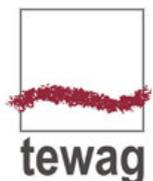




Grundwassermodell Flutpolder Eltheim und Wörthhof

Auswirkungen der Staustufe Geisling auf die Grundwasserspiegel

November 2017



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

Grundwassermodell Flutpolder Eltheim und Wörthhof
Auswirkungen der Staustufe Geisling auf die Grundwasserspiegel

Inhalt

1	Einleitung, Ziel	1
2	Vorgehen	2
2.1	Wahl von Vergleichszeiträumen	2
2.1.1	Zeitraum der Bauarbeiten	2
2.1.2	Bau und Beschaffenheit der Dichtwände	2
2.1.3	Klimatische Bedingungen	4
2.1.4	Kolmation der Donausohle	6
2.1.5	Fazit	7
2.2	Einsatz des Grundwassermodells.....	8
2.2.1	Veränderliche und unveränderliche Parameter.....	8
2.2.2	Berücksichtigung der Donau.....	9
2.2.3	Berücksichtigung der Dichtwand	10
2.2.4	Berücksichtigung der Binnenentwässerung	11
2.2.5	Methodik der Auswirkungsermittlung	11
3	Güte der Kalibrierung	13
4	Resultate	18
4.1	Vergleich 1977 – 1993.....	18
4.2	Vergleich 1977 mit und ohne Staustufe	19
4.3	Vergleich 1993 mit und ohne Staustufe	21
4.4	Vergleich Hochwasser 1988 mit und ohne Staustufe.....	23
5	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	27
6	Literatur	28

1 Einleitung, Ziel

Vorgeschichte	Die Staustufe Geisling wurde in den Jahren 1976 bis 1985 erstellt. Mit dem Aufstau wurde der Wasserspiegel der Donau um bis zu 8 m erhöht. Da die Donau mit dem umgebenden Grundwasserleiter verbunden ist, wurden die Sperre und die Donaudämme entlang der Stauhaltung mit einer Dichtwand versehen. Landseitig wurde eine Binnenentwässerung erstellt. Das anfallende Wasser wird mit Schöpfwerken in die Donau zurück gepumpt [1].
Planfeststellung	In verschiedenen Planfeststellungsbeschlüssen wurden Aussagen zu den zukünftigen Grundwasserverhältnissen gemacht. Im Planfeststellungsbeschluss vom 21.12.1983 wird zum Beispiel für den Polder Barbing/Friesheim zugesichert: „Durch das Entwässerungssystem (Gräben, Sickerleitung mit Pumpbrunnen und Schöpfwerk) wird künftig der mittlere Grundwasserstand etwa auf Höhe des bisherigen mittleren Grundwasserstandes gehalten, zumindest aber innerhalb des bisherigen Grundwasserschwankungsbereiches“ [3].
Bestehende Untersuchung	Nach dem Aufstau beklagten sich Anwohner über ungewöhnlich hohe Grundwasserstände. Das Landratsamt Regensburg beauftragte Prof. Malcherek von der Universität der Bundeswehr München mit einer Untersuchung. Aufgrund eines Vergleichs der gemittelten gemessenen Grundwasserspiegel der Zeiträume 1961 – 1984, 1986 – 1996 und 1997 -2015 kam dieser zum Schluss, dass sich die flussnahen Grundwasserstände durch den Donauausbau erheblich erhöht haben.
Grundwassermodell	Im Rahmen des Raumordnungsverfahrens für die Flutpolder Eltheim und Wörthhof wurde ein Grundwassermodell erstellt. Es umfasst den Schottergrundwasserleiter zwischen Regensburg und Pondorf. Dieses Grundwassermodell soll dazu eingesetzt werden, die durch den Bau der Staustufe Geisling verursachten Veränderungen der Grundwassersituation zu quantifizieren.

2 Vorgehen

2.1 Wahl von Vergleichszeiträumen

2.1.1 Zeitraum der Bauarbeiten

Bauarbeiten	Zwischen dem Baubeginn für die Staustufe Geisling bis zum Aufstau der Staustufe Straubing wurden im Modellgebiet praktisch jedes Jahr Bauarbeiten ausgeführt, welche den Grundwasserspiegel beeinflussen. Im Folgenden werden die wichtigsten Ereignisse zusammengestellt:
1976	Baubeginn der Staustufe Geisling
1981	Inbetriebnahme des Schöpfwerks Tegernheim
1983	Inbetriebnahme der Schöpfwerke Demling und Osterbach
1984	Inbetriebnahme des Pumpwerks Friesheim
1985	Inbetriebnahme der Schöpfwerke Donaustauf, Sarching und Moosgraben
1986	Aufstau der Staustufe Geisling (Dezember 1985)
1987	Inbetriebnahme der Schöpfwerke Tiefenthal und Wörthhof
1989	Verbesserung der Drainagewirkung im Bereich Eltheim, Inbetriebnahme des Schöpfwerks Auburg.
1990	Inbetriebnahme des Schöpfwerks Gmünd
1991	Inbetriebnahme der Schöpfwerke Kirchenbach und Pfatter
1995	Aufstau der Staustufe Straubing

2.1.2 Bau und Beschaffenheit der Dichtwände

Bauzeit	Beim Bau der Staustufe Geisling wurden entlang des Stauraums Dichtwände gebaut, um die Infiltration von Donauwasser in den Grundwasserleiter zu reduzieren. Die Bauzeit erstreckte sich über 8 Jahre. Die Dichtwände wurden als Schmalwände realisiert. Dabei werden Stahlbohlen in den Untergrund gerüttelt, unter welche beim Herausziehen eine Zementsuspension verpresst wird.
Beschaffenheit	<p>Eine gewisse, tolerierbare Durchlässigkeit ergibt sich auf der ganzen Dichtwandstrecke durch Fehlstellen der Zementsuspension und durch die Unterströmung der Dichtwand an Stellen wo diese die Quartärbasis nicht erreicht (Abbildung 3).</p> <p>Im Bereich von Auburg, wo unter dem Quartär das Paläozoikum ansteht, konnte keine gute Einbindung der Dichtwand realisiert werden, weshalb im Jahr 1989 das Schöpfwerk Auburg in Betrieb genommen und verschiedene Drainagegräben angelegt oder ertüchtigt wurden [1].</p>

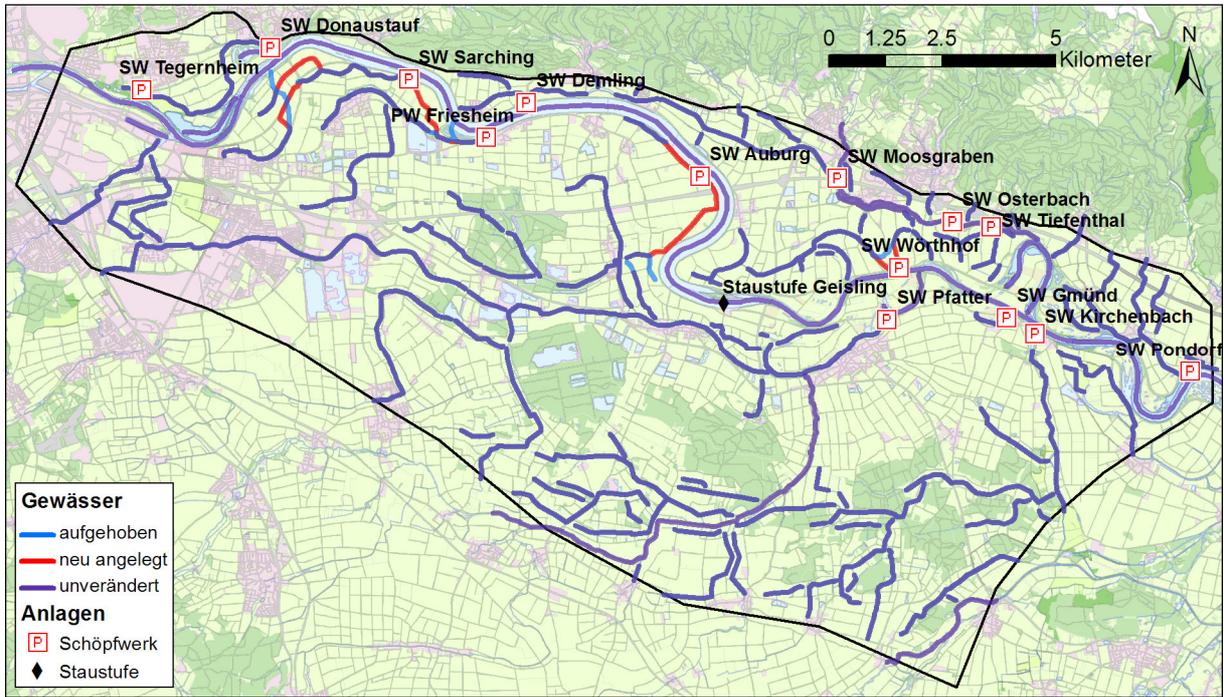


Abbildung 1: Schöpfwerke, Gewässer im Modellgebiet vor und nach dem Donauausbau

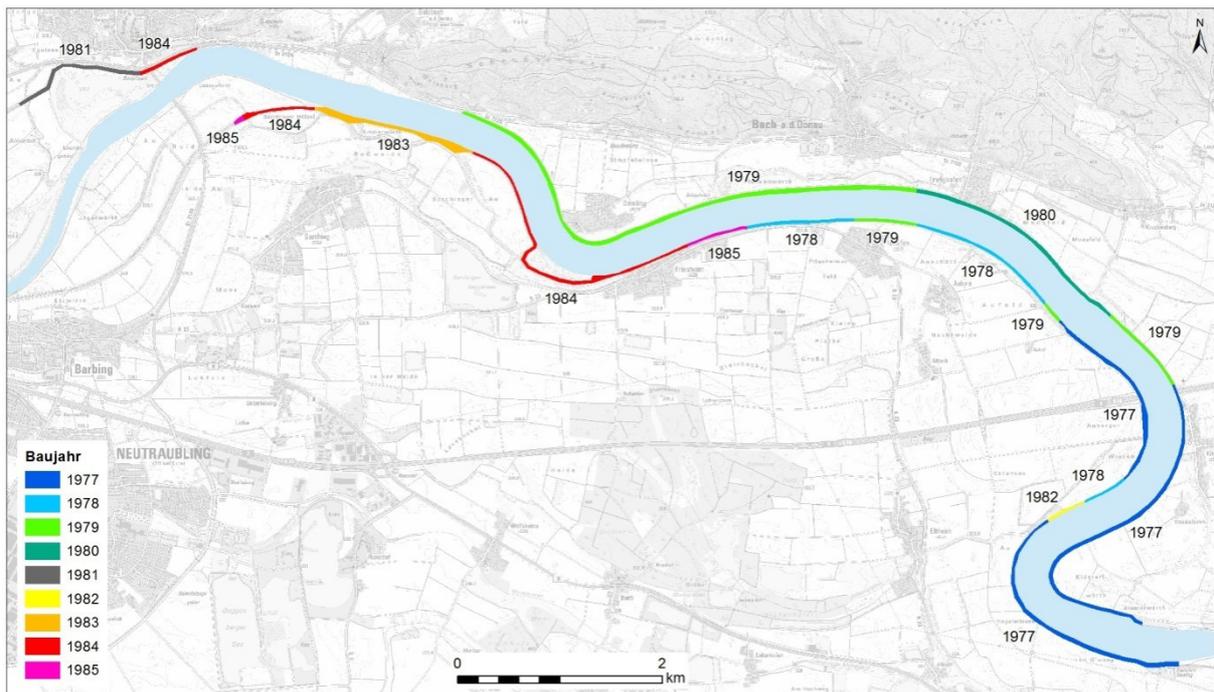


Abbildung 2: Lage und Baujahr der Dichtwände der Staustufe Geisling.

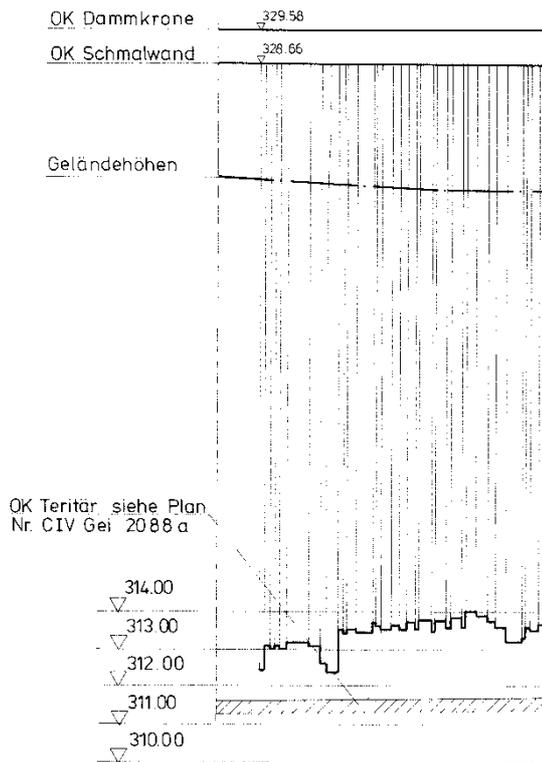


Abbildung 3: Links: Längsschnitt entlang der Dichtwand, Teilausschnitt auf der rechten Donauseite. Rechts: Freigelegte Schmalwand mit Lücke.

2.1.3 Klimatische Bedingungen

- Einflussfaktoren** Neben der Beeinflussung durch Bauarbeiten wurden die Grundwasserverhältnisse auch durch die klimatischen Bedingungen und die Abflüsse der Donau und deren Nebengewässer beeinflusst. Eine eindeutige Zuordnung von Veränderungen im Grundwasser zum Donauausbau ist nur dann möglich, wenn alle anderen Randbedingungen identisch sind. Als Erstes wurde deshalb untersucht, ob und in welchen Zeiträumen die klimatischen Bedingungen vor und nach dem Bau der Staustufe Geisling vergleichbar sind. Massgebend sind insbesondere die Donauabflüsse und die Grundwasserneubildung. Dabei interessieren sowohl Mittel- wie Spitzenwerte.
- Donauabfluss** Abbildung 4 zeigt den Donauabfluss von 1970 bis 2014, zusammen mit den Bauphasen der Staustufen Geisling und Straubing. Für den Vergleich müsste ein Zeitraum vor 1983 und ein Zeitraum zwischen 1986 und 1993 gefunden werden, bei welchem die Verhältnisse ähnlich sind.
- Mittelwerte** Abbildung 5 zeigt die gleitenden Jahresmittel des Donauabflusses und der Grundwasserneubildung auf Ackerfläche. Die Grundwasserneubildung wurde aus der klimatischen Wasserbilanz ermittelt. Für die Berechnung der Evapotranspiration wurde das Verfahren nach FAO (Penman-Monteith) verwendet [6]. In der Abbildung 6 ist das gleitende Mittel über 5 Jahre dargestellt.

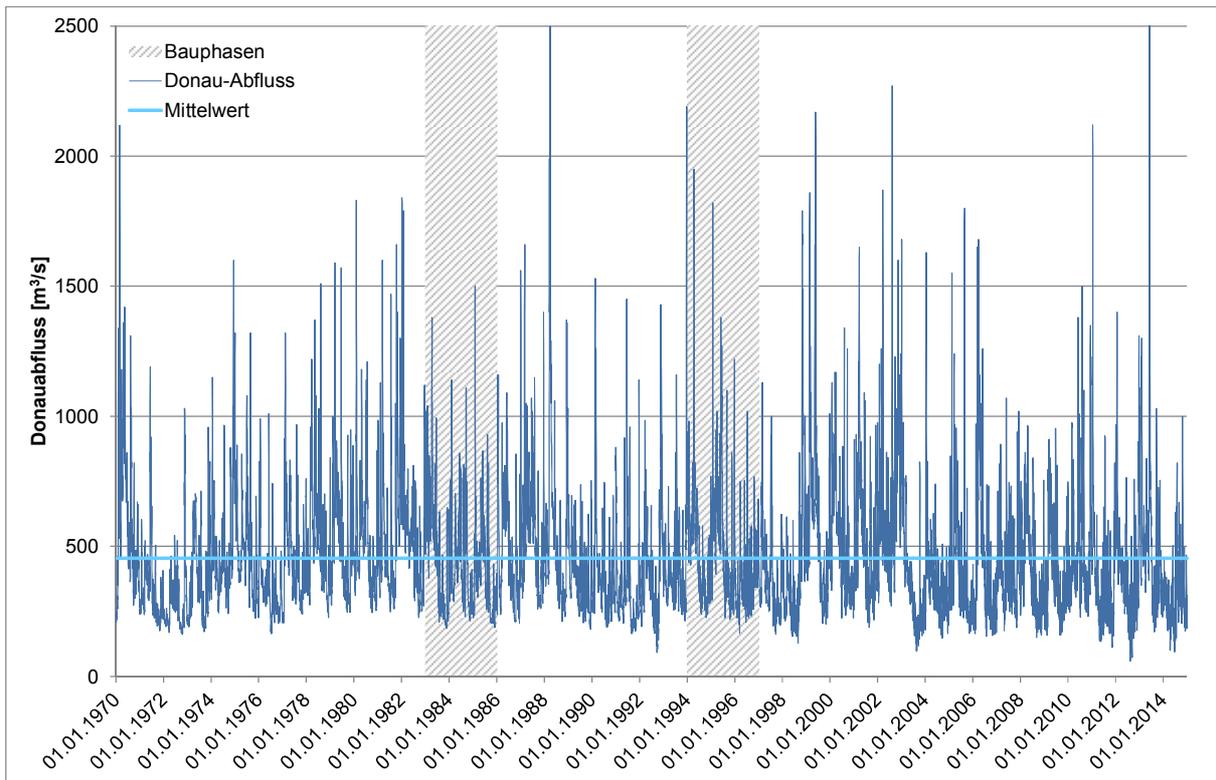


Abbildung 4: Abflussmenge der Donau bei Schwabelweis

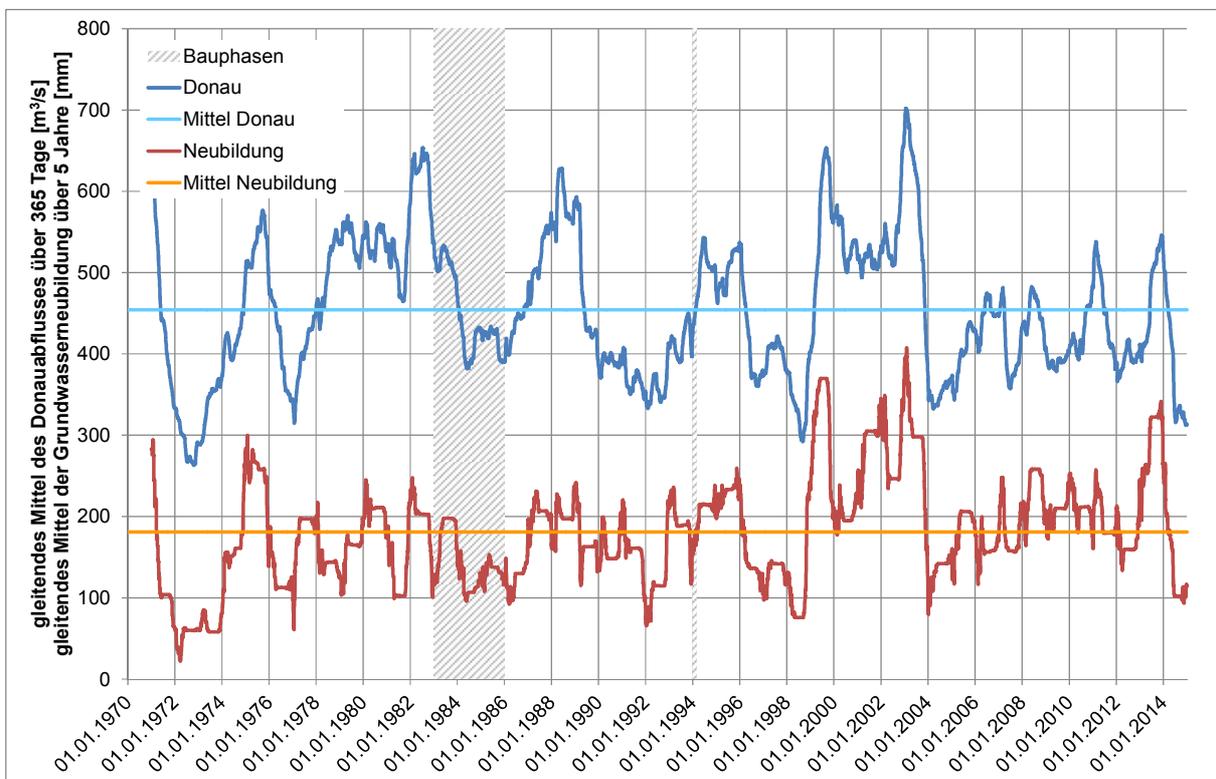


Abbildung 5: Gleitendes Jahresmittel des Donauabflusses und der Grundwasserneubildung auf Ackerfläche (Hackfrüchte)

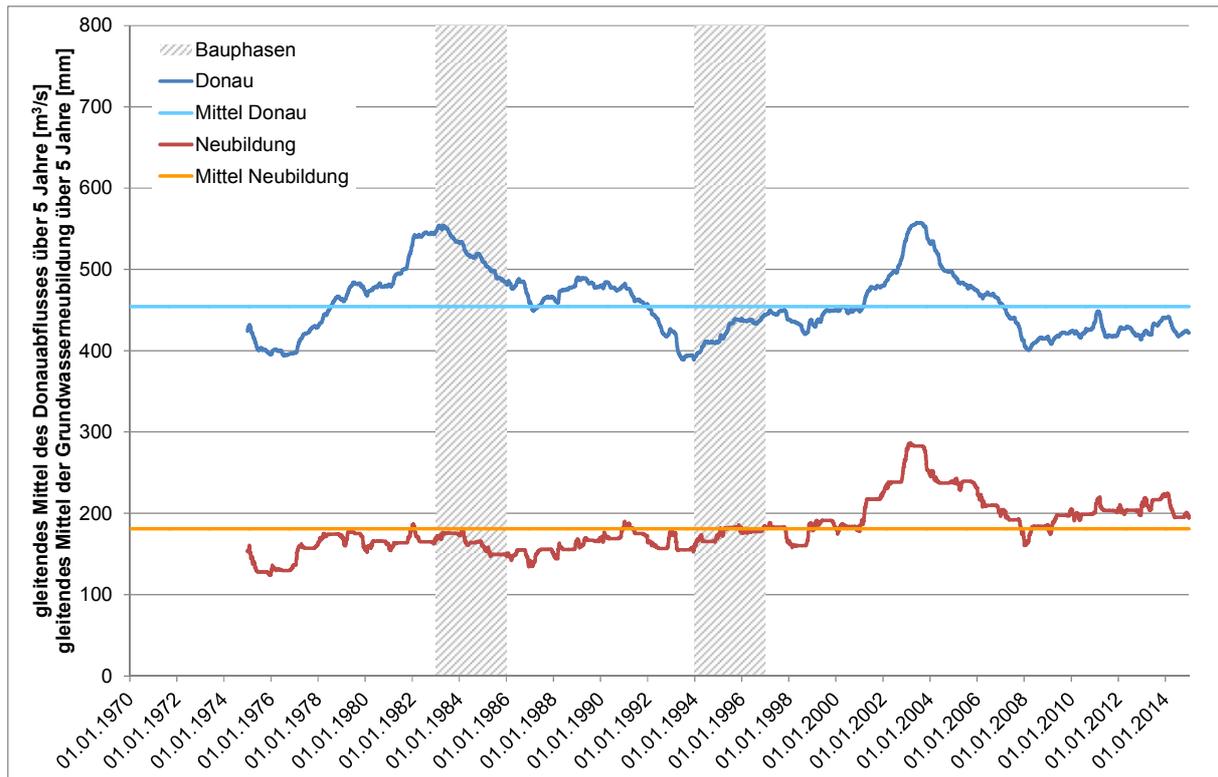


Abbildung 6: Gleitendes Mittel über 5 Jahre des Donauabflusses und der Grundwasserneubildung auf Ackerfläche (Hackfrüchte)

Vergleich

Die Darstellungen zeigen folgende Besonderheiten

- Die Mittelwerte der Grundwasserneubildung über 5 Jahre liegen in der Zeitperiode vor und nach dem Bau der Staustufe etwas unter dem langjährigen Mittel und sind damit vergleichbar.
- Bei den Abflüssen entsprechen die Mittel der Jahre 1973 – 1978 und 1987 – 1992 dem langjährigen Abflussmittel.
- Die Jahresmittel des Donauabflusses schwanken stark. Insbesondere nach Inbetriebnahme des Schöpfwerks Auburg im Jahr 1989 sind die Abflüsse tiefer als der Mittelwert, während sie vor dem Bau der Staustufe darüber lagen.
- Die Hochwasserspitze von 1988 ist deutlich höher als die Hochwasser der letzten 10 Jahre vor dem Bau der Staustufe.
- Niederwassersituationen und Trockenphasen mit wenig Grundwasserneubildung treten sowohl vor als auch nach dem Bau der Staustufe auf.

2.1.4 Kolmation der Donausohle

Geschiebetransport Beim Aufstau der Donau durch die Staustufe Geisling wurde die Fließgeschwindigkeit im Stauraum deutlich reduziert. In der Folge lagerte sich an der Donausohle feineres Geschiebe ab, welches die Sohle kolmatierte. Die Sohlendurchlässigkeit nimmt deshalb seit dem Aufstau ab.

Schöpfwerk Auburg

Eine Auswertung der Betriebsprotokolle des Schöpfwerks Auburg [4] zeigt, dass die Pumpmengen seit der Inbetriebnahme deutlich abgenommen haben (Abbildung 7). Die Abnahme kann entweder auf eine zunehmende Kolmatierung der Donausohle im Stauraum, oder eine Abnahme der Drainagewirkung der Binnenentwässerung zurückgeführt werden. Eine Abnahme der Drainagewirkung wäre jedoch mit einem Anstieg der Grundwasserspiegel verbunden. Da die Grundwasserspiegel im Gebiet von Auburg seit 1989 etwa konstant geblieben sind, muss die Ursache bei der die Kolmatierung der Donausohle liegen. Mit der Nachbildung der Drainagemenge im Einzugsgebiet des Schöpfwerks Auburg kann deshalb im Grundwassermodell die Abnahme der Sohlendurchlässigkeit der Donau quantifiziert werden.

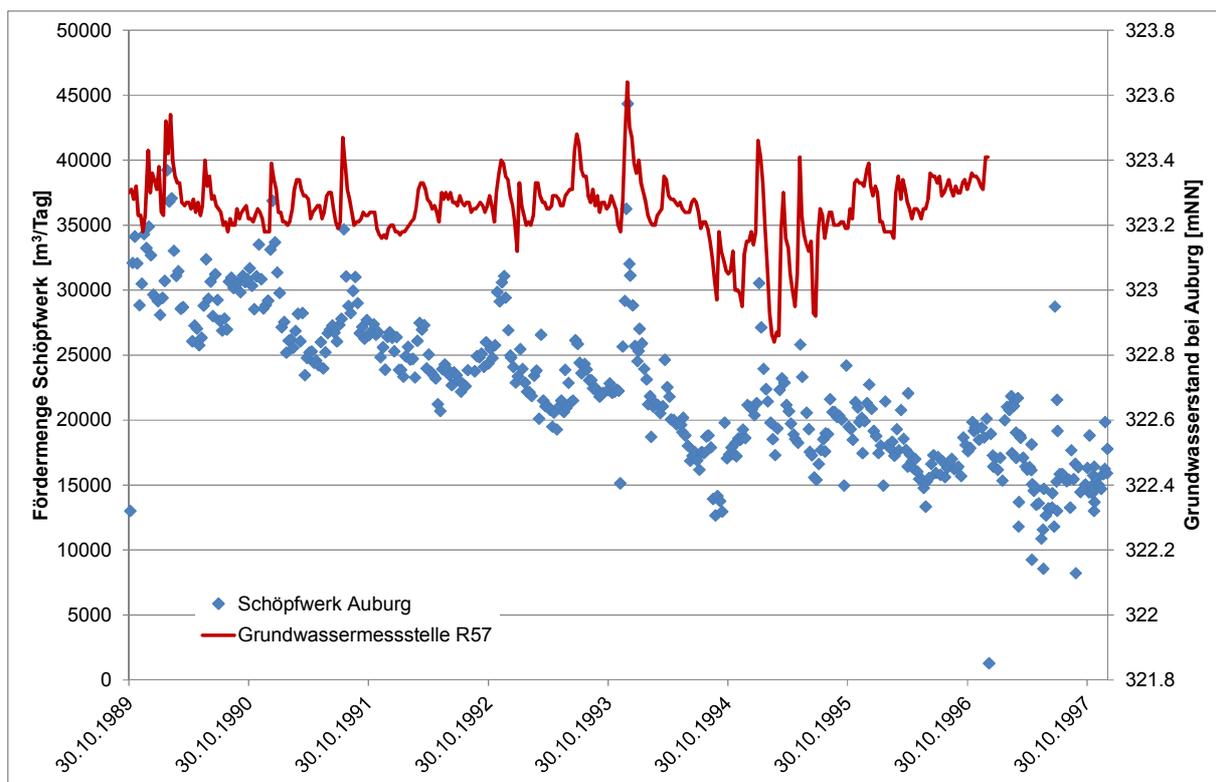


Abbildung 7: Fördermenge des Schöpfwerks Auburg von der Inbetriebnahme bis zum Dezember 1997. Grundwasserstand in der Messstelle R57 bei Auburg.

2.1.5 Fazit

Problematik

Ein direkter Vergleich zwischen den Zuständen vor und nach dem Bau der Staustufe Geisling ist praktisch unmöglich, da die Grundwasserstände durch Bauarbeiten, veränderliche klimatische Bedingungen und die zunehmende Kolmatierung der Donausohle beeinflusst wurden.

Lösungsansatz

Mit dem Grundwassermodell steht ein Instrument zur Verfügung, mit welchem die einzelnen Einflussfaktoren voneinander getrennt betrachtet werden können. Mit dem Modell kann deshalb für einen Ver-

- Das Anlegen neuer Kiesentnahmen und die Kolmation bestehender Baggerseen wirkt sich nicht relevant auf den Grundwasserspiegel aus.
- Es gibt keine relevanten Veränderungen an den übrigen Drainagerinnen oder Nebengewässern der Donau.

Bewässerung

In Gebieten mit Bewässerungsbrunnen werden heute typischerweise jeweils im Frühsommer Grundwasserabsenkungen beobachtet. Bei der Kalibrierung wurde festgestellt, dass dies in den 1970er Jahren noch nicht der Fall war. Für die Bewässerung wurde deshalb ausgehend von einem Zustand ohne Bewässerung im Jahr 1967 eine lineare Zunahme der bewässerten Fläche bis ins Jahr 1997 angenommen. Danach wurde die Fläche als konstant betrachtet.

2.2.2 Berücksichtigung der Donau

Randbedingung

Zur Quantifizierung des Wasseraustauschs zwischen Donau und Grundwasser wird im Grundwassermodell eine Cauchy-Randbedingung verwendet:

a.) Bei Grundwasserständen unterhalb der Gewässersohle wird eine vom Grundwasserstand unabhängige Infiltration vorgegeben:

$$Q = (H_P(t) - H_{\text{sohle}}) \cdot f_{\text{LEAK}}(t) \cdot L$$

b.) Bei Grundwasserständen oberhalb der Gewässersohle wird eine vom Grundwasserstand abhängige Infiltration oder Exfiltration vorgegeben.

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

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

H_P: Wasserspiegel der Donau [m ü. NN].

H_{sohle}: Gewässersohle [m ü. NN].

H_{GW}: Grundwasserspiegel [m ü. NN].

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

L: Länge des zugeordneten Gewässerabschnittes [m].

Der Leakagewert bildet die Gewässerbreite und die Durchlässigkeit der Sohle ab.

Donaumodelle

Durch den Donauausbau wurden Querschnitt und Wasserspiegel der Donau verändert. Um im Grundwassermodell den korrekten Wasserspiegel vorgeben zu können wurden hydraulische Modelle folgender Zustände erstellt:

- vor Donauausbau
- nach Ausbau Stauhaltung Geisling
- nach Ausbau Stauhaltung Straubing (Ist-Zustand).

Wasserstände

Mit Hilfe dieser Modelle wurde für jeden Knotenpunkt entlang der Donau die Abfluss-Pegel-Beziehung ermittelt. Mit Hilfe dieser Beziehung konnte anschließend aus den gemessenen Donauabflüssen für jeden Zeitpunkt und Knoten der Wasserspiegel berechnet werden. Das Vorgehen wird im Bericht zum hydrogeologischen Modell [7] detaillierter dokumentiert.

2.2.3 Berücksichtigung der Dichtwand

Abbildung im Modell

Die Dichtwand wurde im Grundwassermodell durch eine Elementreihe mit reduzierter Durchlässigkeit nachgebildet. Die Elemente sind etwa 40 m breit. Der zugeordnete Durchlässigkeitswert entspricht damit nicht der Durchlässigkeit der Dichtwand selber, sondern bildet die gesamte Durch- und Unterströmung im Bereich der Dämme ab.

Aus der Kalibrierung ergab sich für die Dichtwandelemente eine generelle Durchlässigkeit von etwa $1 - 5 \times 10^{-6}$ m/s. Bei einzelnen Abschnitten musste die Durchlässigkeit erhöht werden, um die beobachteten Grundwasserstände und die in den Schöpfwerken geförderte Wassermenge nachbilden zu können. Linksseitig der Donau sind dies Abschnitte bei Donaustauf und Demling, rechtsseitig der Donau bei Auburg und direkt bei der Staustufe.

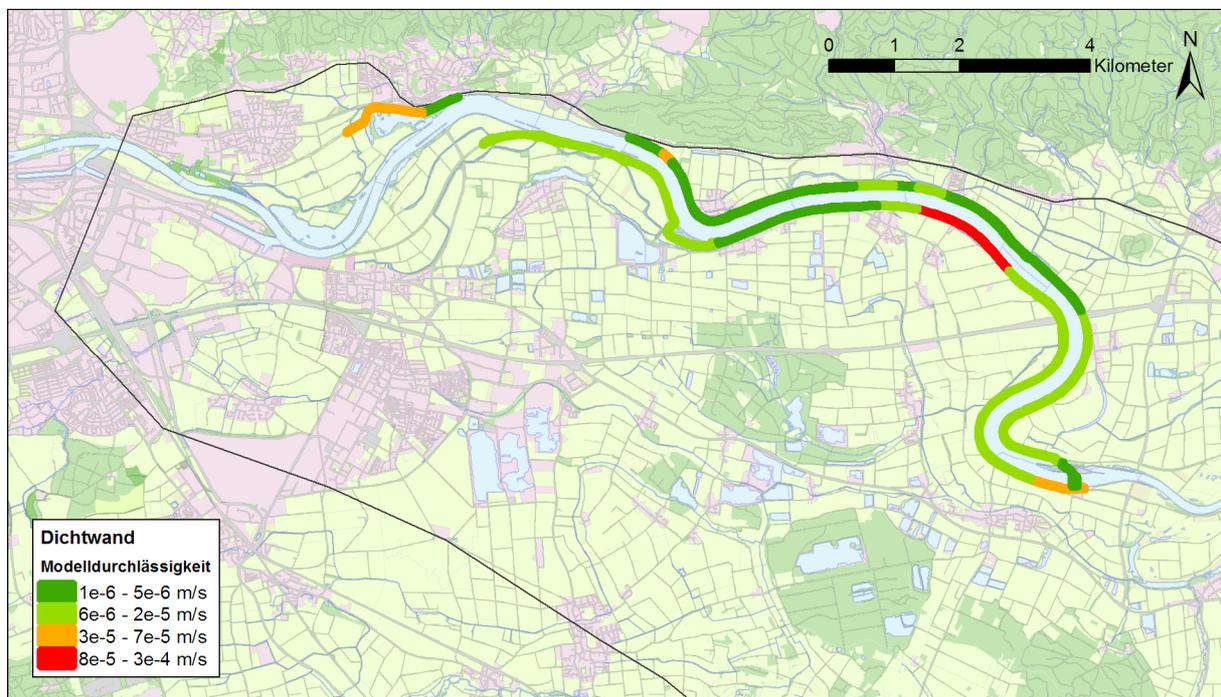


Abbildung 9:

Aus der Kalibrierung ermittelte Durchlässigkeiten der Dichtwandelemente.

2.2.4 Berücksichtigung der Binnenentwässerung

Bauelemente	Die nach dem Bau der Staustufe angelegte Binnenwässerung besteht aus Entwässerungskanälen, Schöpfwerken und Pumpwerken. Im Modell enthalten sind die Entwässerungskanäle und die Pumpwerke.
Binnenentwässerung	Die Entwässerungskanäle wurden über eine Cauchy-Randbedingung nachgebildet. Die Ertüchtigung bestehender Binnenentwässerungen wurde durch eine Erhöhung des Lekagewerts berücksichtigt. Entwässerungskanälen, welche vor dem Bau der Staustufe noch nicht existierten, wurde für diesen Zustand ein Lekagewert von Null zugeordnet. Da der Wasserspiegel nur im heutigen Zustand bekannt ist, wurde angenommen, er sei unverändert geblieben.
Pumpwerke	Die Pumpwerke Friesheim und Tegernheim wurden mit vorgegebenen Potentialen in der Höhe der Einschaltwasserstände nachgebildet.
Schöpfwerke	Die gepumpte Wassermenge in den Schöpfwerken wurde im Modell nicht vorgegeben. Sie resultiert aus der in der Binnenentwässerung drainierten Wassermenge.

2.2.5 Methodik der Auswirkungsermittlung

Untersuchte Fälle	<p>Um belastbare Resultate zu erhalten, wurde der Vergleich zwischen den Zuständen mit und ohne Staustufe für verschiedene Zeiträume durchgeführt:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Nachbildung der Zeiträume 1977 und 1993. Diese Zeiträume weisen etwa die gleichen mittleren Donauabflüsse und Grundwasserneubildungsraten auf. Zudem entsprechen diese etwa mittleren Verhältnissen. Die Güte beider Modelle kann anhand der gemessenen Grundwasserspiegel überprüft werden. Die Modelle eignen sich nur für den Vergleich der gemittelten Grundwasserspiegel.2. Nachbildung des Zeitraums 1977, Prognose mit Staustufe Geisling für das Jahr 1977. Sind Nachbildungszeitraum und prognosezeitraum identisch, können die Auswirkungen der Staustufe an einem beliebigen Tag des Zeitraums dargestellt werden. Neben dem mittleren Grundwasserspiegel wird deshalb auch der Niederwasserzustand am 17. Oktober 1977 verglichen3. Nachbildung des Zeitraums 1993, Prognose ohne Staustufe Geisling für das Jahr 1993. Neben dem mittleren Grundwasserspiegel wird auch der Niederwasserzustand am 20. September 1993 verglichen4. Nachbildung des Zeitraums 1988, Prognose ohne Staustufe Geisling für das Jahr 1988. Im Jahr 1988 gab es ein Donauhochwasser. Da die klimatischen Verhältnisse des Jahres 1988 nicht den mittleren Verhältnissen entsprechen, kann dieser Zeitraum nur zur Ermittlung der Auswirkungen bei Hochwasser genutzt werden. Es werden die Grundwasserspiegel zum Zeitpunkt der Hochwasserspitze am 28. März 1988, sowie eine Woche danach, am 4. April miteinander verglichen.
-------------------	--

Ohne Staustufe	Mit Staustufe	Darstellung
Nachbildung 1977	Nachbildung 1993	Mittelwerte
Nachbildung 1977	Prognose 1977	Mittelwerte Niederwasserstand
Prognose 1993	Nachbildung 1993	Mittelwerte Niederwasserstand
Prognose 1988	Nachbildung 1988	Hochwasserstand

Tabelle 1

Untersuchte Fälle

Vorlaufzeit

Die Berechnungen für die Fallstudien mit und ohne Staustufe beginnen mit dem gleichen Anfangszustand. Vor dem Vergleichszeitpunkt der Modelle muss deshalb eine Vorlaufzeit berücksichtigt werden, in der sich der Grundwasserspiegel an die neuen Randbedingungen anpassen kann. Bei den Vergleichen der Jahre 1977 und 1993 beträgt die Vorlaufzeit ein Jahr. Die Vorlaufzeit ist damit ausreichend. Das Kalibrierungsmodell, welches das Hochwasser 1988 enthält, umfasst die Jahre 1988 und 1989. Die Vorlaufzeit ist zwar mit drei Monaten etwas kurz, im donaunahem Bereich jedoch ausreichend.

3 Güte der Kalibrierung

Gütwerte

Die Güte der Modellaussage hängt direkt von der Güte der Kalibrierung des Modells ab. Das Vorgehen bei der Kalibrierung wurde im Bericht „Modellaufbau, Kalibrierung und Validierung“ [8] beschrieben. Der Absolutwert der Modellabweichung betrug im Mittel weniger als 30 cm, der Median der Abweichung etwa 20 cm (Tabelle 2). Dabei waren die Abweichungen in den Validierungszeiträumen sogar eher kleiner als in den Kalibrierungszeiträumen.

Zeitraum	Wurzel aus dem Mittelwert der quadratischen Abweichung (RMSE) [cm]	Mittelwert der absoluten Abweichung [cm]	Median der Absoluten Abweichung [cm]
Kalibrierung			
1976 - 1977	41	30	22
1988 - 1989	41	29	20
1997 - 1999	31	22	16
2009	40	28	17
Validierung			
1990 - 1991	39	26	19
1992 - 1993	35	25	18

Tabelle 2: Gütwerte der Kalibrierung und Validierung

Richtung der Abweichung

Werden zwei Modelle verschiedener Zeiträume miteinander verglichen, so spielt es auch eine Rolle, in welche Richtung das Modell von der Messung abweicht. Weichen die beiden Modelle in die gleiche Richtung ab, so stimmt die Differenz der Modelle besser, als wenn sie in verschiedene Richtung abweichen. Für die drei verwendeten Zeiträume wurden deshalb die Abweichungen visualisiert (Abbildung 10 - Abbildung 12). Es zeigt sich, dass die Abweichung in den donau-nahen Bereichen an den meisten Messstellen keine eindeutige Richtung aufweist.

Hochwasser
Niederwasser

Für den Vergleich der Zustände mit und ohne Staustufe Geisling wurden neben den Mittelwerten auch einzelne Zeitpunkte während dem Hochwasser 1988 und bei Niederwasserstand herangezogen. Für die verwendeten Messzeitpunkte wurde die Abweichung der Modelle von den Messungen visualisiert (Abbildung 13 - Abbildung 16).

Schöpfwerke

Bei der Kalibrierung wurde auch auf eine gute Übereinstimmung der drainierten Grundwassermenge im Zulauf der Schöpfwerke mit deren Fördermenge geachtet (Beispiel siehe Abbildung 17).

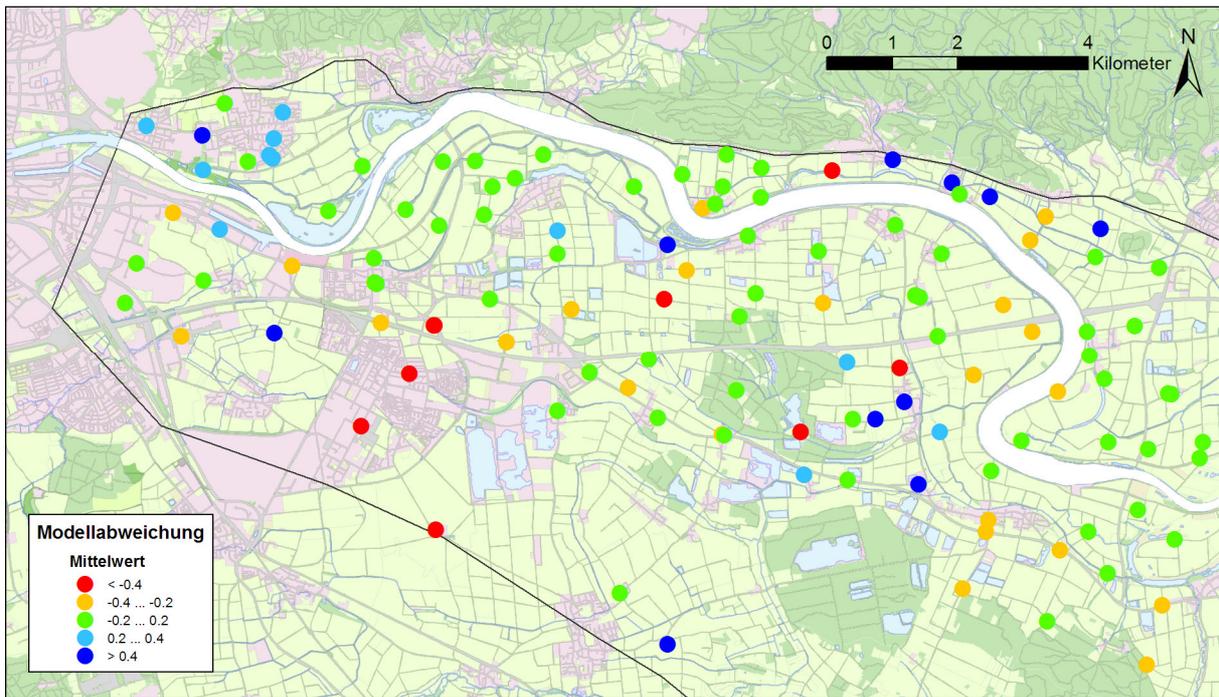


Abbildung 10: Über den Kalibrierungszeitraum 1976 – 1977 gemittelte Abweichung der Messwerte von den Modellwerten (positive Werte: Messung höher als Modell)

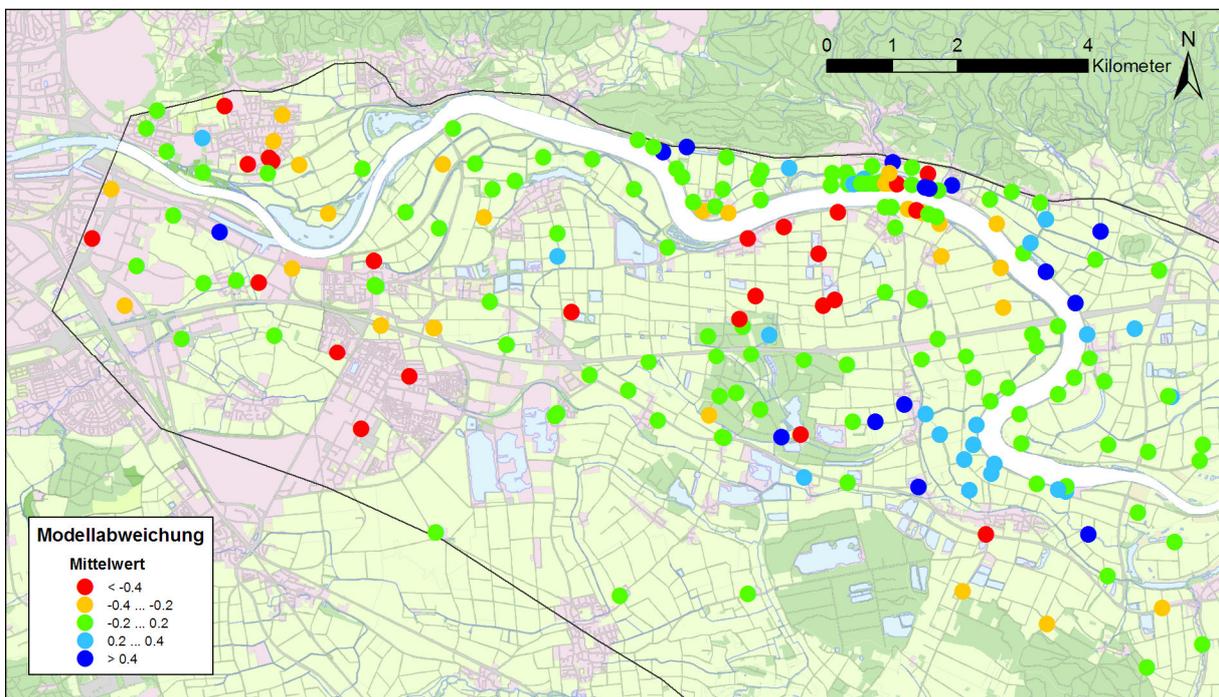


Abbildung 11: Über den Kalibrierungszeitraum 1988 – 1989 gemittelte Abweichung der Messwerte von den Modellwerten (positive Werte: Messung höher als Modell)

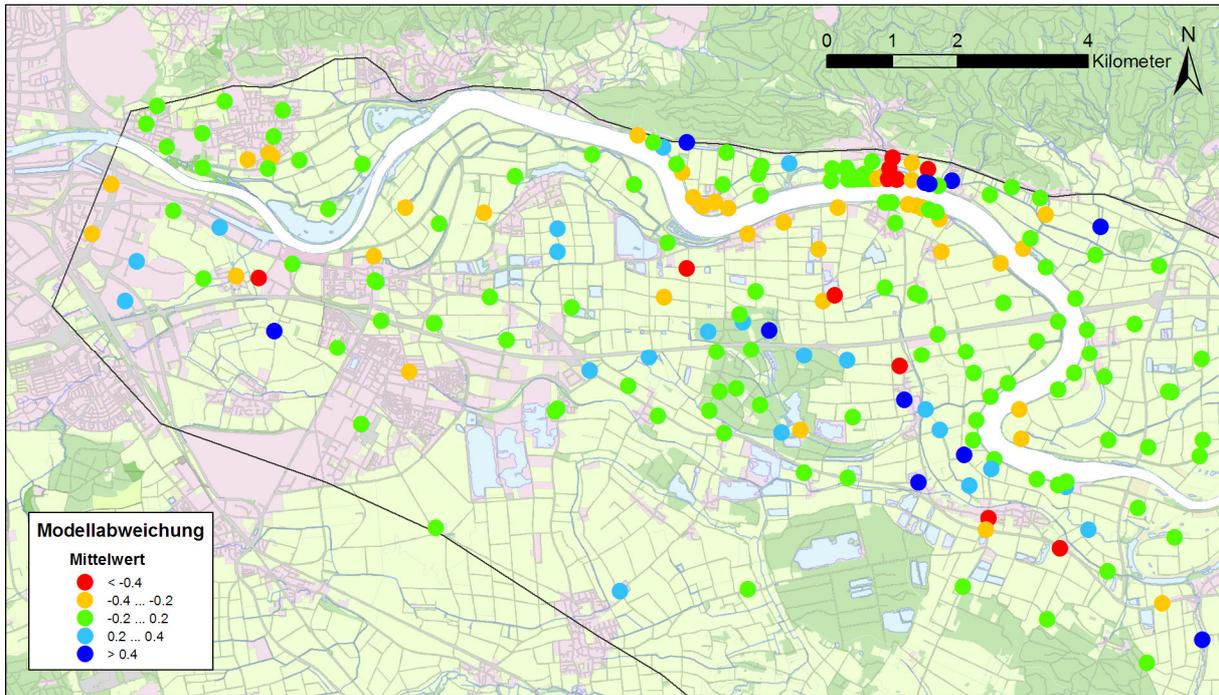


Abbildung 12: Über den Zeitraum 1992 – 1993 gemittelte Abweichung der Messwerte von den Modellwerten (positive Werte: Messung höher als Modell)

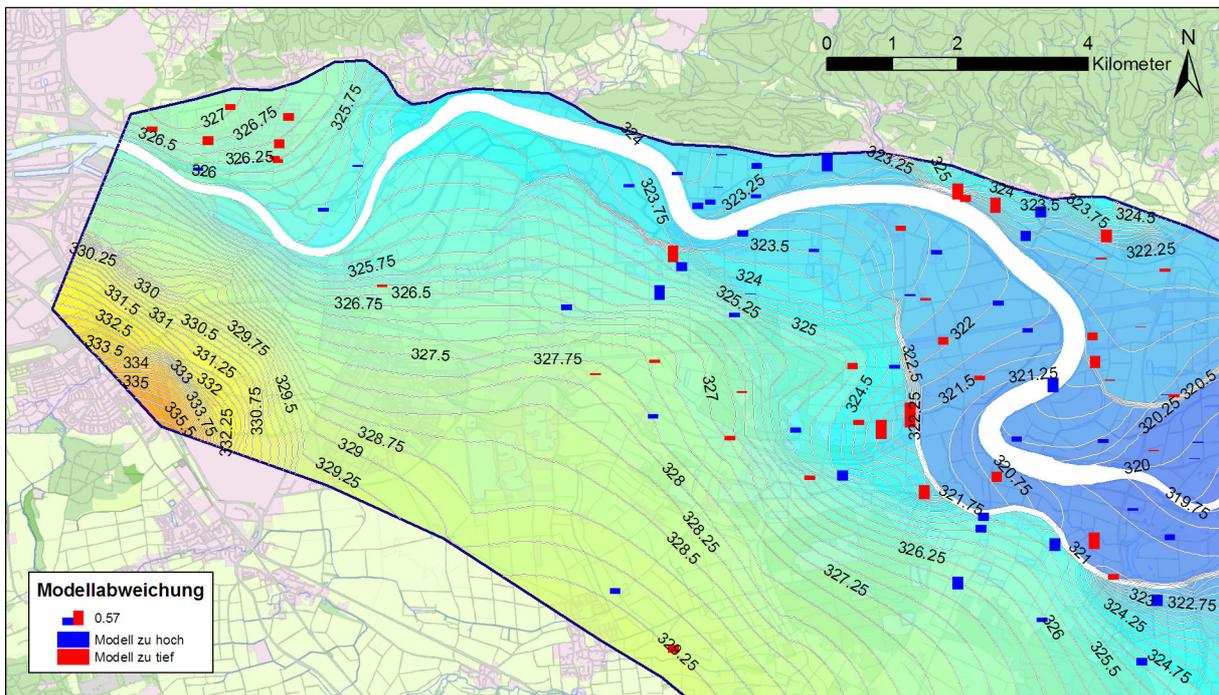


Abbildung 13: Grundwasserhöhengleichen bei Niederwasserstand am 17.10.1976. Die Abweichungen des Modells von den Messwerten dieses Tages sind mit Balken dargestellt.

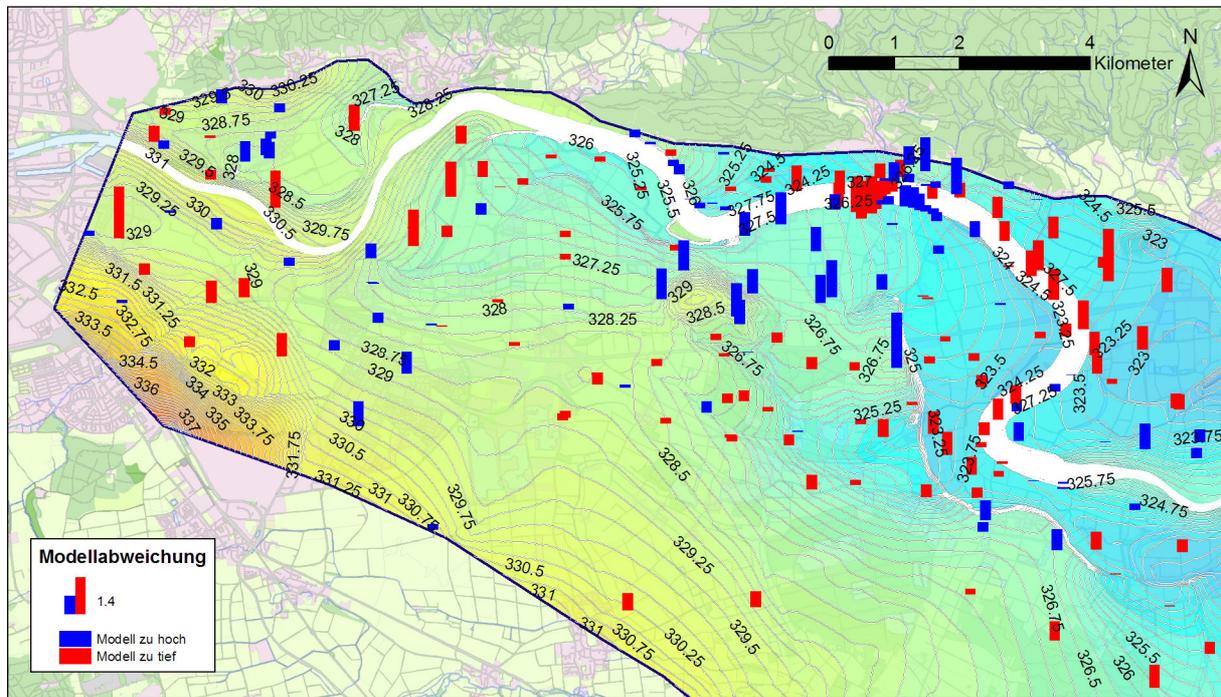


Abbildung 14: Grundwasserhöhengleichen bei Hochwasserstand am 28.03.1988. Die Abweichungen des Modells von den Messwerten des 27.3. und 28.3.1988 sind mit Balken dargestellt.

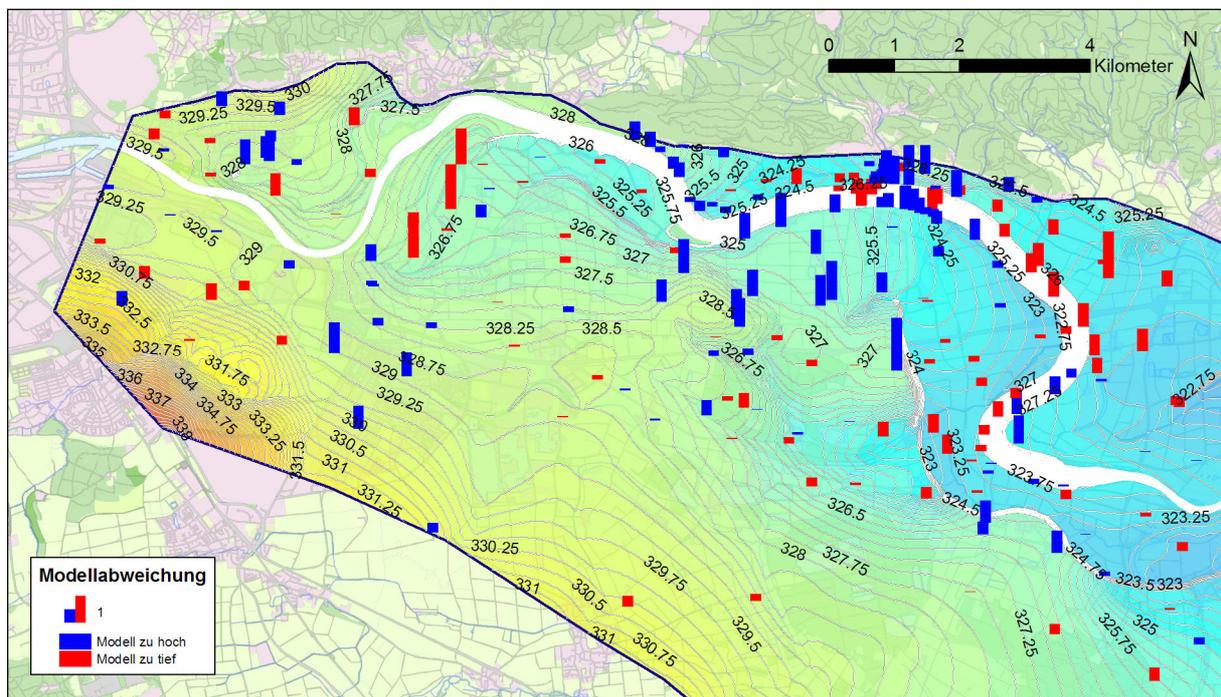


Abbildung 15: Grundwasserhöhengleichen bei rücklaufendem Hochwasser am 04.04.1988. Die Abweichungen des Modells von den Messwerten dieses Tages sind mit Balken dargestellt.

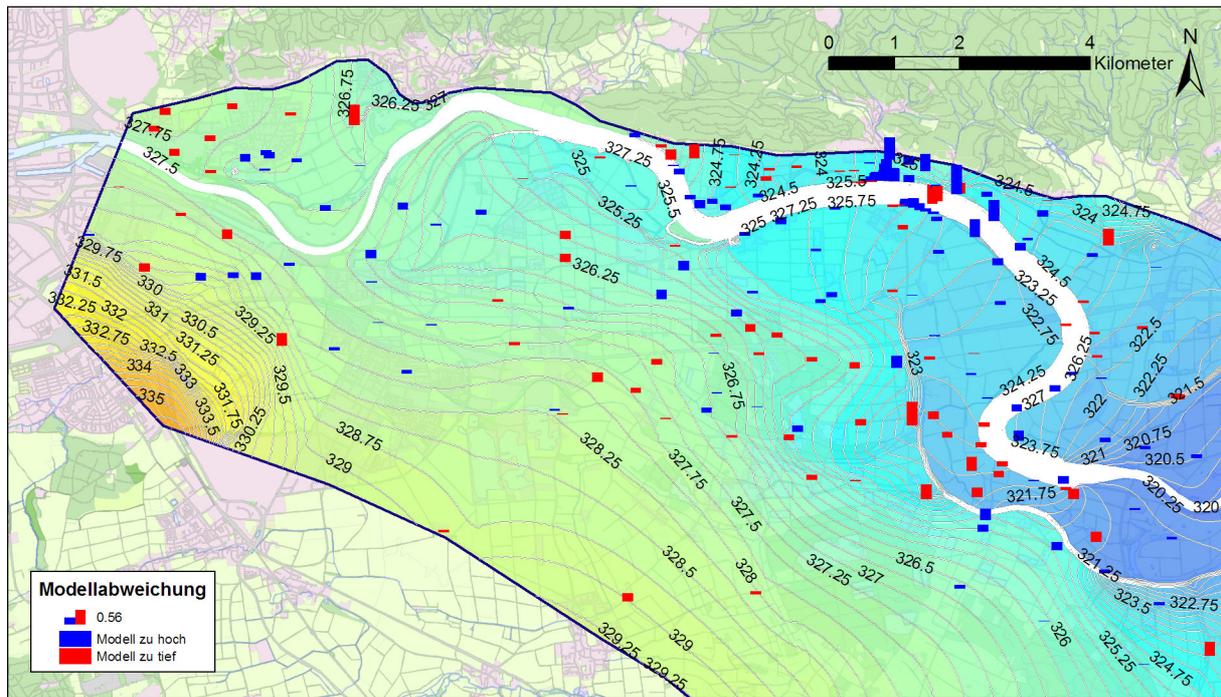


Abbildung 16: Grundwasserhöhengleichen bei Niederwasserstand am 20.09.1993. Die Abweichungen des Modells von den Messwerten dieses Tages sind mit Balken dargestellt.

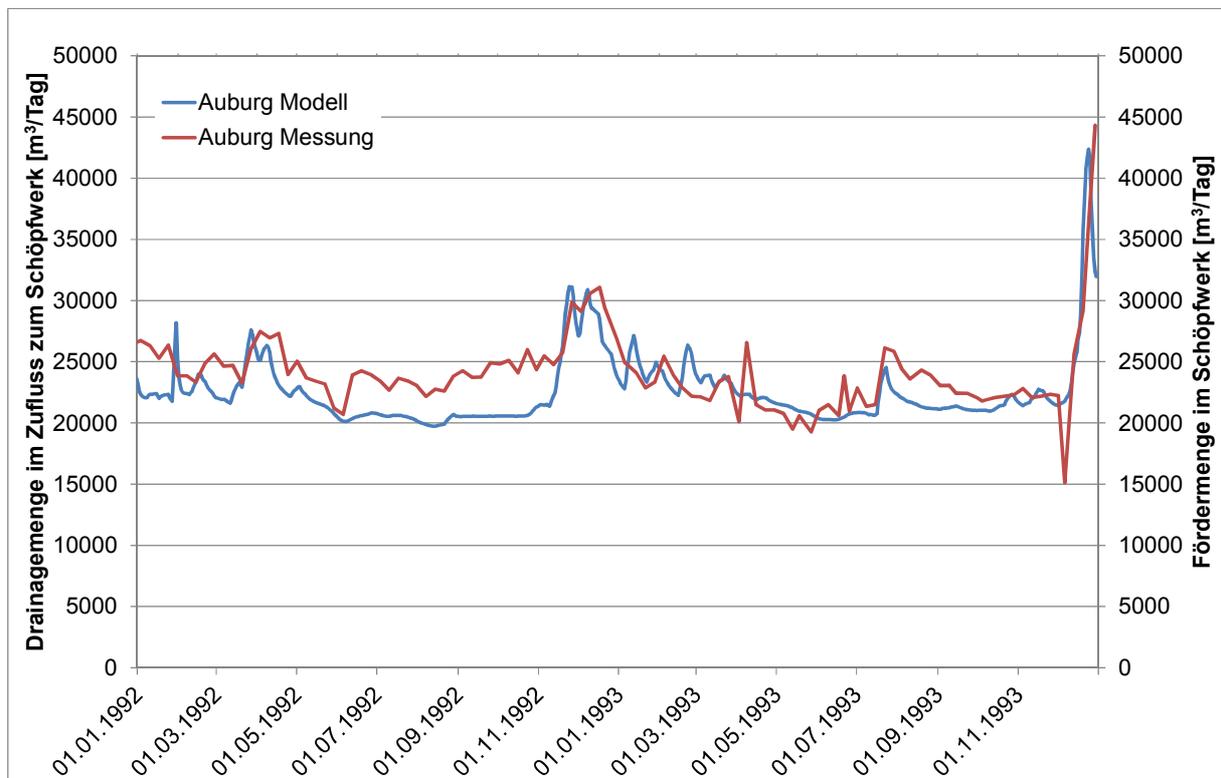


Abbildung 17: Vergleich der nachgebildeten Drainagemenge im Zulauf zum Schöpfwerk Auburg mit der gemessenen Fördermenge während dem Validierungszeitraum 1992 – 1993.

4 Resultate

4.1 Vergleich 1977 – 1993

Vergleich

Abbildung 18 zeigt den Vergleich zwischen den gemittelten, mit dem Modell nachgebildeten Grundwasserhöhen der Jahre 1993 und 1976. Flächen in blauer Farbe bedeuten eine Erhöhung des mittleren Grundwasserspiegels infolge der Staustufe. In einigen donaanahen Bereichen führt die Staustufe Geisling zu einem Anstieg des mittleren Grundwasserspiegels. Dies sind insbesondere der nördliche Teil der Gemeinde Barbing, sowie der östliche Teil von Friesheim. Ein kleinerer Anstieg betrifft die Gemeinde Kiefenholz. Im Übrigen sind vor allem unbewohnte Gebiete betroffen.

Kein Anstieg kann in den Gemeinden Eltheim und Geisling festgestellt werden.

BMW-Gelände

Die rote Fläche in Regensburg ist nicht auf die Staustufe Geisling zurückzuführen, sondern auf Effekte des BMW-Geländes, welches umpundet ist und daher auf kleine Änderung des Seitenzuflusses sensitiv reagiert.

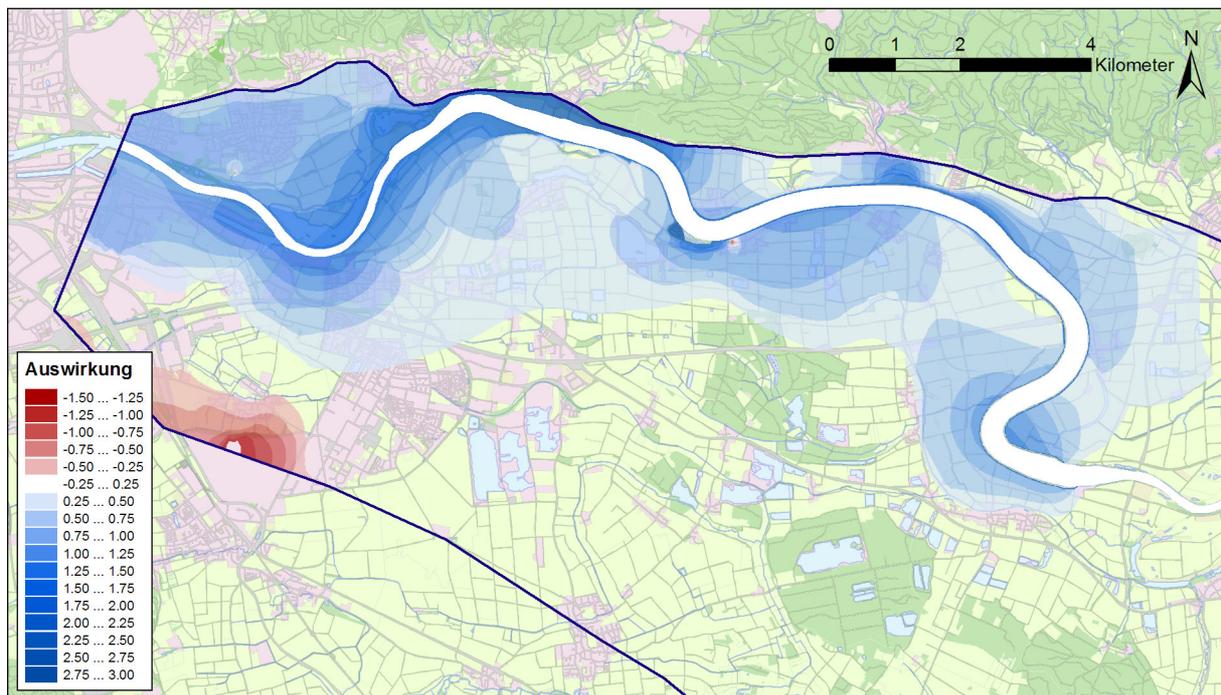


Abbildung 18:

Differenz zwischen den Mittelwerten der nachgebildeten Grundwasserspiegel der Jahre 1993 und 1977.

4.2 Vergleich 1977 mit und ohne Staustufe

Mittlere
Wasserspiegel

Werden in das Nachbildungsmodell des Jahres 1977 die Elemente der Staustufe Geisling integriert, so können die Einflüsse der unterschiedlichen klimatischen Randbedingungen ausgeschlossen werden. Es ergeben sich beinahe identische Anstiege der mittleren Grundwasserspiegel wie beim direkten Vergleich der Nachbildungen der Jahre 1993 und 1976.

Zeitkurven

Wenn man die Zeitkurven des Grundwasserspiegels im donaunahen Gebiet miteinander vergleicht, werden die Auswirkungen verdeutlicht (Abbildung 20). Der Anstieg des Grundwasserspiegels findet vor allem zu Zeiten niedriger Grundwasserstände statt, während bei hohen Grundwasserständen eine Absenkung prognostiziert wird. Die Abbildung 20 zeigt auch die gute Nachbildung der zeitlichen Variation des Grundwasserspiegels im Zustand ohne Staustufe.

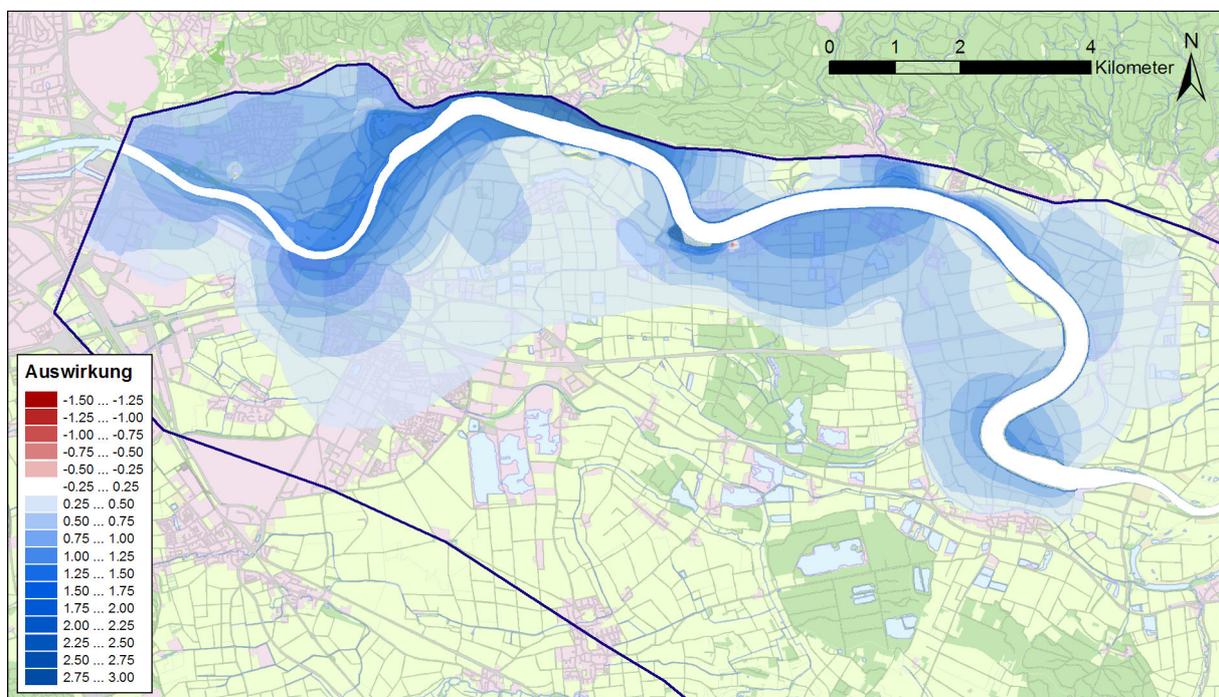


Abbildung 19:

Differenz zwischen den Mittelwerten der (prognostizierten) Grundwasserspiegel des Jahres 1977 mit ins Modell eingebauter Staustufe und den Mittelwerten der (nachgebildeten) Grundwasserspiegel des Jahres 1977

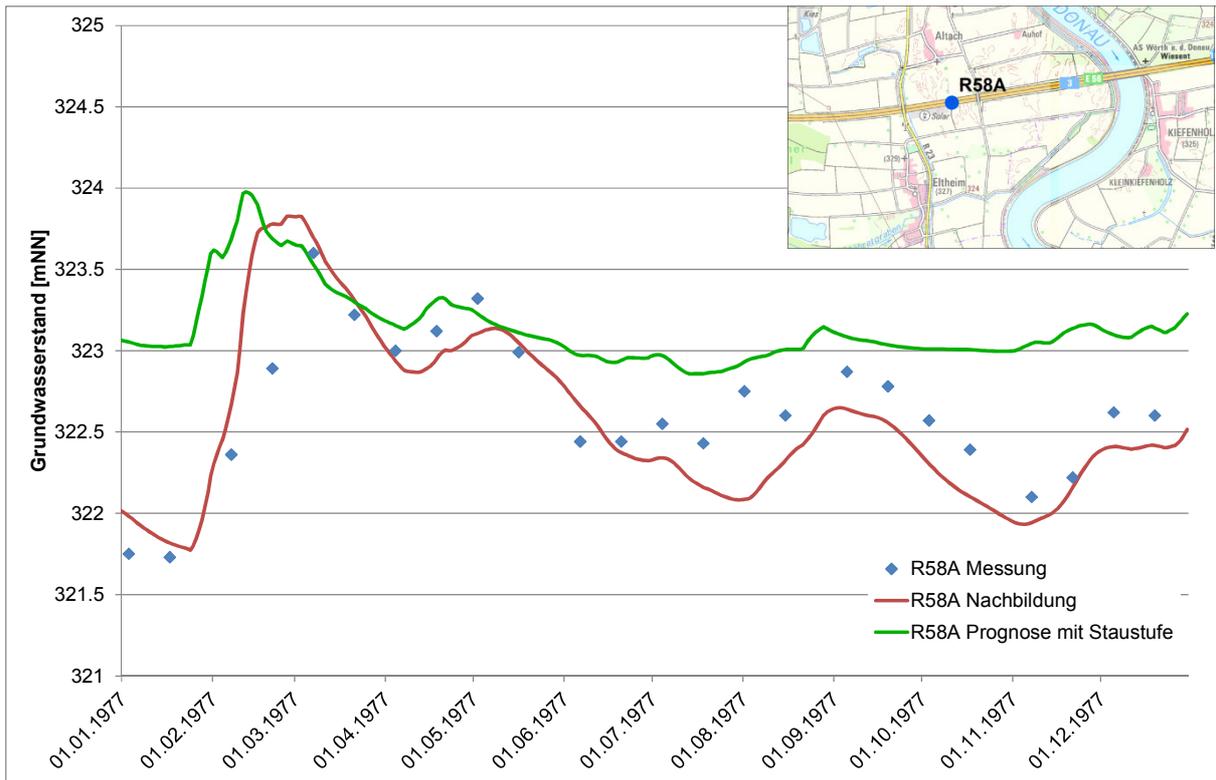


Abbildung 20: Zeitkurve des nachgebildeten Grundwasserspiegels ohne Staustufe und des prognostizierten Grundwasserspiegels mit Staustufe an der Messstelle R58A.

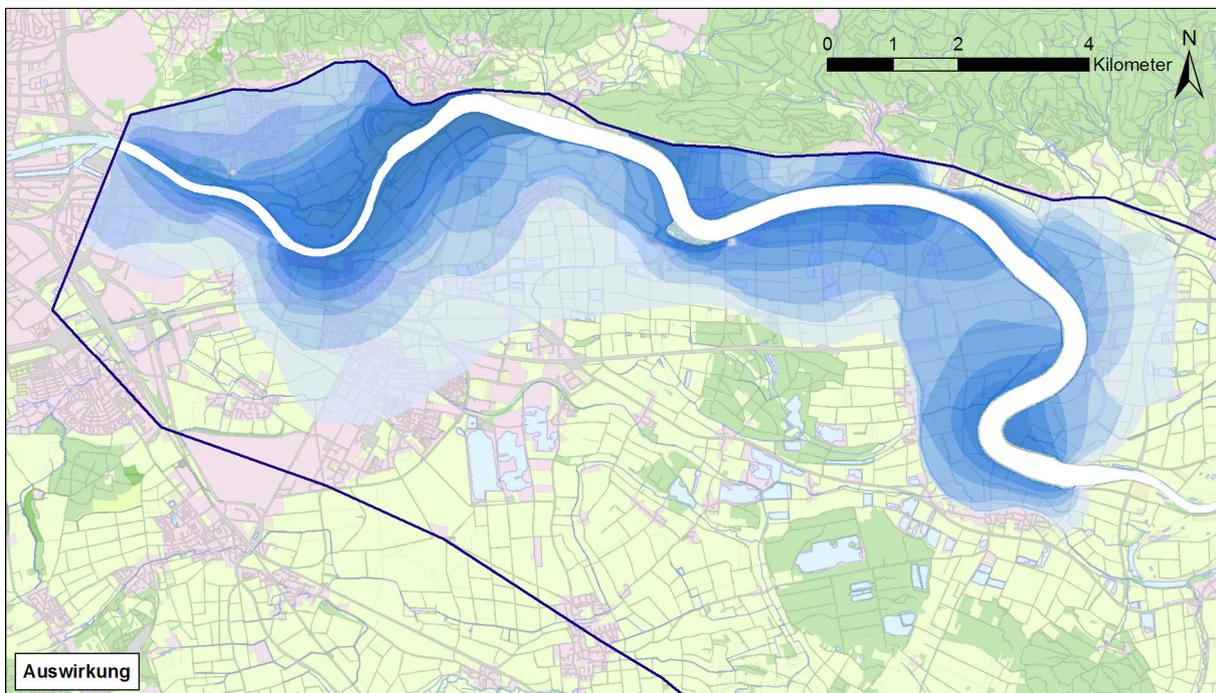


Abbildung 21: Differenz zwischen (prognostiziertem) Grundwasserspiegel am 17.10.1976 mit ins Modell eingebauter Staustufe und (nachgebildetem) Grundwasserspiegel am 17.10.1976 (Niederwasserstand).

4.3 Vergleich 1993 mit und ohne Staustufe

Mittlere Wasserspiegel	Werden die Elemente der Staustufe Geisling aus dem Nachbildungsmodell des Jahres 1993 entfernt, so können die Einflüsse der unterschiedlichen klimatischen Randbedingungen ausgeschlossen werden. Es ergeben sich beinahe identische Anstiege der mittleren Grundwasserspiegel wie beim direkten Vergleich der Nachbildungen der Jahre 1993 und 1976.
Niederwasser	Der Vergleich der beiden Wasserspiegel kann auch für einen einzelnen Tag durchgeführt werden. Abbildung 23 zeigt die durch die Staustufe Geisling verursachten Grundwasseranstiege bei Niederwasserzustand im Herbst 1993.
Zeitkurven	Abbildung 24 zeigt die Zeitkurven der Modelle an der Messstelle R58A. Neben den bereits in Abbildung 20 festgestellten Auswirkungen zeigt Abbildung 24 die gute Nachbildung der zeitlichen Variation des Grundwasserspiegels im Zustand mit Staustufe.
Flurabstand	Die nachgebildeten mittleren Flurabstände des Jahres 1993 sind in Abbildung 25 dargestellt. Im donau nahen Bereich betragen die Flurabstände etwa 1 bis 3 m. Wird die Staustufe aus dem Modell entfernt, so erhält man die in Abbildung 26 dargestellten mittleren Flurabstände. Diese betragen im donau nahen Bereich praktisch überall mehr als 2 m.

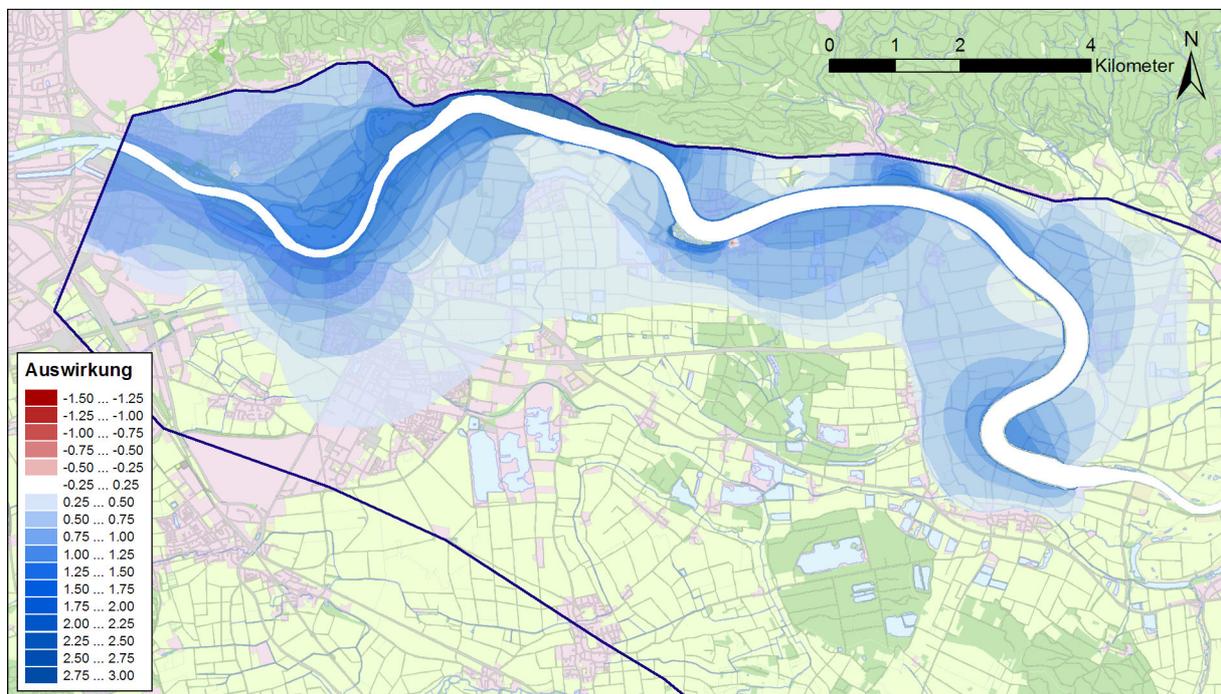


Abbildung 22: Differenz zwischen den Mittelwerten der (nachgebildeten) Grundwasserspiegel des Jahres 1993 und den Mittelwerten der (prognostizierten) Grundwasserspiegel des Jahres 1993 ohne Staustufe.

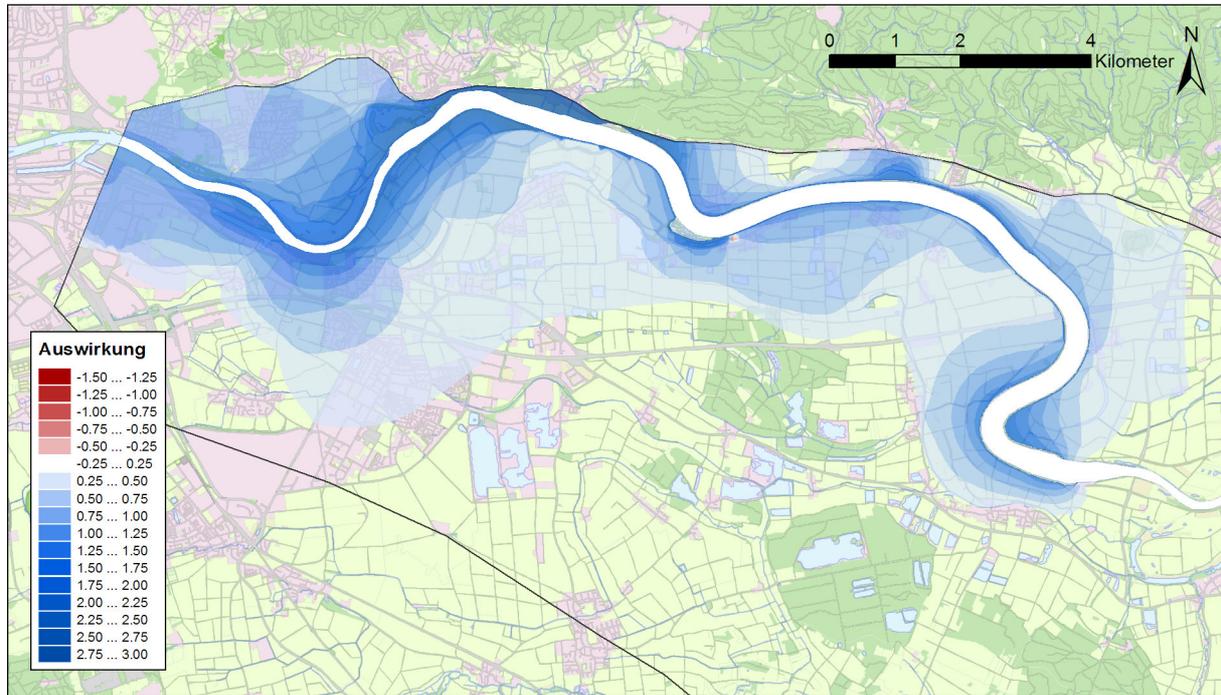


Abbildung 23: Differenz zwischen (nachgebildetem) Grundwasserspiegel am 20.09.1993 mit und (prognostiziertem) Grundwasserspiegel am 20.09.1993 ohne Staustufe (Niederwasserstand).

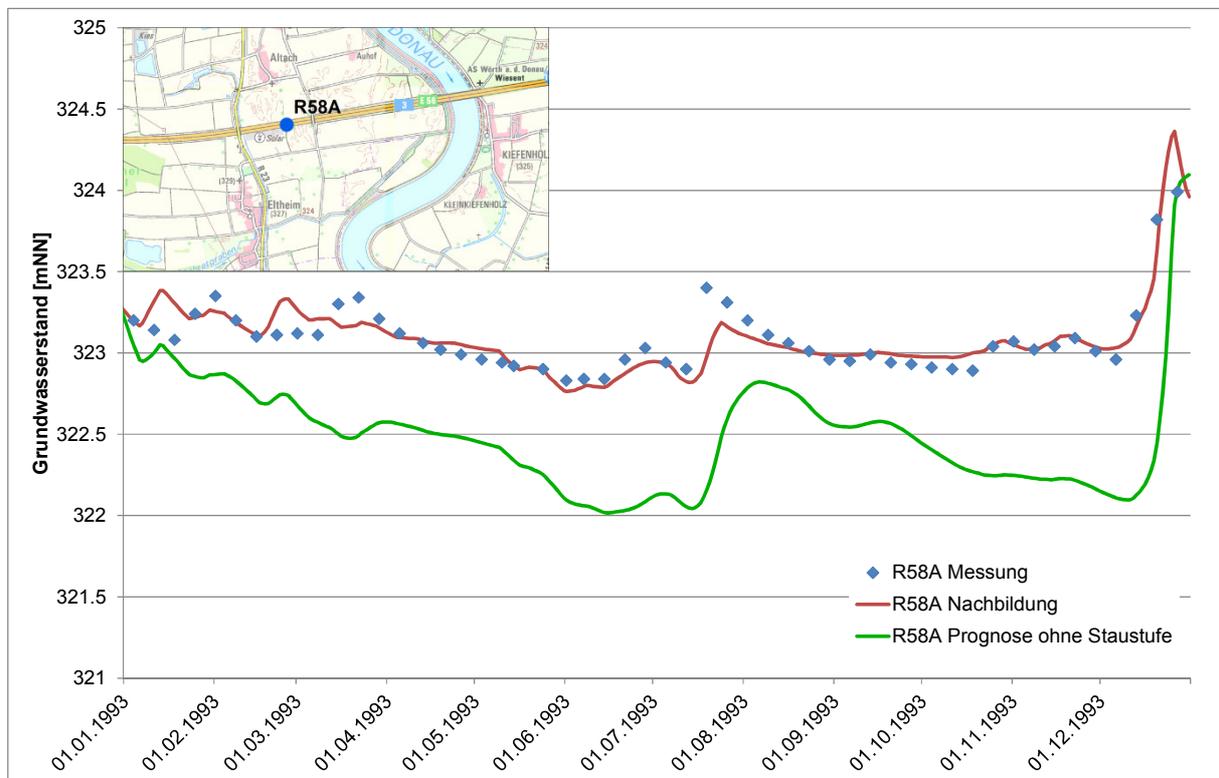


Abbildung 24: Zeitkurve des nachgebildeten Grundwasserspiegels mit Staustufe und des prognostizierten Grundwasserspiegels ohne Staustufe an der Messstelle R58A.

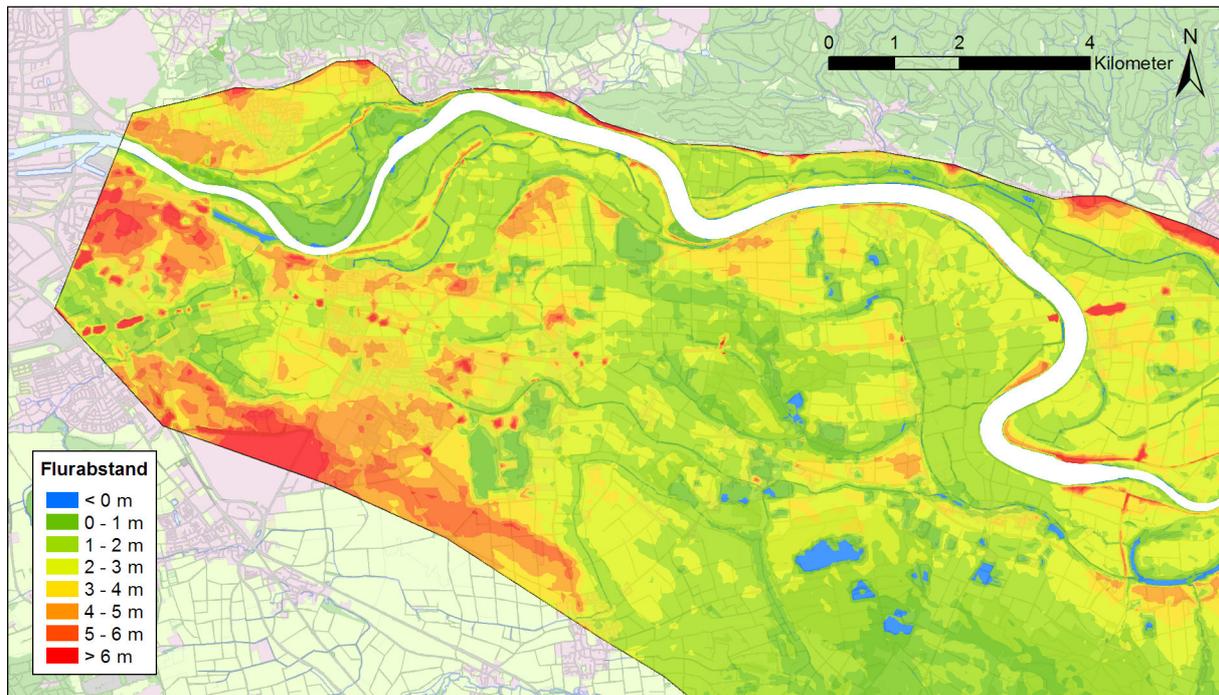


Abbildung 25: Flurabstand des nachgebildeten mittleren Grundwasserspiegels im Jahr 1993 mit Staustufe Geisling.

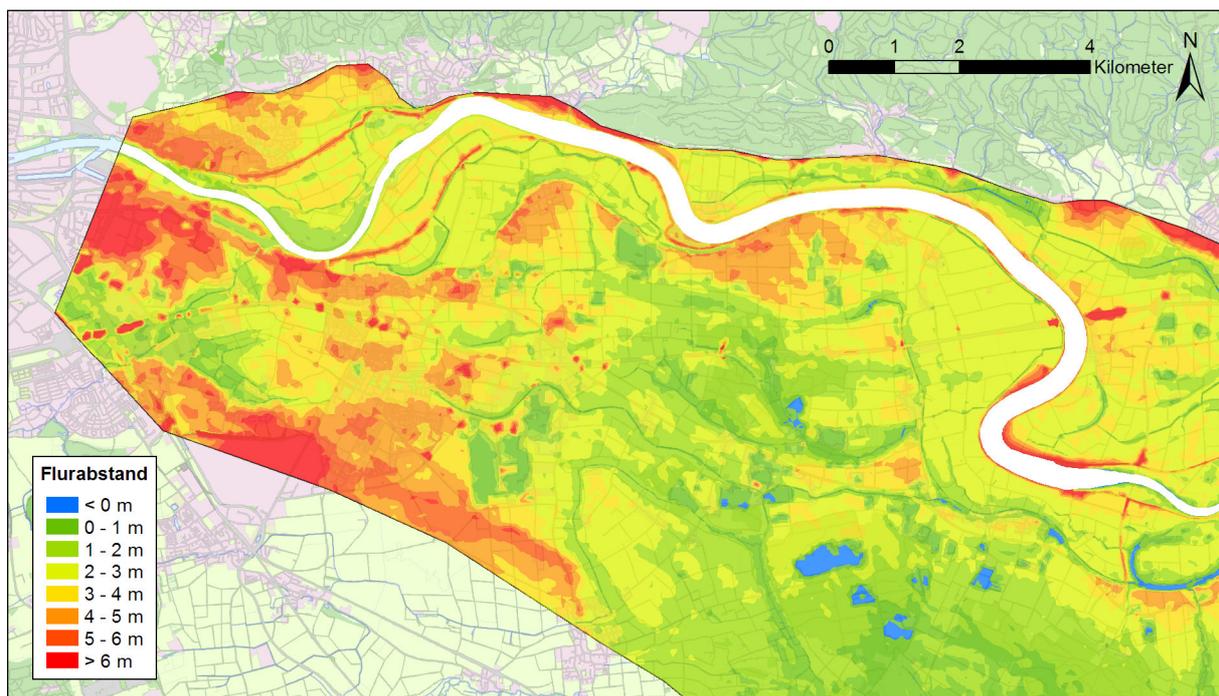


Abbildung 26: Flurabstand des mittleren prognostizierten Grundwasserspiegels im Jahr 1993 ohne Staustufe Geisling.

4.4 Vergleich Hochwasser 1988 mit und ohne Staustufe

Hochwasser

Das Jahr 1988 wurde für den Vergleich herangezogen, weil in diesem Jahr ein Hochwasser stattfand. Aus der Nachbildung des Jahres

1988 wurden alle Elemente der Staustufe Geisling entfernt. Abbildung 27 zeigt den Vergleich mit und ohne Staustufe für den Zeitpunkt der Hochwasserspitze, Abbildung 28 zeigt die Situation eine Woche später. Die Abbildungen zeigen, dass der Donauausbau bei Hochwasser eine Absenkung des Grundwasserstandes bewirkt. Die Absenkung beschränkt sich ebenfalls auf den donaunahen Bereich. Die Grundwasserspiegel bei Eltheim und Geisling bleiben unbeeinflusst.

Zeitkurve

Die Dämpfung der Hochwasserspitze im Grundwasser wird auch durch die Zeitkurve an der Messstelle R58A illustriert. Abbildung 29 zeigt zudem die gute Nachbildung des Hochwasserdurchgangs im Grundwasser im Zustand mit Staustufe.

Flurabstand

Der nachgebildete Flurabstand des Grundwassers beim Hochwasser 1988 ist in Abbildung 30 dargestellt. Wird die Staustufe aus dem Modell entfernt, so erhält man in der Auestufe praktisch flächendeckend einen Flurabstand kleiner Null (Abbildung 31). In diesen Bereichen stößt Grundwasser auf (so genanntes Qualmwasser).

Diskussion

Im Grundwassermodell wurde angenommen, dass das Grundwasser im Auenbereich durch die Topografie drainiert wird. Dies wurde mit einer Cauchy-Randbedingung realisiert. Der Widerstand infolge der Deckschichten wurde mit dem Leakagefaktor berücksichtigt. Lässt man den Grundwasserspiegel ohne diese Randbedingungen über die Topografie ansteigen, so würde sich der absenkende Einfluss bei Hochwasser noch verstärken.

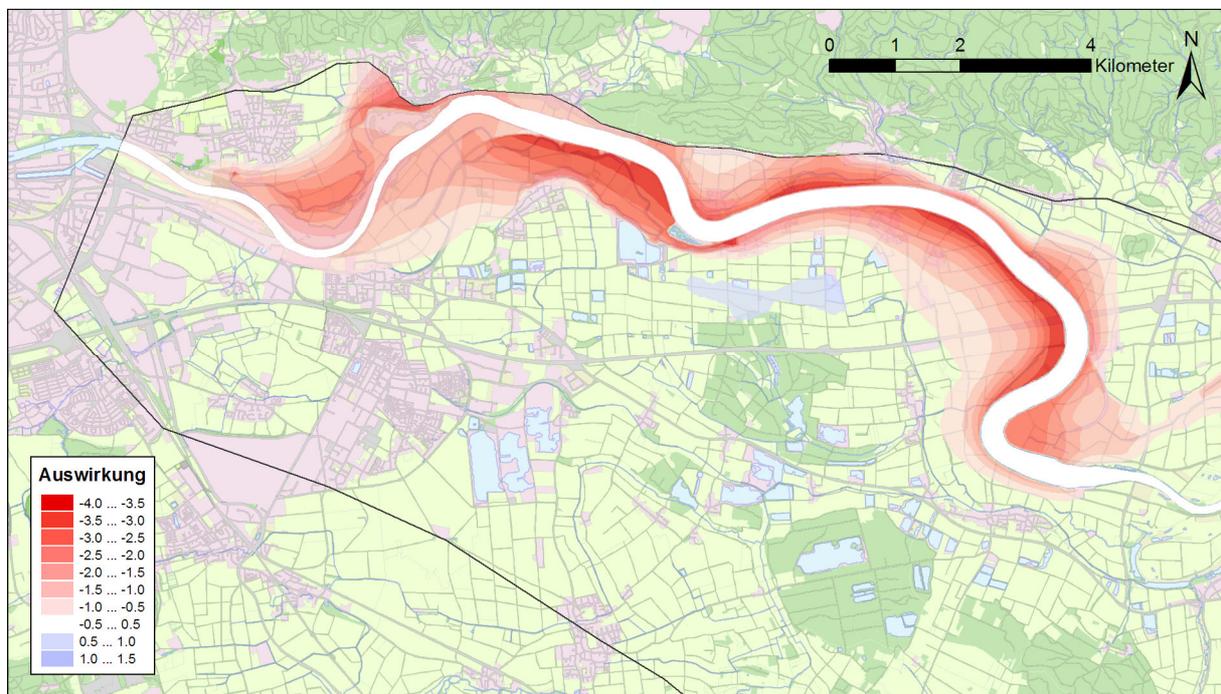


Abbildung 27:

Differenz zwischen (nachgebildetem) Grundwasserspiegel am 28.03.1988 mit und (prognostiziertem) Grundwasserspiegel am 28.03.1988 ohne Staustufe (Hochwasserstand)

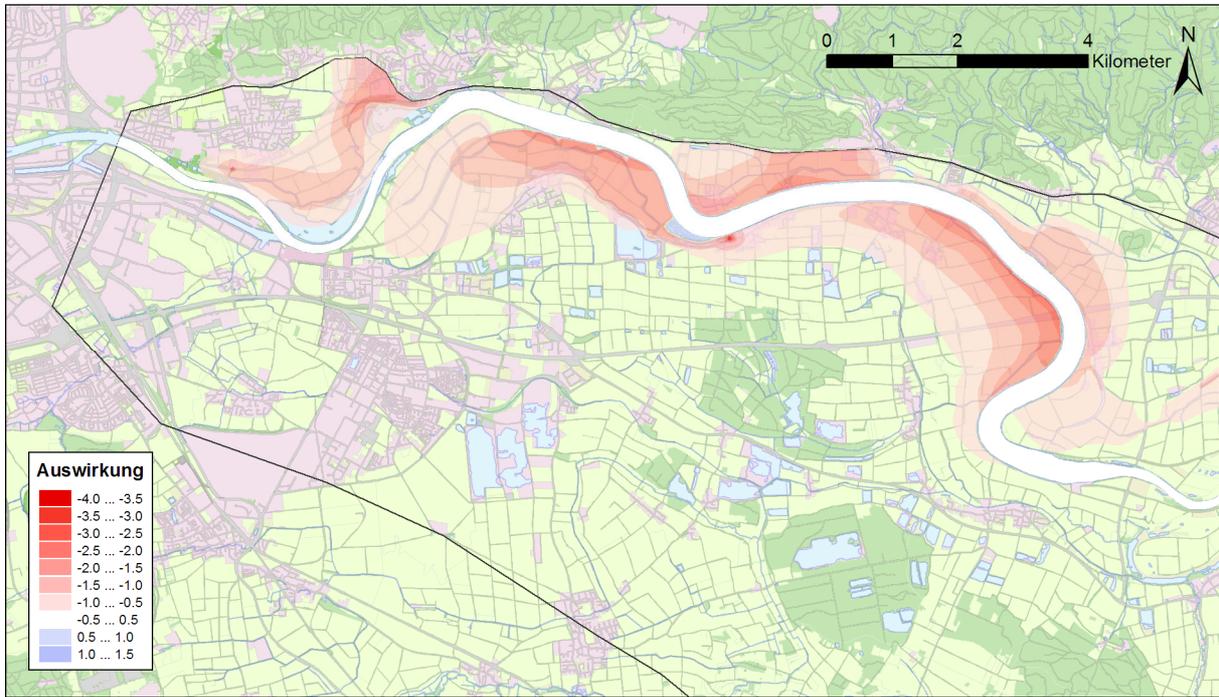


Abbildung 28: Differenz zwischen nachgebildetem Grundwasserspiegel am 04.04.1988 mit und prognostiziertem Grundwasserspiegel am 04.04.1988 ohne Staustufe (eine Woche nach Hochwasserstand)

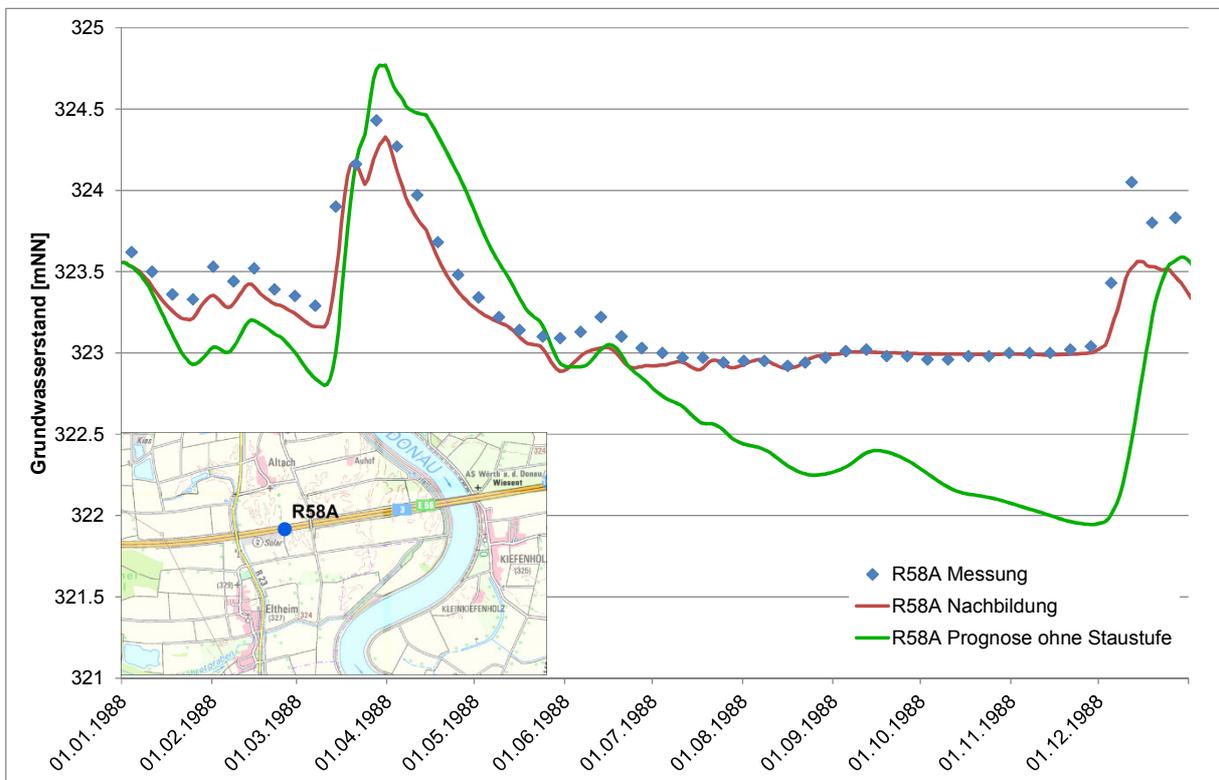


Abbildung 29: Zeitkurve des nachgebildeten Grundwasserspiegels mit Staustufe und des prognostizierten Grundwasserspiegels ohne Staustufe an der Messstelle R58A.

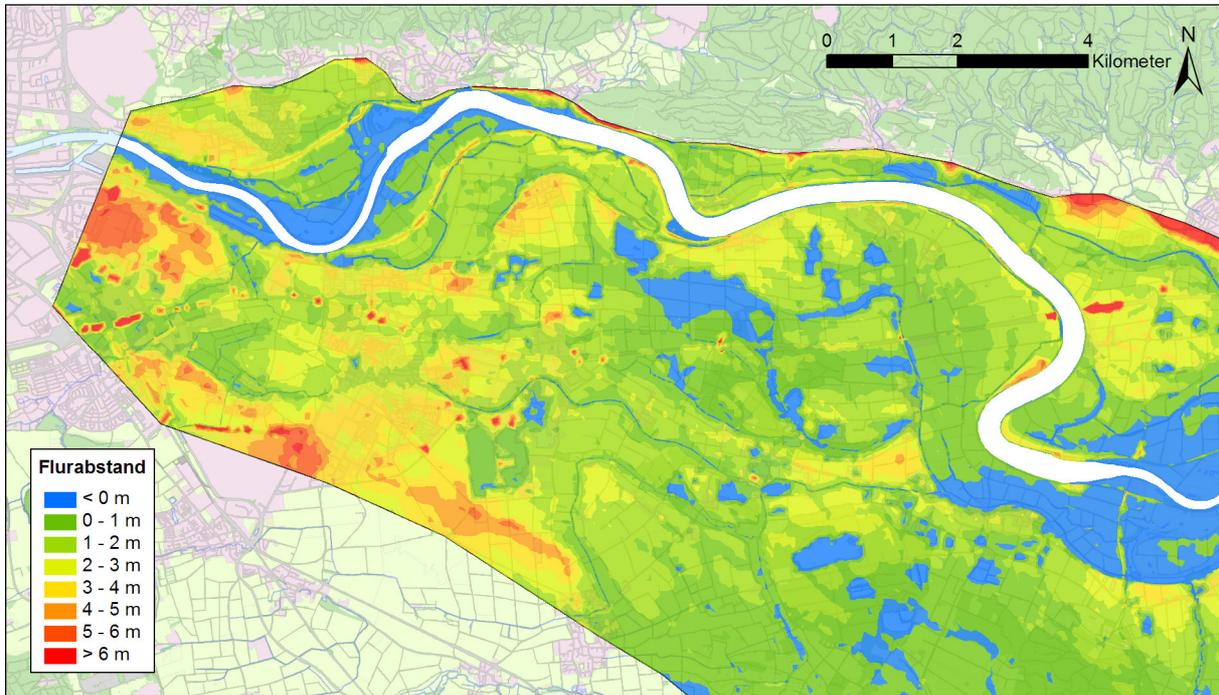


Abbildung 30: Flurabstand des nachgebildeten Grundwasserspiegels am 28.03.1988 mit Staustufe Geisling.

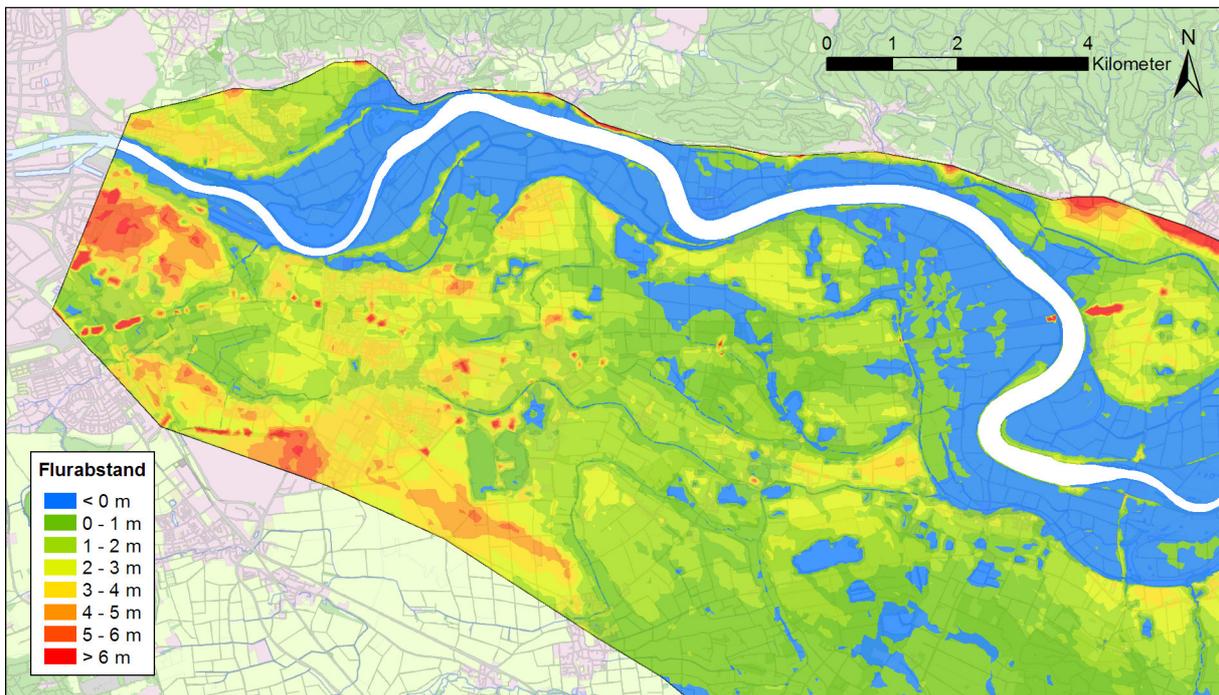


Abbildung 31: Flurabstand des prognostizierten Grundwasserspiegels am 28.03.1988 ohne Staustufe Geisling.

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Situation	<p>Im Rahmen des Raumordnungsverfahrens für die Flutpolder Eltheim und Wörthhof wurde ein Grundwassermodell erstellt. Es umfasst den Schottergrundwasserleiter zwischen Regensburg und Pondorf. Dieses Grundwassermodell wurde dazu eingesetzt, die durch den Bau der Staustufe Geisling verursachten Veränderungen der Grundwassersituation zu quantifizieren.</p>
Vorgehen	<p>Zur Quantifizierung der Auswirkungen wurde jeweils ein Zustand mit Staustufe Geisling und einem Zustand ohne Staustufe Geisling miteinander verglichen. Für den Vergleich wurden Zeiträume gesucht, deren klimatische Bedingungen ähnlich sind und die möglichst dem langjährigen Mittel entsprechen. Zur Gewinnung der Zustände wurden folgende Berechnungen vorgenommen:</p> <ul style="list-style-type: none">- Nachbildung des Jahres 1993 mit Staustufe, Nachbildung des Jahres 1977 ohne Staustufe- Prognose des Zustandes mit Staustufe durch Einbau der Staustufe in das Modell des Jahres 1977, Nachbildung des Jahres 1977 ohne Staustufe- Nachbildung des Jahres 1993 mit Staustufe, Prognose des Zustandes ohne Staustufe durch Entfernen der Staustufe aus der Nachbildung.- Nachbildung des Jahres 1988 mit Staustufe, Prognose des Zustandes ohne Staustufe durch Entfernen der Staustufe aus der Nachbildung.
Aussagegenauigkeit	<p>Da die Genauigkeit der Modellaussage von der Übereinstimmung des Modells mit der gemessenen Wirklichkeit abhängig ist, wurde die Güte der Kalibrierung für die verwendeten Zeiträume und Zeitpunkte dargelegt. Im betroffenen, donau nahen Gebiet beträgt die Abweichung im Mittel etwa 20 cm. Die Genauigkeit der Aussagen bewegt sich deshalb im Bereich von 0 (wenn beide Modelle in die gleiche Richtung abweichen) bis 40 cm (bei gegenläufigen Abweichungen).</p>
Resultate	<p>Die Staustufe Geisling hat bei mittleren klimatischen Verhältnissen in einigen donau nahen Bereichen zu einem Anstieg des mittleren Grundwasserspiegels geführt. Dies sind insbesondere der nördliche Teil der Gemeinde Barbing, sowie der östliche Teil von Friesheim. Ein kleinerer Anstieg betrifft die Gemeinde Kiefenholz. Im Übrigen sind vor allem unbewohnte Gebiete betroffen.</p> <p>Betrachtet man die Verhältnisse bei Hochwasser, so stellt man gegenüber dem Zustand vor dem Donauausbau eine Absenkung der Grundwasserspiegel fest. Insgesamt wird durch die Staustufe also der natürliche Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels gedämpft.</p>

6 Literatur

- [1] Müller (1988): Sanierung der Binnenentwässerung nach Inbetriebnahme der Donaustauhaltung Geisling. *Wasserwirtschaft 78 (1988) 10*
- [2] Malcherek A. (2015): Zur Grundwassersituation im Landkreis Regensburg. *Präsentation im Rahmen des Hochwasserdialogs am 1.7.2015*
- [3] WSV (2016): Stellungnahme zum „Sachstandsbericht zur GW-Situation im LK Regensburg“
- [4] WSV (1989 – 2015): Datenblätter mit den Betriebsstunden der Pumpen des Schöpfwerks Auburg.
- [5] Dr. Blasy – Dr. Øverland (2002): Die Hochwassersituation südlich der Gemeinde Pfatter, Winter 2002/2003. *Im Auftrag der Gemeinde Pfatter.*
- [6] Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. (2006): Crop Evapotranspiration. *FAO Irrigation and Drainage Paper No 56.*
- [7] Simultec - tewag (2017): Grundwassermodell Flutpolder Eltheim und Wörthhof: Modellaufbau, Hydrogeologisches Modell und Modellkonzepte. *Im Auftrag des WWA Regensburg*
- [8] Simultec - tewag (2017): Grundwassermodell Flutpolder Eltheim und Wörthhof: Modellaufbau, Kalibrierung und Validierung. *Im Auftrag des WWA Regensburg.*