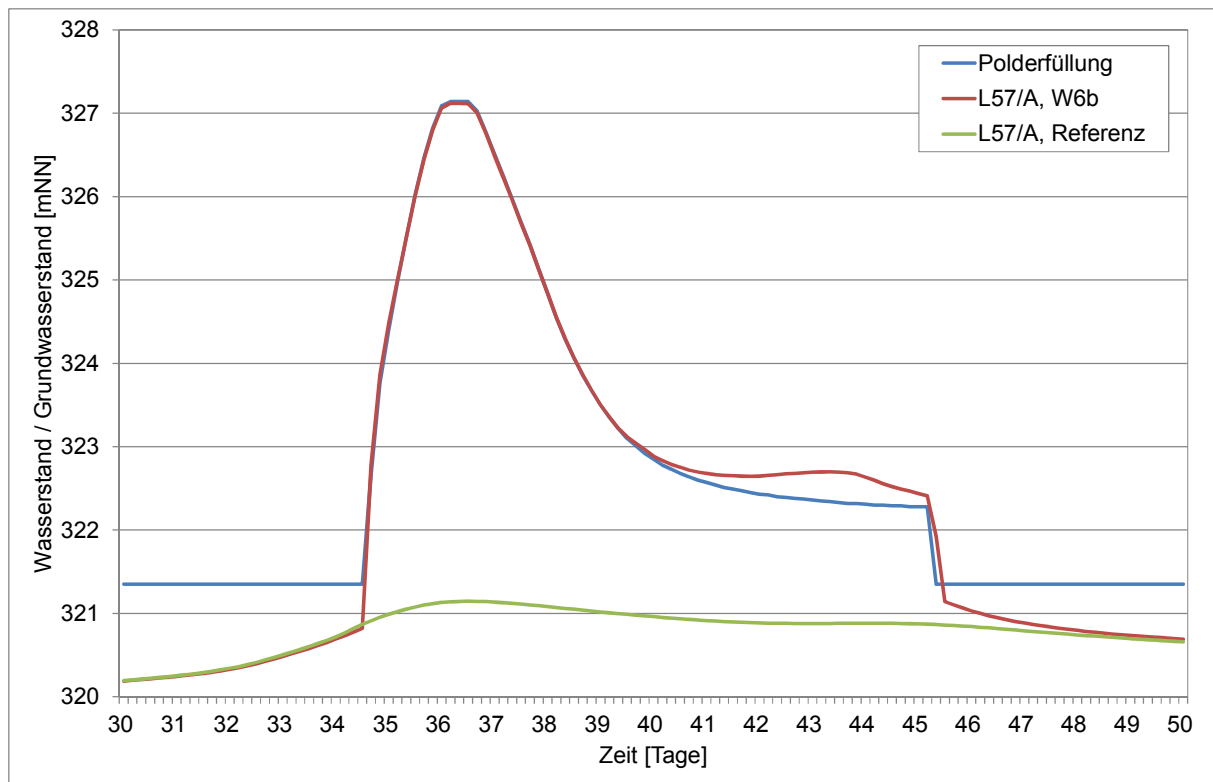


Abbildung 20: Ganglinie der Polderfüllung und des Grundwasserstandes unterhalb der Deckschicht an der Stelle L57/A mit und ohne Projekt.

- Ausserhalb Polder Wörthhof** Ausserhalb des Polders Wörthhof ist die Reaktion des Grundwasserstandes auf die Polderfüllung abhängig vom betrachteten Ort. Für die Darstellung wurden drei typische Stellen entlang der nördlichen Flutpolderbegrenzung ausgesucht. Giffa liegt beim westlichen Ende, Oberachdorf in der Mitte und Wörth beim östlichen Ende des geplanten Flutpolders.
- Giffa** Die Messstelle Giffa liegt oberhalb der Terrassenkante auf einer Höhe von 324.4 mNN. Die Sohle des Flutpolders liegt an dieser Stelle auf etwa 322.8 mNN. Die Füllung des Flutpolders bewirkt keine Veränderung des Grundwasserstandes gegenüber der Referenz (Abbildung 21).
- Oberachdorf** Bei Oberachdorf ist keine ausgeprägte Terrassenkante mehr vorhanden. Die Gebiete innerhalb und ausserhalb des Polders liegen auf etwa gleicher Höhe. Bei einer Füllung des Polders steigt der Grundwasserstand schneller an als in der Referenz. Durch die Drainagewirkung der angeordneten Binnenentwässerung kann der maximale Grundwasseranstieg jedoch begrenzt werden (Abbildung 22).
- Wörth** Bei Wörth wirkt sich der Wasserstand in der Wiesent auf den Grundwasserstand aus. Im betrachteten Zeitraum erfolgte das Hochwasser in der Wiesent vor dem Donauhochwasser. Durch die vorgeschlagene Tieferlegung der Wiesent kann der Anstieg des Grundwassers begrenzt werden. Während der Polderfüllung steigt der Grundwas-

serstand zwar an, bleibt aber unter jenem des Bezugszustandes (Abbildung 23).

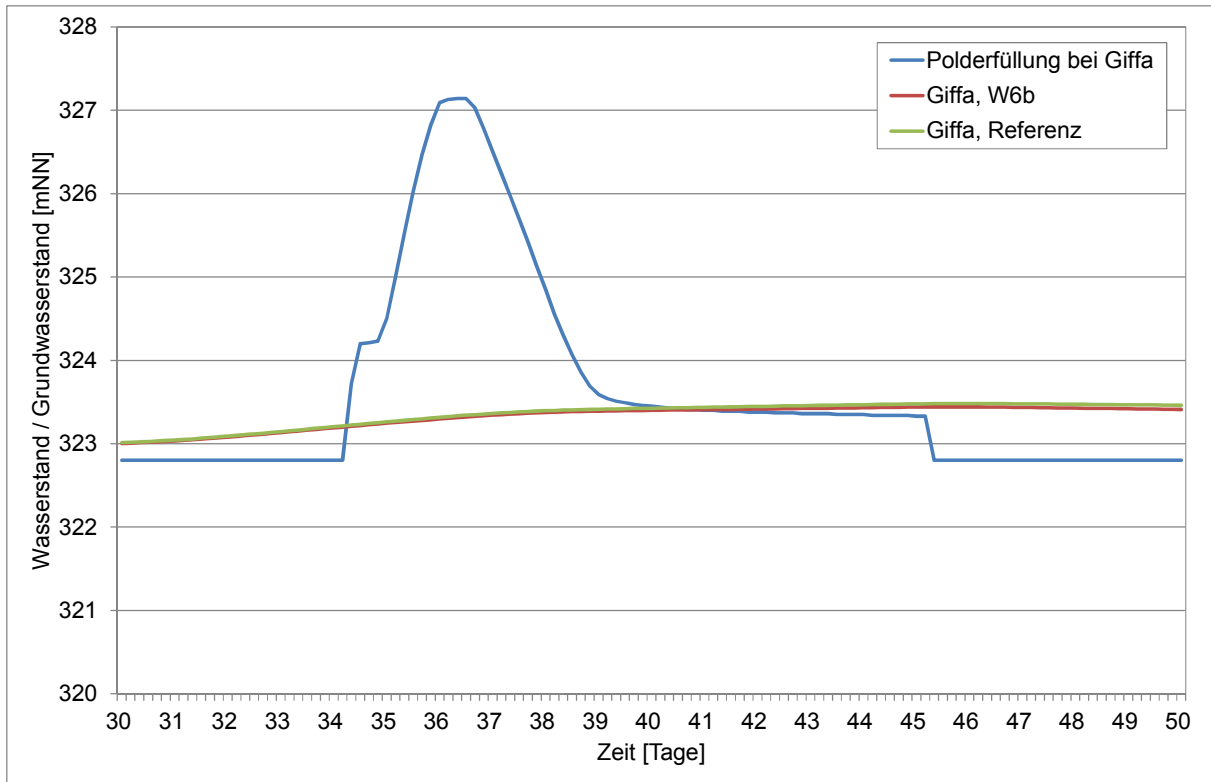


Abbildung 21: Ganglinie der Polderfüllung und des Grundwasserstandes bei Giffa (Grundwassermessstelle ausserhalb des Polders) mit und ohne Projekt.

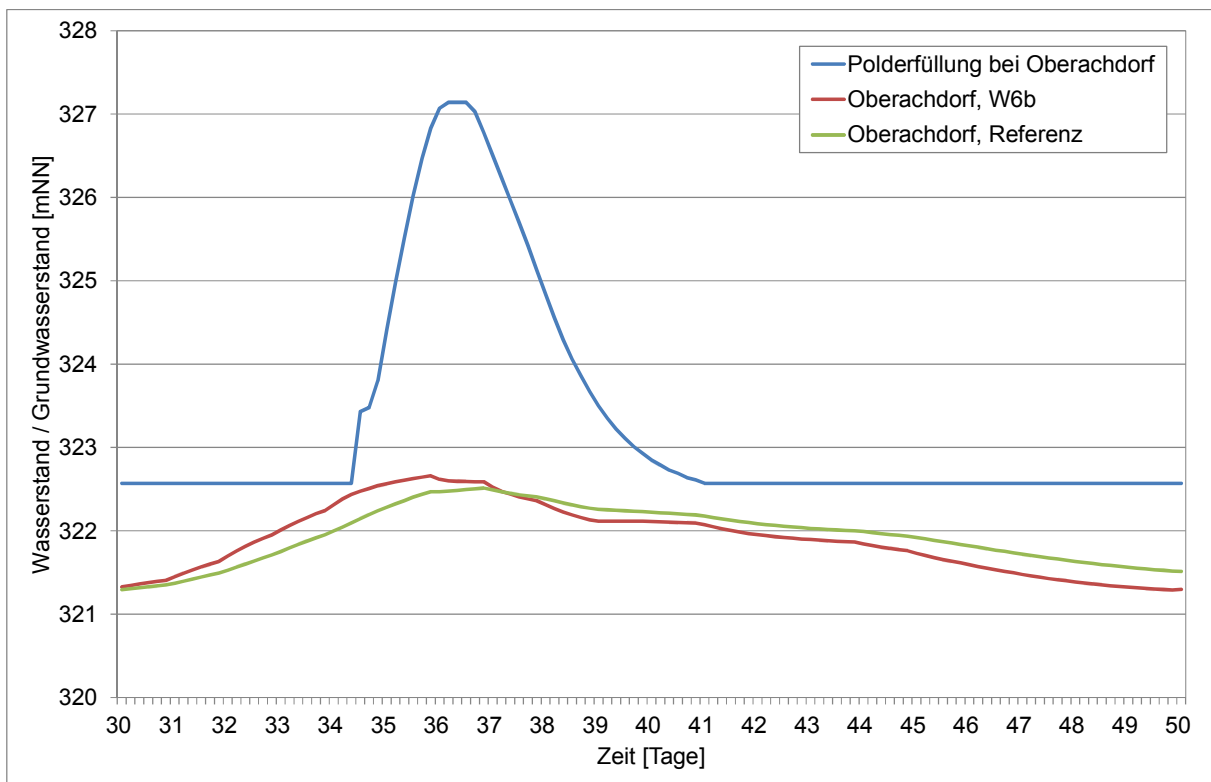


Abbildung 22: Ganglinie der Polderfüllung und des Grundwasserstandes bei Oberachdorf (Stelle ausserhalb des Polders) mit und ohne Projekt.

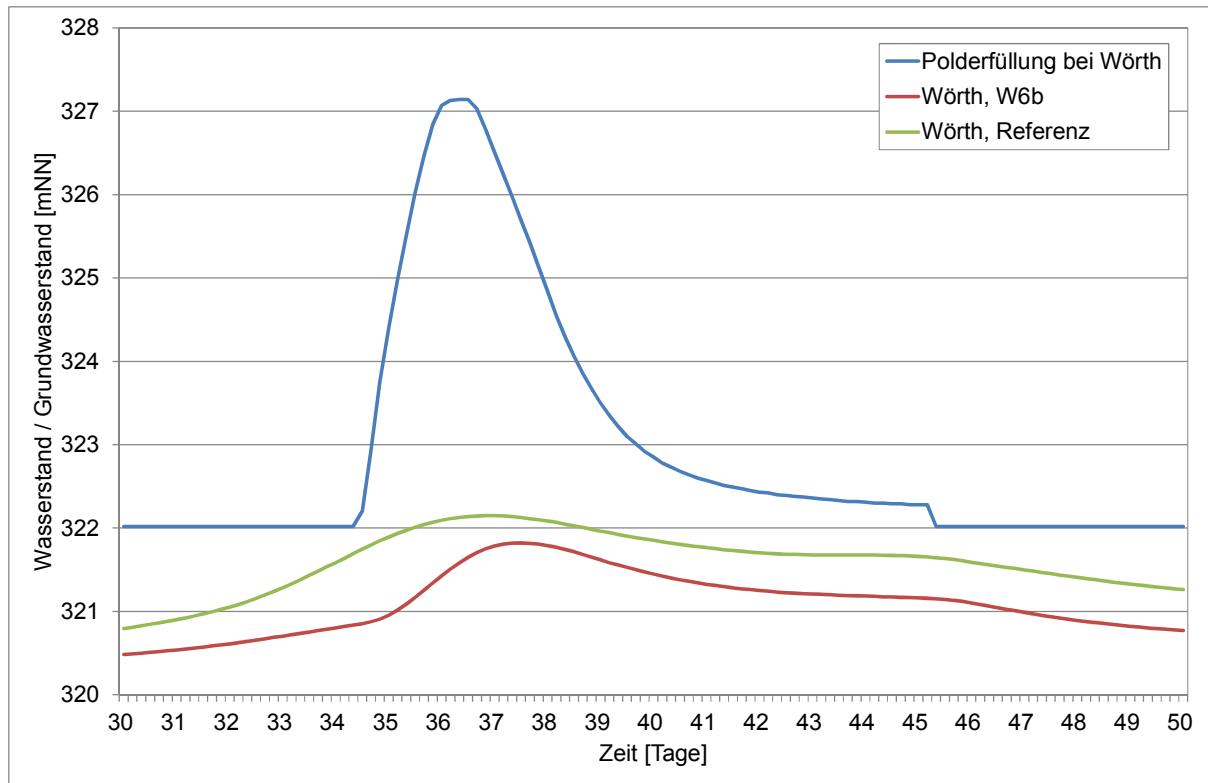


Abbildung 23: Ganglinie der Polderfüllung und des Grundwasserstandes bei Wörth (Grundwassermessstelle ausserhalb des Polders) mit und ohne Projekt.

4.5 Wasserbilanz

Drainagemengen Tabelle 1 zeigt eine Zusammenstellung der prognostizierten Drainagemengen, welche bei Polderfüllung in den vorgesehenen Drainagekanälen anfallen. Diese Wassermengen müssen mit Schöpfwerken entweder in den Polder oder in die Flutmulde gepumpt werden. Der zeitliche Verlauf der Drainagemenge ist in Abbildung 24 dargestellt. Die maximale Drainagemenge tritt während der maximalen Polderfüllung auf und sinkt bei Polderleerung schnell ab.

Fördermengen Die maximale Fördermenge der Sicherungsbrunnen bei Kleinkiefenholz ist ebenfalls in Tabelle 1 enthalten. Die Förderung muss auf mindestens zwei Brunnen verteilt werden.

Variante	Drainage West	Wiesent Ost	Fördermenge
Wörthhof gross	1,2 m ³ /s	0,6 m ³ /s	3 900 l/min

Tabelle 1: Drainierte Grundwassermenge und Fördermengen der Sicherungsbrunnen
 Drainage West: Drainage zwischen Kleinkiefenholz und Oberachdorf
 Wiesent Ost: Verlängerung der Wiesent bis zum Schöpfwerk Osterbach

Bezugszustand Im Bezugszustand drainiert Grundwasser in die Gräben innerhalb der Poldergebiete. Die im Modell ermittelte Drainagemenge beträgt für das Gebiet des Polders Wörthhof ca. 1 m³/s.

Qualmwasser Ausserhalb der Flutpolder ist bei Polderfüllung mit Qualmwasser zu rechnen. Mit den vorgesehenen Drainagen wird dort allerdings der

Grundwasserspiegel praktisch auf dem Niveau des Referenzzustandes gehalten, so dass keine Zunahme des Qualmwassers zu erwarten ist. Die Qualmwassermenge beträgt weniger als $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$ und ist damit im Vergleich zur Drainagemenge gering.

Die Qualmwassermengen, welche im Referenzzustand innerhalb der Flutpolder an die Oberflächen treten, müssen bei Polderflutung nicht abgeführt werden. Auf dem Gebiet des Flutpolders Wörthhof ist im Bezugszustand mit einem Qualmwasseranfall von bis zu $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ zu rechnen.

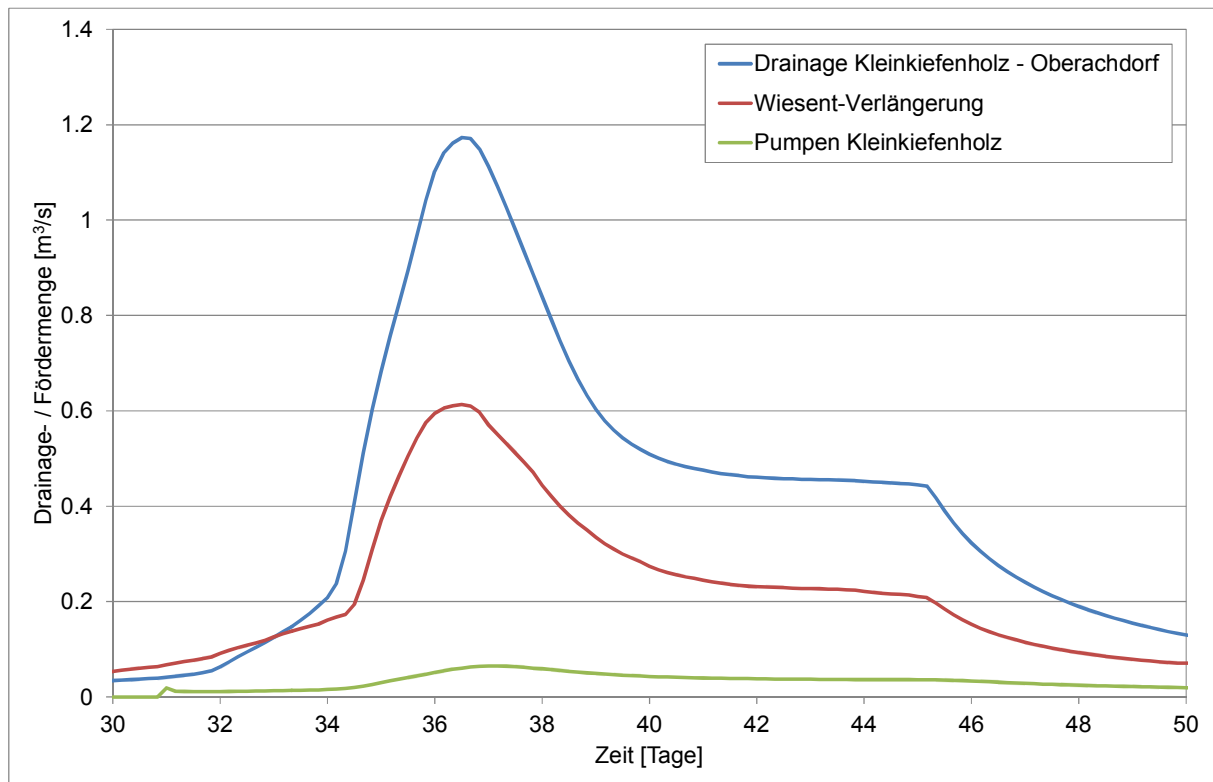


Abbildung 24: Zeitlicher Verlauf der Drainagemengen in den Binnenentwässerungen beim Flutpolder Wörthhof.

4.6 Beregnungsbrunnen

Situation	Die vorhandenen Beregnungsbrunnen stellen bei einer Flutung des Polders eine zusätzliche Verbindung vom Polderraum in den Grundwasserleiter dar. Dies wurde im Grundwassermodell durch eine vorsichtige Schätzung der Deckschichtdurchlässigkeit berücksichtigt
Massnahmen	Die Beregnungsbrunnen im Poldergebiet können mit einfachen Deckeln abgedichtet werden. Bei gefülltem Polder werden die Deckel durch den Wasserdruck auf die Verrohrung gedrückt.

4.7 Wasserwerk Giffa

Anlass	Bei der Flutung des Polders Wörthhof wird auch die Grundwassersituation in der Umgebung des Trinkwasserwerks Giffa beeinflusst. Mit Hilfe von Fließwegberechnungen wurde deshalb untersucht, ob durch die Polderflutung die Anströmrichtung zu den Brunnen verändert wird.
Annahmen	Für die Berechnungen wurden folgende Annahmen getroffen: <ul style="list-style-type: none"> - Durchflusswirksame Porosität: 12% - Rückwärtsverfolgung der Fließwege mit Ankunftszeit nach Durchgang des Bemessungshochwassers (HQ150) - Berechnungsdauer 50 Tage
Fördermenge	Das Wasserwerk Giffa besitzt eine Bewilligung zur maximalen Entnahme von 1300 m ³ Grundwasser pro Tag. Dabei ist nicht vorgeschrieben, ob diese Menge aus einem oder beiden Brunnen entnommen wird. Im ungünstigeren Fall wird die Tagesmenge aus einem einzelnen Brunnen entnommen. Die Grundwasserverhältnisse wurden deshalb einmal mit der Entnahme im westlichen Brunnen und einmal mit der Entnahme im östlichen Brunnen, jeweils für den Bezugszustand und den Zustand mit gefülltem Polder berechnet.
Resultate	Die Modellrechnungen zeigen, dass zwar kurzzeitig während der Polderflutung eine Strömungsumkehr stattfindet, die Einzugsbereiche jedoch praktisch nicht verändert werden (Abbildung 25). Das im Polderraum einsickernde Wasser gelangt nicht zu den Brunnen.

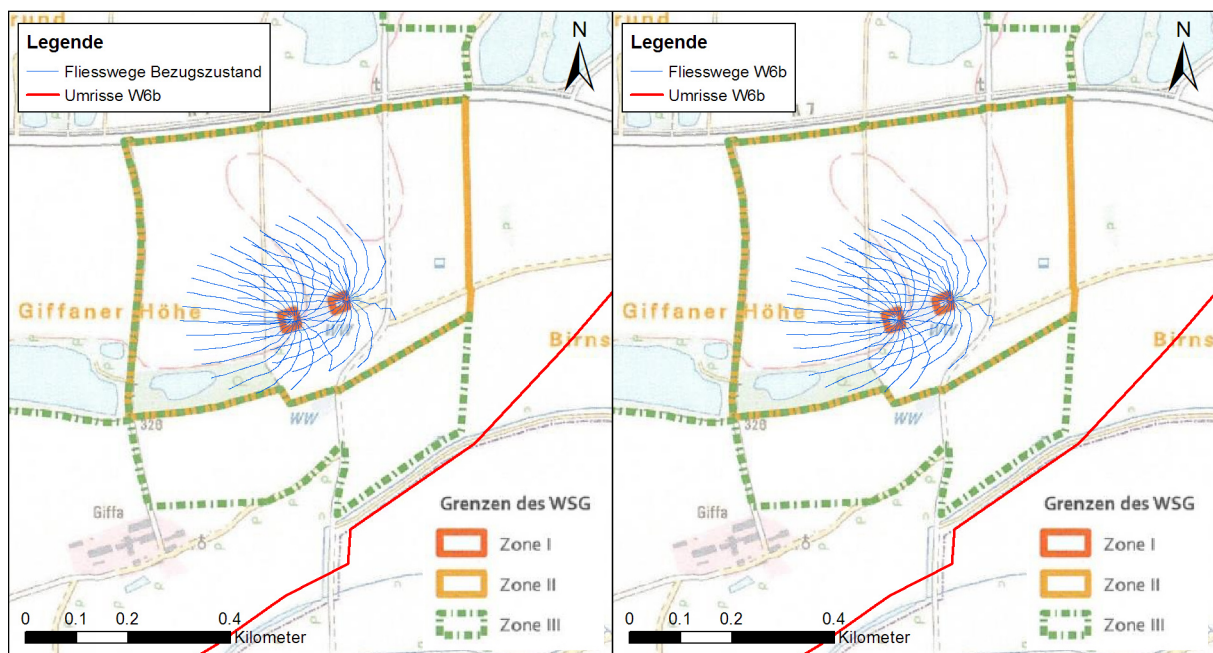


Abbildung 25: Über einen Zeitraum von 50 Tagen rückwärts verfolgte Fließwege der je einzeln mit der Tagesfördermenge von 1300 m³ betriebenen Brunnen. Links Bezugszustand, rechts Flutpolder Wörthhof bei Polderflutung.

4.8 Sensitivitätsuntersuchungen

Anlass Bei den Prognoserechnungen der Polderfüllung müssen Annahmen zur Durchlässigkeit der Deckschichten und der Wirksamkeit der Drainagen getroffen werden. Die Annahmen zur Deckschichtdurchlässigkeit stützen sich auf Feld- und Laborversuche. Die Wirksamkeit der bestehenden Drainagen konnte über die Kalibrierung des Modells relativ gut bestimmt werden, da die Fördermengen der Schöpfwerke Auburg und Wörthhof der drainierten Wassermenge entsprechen. Für die geplanten Drainagen wurde eine entsprechende Wirksamkeit angenommen.

Unsicherheiten Trotz der guten Datenlage bleiben Unsicherheiten bestehen. Die Auswirkungen der Unsicherheiten sollen über Sensitivitätsuntersuchungen quantifiziert werden. Insbesondere wurden folgende Parameter variiert:

- Durchlässigkeit der Deckschicht
- Wirksamkeit der Drainagen
- Dauer der Polderfüllung
- Heterogenität des Schotters

Monte-Carlo-Simulation Nach der Erfahrung der lokalen Bevölkerung beim Bau von Bewässerungsbrunnen besitzt der Schotter in Abhängigkeit des Ortes sehr unterschiedliche Durchlässigkeiten. Zur Untersuchung des Einflusses einer solchen Heterogenität wurde eine Monte-Carlo-Simulation durchgeführt. Für das Modellgebiet wurden 500 zufällige, log-normalverteilte, Durchlässigkeitsverteilungen erzeugt. Mit jeder Durchlässigkeitsverteilung wurden eine Berechnung mit Polderfüllung und eine Berechnung der Referenz ausgeführt. Danach wurden die maximal während des Hochwasserdurchgangs erreichten Grundwasserstände miteinander verglichen und statistisch ausgewertet. Die benötigte Rechenzeit betrug vier Tage.

Rechenfälle Tabelle 2 zeigt eine Übersicht über die im Rahmen der Sensitivitätsuntersuchung durchgeführten Rechenfälle.

Parameter	Werte
Durchlässigkeit Deckschicht	1 x 10 ⁻⁵ [m/s] 1 x 10 ⁻⁷ [m/s]
Wirksamkeit Drainagen (Leakage)	2 [/d] 50 [/d]
Dauer der Polderfüllung	+7 Tage
Heterogenität des Schotters	log-Normal σ = 0.5

Tabelle 2: Rechenfälle der Sensitivitätsuntersuchung

4.8.1 Durchlässigkeit der Deckschicht

Parametervariation Für die Fallstudien wurde eine Deckschichtdurchlässigkeit von 1×10^{-6} m/s angesetzt. Dieser Wert wurde anhand der durchgeführten Feld- und Laborversuche festgelegt[1]. Die Messresultate streuen stark und es verbleibt eine Unsicherheit zur Deckschichtdurchlässigkeit. Mit zwei Fallstudien wurde deshalb der Einfluss einer um den Faktor 10 größeren oder kleineren Deckschichtdurchlässigkeit untersucht (Abbildung 26 und Abbildung 27).

Resultate Die resultierenden Differenzen zwischen den Fallstudien mit Polderfüllung und der Referenz ohne Polderfüllung sind in Abbildung 26 und Abbildung 27 dargestellt. Bei einer besseren Deckschichtdurchlässigkeit ist der durch die Polderfüllung bewirkte Anstieg der Grundwasserpotentiale höher als bei einer schlecht durchlässigen Deckschicht. Der Einfluss der Deckschichtdurchlässigkeit ist im Westen des Polders ausgeprägter als im Osten. Dies ist darauf zurückzuführen, dass im Westen mächtigere Deckschichten vorliegen als im Osten.

K_f Deckschicht	Drainage West	Wiesent Ost	Fördermenge
1×10^{-5} m/s	1,6 m ³ /s	0,8 m ³ /s	5 500 l/min
1×10^{-6} m/s	1,2 m ³ /s	0.6 m ³ /s	3 900 l/min
1×10^{-7} m/s	0,8 m ³ /s	0.5 m ³ /s	2 000 l/min

Tabelle 3: Auswirkung der Deckschichtdurchlässigkeit auf die Drainagemengen und erforderlichen Fördermengen der Sicherungsbrunnen.

Drainagemengen Tabelle 3 zeigt die Auswirkungen der Deckschichtdurchlässigkeit auf die Drainagemengen der Binnenentwässerung und die erforderlichen Fördermengen der Sicherungsbrunnen. Auch hier zeigt sich, dass die Deckschichtdurchlässigkeit im Osten (bei der Drainage Wiesent Ost) einen grösseren Einfluss ausübt als im Westen.

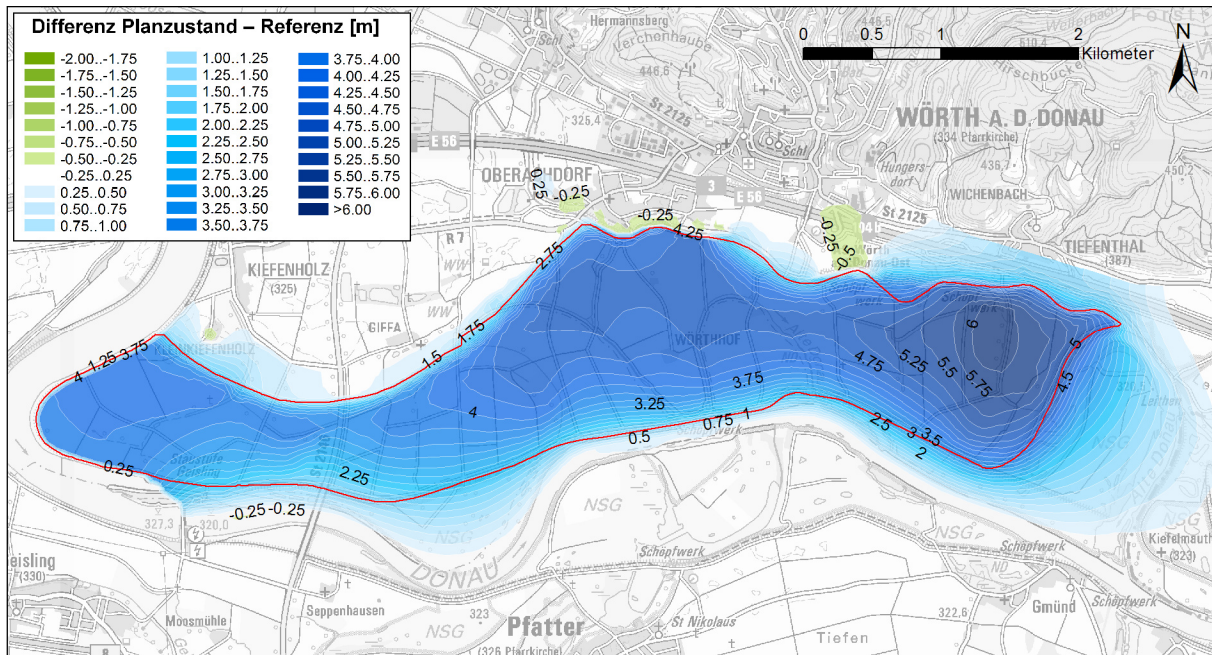


Abbildung 26: Flutpolder Würthhof mit Massnahmen, Durchlässigkeit der Deckschicht um den Faktor 10 erhöht: Differenz des maximalen Grundwasserpotentials bei Polderfüllung zur Referenz ohne Polderfüllung.

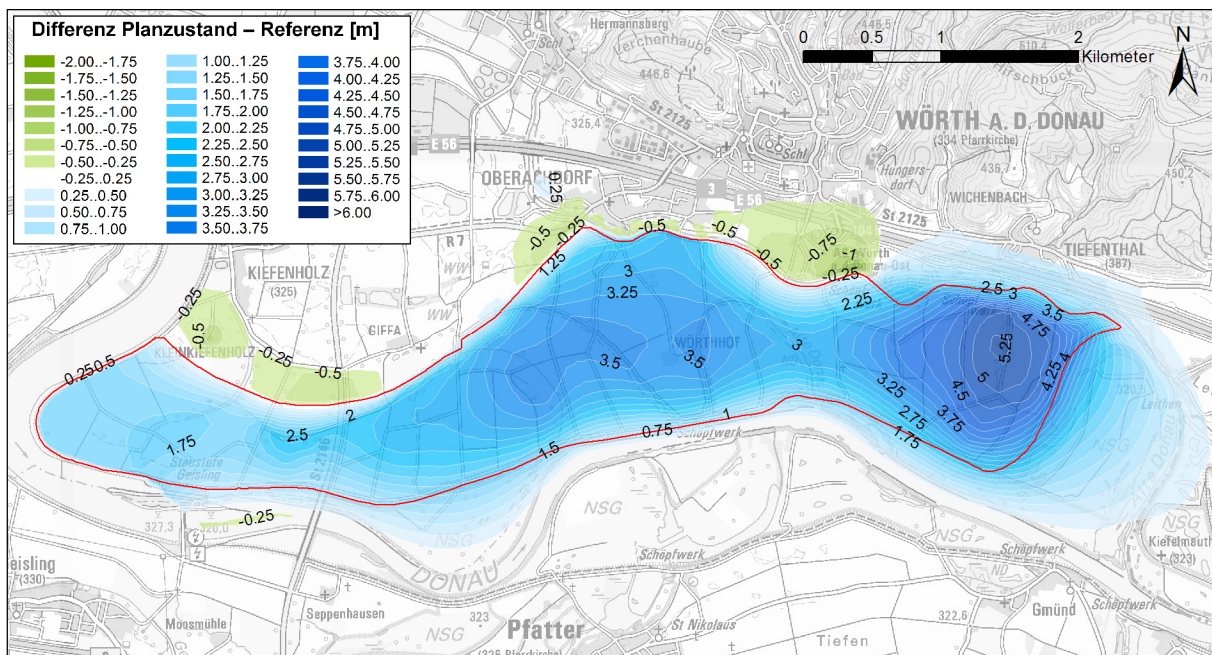


Abbildung 27: Flutpolder Würthhof mit Massnahmen, Durchlässigkeit der Deckschicht um den Faktor 10 erniedrigt: Differenz des maximalen Grundwasserpotentials bei Polderfüllung zur Referenz ohne Polderfüllung.

4.8.2 Wirksamkeit der Drainagen

Parametervariation Die Wirksamkeit von Drainagen im Gebiet des geplanten Flutpolders ist aus der Kalibrierung anhand der Schöpfwerksdaten gut abschätzbar. Um die verbleibende Unsicherheit zu quantifizieren, wurde je ein

Rechenfall mit 5-facher, resp. ein Fünftel Wirksamkeit der Binnendrainage durchgeführt (Abbildung 28 und Abbildung 29).

Resultate

Wird die Binnendrainage mit kleinerer Wirksamkeit berücksichtigt, ist der durch die Polderfüllung bewirkte Anstieg der Grundwasserpotentiale ausserhalb der Flutpolderfläche etwas höher. Eine Erhöhung der Wirksamkeit verbessert die Situation gegenüber dem Basisfall.

Leakage Drainagen	Drainage West	Wiesent Ost	Fördermenge
2 [d]	0.5 m ³ /s	0.2 m ³ /s	6 300 l/min
10 [d]	1,2 m ³ /s	0.6 m ³ /s	3 900 l/min
50 [d]	1,6 m ³ /s	0.9 m ³ /s	1 800 l/min

Tabelle 4:

Auswirkung der Wirksamkeit der Binnendrainagen auf die Drainagemengen und die erforderlichen Fördermengen der Sicherungsbrunnen.

Drainagemengen

Tabelle 4 zeigt die Auswirkungen der Wirksamkeit der Binnendrainage auf deren Drainagemengen und die erforderlichen Fördermengen. Bei höherer Wirksamkeit nimmt die drainierte Wassermenge zu, die Fördermengen dagegen ab.

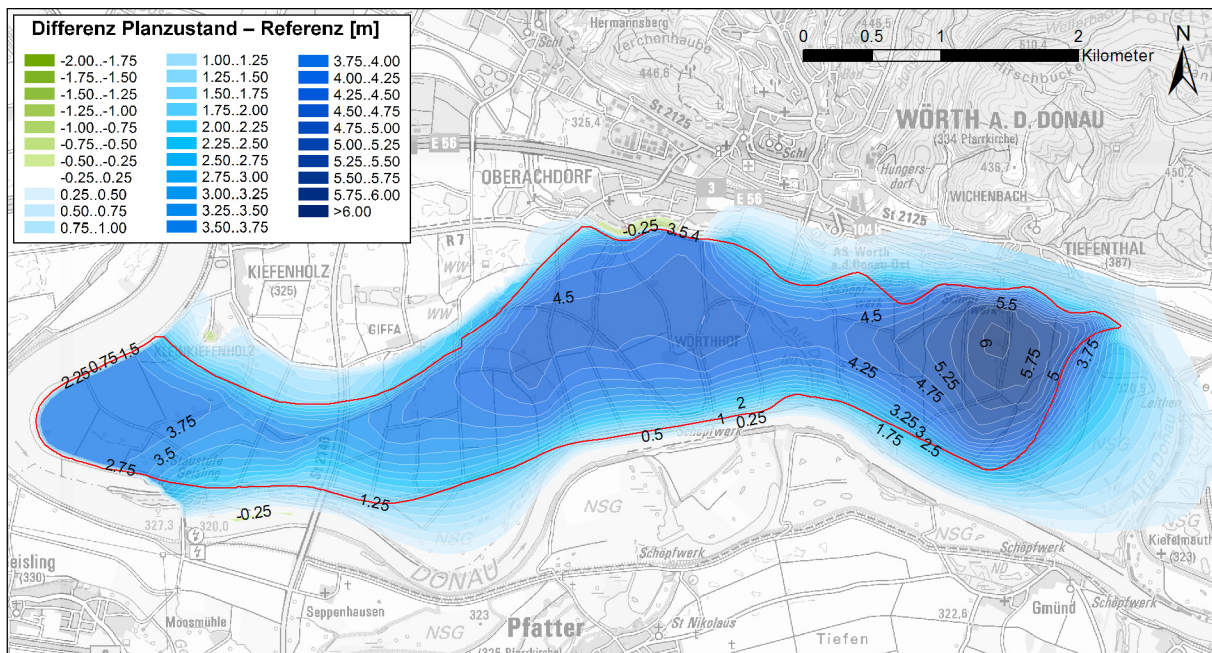


Abbildung 28:

Flutpolder Wörthhof mit Massnahmen, Wirksamkeit der Drainagen gefüllt: Differenz des maximalen Grundwasserpentials bei Polderfüllung zur Referenz ohne Polderfüllung.

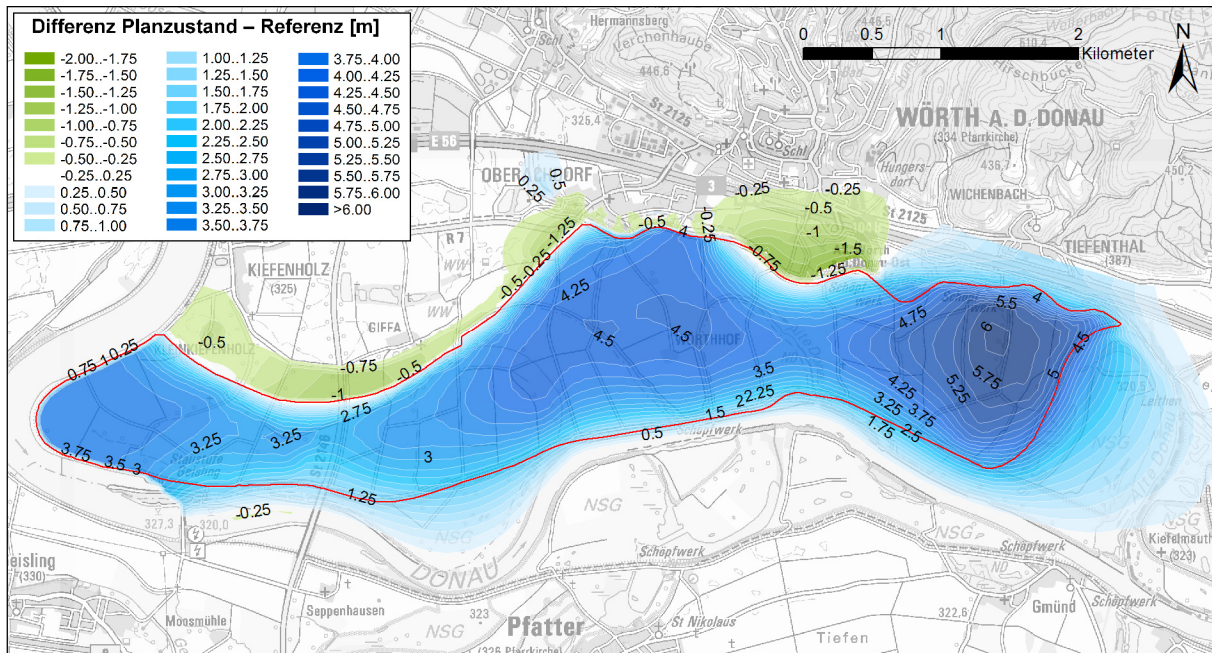


Abbildung 29 Flutpolder Würthhof mit Massnahmen, Wirksamkeit der Drainagen verflüchtigt: Differenz des maximalen Grundwasserpotentials bei Polderfüllung zur Referenz ohne Polderfüllung.

4.8.3 Dauer der Polderfüllung

Fülldauer Im hydraulischen Modell wurde angenommen, dass die Polder nach dem Durchgang der Hochwasserspitze sofort wieder geleert werden. Mit einer Sensitivitätsuntersuchung wurde der Einfluss einer um 7 Tage verlängerten Fülldauer untersucht.

Resultate Eine Verlängerung der Fülldauer wirkt sich kaum auf die Erhöhung der Grundwasserpotentiale infolge Polderfüllung aus (Abbildung 30).

Drainagemengen Tabelle 5 zeigt die Auswirkungen einer Verlängerung der Fülldauer auf die Drainagemengen der Binnenentwässerung und die erforderlichen Fördermengen. Die Auswirkungen sind klein.

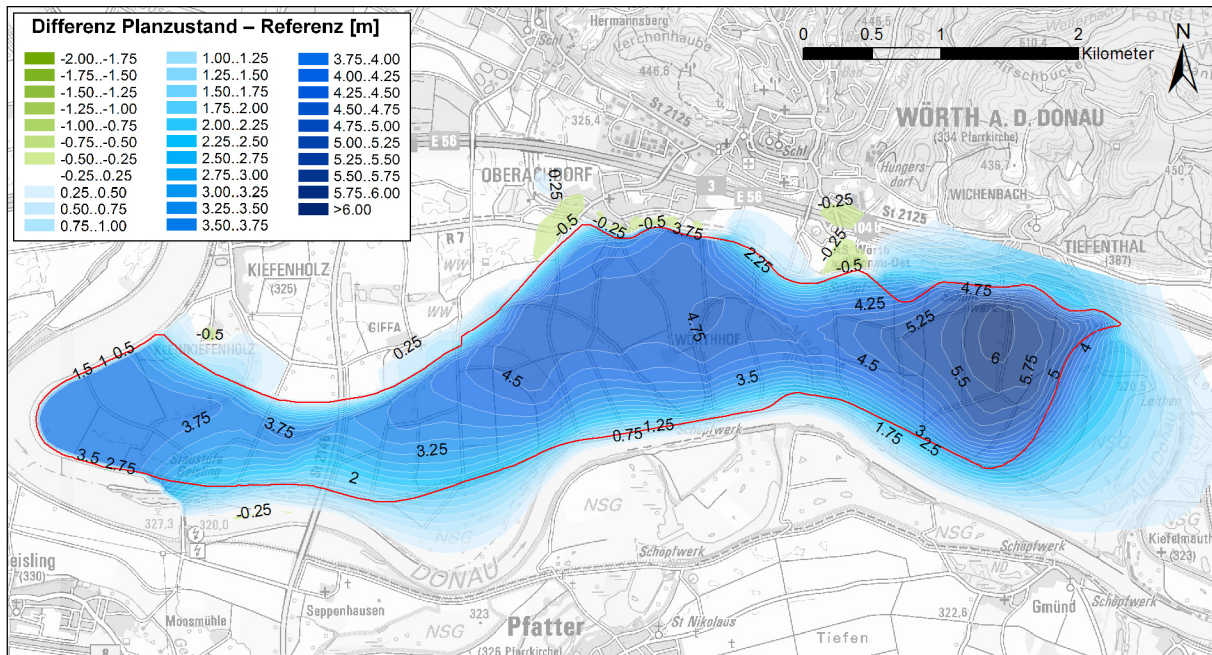


Abbildung 30: Flutpolder Wörthhof mit Massnahmen, um 7 Tage verlängerte Fülldauer: Differenz des maximalen Grundwasserpentials bei Polderfüllung zur Referenz ohne Polderfüllung.

Fülldauer	Drainage West	Wiesent Ost	Fördermenge
ca. 9 Tage	1,2 m ³ /s	0.6 m ³ /s	3 900 l/min
ca. 16 Tage	1.3 m ³ /s	0.7 m ³ /s	4 600 l/min

Tabelle 5: Auswirkung der Fülldauer auf die Drainagemengen und erforderlichen Fördermengen der Sicherungsbrunnen.

4.8.4 Heterogenität des Schotters

Fragestellung

Beim Bohren von Bewässerungsbrunnen haben die Landwirte beobachtet, dass der Untergrund sehr heterogen ist. Dies wurde auch durch die Erkundungsbohrungen bestätigt. Der Einfluss der Heterogenität wurde deshalb mit einer Monte-Carlo-Simulation untersucht. Die Durchlässigkeitsverteilung wird dabei üblicherweise als log-normal angenommen [5][6][7].

Vorgehen

Für das Modellgebiet wurden 500 zufällige Durchlässigkeitsverteilungen erzeugt. Mit jeder Durchlässigkeitsverteilung wurden eine Berechnung mit Polderfüllung und eine Berechnung der Referenz ausgeführt. Aus den Modellresultaten wurde der jeweils höchste Stand der Grundwasserpotentiale in jedem Modellknoten herausgelesen und die Differenz zwischen dem Zustand mit Polderfüllung und Referenz abgespeichert. Zusätzlich wurden ebenfalls die Drainagemenge in der Binnenentwässerung und die Fördermenge ausgelesen.

Durchlässigkeitsverteilung

Da die Elementgrößen im Grundwassermodell unterschiedlich sind, wurde ein Gitterraster von 200 x 200 m über das Modellgebiet gelegt. In diesem Gitter wurde eine normalverteilte Variable mit Mittelwert 0

und Standardabweichung 0.5 erzeugt. Anschliessend wurde die Zufallsvariable jeder Gitterzelle zum Zehnerlogarithmus der kalibrierten Durchlässigkeit aller zugeordneten Elemente dazugezählt. Die Elementdurchlässigkeit ermittelt sich als Potenz mit Basis 10 und dem ermittelten Wert als Exponent. Abbildung 31 zeigt eine der realisierten Durchlässigkeitsverteilungen im Gebiet des geplanten Flutpolders.

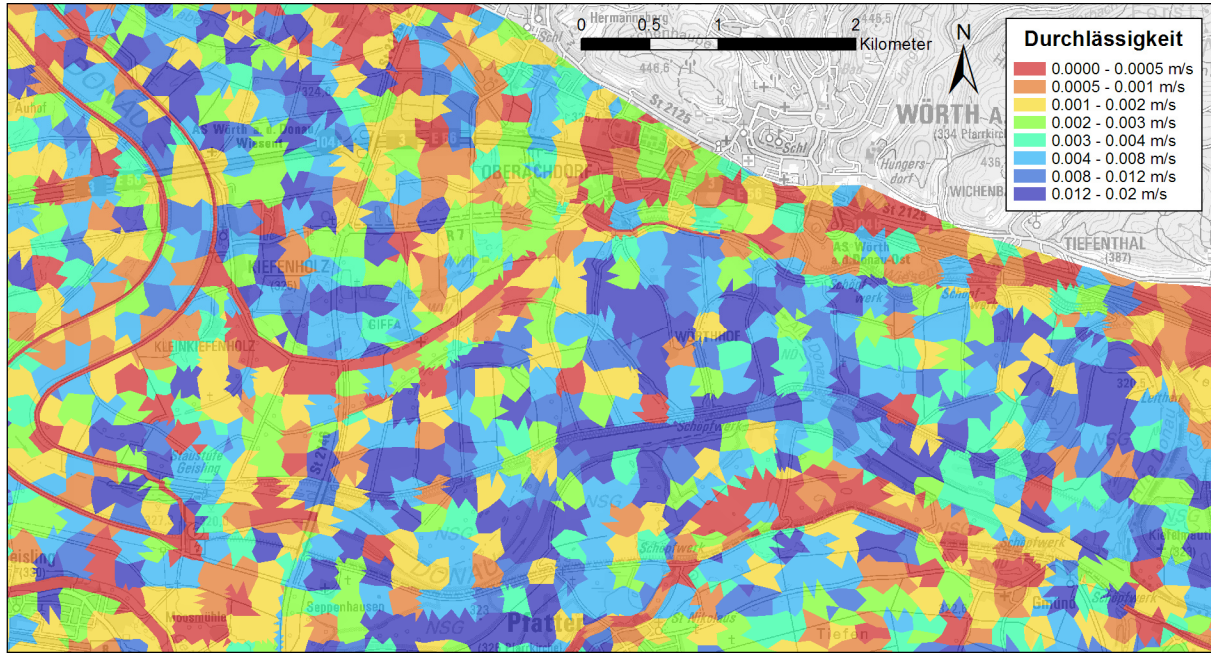


Abbildung 31: Realisation mit log-normal zufallsverteilter Durchlässigkeit.

Resultate

In Abbildung 32 bis Abbildung 34 sind die Differenzen der maximalen Grundwasserpotentiale mit Polderfüllung zur Referenz ohne Polderfüllung dargestellt. Die Darstellungen zeigen jeweils den Median und die 5%- und 95%-Perzentile der Differenz.

Die Mediane der Abweichungen (Abbildung 32) unterscheiden sich nur geringfügig von denen der Ausgangsfallstudie mit kalibrierter Durchlässigkeitsverteilung (Abbildung 12). Interessanter sind die Darstellungen der 95%-Perzentile (Abbildung 33 und Abbildung 34). Sie zeigen den maximalen Grundwasseranstieg, welcher mit 95 Prozent Wahrscheinlichkeit nicht überschritten wird. Die Darstellungen zeigen, dass der Grundwasseranstieg mit den vorgesehenen Massnahmen trotz ungünstiger Annahmen zur Heterogenität des Untergrundes begrenzt werden kann.

Kritische Stellen

Bei den Berechnungen mit zufallsverteilter Heterogenität wurden sowohl bezüglich der Streuung der Durchlässigkeiten, wie auch der Grösse des Gitterrasters sehr ungünstige Annahmen getroffen. Die Resultate des 95%-Perzentils können deshalb als schlechtester Fall betrachtet werden. Die Berechnungen zeigen, dass sich beim Polder Wörthhof die kritischen Stellen bezüglich des Grundwasseranstiegs bei Kleinkiefenholz und im östlichen Teil von Oberachdorf befinden.

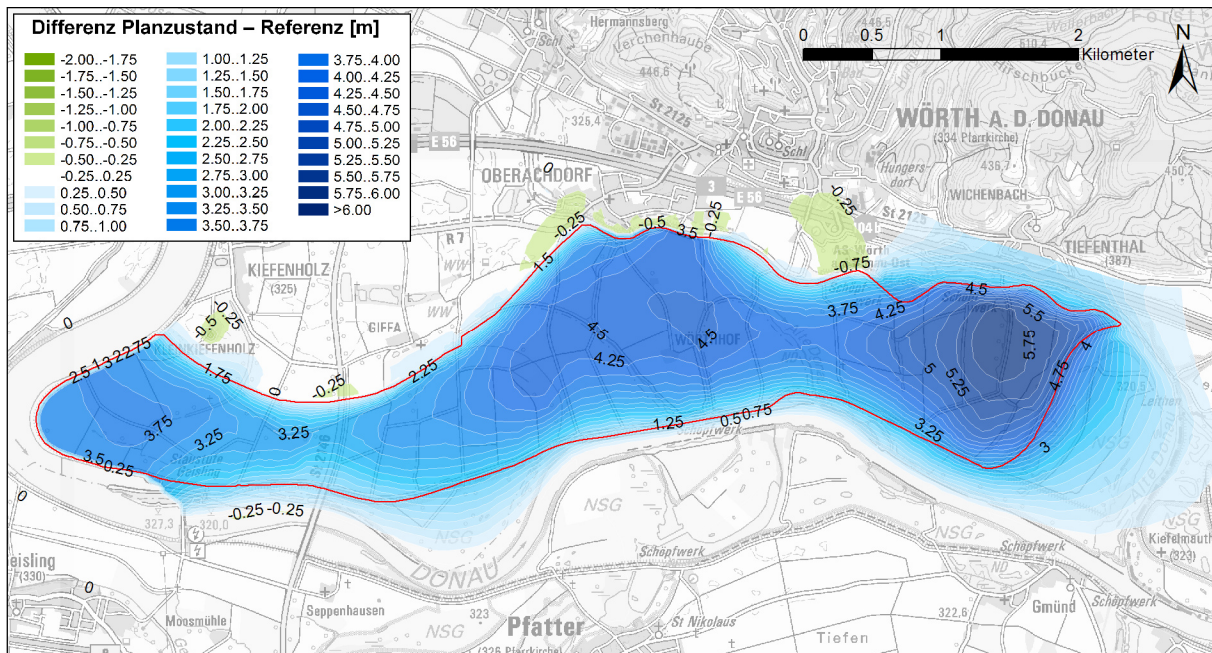


Abbildung 32: Flutpolder Wörthhof, Monte-Carlo-Simulation: Median der Differenz zwischen den maximalen Grundwasserpotentialen mit Polderfüllung und Referenz ohne Polderfüllung.

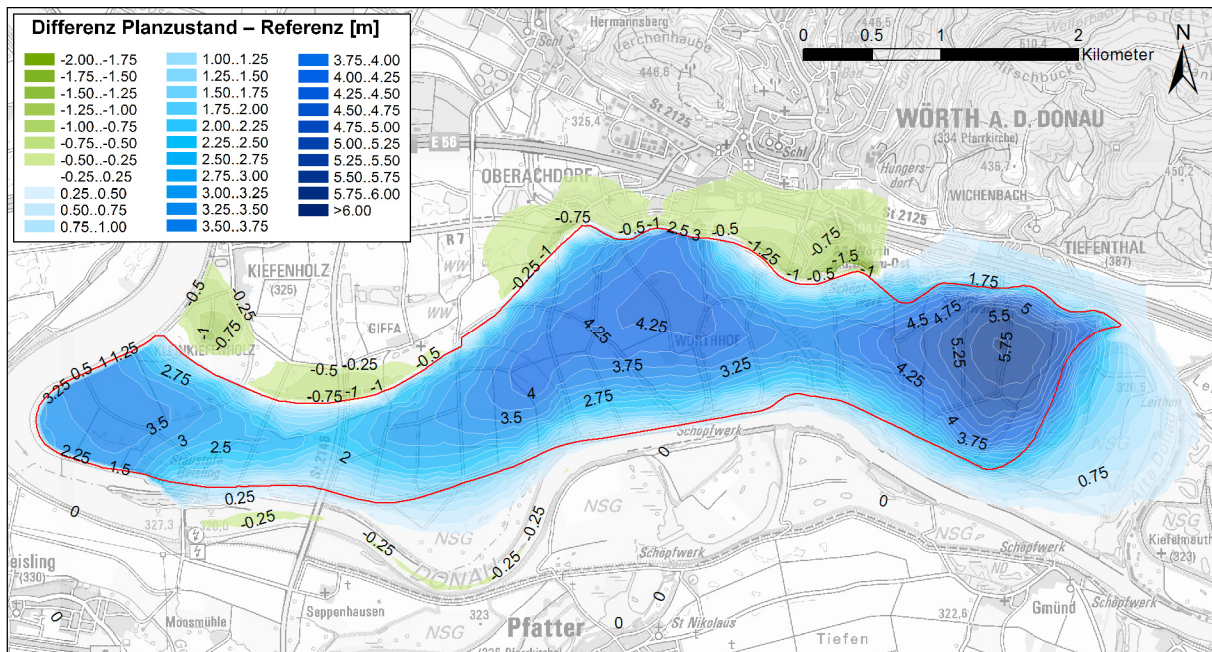


Abbildung 33: Flutpolder Wörthhof, Monte-Carlo-Simulation: 5%-Perzentil der Differenz zwischen den maximalen Grundwasserpotentialen mit Polderfüllung und Referenz ohne Polderfüllung.

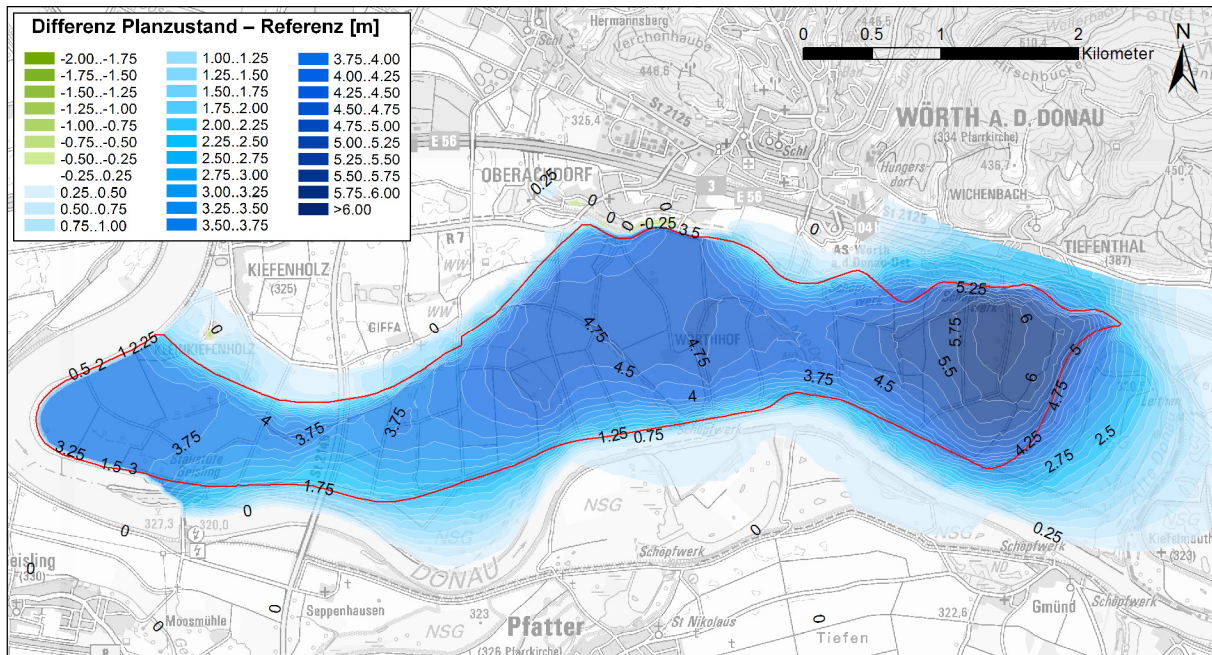


Abbildung 34: Flutpolder Würthhof, Monte-Carlo-Simulation: 95%-Perzentil der Differenz zwischen den maximalen Grundwasserpotentialen mit Polderfüllung und Referenz ohne Polderfüllung.

Drainagemengen

Tabelle 6 zeigt die Auswirkungen der Heterogenität des Untergrundes auf die Drainagemengen der Binnenentwässerung und die erforderlichen Fördermengen. Die Drainagemengen der Binnenentwässerung weisen nur einen geringen Schwankungsbereich auf, während sich die Fördermengen zwischen dem 5%- und dem 95%-Perzentil stark unterscheiden. Dies ist zu erwarten, da sich die Durchlässigkeitswerte im Umkreis des Brunnens in den verschiedenen Realisationen der Zufallsverteilung um bis zu 4 Größenordnungen unterscheiden. Die Unsicherheit bezüglich der erforderlichen Fördermenge kann in späteren Projektphasen durch Pumpversuche stark eingegrenzt werden.

Auswertung	Drainage West	Wiesent Ost	Fördermenge
5%-Perzentil	1.06 m ³ /s	0.73 m ³ /s	1 000 l/min
Median	1.24 m ³ /s	0.86 m ³ /s	4 200 l/min
95%-Perzentil	1.45 m ³ /s	0.99 m ³ /s	11 800 l/min

Tabelle 6: Auswirkung der Heterogenität des Untergrundes auf die Drainagemengen und erforderlichen Fördermengen der Sicherheitsbrunnen.

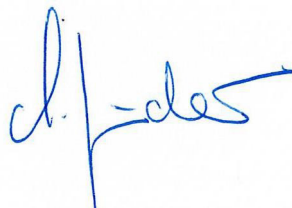
5 Zusammenfassung

Grundwassermodell	An der bayerischen Donau sind gesteuerte Flutpolder zur Verzögerung und Abflachung von Hochwasserspitzen vorgesehen. Im Bereich östlich von Regensburg wurde der Standort Wörthhof als möglicher Flutpolderstandort identifiziert. Für den Einflussbereich dieses Flutpolders wurde ein Grundwassermodell erstellt. Das Modell wurde an langjährigen Grundwasserspiegelmessungen, sowie den Fördermengen von Schöpfwerken kalibriert und validiert.
Ziele	Mit Hilfe des Grundwassermodells wurden die Auswirkungen der Flutpolder auf den Grundwasserspiegel und die Anströmung zum Trinkwasserwerk Giffa 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.
Machbarkeit	Der Flutpolder Wörthhof kann mit entsprechenden Gegenmassnahmen so realisiert werden, dass keine nachteiligen Einflüsse auf das Grundwasser zu erwarten sind. Entlang der Deiche müssen dazu entweder die bestehenden Drainagegräben ertüchtigt oder neue Drainagen erstellt werden.
Massnahmen	Zur Kontrolle der Grundwasserstände sind beim Flutpolder Wörthhof folgende Maßnahmen erforderlich: <ul style="list-style-type: none">- Drainagekanal südlich von Kleinkiefenholz zwischen Donau und Sichelsee mit Ableitung in den Sichelsee.- Drainagekanal zwischen Sichelsee und Oberachdorf mit Schöpfwerk bei der dortigen Flutmulde.- Verlängerung der Wiesent bis zum Schöpfwerk Osterbach.- Sicherungsbrunnen bei der Siedlung Kleinkiefenholz
Unsicherheiten	Zur Quantifizierung der Unsicherheiten wurden umfangreiche Sensitivitätsuntersuchungen durchgeführt. Mit einer Monte-Carlo-Simulation wurde der Einfluss einer Inhomogenität der Schotterdurchlässigkeit untersucht. Die Untersuchungen zeigen, dass auch bei ungünstiger Parameterkonstellation kein relevanter Anstieg des Grundwasserpotentials in bewohnten Gebieten zu erwarten ist.

6 Literatur

- [1] Simultec - tewag (2017): Grundwassermodell Flutpolder Eltheim und Wörthhof: Modellaufbau, Hydrogeologisches Modell und Modellkonzepte. *Im Auftrag des WWA Regensburg*
- [2] Simultec - tewag (2017): Grundwassermodell Flutpolder Eltheim und Wörthhof: Modellaufbau, Kalibrierung und Validierung. *Im Auftrag des WWA Regensburg.*
- [3] Simultec - tewag (2017): Grundwassermodell Flutpolder Eltheim und Wörthhof: Auswirkungen der Staustufe Geisling auf die Grundwasserspiegel. *Im Auftrag des WWA Regensburg.*
- [4] Simultec - tewag (2017): Grundwassermodell Flutpolder Eltheim und Wörthhof: Auswirkungen der Staustufe Straubing auf die Grundwasserspiegel. *Im Auftrag des WWA Regensburg.*
- [5] Gmünder C., Arn T. (1993): Application of Seepage Flow Models to a Drainage Project in Fractured Rock, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 26 (2)
- [6] Fritz Stauer (1998): Strömungsprozesse im Grundwasser, Konzepte und Modelle, *vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.*
- [7] Theis, H.J. (2005): Quantifizierung der Prognoseunsicherheiten bei der praktischen Anwendung numerischer Grundwassermodelle. *Dissertation Universität Kaiserslautern.*

Simultec AG, Zürich, 16.05.2022



Christian Gmünder