



Freistaat Bayern
vertreten durch das Wasserwirtschaftsamt Donauwörth



Planungsgemeinschaft SKI GmbH + Ko. KG und
REVITAL Integrative Naturraumplanung GmbH
Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH

Anlage A5.1
Erläuterungsbericht
Grundwassermodell

zum Vorhaben

Licca liber Abschnitt I

für den Entwurfsverfasser	für den Vorhabensträger
gez.	gez.
08.12.2023 Dr.-Ing. Michael Spannring	08.12.2023 Gudrun Seidel, Ltd. Baudirektorin

Licca liber, Abschnitt I

Erläuterungsbericht

Anlage A5.1: Grundwassermodell

Inhaltsverzeichnis	Seite
Anlagen	4
Wichtige Begriffe	6
Abkürzungen	10
1 Einleitung	11
2 Überarbeitung des Grundwassermodells Licca Liber.....	13
2.1 Betrachtungszeitraum	13
2.2 Umstellung des Modells auf UTM und das Höhensystem DHHN 2016.....	18
2.3 Netzverfeinerung.....	18
2.4 Äußere Modellrandbedingungen	21
2.5 Innere Modellrandbedingungen.....	21
2.5.1 Grundwasserneubildung	21
2.5.2 Oberirdische Fließgewässer	21
2.5.2.1 Lech zwischen Staustufe 23 und Hochablass (Planungsbereich Objektplanung Licca Liber)	21
2.5.2.2 Lech südlich der Staustufe 23	22
2.5.2.3 Lech zwischen Hochablass und Wolfzahnauwehr	22
2.5.2.4 Lech zwischen Wolfzahnauwehr und Gersthoferer Wehr	22
2.5.2.5 Lech nördlich des Gersthoferer Wehrs	23
2.5.2.6 Sonstige Fließgewässer	23
2.5.3 Kuhsee, Auensee und Weitmannsee	23
2.5.4 Grundwasserentnahmen.....	25
2.5.5 Sonstige.....	25
3 Ergebnisse des Bezugszustands.....	27
3.1 Wasserspiegel und Bilanz von Kuh-, Auen-, und Weitmannsee	27
3.2 Grundwasserstände	30
4 Ergebnisse des Endzustands	32

4.1	Ergebnisse für den Kuh-, Auen- und Weitmannsees	32
4.1.1	Umsetzung der Wehre	32
4.1.2	See-Wasserspiegel und Bilanz	32
4.2	Grundwasserstände	35
4.3	Absenkung/Aufhöhung des Grundwasserspiegels	41
4.3.1	Methodik	41
4.3.2	Ergebnisse	45
4.4	Einzugsgebiete der Trinkwasserbrunnen	52
4.4.1	Methodik	52
4.4.2	Stromlinien bei mittleren und niedrigen Grundwasserständen	52
4.4.3	50-Tage-Pfadlinien der Hochwasserphasen	53
4.4.4	Betrachtung des Zustroms zu den Brunnen im oberen Tertiär	53
4.5	Grundwasserflurabstände	54
4.6	Fazit Endzustand	55
5	Ergebnisse des Initialzustands	57
5.1	Hinweis	57
5.2	Ergebnisse für den Kuh-, Auen- und Weitmannsees	57
5.2.1	Umsetzung der Wehre	57
5.2.2	See-Wasserspiegel und Bilanz	57
5.3	Grundwasserstände	61
5.4	Absenkung/Aufhöhung des Grundwasserspiegels	66
5.5	Einzugsgebiete der Trinkwasserbrunnen	73
5.5.1	Stromlinien bei mittleren und niedrigen Grundwasserverhältnissen	73
5.5.2	50-Tage-Pfadlinien der Hochwasserphasen	73
5.5.2.1	Hundertjährliches Hochwasser	73
5.5.2.2	Häufiges Hochwasser	78
5.5.3	Betrachtung des Zustroms zu den Brunnen im oberen Tertiär	82
5.6	Grundwasserflurabstände	82
5.7	Fazit Initialzustand	82
6	Betrachtung einer erhöhten Entnahme an drei Brunnen der SWA	84
6.1	Hintergrund	84
6.2	Stromlinien im Endzustand	84
6.3	Stromlinien im Initialzustand	91
6.4	Fazit der Betrachtung einer höheren Entnahme	97
7	Fazit	98
8	Literaturverzeichnis	100

Anhang A	Ermittlung eines Mittelwasser-Stichtags.....	101
Anhang B	Generierung von instationären Wasserspiegeln aus stationären Wasserspiegelberechnungen	105
Anhang C	Anpassung der Kolmationsschicht am Weitmannsee	106
Anhang D	Strom- und Pfadlinien des Endzustands	108
D.1	Stromlinien des Endzustands bei MW-Verhältnissen.....	108
D.2	Stromlinien des Endzustands bei MNW-Verhältnissen	111
D.3	Pfadlinien des Endzustands bei HWhäufig	114
D.4	Pfadlinien des Endzustands bei HW100.....	117
Anhang E	Strom- und Pfadlinien des Initialzustands	120
E.1	Stromlinien des Initialzustands bei MW	120
E.2	Stromlinien des Initialzustands bei MNW.....	123
E.3	Pfadlinien des Initialzustands bei HWhäufig	126
E.4	Pfadlinien des Initialzustands bei HW100.....	129
Anhang F	Austausch des Weitmannsees mit dem Grundwasser im Hochwasserfall 132	
F.1	Hintergrund	132
F.2	Methodik	132
F.3	Betrachtung 1: Kurzzeitige Stofffracht im Lech	134
F.4	Betrachtung 2: Länge anhaltende Stofffracht im Lech	137
F.5	Fazit	140

Anlagen

- Anlage A5.2: Grundwasserflurabstand bei mittleren GW-Verhältnissen im Bezugs- und Endzustand
- Anlage A5.3: Grundwasserflurabstand bei niedrigen GW-Verhältnissen im Bezugs- und Endzustand
- Anlage A5.4: Grundwasserflurabstand bei Hochwasserverhältnissen (HW100) im Bezugs- und Endzustand
- Anlage A5.5: Grundwasserflurabstand bei Hochwasserverhältnissen (HWhäufig) im Bezugs- und Endzustand
- Anlage A5.6: Grundwasserflurabstand bei mittleren GW-Verhältnissen im Bezugs- und Initialzustand
- Anlage A5.7: Grundwasserflurabstand bei niedrigen GW-Verhältnissen im Bezugs- und Initialzustand
- Anlage A5.8: Grundwasserflurabstand bei Hochwasserverhältnissen (HW100) im Bezugs- und Initialzustand
- Anlage A5.9: Grundwasserflurabstand bei Hochwasserverhältnissen (HWhäufig) im Bezugs- und Initialzustand
-
- Anlage A5.10: Absenkung/Aufhöhung der Grundwasserstände im Endzustand bei mittleren Verhältnissen (9.7.2005)
- Anlage A5.11.1: Absenkung/Aufhöhung der maximalen Grundwasserstände bei hohen Grundwasserständen (HW100) im Endzustand (Bereich West)
- Anlage A5.11.2: Absenkung/Aufhöhung der maximalen Grundwasserstände bei hohen Grundwasserständen (HW100) im Endzustand (Bereich Ost)
- Anlage A5.12.1: Absenkung/Aufhöhung der maximalen Grundwasserstände bei HWhäufig im Endzustand (Bereich West)
- Anlage A5.12.2: Absenkung/Aufhöhung der maximalen Grundwasserstände bei HWhäufig im Endzustand (Bereich Ost)
-
- Anlage A5.13: Absenkung/Aufhöhung der Grundwasserstände im Initialzustand bei mittleren Verhältnissen (9.7.2005)
- Anlage A5.14.1: Absenkung/Aufhöhung der maximalen Grundwasserstände bei hohen Grundwasserständen (HW100) im Initialzustand (Bereich West)
- Anlage A5.14.2: Absenkung/Aufhöhung der maximalen Grundwasserstände bei hohen Grundwasserständen (HW100) im Initialzustand (Bereich Ost)
- Anlage A5.15.1: Absenkung/Aufhöhung der maximalen Grundwasserstände bei HWhäufig im Initialzustand (Bereich West)
- Anlage A5.15.2: Absenkung/Aufhöhung der maximalen Grundwasserstände bei HWhäufig im Initialzustand (Bereich Ost)

Wichtige Begriffe

Hydrogeologisches Modell	„Eine aus einer Modellvorstellung heraus entwickelte in sich schlüssige und parametrisierte Beschreibung und Darstellung hydrogeologischer Strukturen und Prozesse.“ DVGW (2016)
Grundwassermodell	<p>„Grundwassermodelle schließen die Lücke zwischen der Erkundung bzw. Überwachung und der Beschreibung des Systemverhaltens von Strömungs- und Transportprozessen in Grundwasservorkommen. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass sie die naturräumlichen Gegebenheiten unter Einbeziehung aller wesentlichen Einflussgrößen aus Geologie und Hydrogeologie modellhaft widerspiegeln und flächendeckende und zeitlich differenzierte Analysen und Prognosen liefern.“ (DVGW, 2016)</p> <p>Das Grundwassermodell für das Projekt Licca liber wird dazu verwendet, die Auswirkungen der geplanten Maßnahmen am Lech auf die Grundwasserverhältnisse zu prognostizieren.</p>
Modellgebiet	Das Modellgebiet umfasst den Teil des Untersuchungsraums, der vom Grundwassermodell abgebildet wird. „Das Modellgebiet muss nach hydrogeologisch-geohydraulischen Kriterien ausreichend groß bemessen sein und sich in seiner Abgrenzung an natürlichen geohydraulischen Grenzen ([...]) orientieren.“ (DVGW, 2016)
Aussagegebiet	<p>„Aus modelltechnischen Gründen müssen an den äußeren Grenzen eines Modellgebietes Randbedingungen festgelegt werden. Sie können die Ergebnisse der Modellierungen beeinflussen, und zwar umso stärker, je näher der Ort der Aussage am Modellrand liegt. Deshalb soll nach Möglichkeit innerhalb des Modellgebietes ein kleineres Aussagegebiet mit genügend großem Abstand zu den Rändern ausgewiesen werden, für welches das Modell hinreichend genaue Aussagen ermöglicht.“ (DVGW, 2016)</p> <p>Im vorliegenden Fall reicht das Aussagegebiet im Westen bis zur Hochterrasse, im Süden ungefähr bis zum Lech Fkm 59, im Osten wird noch etwa die Hälfte des Gebiets zwischen Paar und Lech abgedeckt und im Norden endet das Aussagegebiet etwa auf Höhe der A8.</p>

Kalibrierung	Bei der Kalibrierung werden die Modellparameter so bestimmt, dass eine möglichst hohe Übereinstimmung zwischen Grundwassermodell und historischen Beobachtungen (z.B. Ganglinien an Grundwassermessstellen, Abflüsse, ...) erreicht wird. Dazu werden unsichere Parameter (wie Durchlässigkeiten, Leakage-Koeffizienten, Speicherkoeffizienten, Transportparameter, ...) sowie Randbedingungen variiert, bis sich der verbleibende Fehler auf ein akzeptables Minimum reduziert.
Modelltest	„Überprüfung eines kalibrierten Modells, indem Messwerte eines Systemzustands nachgebildet werden, der noch nicht für eine Modellkalibrierung herangezogen worden ist. Gebräuchlich ist auch der Begriff Validierung.“ (DVGW, 2016)
Infiltration und Exfiltration	Bei der Infiltration handelt es sich um einen Prozess, in dem durch Aussickerungen von Wasser aus Flüssen, Bächen, Gräben oder Seen eine Speisung des Grundwassers stattfindet. Infiltration kann nicht nur aus dem Gewässer selbst stattfinden. Im Hochwasserfall findet die Infiltration meist auch über Ausuferungsflächen der Gewässer statt. Der Infiltrations-Prozess setzt voraus, dass die Wasserspiegel im Gewässer über denen des Grundwassers stehen. Exfiltration ist der umgekehrte Prozess zur Infiltration. Er beschreibt Situationen, in denen Grundwasser an oberirdische Gewässer abgegeben wird.
Randbedingung	An den Rändern des Grundwassermodells müssen sogenannte Randbedingungen definiert werden. Es handelt sich um Vorgaben für das Modell. Typische Randbedingungen sind: Festpotenzialrand: Es wird i.d.R. ein aus Grundwasserstandsmessungen abgeleiteter Grundwasserstand dem Modell vorgegeben. Im Modell für Licca liber wurde die Randbedingung beispielsweise am südlichen und nördlichen Modellrand gewählt. Durch diese Randbedingung stellt sich am entsprechenden Modellrand der vorgegebene Grundwasserstand ein. Der Zufluss an Grundwasser stellt sich entsprechend dem Gefälle der Grundwasseroberfläche und dem lokalen Durchlässigkeitsbeiwert ein.

	<p>Zuflussrand: Diese Randbedingung wird im Grundwassermodell für Licca liber für Zuflüsse über Teile des westlichen und östlichen Modellrands gewählt. Ein Sonderfall ist der „No-Flow“-Rand, an dem der Zufluss $0 \text{ m}^3/(\text{s m})$ beträgt. Dabei handelt sich um eine Randbedingung, die oft am Übergang von einem gut durchlässigen zu einem undurchlässigen Untergrund verwendet wird. Im Grundwassermodell für Licca liber stammt das zuströmende Wasser u.a. aus den außerhalb des Modellgebiets anschließenden tertiären Grundwasserleitern.</p> <p>Leakage-Rand: Es handelt sich um eine Randbedingung, an der ein Massenfluss in Abhängigkeit einer Differenz von Wasser- bzw. Grundwasserständen und eines Widerstands stattfindet. Typischerweise wird der Leakage-Rand zur Simulation des Austausches zwischen Gewässern (Flüsse, Bäche, etc.) und dem Grundwasserleiter verwendet. Angetrieben wird der Austausch von der Differenz aus Wasserstand im Gewässer und dem umliegenden Grundwasserstand. Begrenzt wird der Austausch durch die Sohldichtung (oder Kolmation) des Gewässers. Auch die Austauschfläche spielt für die Größe der Austauschrate eine Rolle.</p>
Jährlichkeit	<p>Die Jährlichkeit eines Hochwassers bezieht sich auf die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Hochwasserereignis in einem bestimmten Zeitraum auftritt. Es wird oft als "Rückkehrperiode" oder "Wiederkehrintervall" bezeichnet. Ein HQ100 bezeichnet ein Hochwasserereignis, das mit der Wahrscheinlichkeit von 1/100 jedes Jahr erreicht oder überschritten wird.</p> <p>Es ist wichtig zu beachten, dass die Jährlichkeit eines Hochwassers nicht bedeutet, dass das Ereignis genau alle 100 Jahre auftritt. Es kann auch mehrere Ereignisse in einem Jahrhundert geben oder sogar mehrere Jahre ohne ein solches Ereignis. Die Jährlichkeit gibt lediglich eine statistische Schätzung der Häufigkeit des Ereignisses an, basierend auf historischen Daten oder mathematischen Modellen.</p> <p>(Hinweis: die DIN verwendet 30-jährig bzw. 2-jährig, was sprachlich einer Dauer entspricht; um dieses Missverständnis</p>

	zu vermeiden, wird die Begrifflichkeit 100-jährlich bzw. 1-jährlich verwendet)
Bezugszustand	Dies entspricht dem Lech im Istzustand. Der Bezugszustand wird insbesondere beim Vergleich der Auswirkungen der Maßnahmen z. B. im Hinblick auf den Hochwasserschutz oder die Grundwasserspiegel verwendet.
Endzustand	Dies entspricht dem Zustand des Lechs, wie er sich nach Umsetzung aller Maßnahmen und der entsprechenden eigendynamischen Entwicklung einstellen wird. Von einem prognostizierten Endzustand wird gesprochen, wenn die Beschreibung des Zustands auf Basis von Prognosen bzw. Einschätzungen erfolgt.
Initialzustand	<p>Dies entspricht dem Zustand des Lechs nach Umsetzung der Maßnahmen des Umsetzungspakets 1 vor Einsetzen der dadurch initiierten eigendynamischen Entwicklungen.</p> <p>Das Umsetzungspaket 1 beinhaltet u.a. folgende umgesetzte Maßnahmen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entfernung der Ufersicherung in allen Abschnitten • Sohlsicherung Fkm 56,20 – 56,65 • Ausleitungsbauwerke und Ausleitungsgewässer an Weitmann- und Auensee • Umsetzung der Sohlrampen • Sekundärauen teilweise umgesetzt • Deiche teils zurückverlegt <p>Weitere Angaben sind dem Erläuterungsbericht (ARGE SKI Revital, 2023) zu entnehmen.</p>

Abkürzungen

BZ	Bezugszustand
EZ	Endzustand
Fkm	Flusskilometer
HQ _{häufig} (HW _{häufig})	<p>Hochwasser, der Zusatz "häufig" bedeutet, dass es sich um ein Hochwasser handelt, das statistisch betrachtet häufig auftritt (hier: ca. jährlich).</p> <p>Die Abkürzung HW_{häufig} wird in diesem Bericht verwendet, wenn das Hochwasser in Bezug auf seine Auswirkungen auf Wasserstände im Grundwasserleiter untersucht wird. Die isolierte Betrachtung der Abflüsse im Lech (ohne Betrachtung des Grundwassers) wird mit HQ_{häufig} abgekürzt.</p>
HQ ₁₀₀ (HW ₁₀₀)	<p>Hundertjährliches Hochwasser</p> <p>Die Abkürzung HW₁₀₀ wird in diesem Bericht verwendet, wenn das Hochwasser in Bezug auf seine Auswirkungen auf Wasserstände im Grundwasserleiter untersucht wird. Die isolierte Betrachtung der Abflüsse im Lech (ohne Betrachtung des Grundwassers) wird mit HQ₁₀₀ abgekürzt.</p>
IZ	Initialzustand
MW	Mittelwasser
MNW	Mittleres Niedrigwasser
NW	Niedrigwasser

1 Einleitung

Rückblick

Das Grundwassermodell Licca Liber wurde in den Jahren 2018 und 2019 im Rahmen der sogenannten Weiterführenden Untersuchungen entwickelt. Das Grundwassermodell wurde in dem Computerprogramm Feflow aufgebaut und an die natürlichen Verhältnisse angepasst, d.h. sowohl stationär als auch instationär kalibriert. Zur Überprüfung, dass das Modell die natürlichen Grundwasserstände gut vorhersagen kann, wurde das Hochwasser im August 2005 im Rahmen eines Modelltests nachgerechnet. Diese Arbeiten werden in Anlage 6.2 der Weiterführenden Untersuchungen - Aufbau und Anpassung des Grundwassermodells (ARGE SKI KUP UIBK, 2018-2) dokumentiert.

Um die Auswirkungen von Licca Liber auf das Grundwasser abschätzen zu können, wurde zunächst ein Bezugszustand erarbeitet, der verschiedene Grundwasserverhältnisse des Istzustands abbildet. Dieser Bezugszustand dient als Referenz für Vergleiche mit dem Planungszustand von Licca Liber. Die Arbeiten zum Aufbau des Bezugszustands sind in Anlage 6.3 der Weiterführenden Untersuchungen (ARGE SKI KUP UIBK, 2019-1) dokumentiert.

Darauf aufbauend wurden die Ergebnisse, u.a. bezüglich der Grundwasserstände und Brunneneinzugsgebieten, von insgesamt vier unterschiedlichen Planungsvarianten mit dem Bezugszustand verglichen. Aus diesem Prozess ging die Planungsvariante I-B als beste Variante hervor. Die Arbeiten sind Anlage 6.4 der Weiterführenden Untersuchungen - Modelleinsatz (ARGE SKI KUP UIBK, 2019) zu entnehmen.

Modelleinsatz Objektplanung

Im Rahmen der weiterführenden Untersuchungen wurde der Endzustand von Licca Liber betrachtet. Dieser Zustand geht davon aus, dass alle Maßnahmen umgesetzt sind und der Lech sein finales Flussbett gefunden hat. Im Rahmen der hier vorliegenden Objektplanung wird zusätzlich ein Zwischenzustand, der sogenannte Initialzustand, betrachtet. Im Initialzustand wurden die Sohlrampen bereits gebaut, während Deiche nur zum Teil zurückverlegt wurden und Sekundärauen nur abschnittsweise umgesetzt sind (siehe auch Kapitel Wichtige Begriffe und Erläuterungsbericht ARGE SKI Revital, 2023).

Die Modellierung der hier vorliegenden Objektplanung baut auf dem Modell des Bezugszustands auf.

Zusätzlich zu den im Rahmen der Weiterführenden Untersuchungen betrachteten niedrigen und mittleren Grundwasserverhältnissen sowie einem hundertjährigen Hochwasser wird im Rahmen der Objektplanung ein häufiges Hochwasser ergänzt. Im Grundwassermodell wird ein längerer, zusammenhängender Zeitraum betrachtet, der

all die genannten Grundwasserverhältnisse beinhaltet. Diese und weitere Aktualisierungen des Grundwassermodells werden im Rahmen von Kapitel 2 beschrieben.

Kapitel 3 gibt einen Überblick über die mit dem Bezugszustand erzielten Ergebnisse, während Kapitel 4 und Kapitel 5 die Ergebnisse des Endzustands und Initialzustands darstellen. Kapitel 6 betrachtet Szenarien mit an einigen Trinkwasserbrunnen erhöhten Trinkwasserentnahmen.

2 Überarbeitung des Grundwassermodells Licca Liber

2.1 Betrachtungszeitraum

Mit dem Grundwassermodell sollen folgende hydrologische Zustände betrachtet werden:

- Niedrigwasser
- Mittelwasser
- Hochwasser mit einer Jährlichkeit von etwa 100 Jahren
- „Häufiges“ Hochwasser mit einer Jährlichkeit von etwa einem Jahr

In den weiterführenden Untersuchungen (WU) wurden diese hydrologischen Zustände getrennt und zum Teil stationär betrachtet. Für die folgenden Untersuchungen wird ein längerer Zeitraum betrachtet, der diese hydrologischen Zustände beinhaltet.

Der Zeitraum 2005 bis Anfang 2007 umfasst alle oben genannten hydrologischen Zustände:

- 100-jährliches Hochwasser (HW100): Als hundertjährliches Hochwasser wird das Hochwasser im August 2005 gewählt. Der Abfluss im Hochwasserscheitel liegt etwas über einem hundertjährlichen Hochwasser, dennoch wird im Folgenden von einem 100-jährlichen Hochwasser gesprochen.
- Häufiges Hochwasser (HW_{häufig}): Ende Mai 2006 liegt ein Hochwasser vor, das mit einer Jährlichkeit von etwas unter einem Jahr die Kriterien eines häufigen Hochwassers erfüllt.
- Mittelwasser (MW): Der Abfluss im Lech und die Grundwassermessstellen im Stadtwald zeigen, dass der 9.7.2005 für die Betrachtung mittlerer Verhältnisse herangezogen werden kann.

Für die Betrachtung einer schlechten Verfügbarkeit von Grundwasser, d.h. niedrigen Grundwasserständen, kommen die folgenden Szenarios in Frage:

- Mittleres Niedrigwasser im Jahr 2006 (MNW): Um den 10.2.2006 ist der Abfluss am Lech unterhalb eines MNQs, außerdem weisen die Grundwassermessstellen die absoluten Tiefststände im Zeitraum 2004 bis 2008 auf.
- Niedrigwasser Anfang 2007 (NW): Zum Jahresende 2006 liegen bereits niedrige Grundwasserstände vor. Danach steigen die Abflüsse im Lech wieder etwas an. Aus einer konservativen Sichtweise (Worst-Case) wäre es vorstellbar, dass dieser Zustand auch länger anhält. Daher wird die Niedrigwasserphase im Lech künstlich um 3 Monate (bis zum 31.3.2007) verlängert. Es wird angenommen, dass in diesem Zeitraum keine Grundwasserneubildung auftritt (=0), ferner werden am Lech dauerhaft MNW-

Wasserspiegel angesetzt. Im Folgenden wird dieses Szenario als Niedrigwasser (NW) bezeichnet.

Primär wird im Folgenden das Niedrigwasser 2007 (abgekürzt NW) in den Betrachtungen berücksichtigt und ggf. das MNW 2006 ergänzend aufgeführt.

Zur Verdeutlichung dieser Überlegungen dienen die nachfolgend beschriebenen Ganglinien des Lechabflusses und der Grundwasserstände.

Die Hydrologie an der Abflussmessstelle des Lechs in Haunstetten kann Abbildung 2.1 bis Abbildung 2.4 entnommen werden.

Abbildung 2.5 bis Abbildung 2.7 zeigen exemplarisch anhand von drei Messstellen den Grundwassergang im Untersuchungsraum (Lageplan: Abbildung 2.8). Die Ganglinien zeigen deutlich den Grundwasserhöchststand zum Zeitpunkt des Hochwassers am Lech im Jahr 2005. Auch das Niedrigwasser im Winterhalbjahr 2005/06 weist im Vergleich zu den folgenden Jahren die geringsten Grundwasserstände auf. Die Ganglinie zeigt, dass Phasen mit mittleren Grundwasserständen nie lange anhalten, sondern eher Übergangszustände zwischen Niedrig- und Hochwasserphasen sind. Weitere Auswertungen zur Ermittlung der Niedrig- und Mittelwasserphase werden in Anhang A ergänzt.

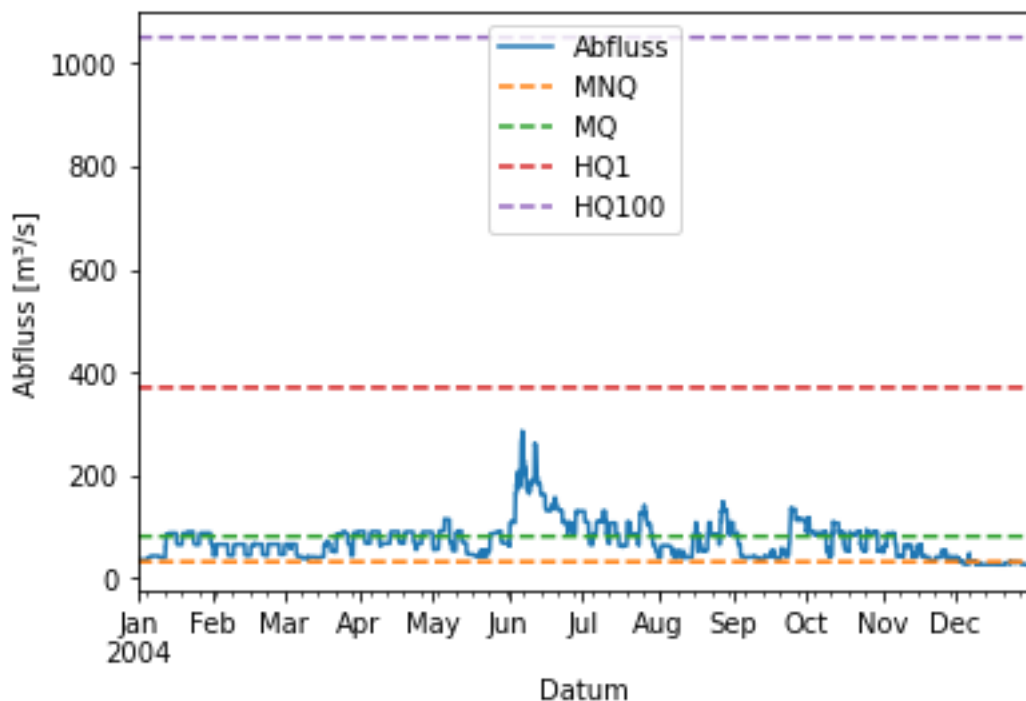


Abbildung 2.1: Lechabflüsse im Jahr 2004 (Pegel Haunstetten)

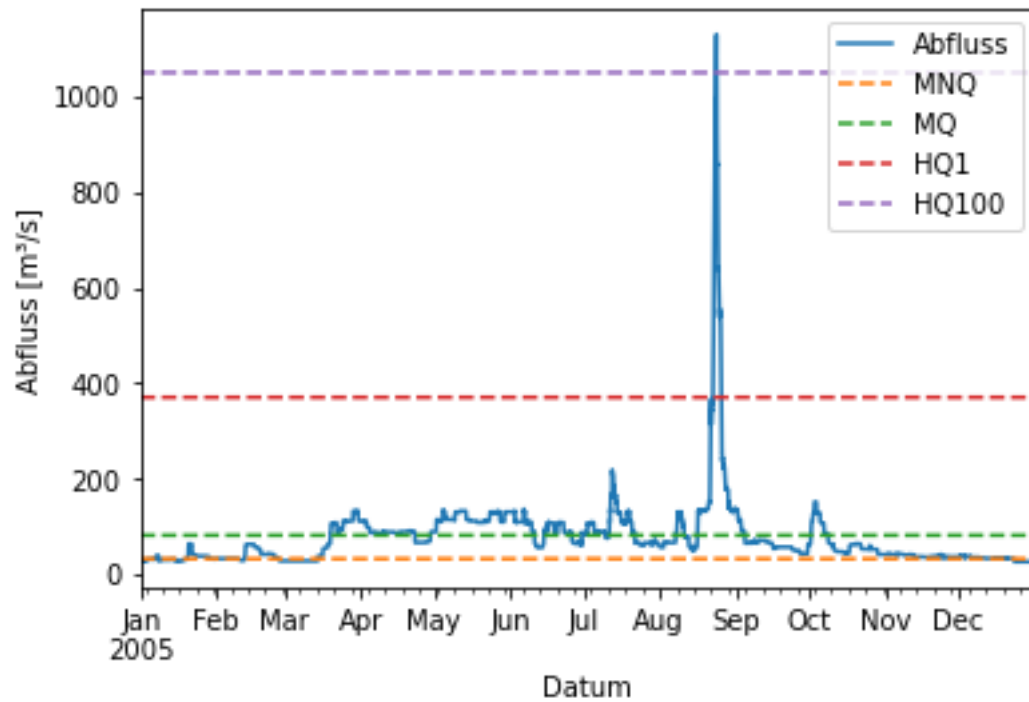


Abbildung 2.2: Lechabflüsse im Jahr 2005 (Pegel Haunstetten)

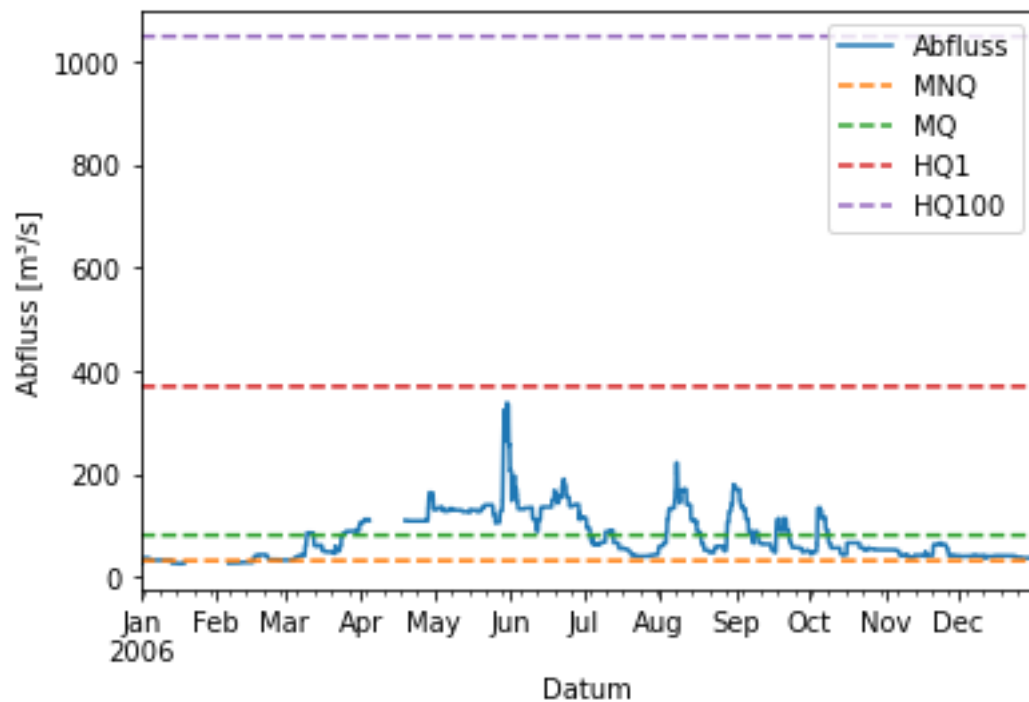


Abbildung 2.3: Lechabflüsse im Jahr 2006 (Pegel Haunstetten)

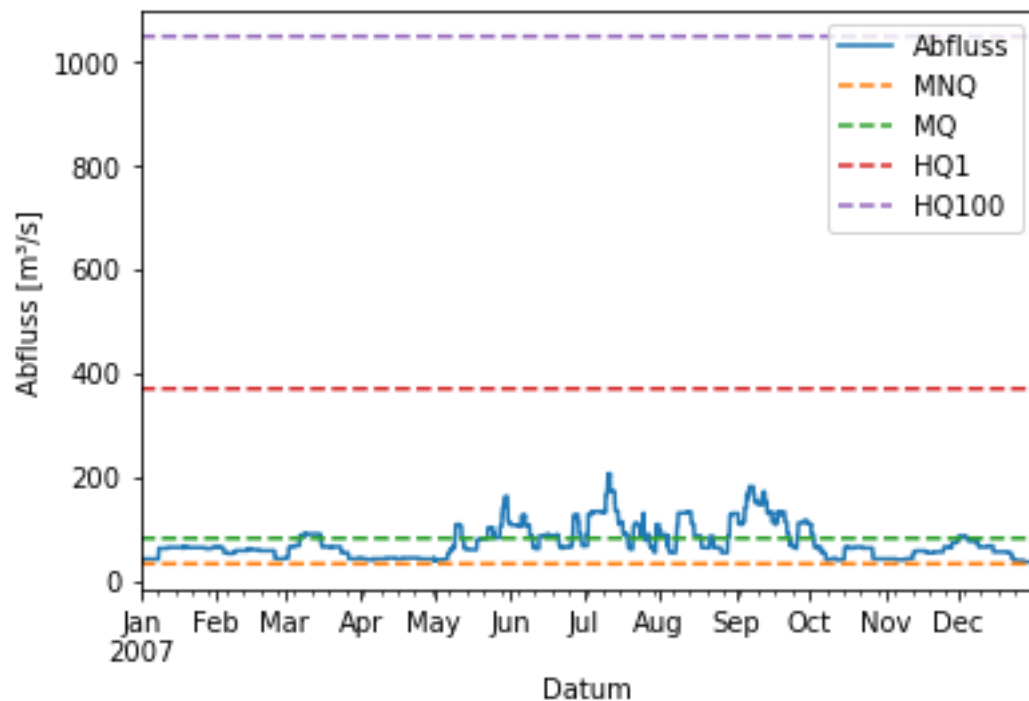


Abbildung 2.4: Lechabflüsse im Jahr 2007 (Haunstetten)

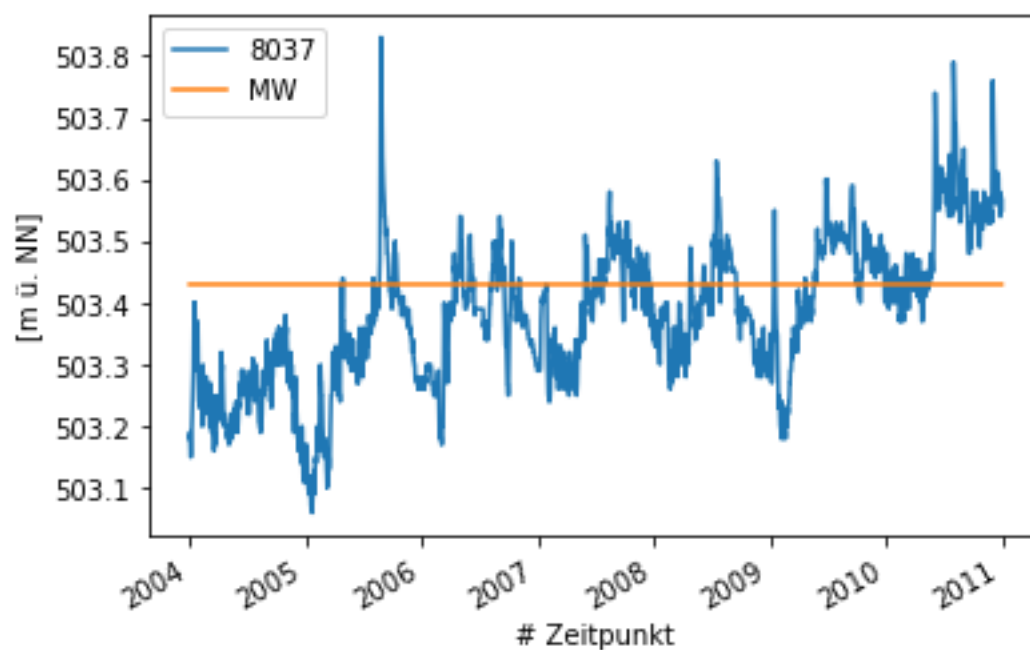


Abbildung 2.5: Grundwasserstandsganglinie an der Grundwassermessstelle swa_8037 (Stadtwald, entnahmebeeinflusst)

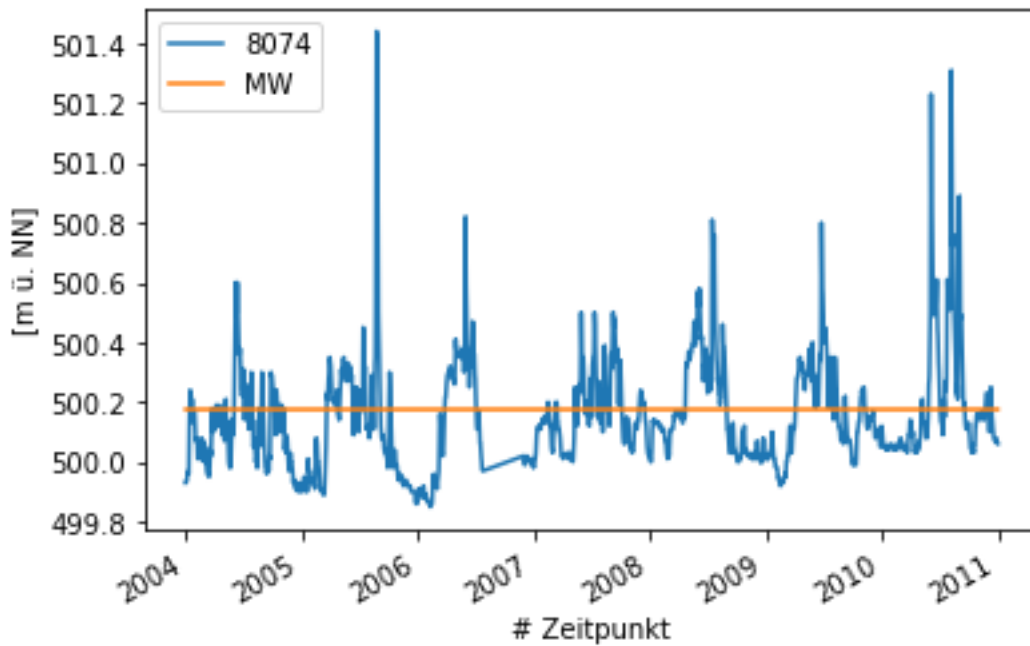


Abbildung 2.6: Grundwasserstandsganglinie an der Grundwassermessstelle swa_8074 (lechnah)

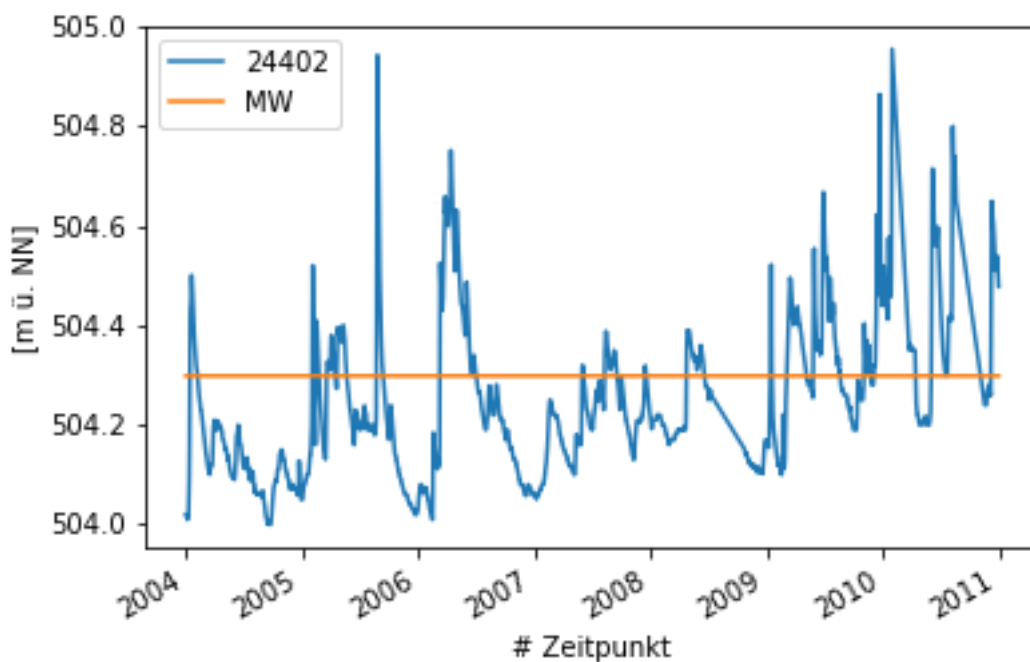


Abbildung 2.7: Grundwasserstandsganglinie an der Grundwassermessstelle uniper_24402 (östlich des Lechs)

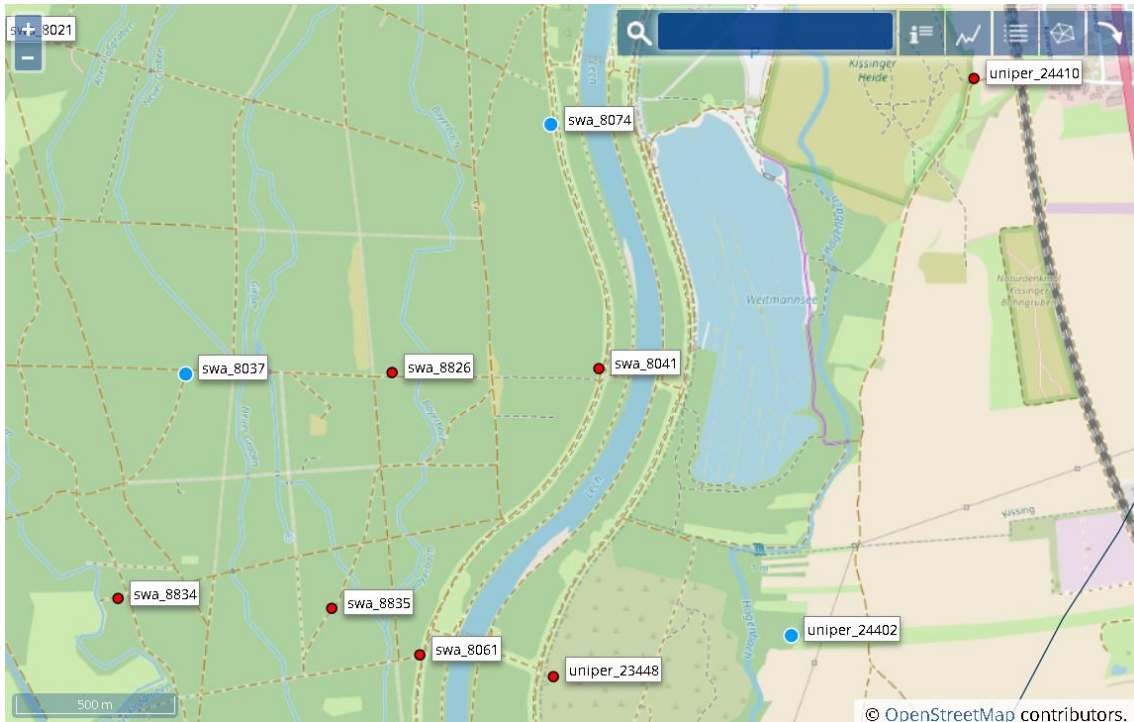


Abbildung 2.8: Lageplan

2.2 Umstellung des Modells auf UTM und das Höhensystem DHHN 2016

Das Koordinatensystem wird von Gauss-Krüger (Zone 4) auf ETRS89 / UTM Zone 32N umgestellt. Die Modellsoftware Feflow rechnet in lokalen Koordinaten relativ zu einem Bezugspunkt.

Folgender Ablauf wurde für die Umstellung der Koordinaten gewählt:

- Export der Modellknoten (GK4) als shape-File,
- Transformation der Modellknoten ins neue Koordinatensystem ETRS89,
- Ermittlung des Koordinatenursprungs in ETRS89,
- Neuberechnung der lokalen Koordinaten,
- Anpassung aller Koordinaten in Feflow.

Die Differenz zwischen DHHN12 und DHHN2016 liegt im Planungsgebiet bei 4,8 cm +/- 0,2 cm. Damit ergibt sich die Umrechnung über folgende Gleichung: $DHHN2016 = DHHN12 - 0,05 \text{ m}$.

2.3 Netzverfeinerung

Das Modellnetz wurde horizontal im Planungsbereich u.a. im Bereich des Verlaufs von Nebengewässern gegenüber dem Stand der Weiterführenden Untersuchungen

verfeinert. Die Anzahl der Modellschichten (vertikale Diskretisierung) bleibt gleich, allerdings werden im Planungsbereich vertikale Schichten verschoben, um Anpassungen der Lechsohle und der Vorlandabsenkung nachzubilden.

Abbildung 2.9 zeigt beispielhaft die horizontale Diskretisierung im Umfeld des Weitmannsees.

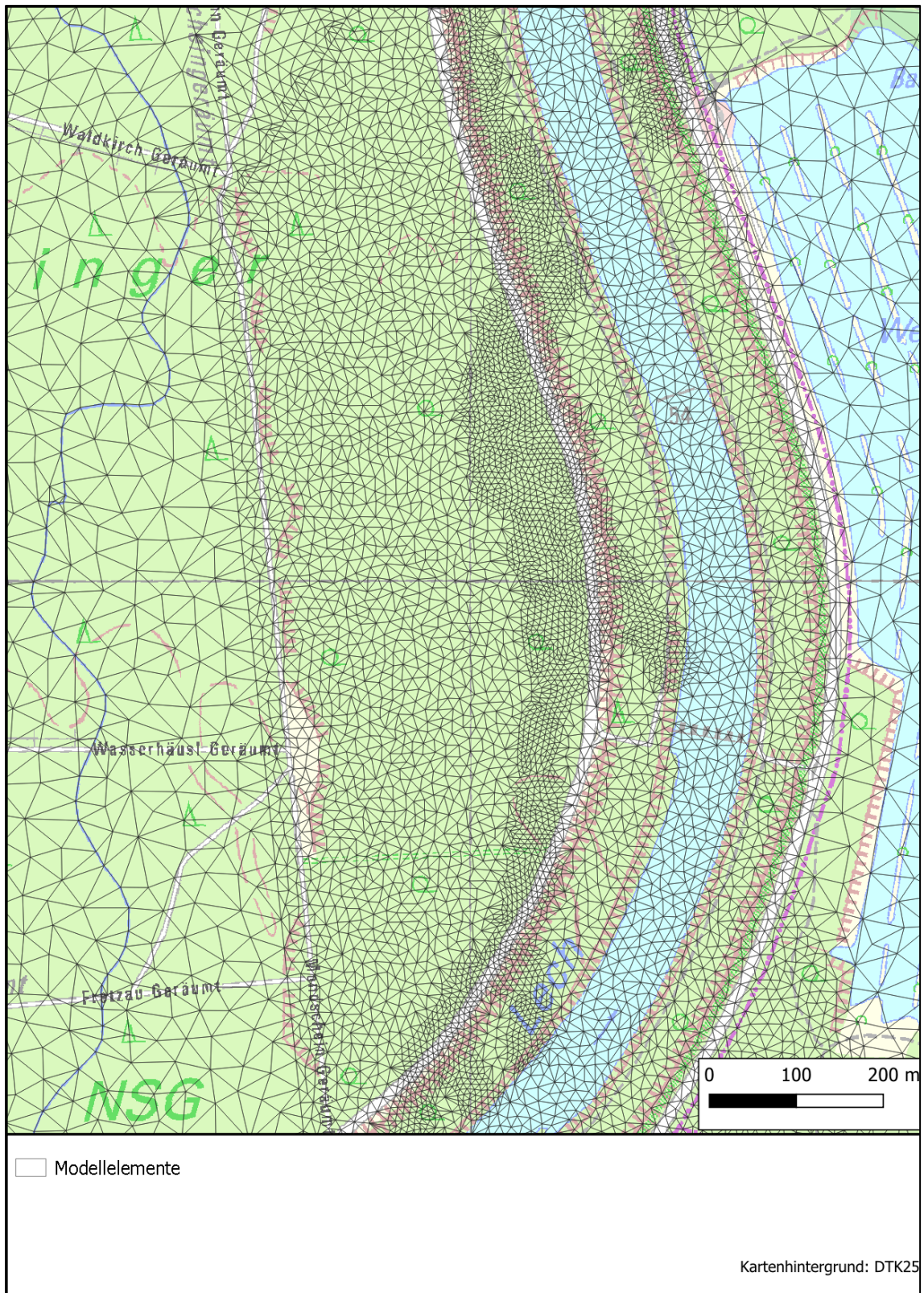


Abbildung 2.9: Modellnetz im Bereich des Weitmannsees

2.4 Äußere Modellrandbedingungen

Die äußeren Modellrandbedingungen (Zuflussränder, Festpotentialränder, No-Flow-Ränder) entsprechen mit u.g. Ausnahme den Randbedingungen des Bezugszustands den Weiterführenden Untersuchungen.

Da im Rahmen der Objektplanung ein längerer Zeitraum modelliert wird, muss die instationäre Ganglinie des Festpotentialrands im Süden verlängert werden. Diese Ganglinie wird, wie in den Weiterführenden Untersuchungen, aus den Daten der Grundwassermessstellen Koe11 und gkd_8242 abgeleitet (ARGE SKI KUP UIBK, 2018-2).

2.5 Innere Modellrandbedingungen

2.5.1 Grundwasserneubildung

Im Rahmen der Weiterführenden Untersuchungen wurde die instationäre, tagesdifferenzierte Grundwasserneubildungsrate für den Zeitraum 1991 bis 2016 ermittelt. Diese wird in das Grundwassermodell importiert. In Hochwasserphasen werden Tageswerte der Grundwasserneubildung in das Modell übernommen. In den verbleibenden Zeiträumen werden Wochensummen angesetzt.

Im Zeitraum der verlängerten Niedrigwasserphase (Jahresbeginn 2007) wird keine Grundwasserneubildung angenommen.

2.5.2 Oberirdische Fließgewässer

2.5.2.1 Lech zwischen Staustufe 23 und Hochablass (Planungsbereich Objektplanung Licca Liber)

Generell orientiert sich das Verfahren zur Ermittlung der instationären Wasserspiegel am Lech an der in 0 beschriebenen Vorgehensweise. Diese ist identisch mit der Vorgehensweise der Weiterführenden Untersuchungen.

Für die Generierung der instationären Gewässerrandbedingung im Grundwassermodell wurden stationär berechnete Wasserspiegel des Lechs aus dem Oberflächengewässersmodell verwendet. Die Höhe des Abflusses am Lech wird der gemessenen Abflussganglinie am Pegel Haunstetten entnommen.

Wenn Modellknoten des Grundwassermodells von Ausuferungen benetzt werden, wird im Grundwassermodell temporär eine Leakage-Randbedingung aktiviert. Außerhalb der Hochwasserphasen ist keine Randbedingung an diesen Knoten aktiv.

Die Untersuchungen im Rahmen der Weiterführenden Untersuchungen haben gezeigt, dass die Höhe des Anstiegs der Grundwasserstände während den betrachteten Hochwässern 1999 und 2005 nur abgebildet werden kann, wenn die Leakage-Koeffizienten im Bereich ober- und unterstrom des Hochablasses temporär erhöht werden. Diese temporäre höhere Durchlässigkeit der Lechsohle wird auch für die Objektplanung umgesetzt.

2.5.2.2 Lech südlich der Staustufe 23

Am Lech südlich der Staustufe 23 wird der Wasserspiegel aus stationären Wasserspiegellagenberechnungen der ARGE nach dem in Anhang B beschriebenen Vorgehen ermittelt. Die Berechnung basiert auf der Abflussganglinie des Pegel Haunstettens. In diesem Bereich liegen nur 1D-Wasserspiegellagenberechnungen vor, daher werden keine Ausuferungen berücksichtigt.

2.5.2.3 Lech zwischen Hochablass und Wolfzahnauwehr

In diesem Abschnitt wurden im Rahmen der Weiterführenden Untersuchungen stationäre Wasserspiegellagen für den Bezugszustand ermittelt. Der Abschnitt endet im Oberwasser des Wolfzahnauwehrs, da unterstrom des Wehrs eine Beeinflussung durch die Wertach besteht.

Die Modulierung erfolgt auf Basis der am Pegel Haunstetten gemessenen Abflüsse gemäß dem in Anhang B beschriebenen Verfahren.

2.5.2.4 Lech zwischen Wolfzahnauwehr und Gersthofener Wehr

In diesem Abschnitt besteht auch im Lech zwischen Wolfzahnauwehr und der Wertachmündung eine Beeinflussung des Wasserspiegels durch die Wertach. In den Weiterführenden Untersuchungen (ARGE SKI KUP UIBK, 2019-1) wurde daher bei der Ermittlung der Wasserspiegel aus stationären Berechnungen die je Zeitschritt vorliegenden Abflüsse in Lech und Wertach als Randbedingung im 2D-Modell des Lechs berücksichtigt. Da die Objektplanung keine Maßnahmen unterstrom des

Hochablasses vorsieht, werden die instationären Wasserspiegel für das Grundwassermodell wie folgt generiert:

- Es werden Wasserspiegellagen zu Abflusskombinationen für die Betrachtung gewählt, die möglichst ähnlich sind (z.B. MQ Lech + MQ Wertach, MNQ Lech + MNQ Wertach)
- Die Abflussganglinie des Lech-Pegels unterhalb der Wertachmündung wird zur Modulierung der stationären Wasserspiegel verwendet.

Das Vorgehen entspricht dem in 0 beschriebenen Verfahren.

2.5.2.5 Lech nördlich des Gersthofener Wehrs

In diesem Bereich wird der in Kapitel 2.5.2.2 beschriebene Ansatz zur Ermittlung der Wasserspiegel verwendet. Basis der Modulierung bildet die Abflussganglinie am Lech-Pegel unterhalb der Wertachmündung. Aufgrund der geringen Relevanz für das Aussagegebiet wird auf eine Übernahme von Ausuferungsflächen verzichtet.

2.5.2.6 Sonstige Fließgewässer

Weitere Fließgewässer (z.B. Lochbach, Wertach, Paar) werden mit Wasserspiegeln bei Mittelwasserabfluss belegt (ARGE SKI KUP UIBK, 2019-1).

2.5.3 Kuhsee, Auensee und Weitmannsee

Seen werden im Grundwassermodell mit Elementen hoher Durchlässigkeit hinterlegt. Trotz hoher Durchlässigkeit im Modell der Weiterführenden Untersuchungen stellt sich in den Seen ein Gefälle ein (Beispiel Weitmannsee: ca. 30 cm Wasserspiegeldifferenz zwischen Süd- und Nordrand). Für die Untersuchungen im Rahmen der Objektplanung wird ein möglichst horizontaler Seewasserspiegel angestrebt. Dies wird durch die Implementierung eines diskreten Elements entlang der Nord-Süd-Achse im Kuh-, Auen- und Weitmannsee umgesetzt. Die Anpassungen im Modell der Weiterführenden Untersuchungen werden Anhang C beschrieben.

Im Modell der Weiterführenden Untersuchungen sind an den Seen beschränkte Dirichlet-Randbedingungen im Modell implementiert, um das Verhalten einer Beschränkung des Wasserspiegels durch ein Überfallwehr anzunähern. Ein Ansteigen des Seewasserspiegels über das Niveau der Dirichlet-Randbedingung ist nicht möglich. Eine „Constraint“-Randbedingung stellt sicher, dass die Randbedingung deaktiviert wird, wenn es zu einem Zustrom von Wasser über die Randbedingung ins Grundwassermodell kommen würde.

In der Realität wird es am Wehr zu einem Überstau kommen, sodass der Seewasserspiegel eine verbleibende Variabilität aufweist. Im Modell des Bezugszustands der Objektplanung wird am Weitmannsee die Wirkung eines Überfallwehrs wie folgt umgesetzt:

- Bei See-Wasserständen < Höhe der Wehrkrone: Keine Entnahme aus dem See
- Bei See-Wasserständen > Höhe der Wehrkrone: Entnahme aus dem See nach folgender Formel nach Poleni:

$$Q = \frac{2}{3} \mu \sqrt{2g} \cdot B \cdot h^{\frac{3}{2}}$$

- Aus ökologischer Sicht ist eine Restwassermenge bei niedrigen Grundwasserständen in den Gerinnen zu bevorzugen. Zusätzlich wird daher in Modellen des Planungszustands sichergestellt, dass Q nie unter 100 l/s fällt.
- Die Umsetzung erfolgt in Feflow über die Python-Schnittstelle: Nach jedem Zeitschritt wird der See-Wasserspiegel im Grundwassermodell ausgewertet und in die Poleni-Formel eingesetzt. Die ermittelte Entnahmerate Q wird für den folgenden Zeitschritt als Brunnenrandbedingung umgesetzt.

Der aktuelle Zustand des bestehenden Auslasses am Weitmannsees wurde vermessen, damit der Istzustand dieses Wehrs wie oben beschrieben im Bezugszustand berücksichtigt werden kann. Ein Foto des Überfallwehrs ist in Abbildung 2.10 dargestellt.

Im Auensee existiert im Bezugszustand kein Ablauf in ein oberirdisches Fließgewässer, lediglich eine lokale Durchsickerungsmöglichkeit am nordöstlichen Ende des Auensees ermöglicht eine Bewässerung des Auwalds (Mayr, 1996). Im Modell wird diese Durchsickerungsmöglichkeit nicht berücksichtigt, da aufgrund der Geländemorphologie von einem anschließenden Versickern im direkt benachbarten Auwald auszugehen ist. Damit ist die Durchsickerungsmöglichkeit des Auensees im Grundwassermodell bilanztechnisch neutral. Ein Wehr wird daher nur im End- und Initialzustand berücksichtigt.

Am Kuhsee befindet sich eine Fischtreppe in Planung, die auch eine Anpassung der bestehenden Ablaufsituation am Kuhsee erforderlich macht. Im Modell des Bezugs- und Planungszustand wird die geplante Überfallhöhe von 484,49 mNHN als Dirichlet-Rand beibehalten (s.o.).



Abbildung 2.10: Bestehendes Überfallwehr am Weitmannsee

2.5.4 Grundwasserentnahmen

Wie im Bezugszustand der Weiterführenden Untersuchungen werden folgende stationäre Grundwasserentnahmen im Modell berücksichtigt:

- Brunnen der SWA: Mit SWA abgestimmtes Entnahmeregime
- Verbleibende Brunnen: Mittlere Entnahmen der Jahre 2015/16

Weitere Details zur Umsetzung sind dem Bericht zum Bezugszustand der Weiterführenden Untersuchungen (ARGE SKI KUP UIBK, 2019-1) zu entnehmen.

2.5.5 Sonstige

Weitere Randbedingungen (z.B. Austausch mit dem oberen Tertiär, Grundwasserhaltungen, Wirkung der Kanalisation als Drainage-Rand) entsprechen dem Stand der Weiterführenden Untersuchungen.

Sofern ein Höhenbezug besteht (z.B. Höhe der Vorflut) wurde die Höhe in das Höhensystem DHHN16 übertragen.

3 Ergebnisse des Bezugszustands

3.1 Wasserspiegel und Bilanz von Kuh-, Auen-, und Weitmannsee

Die Seen werden im Grundwassermodell als Zonen mit hoher Durchlässigkeit und hohem Speicherkoeffizient abgebildet. Die See-Wasserspiegel sind mit den im Grundwassermodell berechneten lokalen Grundwasserständen „im See“ identisch, da die Seen im Untersuchungsraum gut an das Grundwasser angebunden sind. So können mit dem Grundwassermodell See-Wasserspiegel ermittelt werden.

Tabelle 3.1 gibt eine Übersicht über die simulierten Wasserspiegel am MW-Stichtag und berücksichtigten Überfallhöhen von Kuh-, Auen- und Weitmannsee.

Abbildung 3.1 bis Abbildung 3.3 zeigen die Ganglinien des Wasserstands in den betrachteten Zeiträumen. Abbildung 3.4 zeigt die Bilanz der Abflüsse aus den Seen (Bezeichnung: Entnahmen). Am Auensee existiert im Bezugszustand kein Wehr, damit beträgt die Seewasserentnahme dauerhaft 0 m³/s. Ein wesentlicher Abfluss aus den Seen ergibt sich bei Hochwasser (sowohl HW100 als auch HW_{häufig}) an Kuh- und Weitmannsee. Am Weitmannsee ergibt sich ein Abfluss auch für Phasen mit Wasserständen über mittleren Verhältnissen.

Tabelle 3.1: Wasserspiegel der Seen bei mittleren Verhältnissen (9.7.2005)

See	Wasserspiegel des Sees [mNHN]	Höhe der Wehrkrone [mNHN]
Kuhsee	484,43	484,49
Auensee	493,10	-
Weitmannsee	501,33	501,32

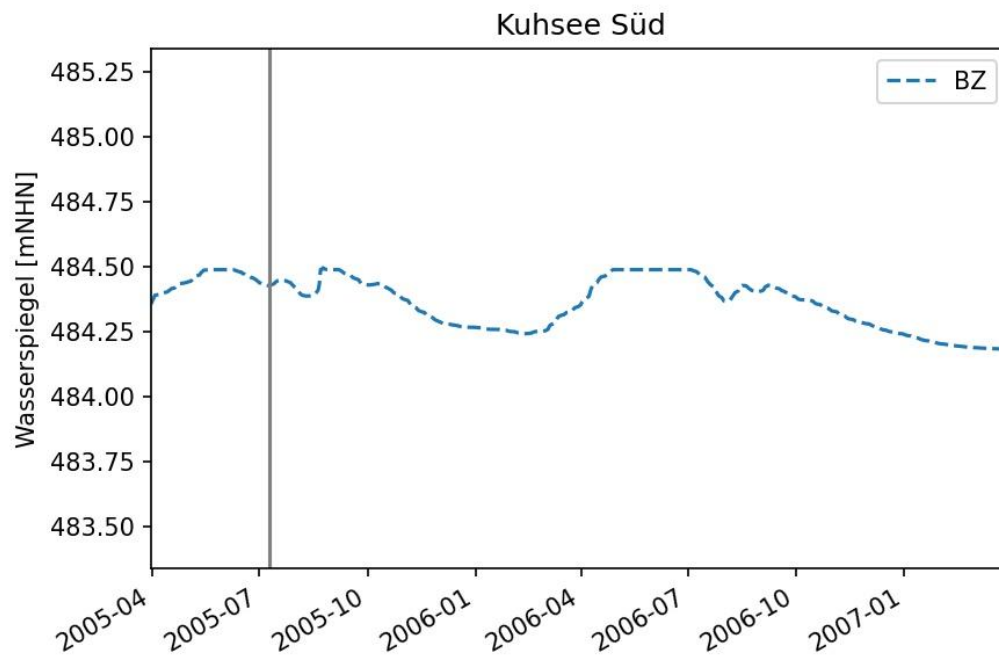


Abbildung 3.1: Wasserspiegel des Kuhsees im Bezugszustand

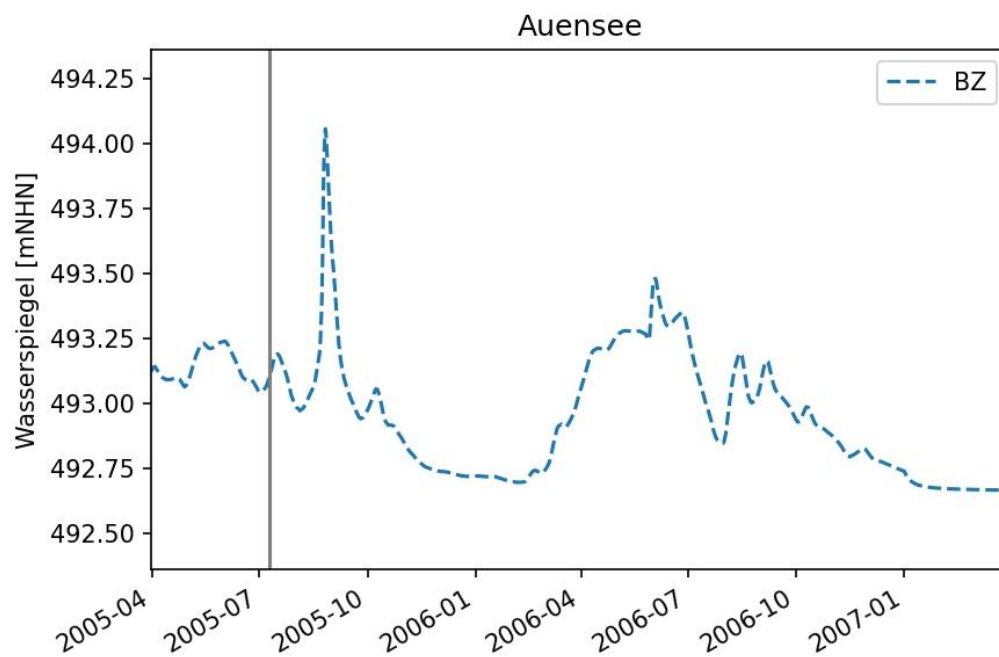


Abbildung 3.2: Wasserspiegel des Auensees im Bezugszustand

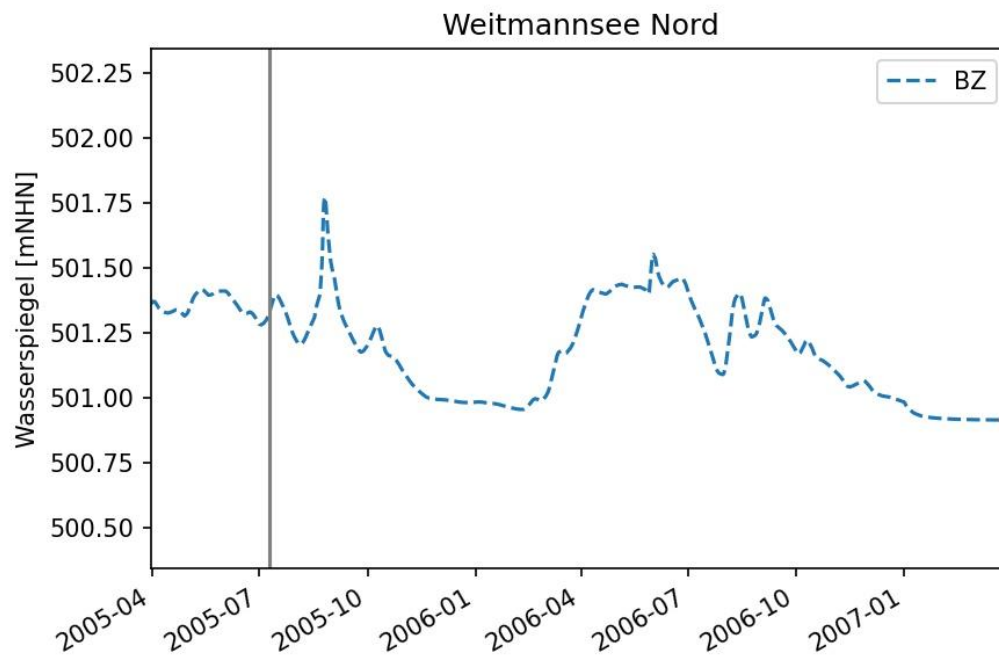


Abbildung 3.3: Wasserspiegel des Weitmannsees im Bezugszustand

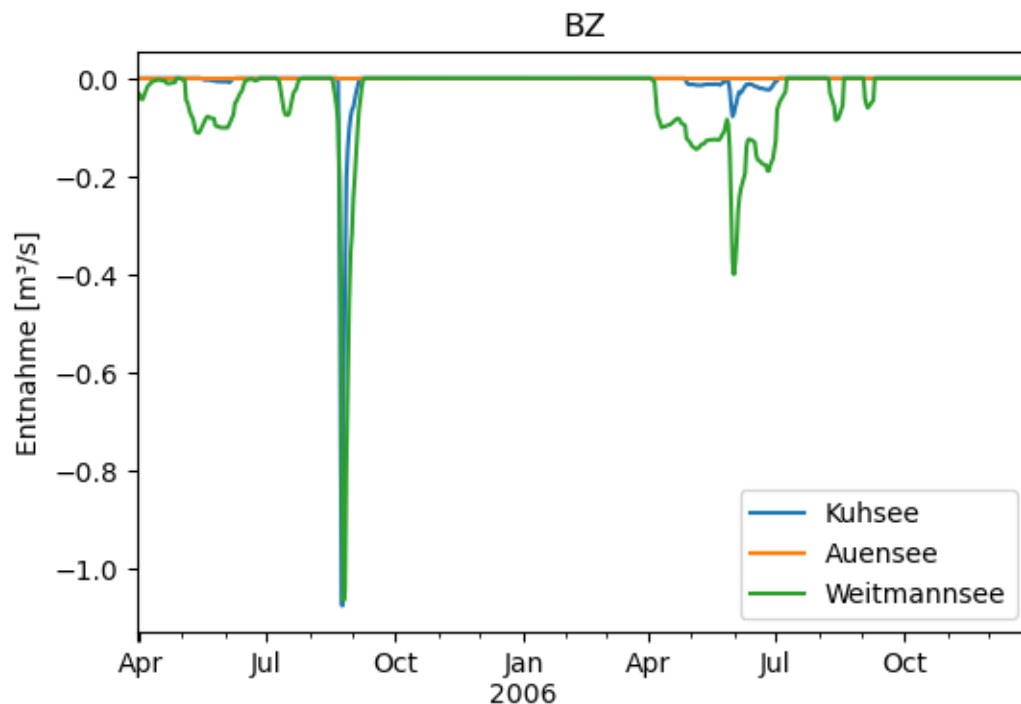


Abbildung 3.4: Bilanz von Kuh-, Auen- und Weitmannsee

3.2 Grundwasserstände

Die folgende Abbildung stellt die Grundwassergleichen des Bezugszustands für den Mittelwasserstichtag sowie für Hochwasserverhältnisse dar. Bei mittleren Verhältnissen ist die Wirkung der Abstürze deutlich zu erkennen. So zeigen die Grundwassergleichen oberstrom der Abstürze infiltrierende Verhältnisse an, während unterstrom der Abstürze exfiltrierende Verhältnisse vorliegen. Im Hochwasserfall liegen ausschließlich infiltrierende Verhältnisse vor, sodass die Lage von Abstürzen nicht mehr aus der Lage der Grundwassergleichen abgeleitet werden kann.

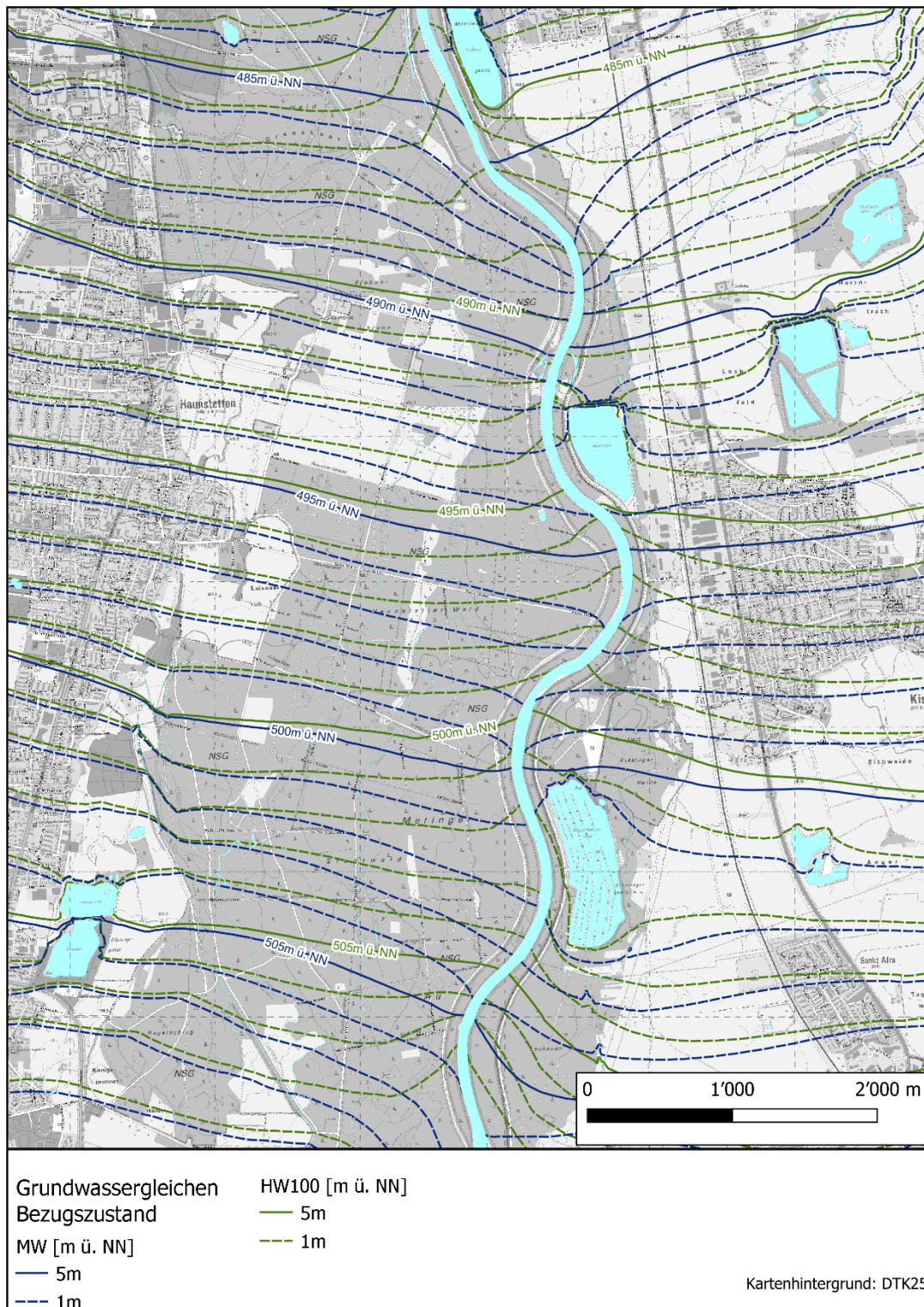


Abbildung 3.5: Grundwassergleichen im Bezugszustand für mittlere und hohe Grundwasserstände

4 Ergebnisse des Endzustands

4.1 Ergebnisse für den Kuh-, Auen- und Weitmannsees

4.1.1 Umsetzung der Wehre

Am Kuhsee wird die Randbedingung des Bezugszustands beibehalten (vgl. Kapitel 2.5.3).

Am Auensee wird die Überfallhöhe eines 3m breiten Wehrs im Grundwassermodell so eingestellt, dass bei Mittelwasser der See-Wasserspiegel dem Wasserspiegel des Bezugszustands entspricht.

Die Überfallhöhe wird wie folgt ermittelt:

1. Vorläufige Berechnung der Seewasserentnahme Q_{soil} mit dem Grundwassermodell. Hierzu wird am Auensee eine Festpotentialrandbedingung mit der Mittelwasserhöhe des Bezugszustands angesetzt.
2. Die Höhe der Überfallkante errechnet sich über die Formel nach Poleni aus dem einzustellenden Abfluss Q_{soil} (s. Kapitel 2.5.3).

Am Weitmannsee wird wie am Auensee die Poleni-Formel angewendet, allerdings basiert die Auslegung des Wehrs auf einer Breite von 5 m.

Tabelle 4.1 stellt die Überfallhöhen der Wehre in Bezugs- und Endzustand dar.

Tabelle 4.1: Überfallhöhen in Bezugs- und Endzustand

See	Bezugszustand	Endzustand
	Höhe der Wehrkrone [mNHN]	
Kuhsee	484,49	484,49
Auensee	-	492,94
Weitmannsee	501,32	501,10

4.1.2 See-Wasserspiegel und Bilanz

Tabelle 4.2 gibt die mit dem Modell ermittelten Wasserspiegel im Bezugs- und Endzustand an. In Niedrigwasser-Situationen stellen sich an allen Seen höhere See-Wasserspiegel ein. Am Kuhsee steigt der minimale See-Wasserspiegel um ca. 15 cm an. Die See-Wasserspiegel von Weitmann- und Auensee nehmen bei niedrigen Grundwasserständen im Vergleich zum Bezugszustand um mehr als 30 cm zu. Die

maximalen See-Wasserspiegel während des HW100 nehmen an Auen- und Weitmannsee ab.

Tabelle 4.3 stellt die aus den Seen ausgeleiteten Wassermengen dar. Auen- und Weitmannsee führen auch bei mittleren und niedrigen See-Wasserspiegeln relevante Wassermengen ab, während am Kuhsee nur in Hochwassersituationen ein höherer Abfluss ausgeleitet wird. Die Abflussmengen werden für den Endzustand auch in Abbildung 4.1 als Ganglinien dargestellt.

Tabelle 4.4 und Tabelle 4.5 stellt die Exfiltration des Lechs und der Seen im Planungsbereich bei NW- und MW-Verhältnissen dar. Die Übersicht zeigt, dass die Exfiltration des Lechs im Bezugszustand im Vergleich zum Endzustand wesentlich höher ausfällt. Durch die Entnahme aus den Seen wird der Großteil der geringeren Lech-Exfiltration im Endzustand kompensiert. Bei mittleren Verhältnissen ist die Summe aus Exfiltration und Entnahme aus den Seen in Bezugszustand und Endzustand quasi identisch. Bei NW-Verhältnissen wird im Endzustand etwa 250 l/s weniger exfiltrieren. Die geringere Exfiltration bei NW-Verhältnissen führt zu einer Aufhöhung des Grundwasserspiegels im Endzustand im Vergleich zu den Grundwasserspiegeln des Bezugszustands.

Die lechparallelen Begleitgewässer weisen keine wesentliche Veränderung im Austausch mit dem Grundwasser auf. Hierzu wurde der Austausch des Hagenbach/Verlorener Bach im Planungsbereich (ca. zwischen der Landstraße 2380 und der Bundesstraße 2) und der Bäche zwischen Lochbach und Lech mit dem Grundwasser ermittelt. In beiden Bereichen dominieren infiltrierende Verhältnisse. Die Daten sind in Tabelle 4.6 und Tabelle 4.7 zusammengestellt.

Nordöstlich der Sohlrampe Fkm 50,4 entsteht eine Sekundäraue, die bereichsweise ins Grundwasser einschneidet. Bei mittleren Verhältnissen treten auf dieser Fläche etwa 200 l/s Wasser aus dem Grundwasserleiter aus. Bei Niedrigwasserverhältnissen reduziert sich die Exfiltration auf etwa 80 l/s.

Tabelle 4.2: Mittlere, maximale und minimale See-Wasserspiegel im Modellierungszeitraum

Variante	Kuhsee			Auensee			Weitmannsee		
	MW 9.7.2005	Max. WSP	NW 31.3.2007	MW 9.7.2005	Max. WSP	NW 31.3.2007	MW 9.7.2005	Max. WSP	NW 31.3.2007
	[mNHN]								
BZ	484.43	484.5	484.18	493.1	494.06	492.67	501.33	501.77	500.92
EZ	484.49	484.49	484.29	493.1	493.37	493.03	501.33	501.55	501.27

Tabelle 4.3: Abflüsse aus Kuh-, Auen- und Weitmannsee im Endzustand

	MW-Abfluss (9.7.2005)	Max. Abfluss	NW-Abfluss
	[m³/s]		
Kuhsee	-0.007	-0.87	0.0
Auensee	-0.314	-1.416	-0.135
Weitmannsee	-0.945	-2.482	-0.638

Tabelle 4.4: Exfiltration des Lechs und der Seen bei NW-Verhältnissen

Variante	Lech	Seen	Summe	Differenz zum BZ
	[m³/s]			
BZ	-2.710	0.000	-2.710	0.000
EZ	-1.680	-0.770	-2.450	-0.250

Tabelle 4.5: Exfiltration des Lechs und der Seen bei MW-Verhältnissen

Variante	Lech	Seen	Summe	Differenz zum BZ
	[m³/s]			
BZ	-2.600	-0.000	-2.600	0.000
EZ	-1.360	-1.270	-2.620	0.020

Tabelle 4.6: Infiltration der lechparallelen Bäche bei NW-Verhältnissen

Variante	Hagenbach/ Verlorener Bach	Bäche im Stadtwald
BZ	0,487	1,000
EZ	0,486	0,992

Tabelle 4.7: Infiltration der lechparallelen Bäche bei MW-Verhältnissen

Variante	Hagenbach/ Verlorener Bach	Bäche im Stadtwald
BZ	0,430	0,859
EZ	0,432	0,885

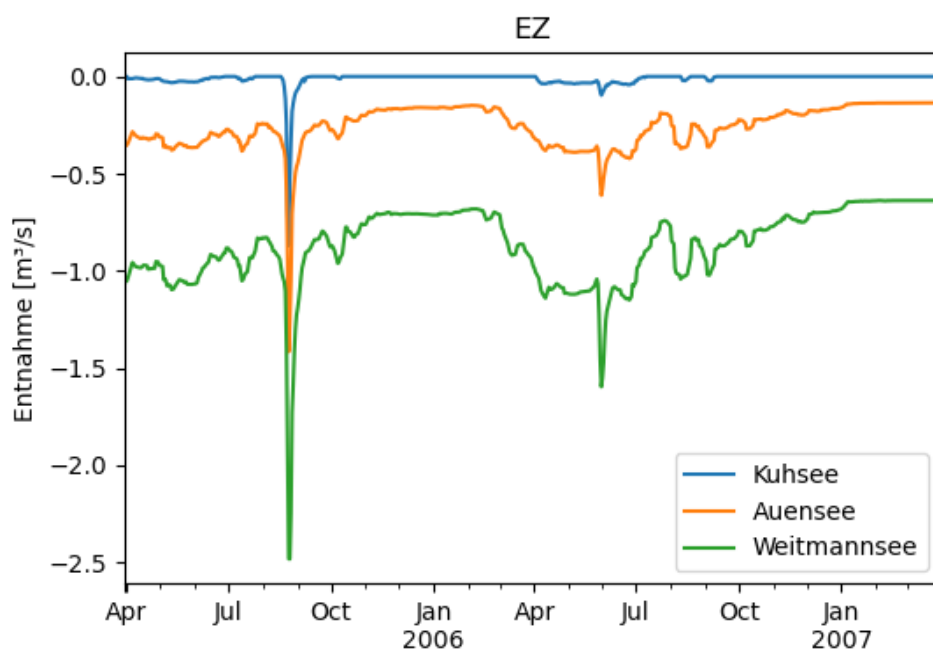


Abbildung 4.1: Ganglinien des Abflusses aus Kuh-, Auen- und Weitmannsee im Endzustand

4.2 Grundwasserstände

In den nachfolgenden Kapiteln werden verschiedene Aspekte untersucht, darunter Aufhöhungen/Absenkungen des Grundwasserstands und Verlagerung von Brunneinzugsgebieten. Diese Auswertungen sind besser geeignet, um die Auswirkungen von Licca Liber auf die Grundwasserstände zu quantifizieren, als eine direkte Darstellung von beispielsweise Grundwassergleichen. Dennoch lassen sich bereits anhand der nachfolgenden Visualisierungen des Grundwasserstands einige wichtige Veränderungen erkennen.

Beispielhaft werden einige Ganglinien des Grundwasserstands von Bezugs- und Endzustand in Abbildung 4.2 und Abbildung 4.3 im Gesamtzeitraum dargestellt (Lageplan siehe Abbildung 4.4). Die Ganglinien verdeutlichen, dass insbesondere das tiefe Absinken der Grundwasserstände in den Phasen mit niedrigen Grundwasserständen deutlich abgemildert wird. Außerdem werden in den bebauten Gebieten die Hochwasserspitzen zum Teil stark reduziert.

Abbildung 4.5 stellt die Grundwassergleichen für mittlere Verhältnisse und im Hochwasser-Zeitraum dar. Durch den Rückbau der vier Abstürze sind die Wechsel zwischen infiltrierenden und exfiltrierenden Verhältnissen entlang der Fließstrecke (bei Mittelwasser) seltener. Im Hochwasserfall zeigen die Grundwassergleichen, dass auf deutlich breiterer Front (im Umriss der Ausuferungsflächen) Wasser infiltriert. Die Infiltration auf breiterer Front bedeutet nicht, dass es im Vergleich zum Bezugszustand zu einer Erhöhung der Grundwasserstände kommt (s. Kapitel 4.3). Zusätzlich zeigt sich im Hochwasserfall die drainierende Wirkung von Auen- und Weitmannsee durch ein Abknicken der Grundwassergleichen in See-Richtung.

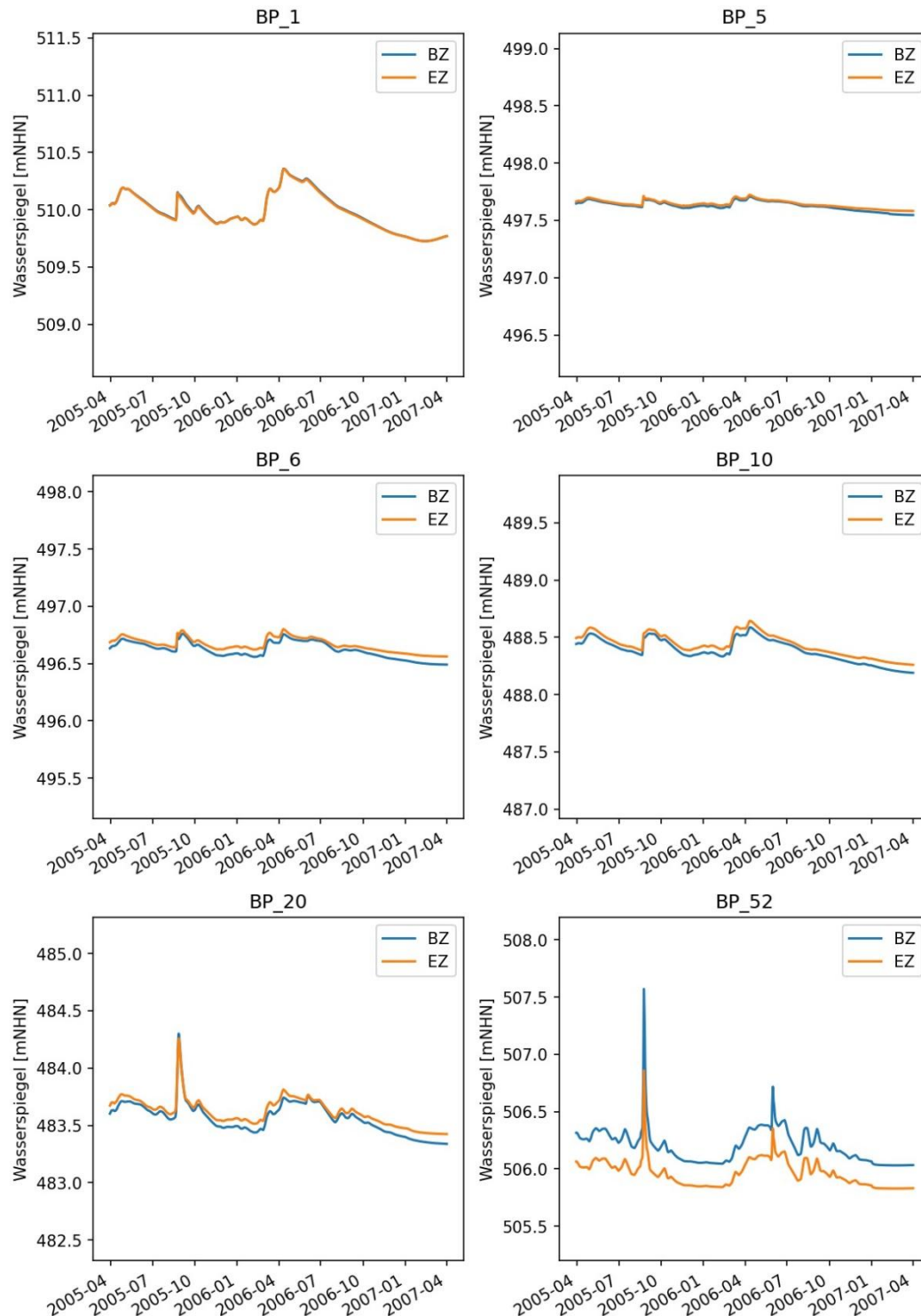


Abbildung 4.2: Ganglinien des Grundwasserstands an den Beobachtungspunkten im Bezugs- und Endzustand (Teil 1)

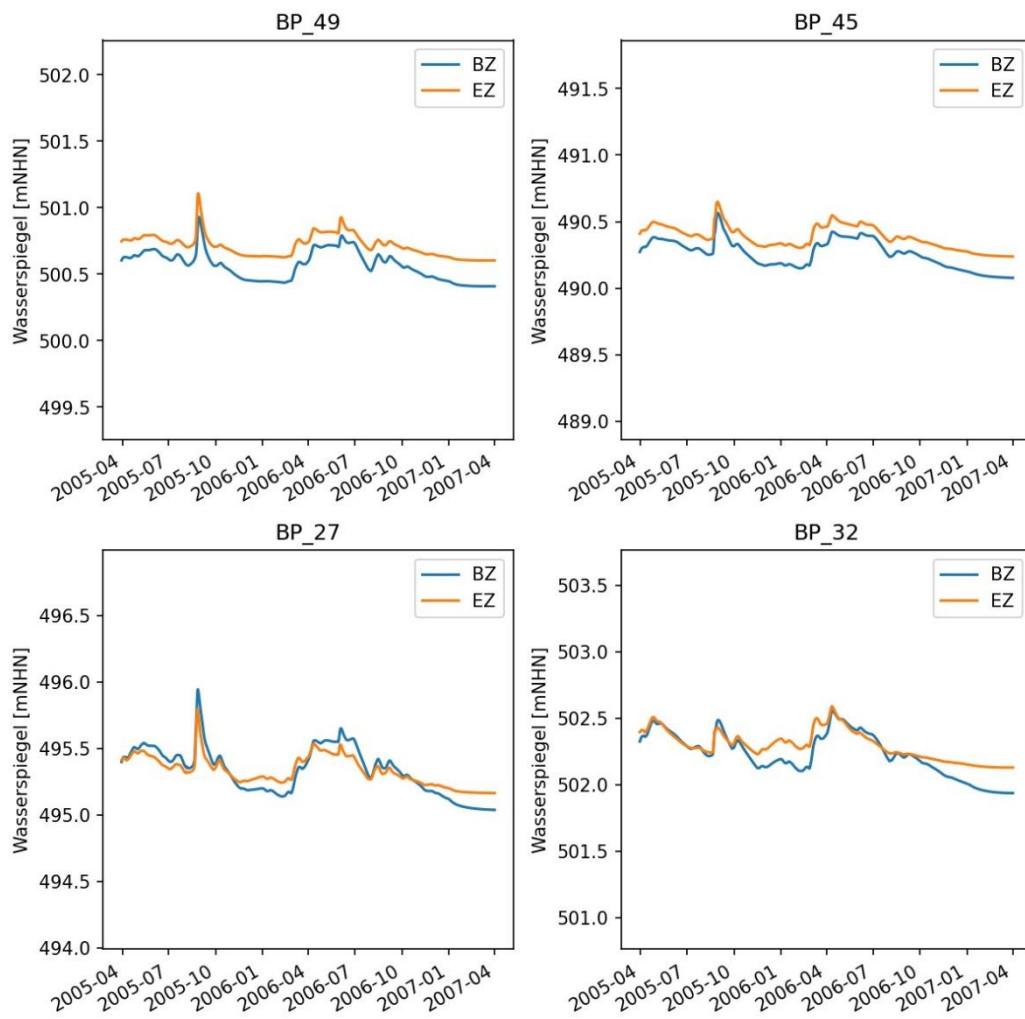


Abbildung 4.3: Ganglinien des Grundwasserstands an den Beobachtungspunkten im Bezugs- und Endzustand (Teil 2)

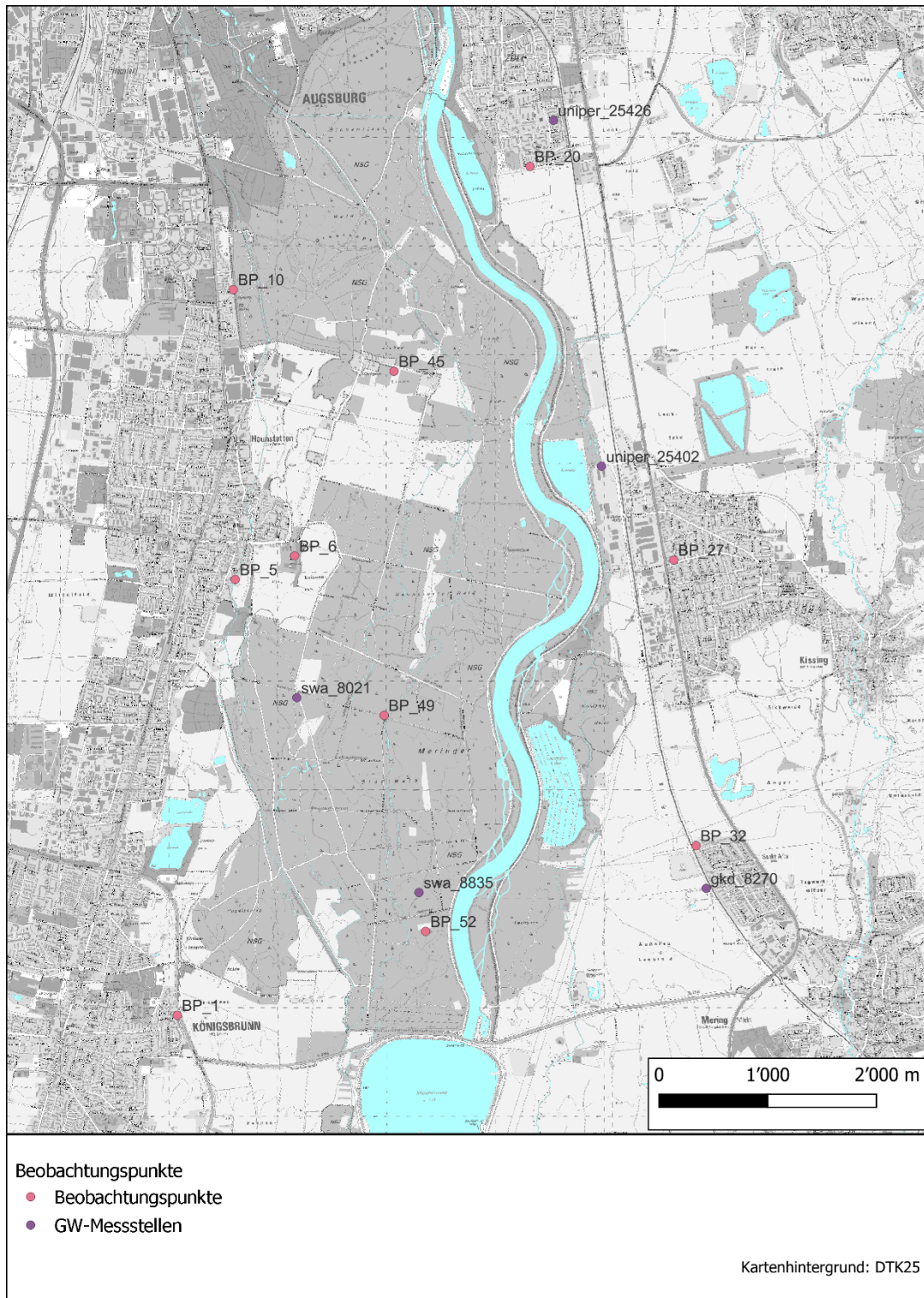


Abbildung 4.4: Beobachtungspunkte und Messstellen zur exemplarischen Auswertung der natürlichen Schwankungsbreite im Planungsbereich I

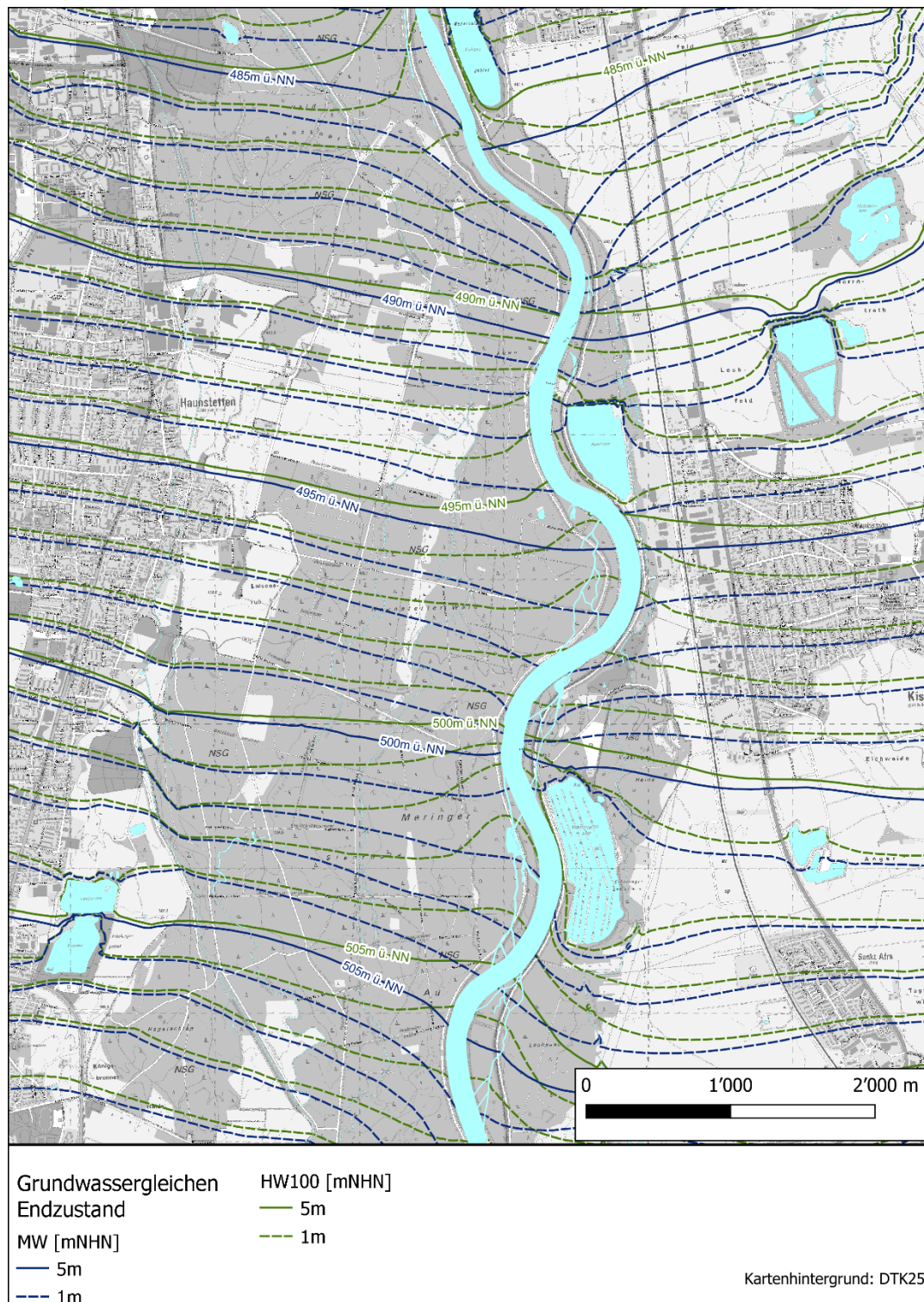


Abbildung 4.5: : Grundwassergleichen im Endzustand für mittlere und hohe Grundwasserstände

4.3 Absenkung/Aufhöhung des Grundwasserspiegels

4.3.1 Methodik

Die Veränderung der Grundwasserstände durch die Planungsvarianten wird mittels flächiger Darstellungen der Absenkung/Aufhöhung der Grundwasserstände bei den in Kapitel 0 beschriebenen Verhältnissen betrachtet. Die Absenkung/Aufhöhung der Grundwasserstände berechnet sich aus den Grundwasserständen der Planungsvariante abzüglich der Grundwasserstände des Bezugszustands (siehe Abbildung 4.6). Es werden nur Absenkungen $< 5\text{cm}$ und Aufhöhungen $> 5\text{cm}$ in den Karten dargestellt. Zur Bewertung von Betroffenheiten in Siedlungsgebieten werden mittlere Verhältnisse und Hochwasser-Verhältnisse herangezogen. Die Umrisse der Siedlungsgebiete werden dem Corine-Datensatz (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, 2012) entnommen. Die Absenkung/Aufhöhung der Grundwasserstände bei niedrigen Grundwasserständen sind eher für Belange der Wasserversorgung von Relevanz.

Um die Höhe potenzieller Aufhöhungen oder Absenkungen des Grundwasserstands im Kontext der natürlichen Schwankungsbreite im Grundwasserleiter besser verstehen zu können, werden in Abbildung 4.7 bis Abbildung 4.12 die gemessenen Grundwasserstände an einigen Messstellen im Planungsbereich dargestellt. Die Lage der Messstellen ist Abbildung 4.4 zu entnehmen. Die geringste natürliche Schwankungsbreite zeigt die Messstelle uniper_25426 in Hochzoll (0,7 m), gefolgt von der Messstelle swa_8021 mit einer Schwankungsbreite von 1,2 m. Die größte natürliche Schwankungsbreite von 1,9 m zeigt die Messstelle swa_7004. Aufhöhungen und Absenkungen von weniger als 5 cm werden damit an allen Messstellen von der natürlichen Schwankungsbreite deutlich übertroffen.

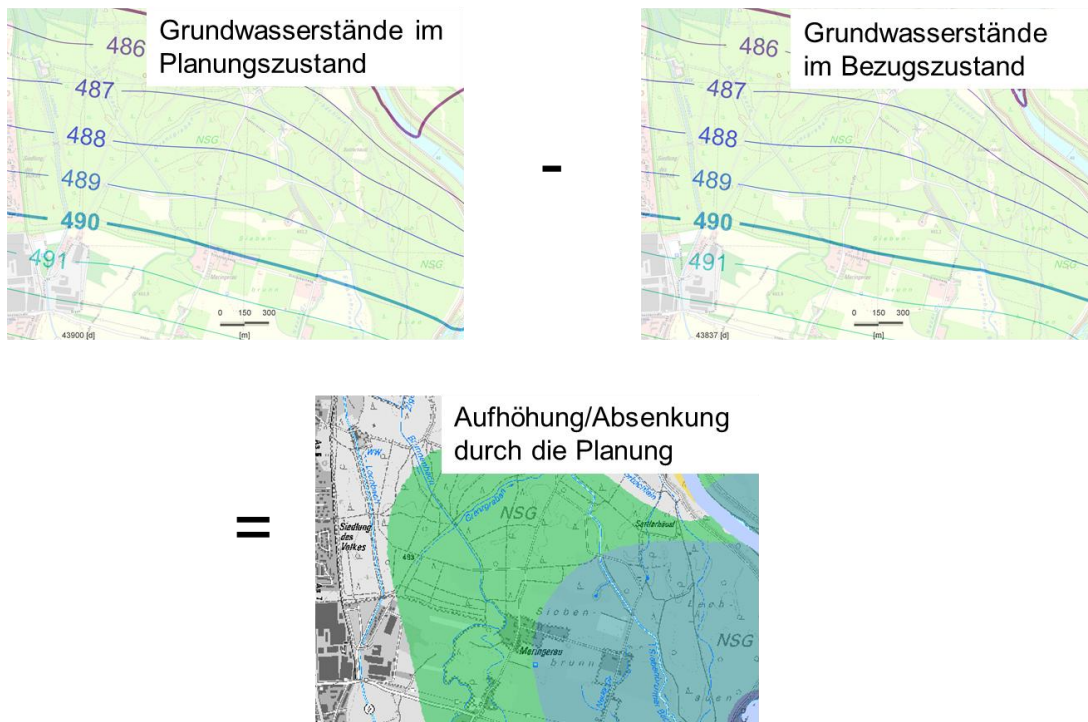


Abbildung 4.6 Berechnung der Absenkung/Aufhöhung durch die Planung

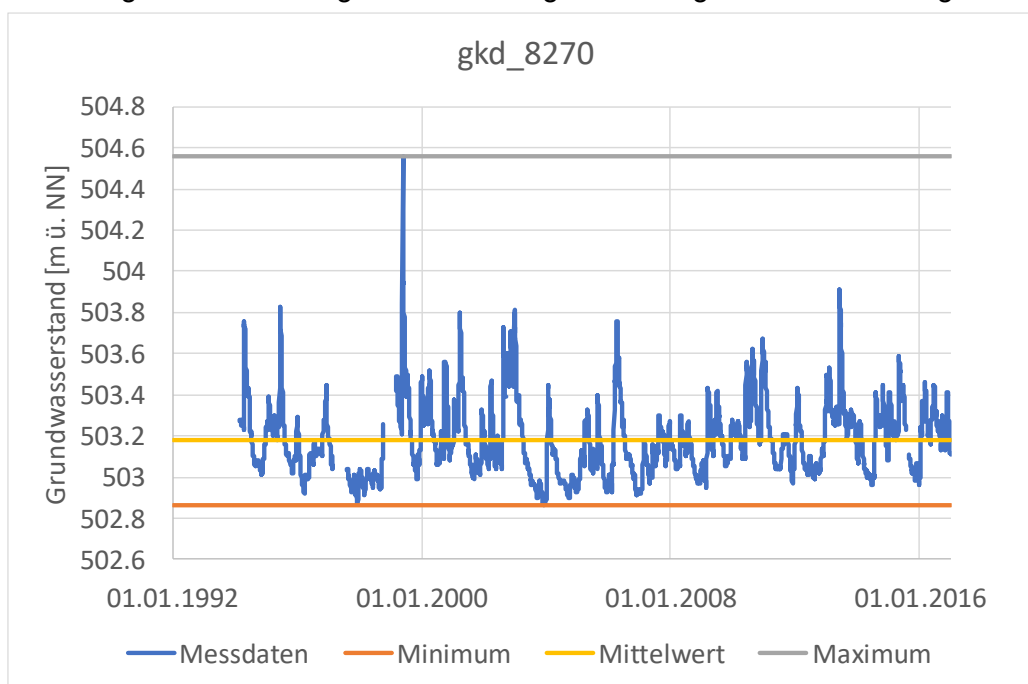


Abbildung 4.7: Grundwasserstandsganglinie an der Messstelle gkd_8270

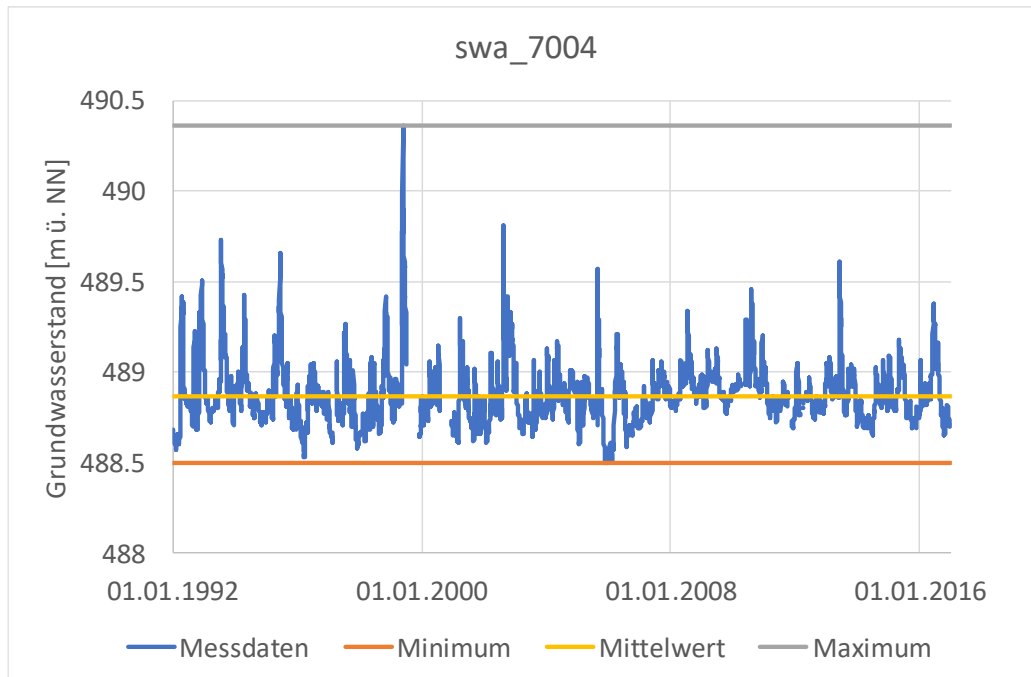


Abbildung 4.8: Grundwasserstandsganglinie an der Messstelle gkd_7004

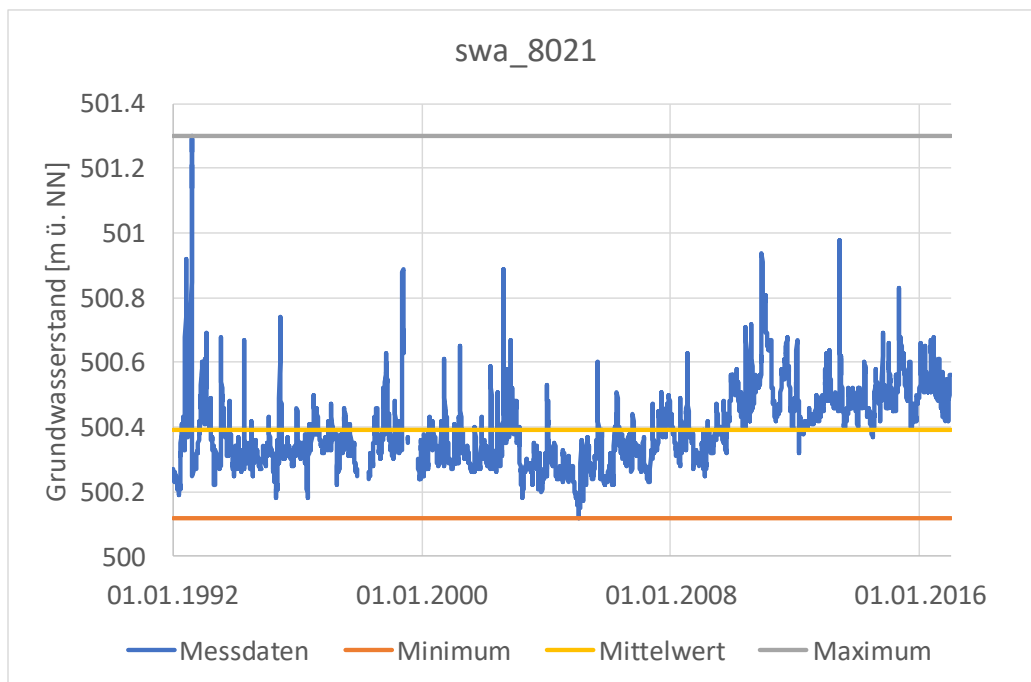


Abbildung 4.9: Grundwasserstandsganglinie an der Messstelle swa_8021

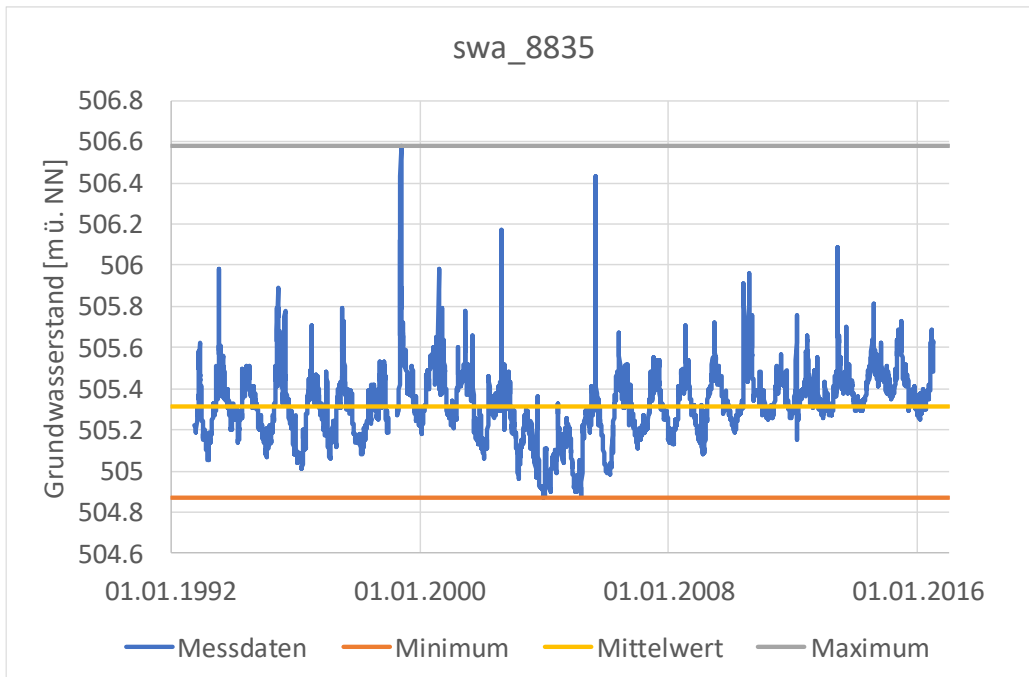


Abbildung 4.10: Grundwasserstandsganglinie an der Messstelle swa_8835

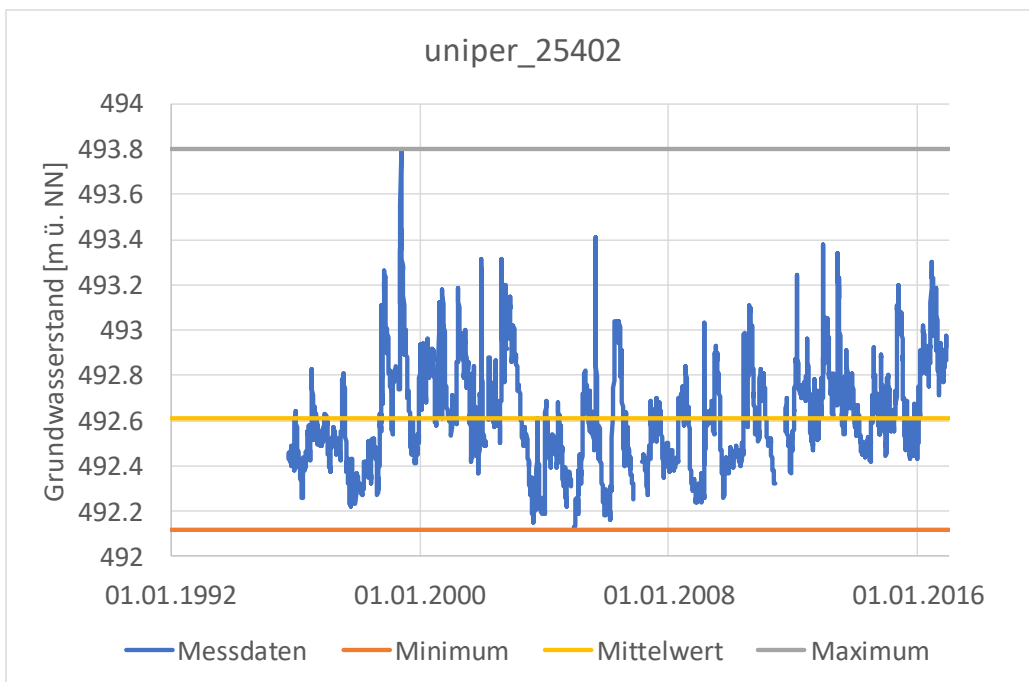


Abbildung 4.11: Grundwasserstandsganglinie an der Messstelle uniper_25402

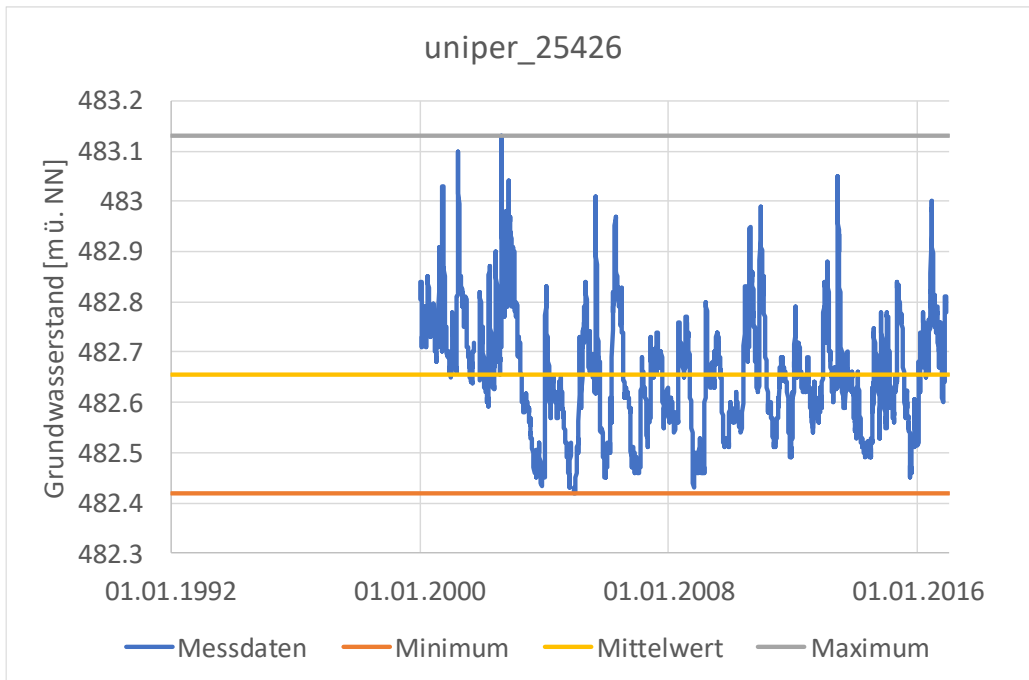


Abbildung 4.12: Grundwasserstandsganglinie an der Messstelle uniper_25426

4.3.2 Ergebnisse

Durch Licca Liber kommt es zu Veränderungen des Grundwasserstands. Die Veränderungen können zum Teil durch die Entnahme aus den drei Seen kompensiert werden, dennoch verbleiben Änderungen. Im Folgenden wird die Veränderung des Grundwasserstands an den NW- und MW-Stichtagen sowie in den Hochwasserphasen ausgewertet.

Die Absenkung/Aufhöhung der Grundwasserstände bei niedrigen Grundwasser-Verhältnissen ist für das MNW in Abbildung 4.13 dargestellt. Es wird deutlich, dass Bereiche mit einer Aufhöhung der Grundwasserstände stark dominieren. Kleine Bereiche mit Absenkungen sind nahe rückgebauter Abstürze zu finden. Die starke Dominanz von Bereichen mit Aufhöhungen ist als positiv zu bewerten, da so die Verfügbarkeit von Grundwasser in Trockenphasen verbessert wird. Im NW-Zeitraum zeigt sich, dass sich die Bereiche mit einer Aufhöhung des Grundwasserstands weiter ausdehnen. Ein stationärer Zustand hat sich zu diesem Zeitpunkt noch nicht eingestellt. Eine Fortsetzung der Niedrigwasserperiode steht jedoch im Widerspruch zu den bisher festgestellten Dauern solcher Phasen im Untersuchungsraum. Abbildung 4.14 stellt die Veränderung der Grundwasserstände am Ende der NW-Phase dar.

Die Differenz der Grundwasserstände zwischen Endzustand und dem Bezugszustand ist für mittlere Grundwasser-Verhältnisse in Abbildung 4.15 dargestellt. Westlich des Lechs dominieren Bereiche mit Aufhöhungen des Grundwasserstands, während östlich des Lechs der Bereich mit Absenkungen des Grundwasserstands etwas größer als der Bereich mit Aufhöhungen des Grundwasserstands ist. Aufhöhungen des Grundwasserstands enden an den aus dem Corine-Datensatz entnommenen Siedlungsgebieten.

Abbildung 4.16 zeigt die Absenkung/Aufhöhung der maximalen Grundwasserstände bei Verhältnissen im Bereich eines HW_{100} . Für die Auswertung wurden jeweils die maximalen Grundwasserstände im Betrachtungszeitraum (unabhängig vom Zeitpunkt) verglichen. Der Bereich mit Absenkungen des Grundwasserstands wird bei HW -Verhältnissen deutlich größer, Bereiche mit Aufhöhungen des Grundwasserstands werden deutlich kleiner. Bereiche mit Aufhöhungen des Grundwasserstands beschränken sich auf Gebiete außerhalb von Siedlungsgebieten aus dem Corine-Datensatz.

Abbildung 4.17 zeigt die analoge Darstellung für einen Zeitraum mit einem ca. jährlich auftretenden Hochwasser ($HW_{häufig}$). Auch in diesem Zeitraum treten keine Aufhöhungen des Grundwasserstands in Corine-Siedlungsgebieten auf.

Innerhalb des Stadtwalds existieren am Hugenottenweg und der Siebenbrunner Straße weitere Gebäude. Diese liegen innerhalb eines Bereichs mit prognostizierten Aufhöhungen des Grundwasserstands bei mittleren und hohen Grundwasserverhältnissen. Eine Bewertung zu diesen Gebäuden wird im Zusammenhang mit den Auswertungen des Grundwasserflurabstands (Kapitel 4.5) durchgeführt.

Detaildarstellungen zur Absenkung und Aufhöhung des Grundwasserspiegels bei mittleren und hohen Grundwasserverhältnissen im Endzustand finden sich in den Anlagen A5.10 bis A5.12.2.

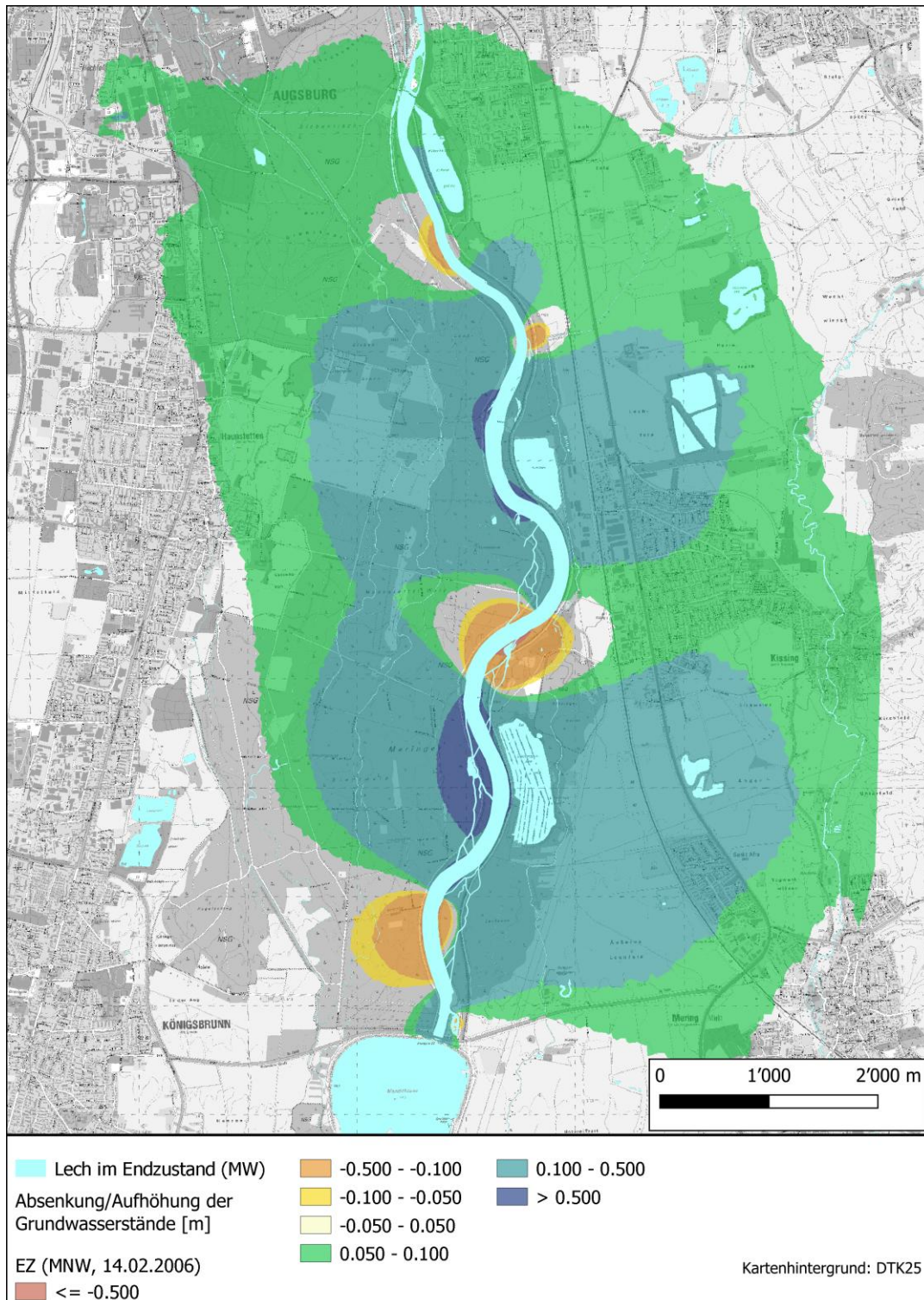


Abbildung 4.13: Absenkung/Aufhöhung der Grundwasserstände im Endzustand am MNW-Stichtag (14.02.2006)

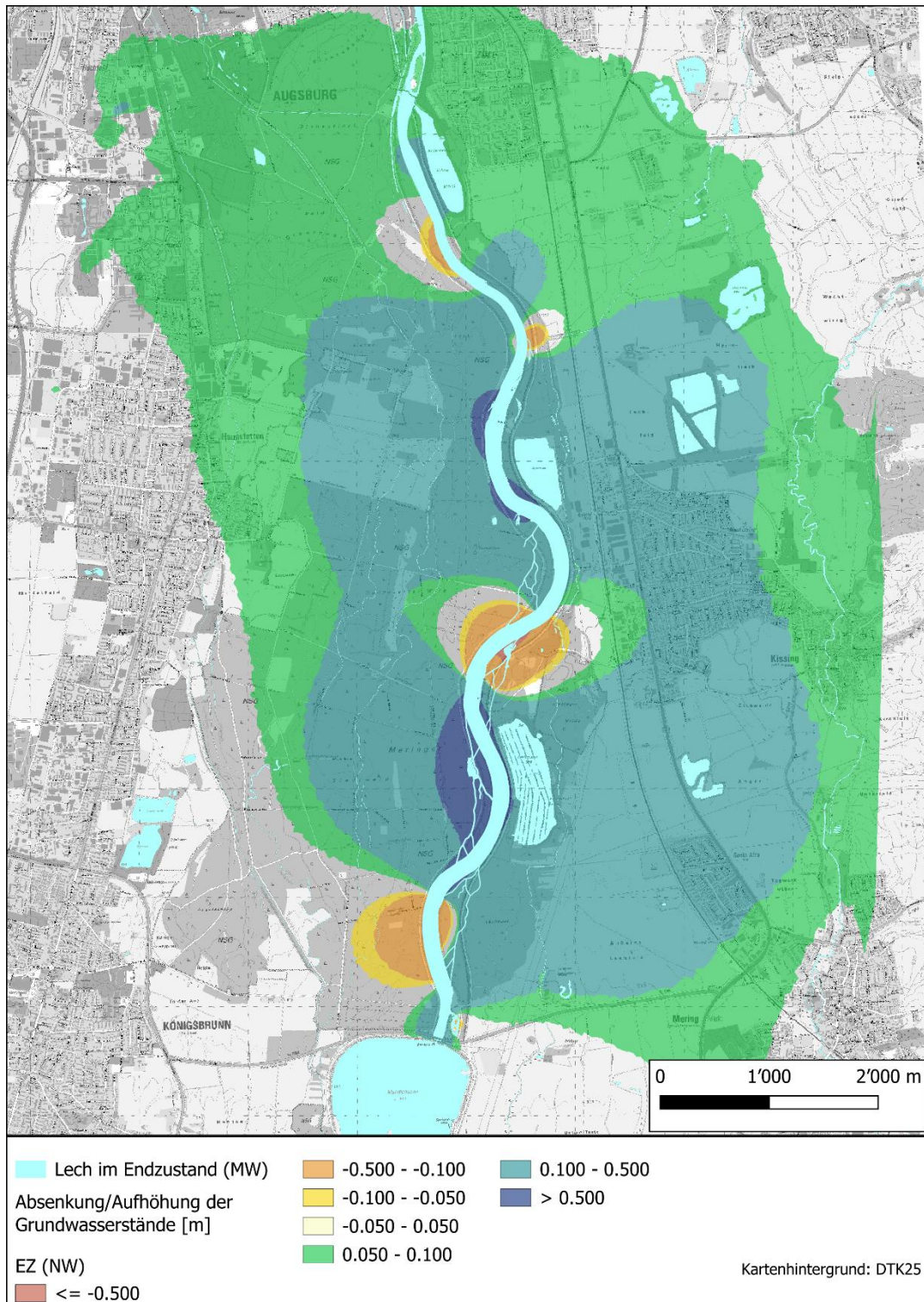


Abbildung 4.14: Absenkung/Aufhöhung der Grundwasserstände im Endzustand bei NW-Verhältnissen

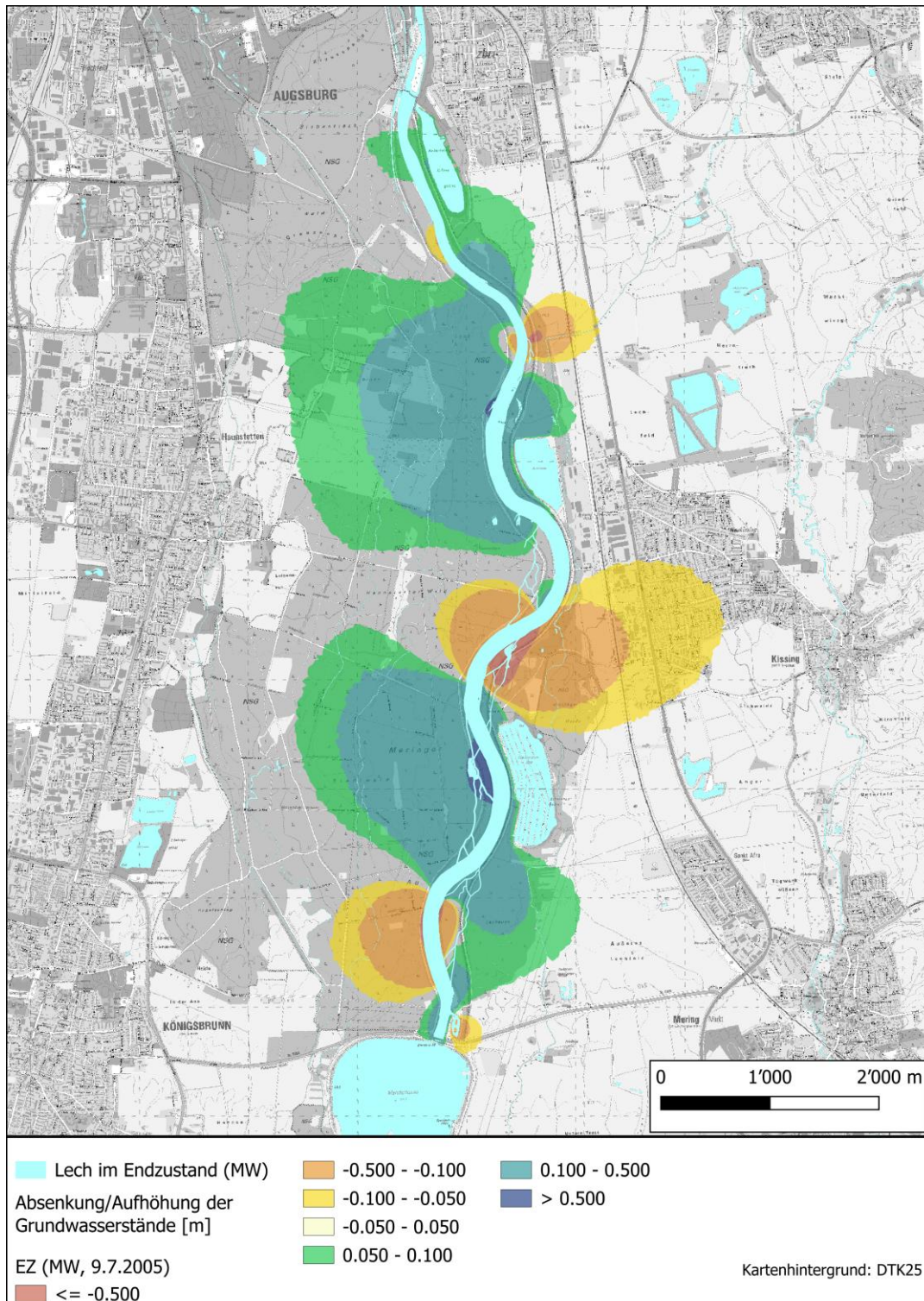


Abbildung 4.15: Absenkung/Aufhöhung der Grundwasserstände im Endzustand bei mittleren Verhältnissen (9.7.2005)

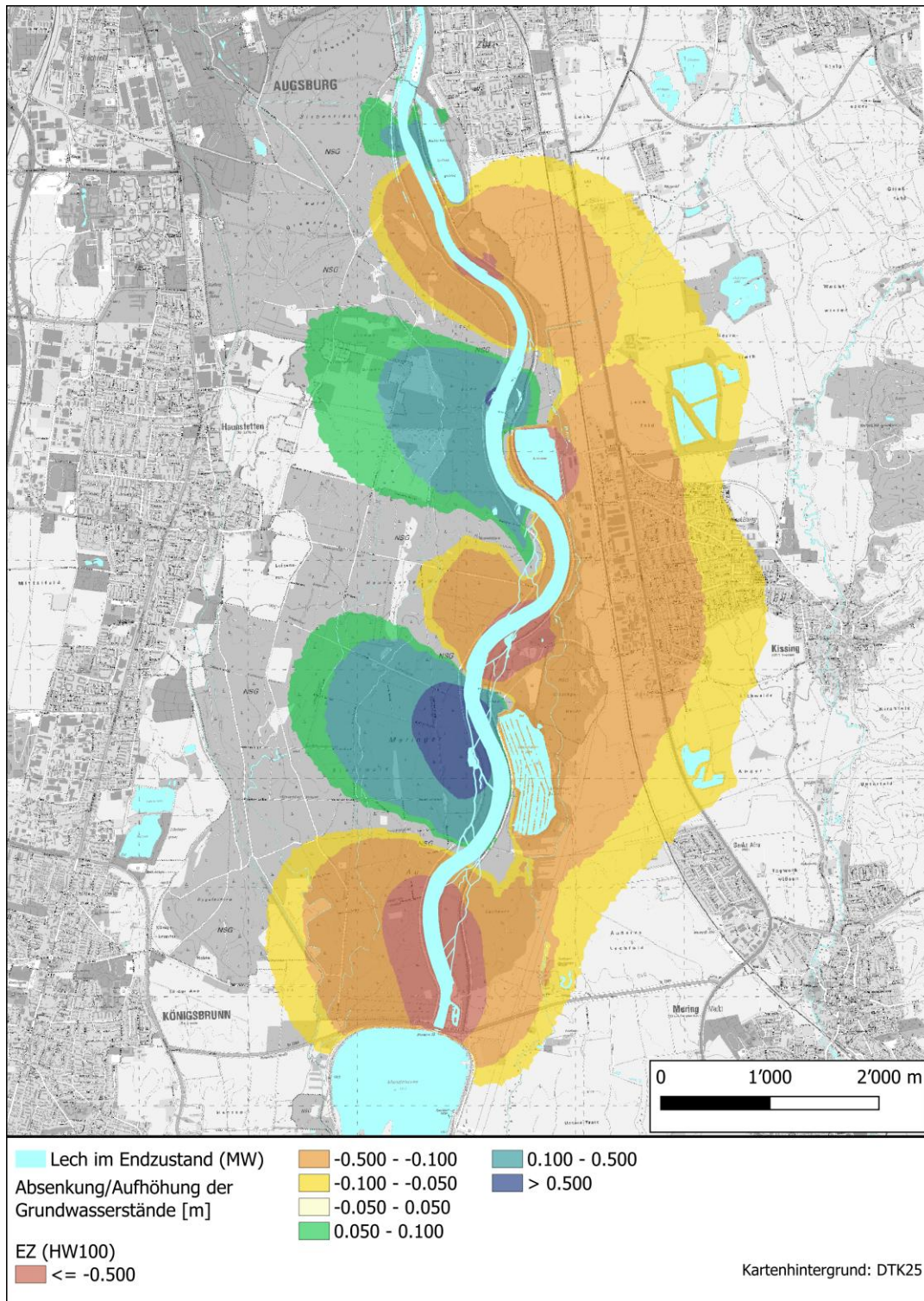


Abbildung 4.16: Absenkung/Aufhöhung der maximalen Grundwasserstände bei hohen Grundwasserständen (HW100) im Endzustand

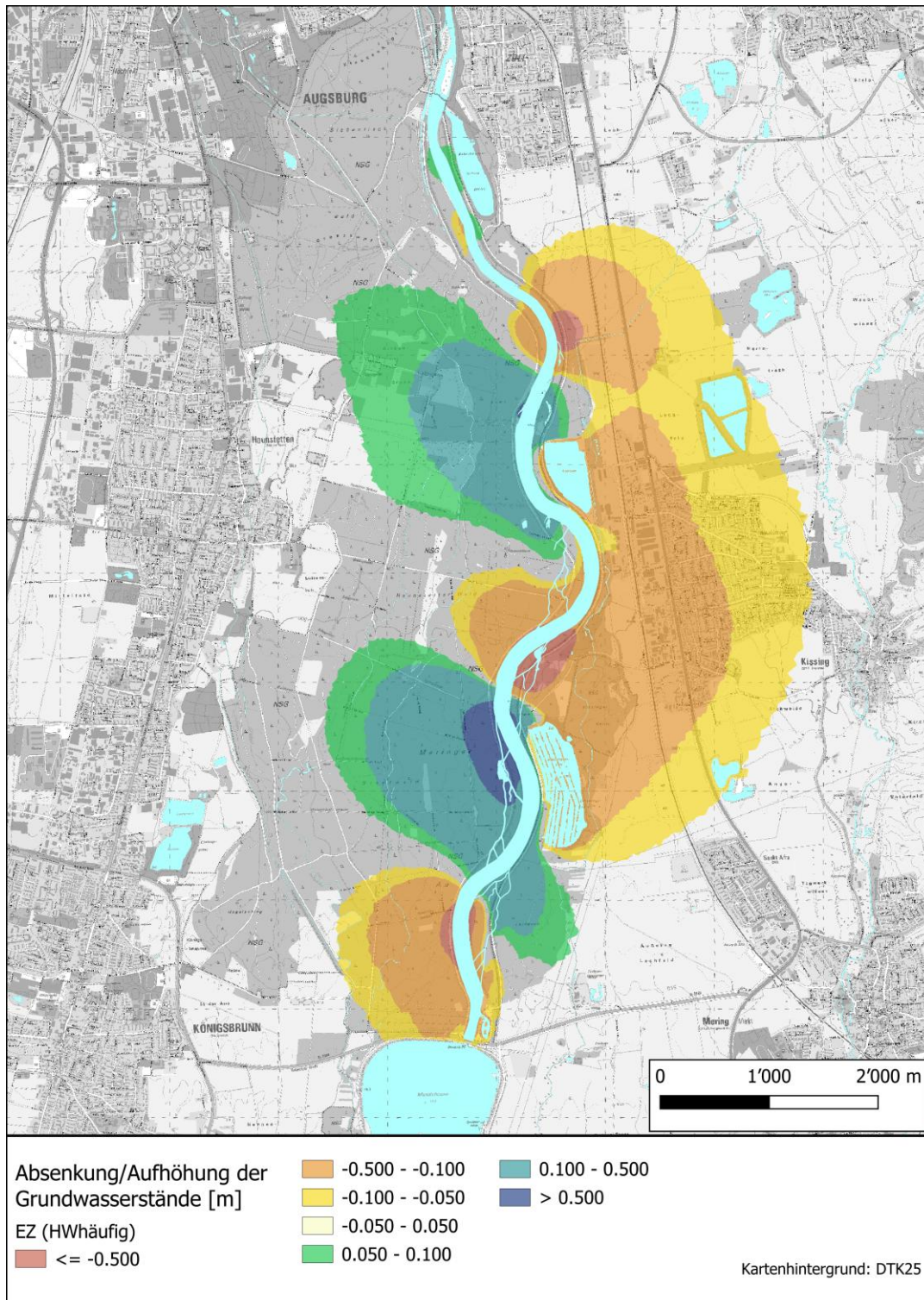


Abbildung 4.17: Absenkung/Aufhöhung der maximalen Grundwasserstände bei $H_{W_{häufig}}$ im Endzustand

4.4 Einzugsgebiete der Trinkwasserbrunnen

4.4.1 Methodik

Die Einzugsgebiete der Trinkwasserbrunnen werden mittels Strom- und Pfadlinienberechnung ermittelt. Hierzu werden in einem 50 m Radius um die Brunnen Partikel in die invertierte Grundwasserströmung eingegeben. Die Partikel bewegen sich mit dieser Methode im Grundwasser „stromaufwärts“. Durch die Fließwege der Partikel kann das Einzugsgebiet des betrachteten Brunnens abgeschätzt werden. Der 50 m Radius um den Brunnen vermeidet zum einen, dass das Einzugsgebiet stark von der angesetzten Entnahmerate abhängig ist. Zum anderen wird verhindert, dass lokale Ungenauigkeiten im Geschwindigkeitsfeld zu einem Abbruch von Stromlinien führen.

Bei mittleren und niedrigen Grundwasserständen erfolgt die Berechnung auf Grundlage des am Stichtag vorliegenden, invertierten Geschwindigkeitsfelds (stationäre Stromlinien). Die Berechnung erfolgt über eine Fließzeit von maximal 3 Jahren.

Bei Hochwasserereignissen erfolgt die Zugabe der Partikel 50 Tage nach dem Hochwasserereignis. Für die Berechnung im Hochwasserfall werden die instationären Geschwindigkeitsfelder des Grundwassermodells verwendet (instationäre Pfadlinien). Die Berechnung basiert auf dem invertierten Strömungsfeld und einer Berechnungsdauer von maximal 50 Tagen (Zeitpunkt des Hochwasserscheitels). Die Dauer von 50 Tagen dient der Abschätzung, ob die 50 Tagelinie des Brunnens im Hochwasserfall eingehalten wird.

Strom- und Pfadlinien enden, wenn die jeweilige Fließzeit (3 Jahre / 50 Tage) überschritten wird, oder bei Erreichen des Lechs. Linien des Trinkwasserbrunnens Kissing enden im Weitmannsee. Für die Betrachtung bei 3 Jahren Fließzeit, wird die Berechnung ausgehend vom Ufer des Weitmannsees fortgesetzt, da die Passage des Sees nicht mit dem Grundwassermodell ermittelt werden kann. Die Partikel werden gleichmäßig entlang des Ufers verteilt.

Die Kartendarstellungen beschränken sich im Stadtwald auf den lechnahen Bereich.

4.4.2 Stromlinien bei mittleren und niedrigen Grundwasserständen

Anhang D.1 und D.2 zeigen die Stromlinien bei mittleren und niedrigen Grundwasserverhältnissen für den Bezugs- und Endzustand. Aus den Stromlinien lässt sich das mehrjährige Einzugsgebiet der Brunnen ableiten.

Die Einzugsgebiete verändern sich (ausgenommen des Brunnens swa_212) für Brunnen der SWA und den Trinkwasserbrunnen Kissing nicht. Die Anströmung des Brunnens swa_212 verbessert sich im Endzustand aus hygienischer Sicht (Beizug von Lechwasser mit Fließzeiten kleiner 50 Tage). Dieser Brunnen erhält im Bezugszustand Wasser aus dem Bereich um den Absturz bei Fkm 53,4, die mittlere Fließzeit zwischen Lech und Brunnen beträgt bei MNW etwa 25 Tage. Im Endzustand verläuft das Einzugsgebiet lechparallel bis südlich der Staustufe 23.

4.4.3 50-Tage-Pfadlinien der Hochwasserphasen

Anlage D.3 und D.4 stellen die Pfadlinien für das HW_{100} und das $HW_{häufig}$ im Bezugs- und Endzustand dar. Die Pfadlinien zeigen das Grundwassereinzugsgebiet der Trinkwasserbrunnen innerhalb eines Zeitraums von 50 Tagen nach dem Hochwasserscheitel.

Visuell ergibt sich keine Verlagerung der Brunneneinzugsgebiete im Vergleich zum Bezugszustand (ausgenommen des Brunnens swa_212). Die Anströmung des Brunnens swa_212 verbessert sich aus hygienischer Sicht. Im Bezugszustand weist ein Großteil der lechbürtigen Pfadlinien eine Fließzeit zum Brunnen von etwa 35 Tagen auf. Im Endzustand hingegen erhöht sich die Fließzeit des lechbürtigen Grundwassers zum Brunnen auf etwa 50 Tage. Ein großer Teil der Pfadlinien verläuft wie bei mittleren Verhältnissen lechparallel.

Die Auswertungen zeigen, dass der Weitmannsee im Bezugs- und Endzustand innerhalb der 50-Tagelinie des Trinkwasserbrunnen Kissings liegt. Ein im Lech im Hochwasserfall mitgeführter Stoff (z.B. hervorgerufen durch einen gleichzeitigen Unfall/Störfall im Einzugsgebiet des Lechs) wird in den Weitmannsee nach kurzer Bodenpassage exfiltrieren und sich im See ausbreiten. Jedoch belegt eine detaillierte Auswertung im Anhang D, dass die Trinkwasserqualität im Einzugsgebiet des Trinkwasserbrunnens Kissing von Licca Liber langfristig profitiert.

4.4.4 Betrachtung des Zustroms zu den Brunnen im oberen Tertiär

Das obere Tertiär, und damit auch die Funktion der Brunnen in diesem Aquifer, werden im Grundwassermodell Licca Liber nur vereinfachend nachgebildet. Die Berechnung der Einzugsgebiete kann daher nicht wie bei quartären Trinkwasserbrunnen über Strom- und Pfadlinien erfolgen. Dass zwischen Quartär und oberem Tertiär ein Austausch besteht, konnte im Rahmen der Weiterführenden Untersuchungen (ARGE SKI KUP UIBK, 2018-2) nachgewiesen werden.

An den folgenden lechnahen Brunnen im oberen Tertiär wird der vertikale Austausch mit dem Quartär quantifiziert und mit der Austauschrate des Bezugszustands verglichen:

- swa_354
- swa_353
- swa_825
- swa_222
- swa_826
- swa_221
- swa_712
- swa_120
- swa_121
- swa_820
- swa_830

Die Auswertung der Austauschrate erfolgt in einem 100 m Radius um den Brunnen. An allen Brunnen verändert sich die Austauschrate um weniger als 5 %. Der Austausch wird im Endzustand damit nicht in relevantem Ausmaß verändert. Es ist nicht von einer Verlagerung der Brunneneinzugsgebiete auszugehen.

4.5 Grundwasserflurabstände

Die Grundwasserflurabstände sind in Anlage A5.2 bis Grundwasserflurabstand bei Hochwasserverhältnissen (HW100) im Bezugs- und Endzustand Anlage A5.5 für den Bezugszustand und für den Endzustand dargestellt. Bei niedrigen GW-Verhältnissen nimmt die Anzahl der Bereiche mit geringen Grundwasserflurabständen, insbesondere in der Nähe des Lechs, deutlich zu. Besonders deutlich sind die Unterschiede zwischen dem Endzustand und dem Bezugszustand in Bereichen mit Vorlandabsenkungen. Diese Unterschiede zeigen sich auch bei mittleren Verhältnissen. Sowohl bei einem häufigen Hochwasser, als auch einem hundertjährigen Hochwasser ergibt sich sowohl für den Bezugszustand als auch für den Endzustand ein ähnliches Bild.

Aus den Karten des Grundwasserflurabstands sind die Bereiche mit einem Grundwasserflurabstand $> 2,5$ m zu entnehmen. Ab einem Grundwasserflurabstand $> 2,5$ m kann davon ausgegangen, dass Wohnhaus-typische Unterkellerungen nicht vom Grundwasser erreicht werden. Innerhalb des Stadtwalds existieren am Hugenottenweg und der Siebenbrunner Straße Gebäude. Ob die Gebäude unterkellert sind, ist nicht bekannt. Die Gebäude liegen innerhalb eines Bereichs mit prognostizierten

Aufhöhungen des Grundwasserstands. Die Aufhöhung beträgt beim hundertjährigen Hochwasser bis zu 6 cm (Siebenbrunner Straße) und 12 cm (Hugenottenweg). Bei mittleren Verhältnissen beträgt die Aufhöhung 8 bzw. 15 cm.

Wie Anlage A5.2 für mittlere Grundwasserverhältnisse zeigt, liegt der Grundwasserflurabstand im Bereich Hugenottenweg zwischen 2,5 und 3 m im Bezugs- und Endzustand. An der Siebenbrunner Straße liegen die Grundwasserflurabstände unter 2,5 m. Sofern Keller existieren, liegen eventuell vorhandene Keller bereits im Grundwasser. Bei Hochwasserverhältnissen ergibt sich für Bezug- und Endzustand ein ähnliches Bild. Generell sehen die Darstellungen für Bezugs- und Endzustand visuell sehr ähnlich aus. Die Auswertungen zeigen, dass sich nach Umsetzung von Licca liber keine völlig neuen Betroffenheiten für bestehende Keller ergeben.

Grundsätzlich müssen die Unsicherheiten des Grundwassermodells bei der Bewertung der Grundwasserflurabstände berücksichtigt werden. Speziell existieren im Umfeld Grundwasserquellen, die im Modell nicht berücksichtigt sind und die einen Anstieg kompensieren könnten. Wir empfehlen die Einrichtung von Grundwassermessstellen zur Beweissicherung, damit mögliche Veränderungen der Grundwasserverhältnisse durch Licca liber festgestellt werden können.

4.6 Fazit Endzustand

Die Auswertungen zeigen, dass der Endzustand von Licca Liber in verschiedenen Bereichen zu einer Verbesserung der Grundwassersituation führt.

Die Hochwasserentlastungsklappe am Kuhsee muss für Licca Liber nicht angepasst werden. Am Auen- und Weitmannsee sind Wehre von 3 bzw. 5 m Breite vorzusehen, um die höhere Infiltration am Lech zu kompensieren. Alle drei Seen profitieren in Niedrigwasserphasen von höheren Wasserspiegeln. Bei mittleren Verhältnissen bleiben die Wasserspiegel in etwa gleich, während die Wasserspiegel im Hochwasserfall im Vergleich zum Bezugszustand abgesenkt werden. An Auen- und Weitmannsee werden Gewässer eingerichtet, die über die Wehre abfließendes Wasser in den Lech führen.

Die Veränderungen des Grundwasserspiegels sind weitgehend positiv. Mit Licca Liber im Endzustand wird eine weitere Eintiefung des Lechs unterbunden und der Grundwasserspiegel bei NW-Verhältnissen auf höherem Niveau (im Vergleich zum Bezugszustand) stabilisiert. Davon profitieren die Trinkwasserentnahmen der SWA und der Gemeinde Kissing, da in diesen Phasen das nutzbare Wasserdargebot verbessert wird. Ferner zeigen die Auswertungen, dass durch Licca Liber Hochwasserspitzen im

Grundwasser reduziert werden. Im Bereich von Gebäuden im Stadtwald empfehlen wir ein Monitoring der Grundwasserstände.

Die Einzugsgebiete der Trinkwasserbrunnen bleiben weitgehend gleich. An einem Trinkwasserbrunnen verschiebt sich das Einzugsgebiet in einen lechparallelen Korridor, was zukünftig zu längeren Fließzeiten und einer leichten Verbesserung der Grundwasserqualität führt.

5 Ergebnisse des Initialzustands

5.1 Hinweis

Details zur Methodik sind den jeweiligen Unterkapiteln des Kapitels 4 (Ergebnisse des Endzustands) zu entnehmen.

5.2 Ergebnisse für den Kuh-, Auen- und Weitmannsees

5.2.1 Umsetzung der Wehre

Am Kuhsee wird die Randbedingung des Bezugszustands (Festpotentialrandbedingung 484,49 mNHN) beibehalten (vgl. Kapitel 2.5.3).

Am Auensee ist keine Anpassung der Überfallhöhe am Wehr erforderlich. Es wird die Überfallhöhe des Endzustands (492,94 mNHN) übernommen.

Am Weitmannsee ist ab Hochwasserverhältnissen am Lech ($Q_{\text{Lech}} > HQ_{10}$) keine Ausleitung aus dem Weitmannsee möglich. Die Höhe des Überfallwehrs am Weitmannsees muss daher im Initialzustand dauerhaft 10 cm tiefer eingestellt werden, damit durch diese Vorabsenkung die fehlende Ausleitung im Hochwasserfall kompensiert werden kann. Nach Fallen der Lech-WSP unter ein HQ_{10} wird wieder der Abfluss über das Wehr abgeführt. Die Kapazität der Vorflut unterstrom des Wehrs am Weitmannsee wird auf maximal 2,5 m³/s beschränkt.

Tabelle 5.1: Überfallhöhen in Bezugs-, End- und Initialzustand

See	Bezugszustand	Endzustand	Initialzustand
	Höhe der Wehrkrone [mNHN]		
Kuhsee	484,49	484,49	484,49
Auensee	-	492,94	492,94
Weitmannsee	501,32	501,10	501,00

5.2.2 See-Wasserspiegel und Bilanz

Tabelle 5.2 führt die mit dem Grundwassermodell ermittelten See-Wasserspiegel von Bezugs-, End- und Initialzustand auf. Bei Hochwasserverhältnissen $> HQ_{10}$ wird aufgrund der temporär fehlenden Ausleitung aus dem Weitmannsee der See-Wasserspiegel im Initialzustand auf bis zu 501,92 mNHN ansteigen.

Tabelle 5.3 zeigt die mit dem Modell ermittelten Abflüsse aus den Seen. Ganglinien der Abflüsse werden in Abbildung 5.1 dargestellt. Eine Detailansicht in Abbildung 5.2 zeigt das Verhalten des Abflusses aus dem Weitmannsee in der HW100-Phase.

Tabelle 5.4 und Tabelle 5.5 stellen die Gesamtbilanz der Seen und des Lechs im Planungsbereich dar. Der Initialzustand zeigt in abgeschwächter Form ähnliche Effekte wie der Endzustand, d.h. ein großer Teil der geringeren Exfiltration in den Lech wird durch die Seen kompensiert. Der verbleibende Teil (0,12 bzw. 0,1 m³/s) führt zu einer Erhöhung des Grundwasserspiegels.

Tabelle 5.6 und Tabelle 5.7 stellt die Infiltration der lechparallelen Bäche (Hagenbach, Bäche im Stadtwald) in der Übersicht dar. Die Infiltration aus den Bächen verändert sich nicht in relevanter Höhe.

Tabelle 5.2: Mittlere, maximale und minimale See-Wasserspiegel im Modellierungszeitraum

Variante	Kuhsee			Auensee			Weitmannsee		
	MW 9.7.2005	Max. WSP	NW 31.3.2007	MW 9.7.2005	Max. WSP	NW 31.3.2007	MW 9.7.2005	Max. WSP	NW 31.3.2007
	[mNHN]								
BZ	484.43	484.5	484.18	493.1	494.06	492.67	501.33	501.77	500.92
EZ	484.49	484.49	484.29	493.1	493.37	493.03	501.33	501.55	501.27
IZ	484.47	484.49	484.22	493.03	493.3	492.62	501.18	501.92	501.11

Tabelle 5.3: Abflüsse aus Kuh-, Auen- und Weitmannsee im Initialzustand

	MW-Abfluss (9.7.2005)	Max. Abfluss	NW-Abfluss
	[m³/s]		
Kuhsee	0.0	-0.917	0.0
Auensee	-0.132	-1.086	-0.1
Weitmannsee	-0.697	-2.5	-0.329

Tabelle 5.4: Gesamtbilanz des Lechs und der Seen im Initialzustand bei NW-Verhältnissen

Variante	Lech	Seen	Summe	Differenz zum BZ
	[m³/s]			
BZ	-2.710	0.000	-2.710	0.000
EZ	-1.680	-0.770	-2.450	-0.250
IZ	-2.160	-0.430	-2.590	-0.120

Tabelle 5.5: Gesamtbilanz des Lechs und der Seen im Initialzustand bei MW-Verhältnissen

Variante	Lech	Seen	Summe	Differenz zum BZ
	[m³/s]			
BZ	-2.600	-0.000	-2.600	0.000
EZ	-1.360	-1.270	-2.620	0.020
IZ	-1.810	-0.830	-2.640	0.040

Tabelle 5.6: Infiltration der lechparallelen Bäche bei NW-Verhältnissen

Variante	Hagenbach/ Verlorener Bach	Bäche im Stadtwald
BZ	0,487	1,000
EZ	0,486	0,992
IZ	0,486	0,967

Tabelle 5.7: Infiltration der lechparallelen Bäche bei MW-Verhältnissen

Variante	Hagenbach/ Verlorener Bach	Bäche im Stadtwald
BZ	0,430	0,859
EZ	0,432	0,885
IZ	0,443	0,828

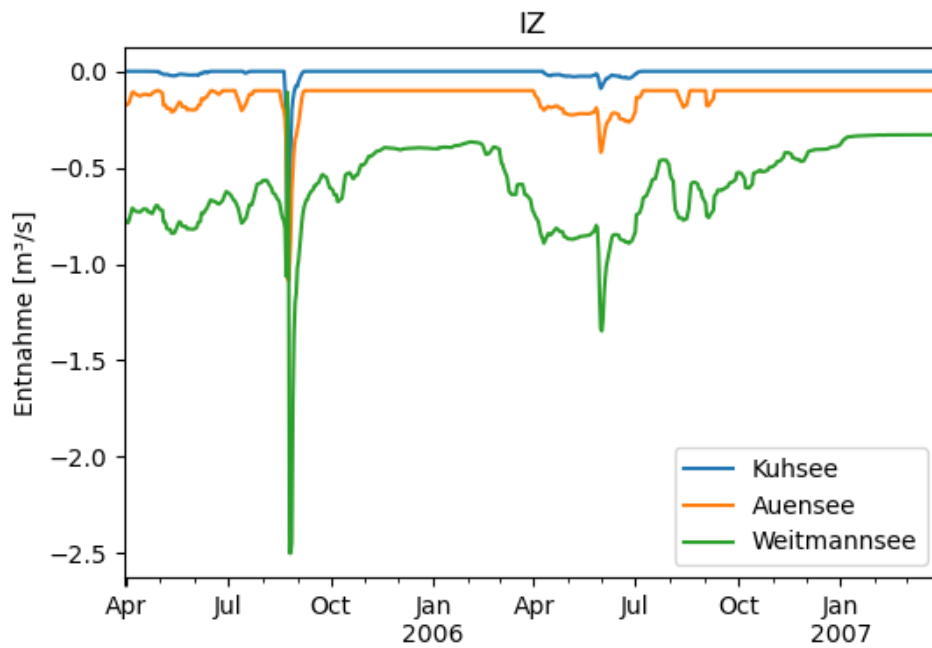


Abbildung 5.1: Ganglinien des Abflusses aus Kuh-, Auen- und Weitmannsee im Initialzustand

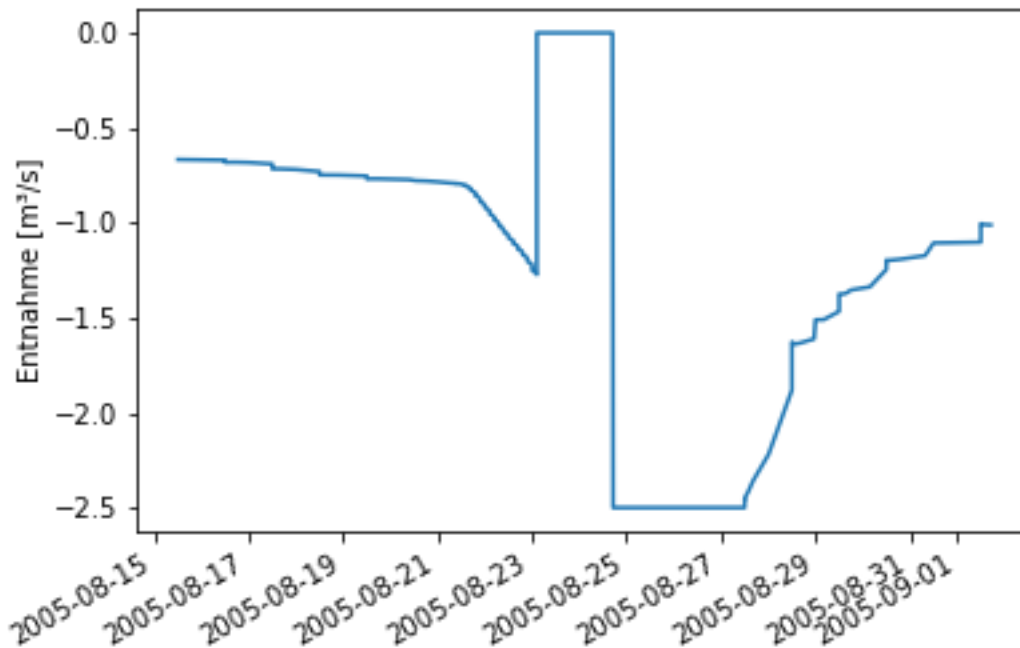


Abbildung 5.2: Detailansicht Entnahme am Weitmannsee während eines hundertjährlichen Hochwasserereignisses (HW100). Bei Lech-Abflüssen über einem HQ_{10} kann kein Wasser aus dem Weitmannsee abgeleitet werden, die Entnahme aus dem Weitmannsee fällt in diesen Zeiträumen auf null.

5.3 Grundwasserstände

In diesem Kapitel werden die berechneten Grundwasserstände für den Initialzustand sowohl als zeitliche Verläufe als auch als Grundwassergleichen dargestellt. Aus diesen Visualisierungen lassen sich bereits Veränderungen im Vergleich zum Bezugzustand ableiten. Für eine detaillierte Analyse wird auf die nachfolgenden Kapitel verwiesen.

Beispielhaft werden einige Ganglinien des Grundwasserstands von Bezugs- und Endzustand in Abbildung 4.2 und Abbildung 4.3 im Gesamtzeitraum dargestellt (Lageplan siehe Kapitel 4.2 / Abbildung 4.4). Die Ganglinien verdeutlichen, dass insbesondere das tiefe Absinken der Grundwasserstände in den Phasen mit niedrigen Grundwasserständen wie im Endzustand abgebildet wird. Außerdem werden in den bebauten Gebieten die Hochwasserspitzen reduziert.

Abbildung 5.3 stellt die Grundwassergleichen des Initialzustands räumlich dar. Die Grundwassergleichen zeigen eine große Ähnlichkeit zu den Ergebnissen des

Endzustands. Bei Hochwasserverhältnissen sind im Vergleich zum Endzustand Unterschiede insbesondere am Weitmannsee erkennbar.

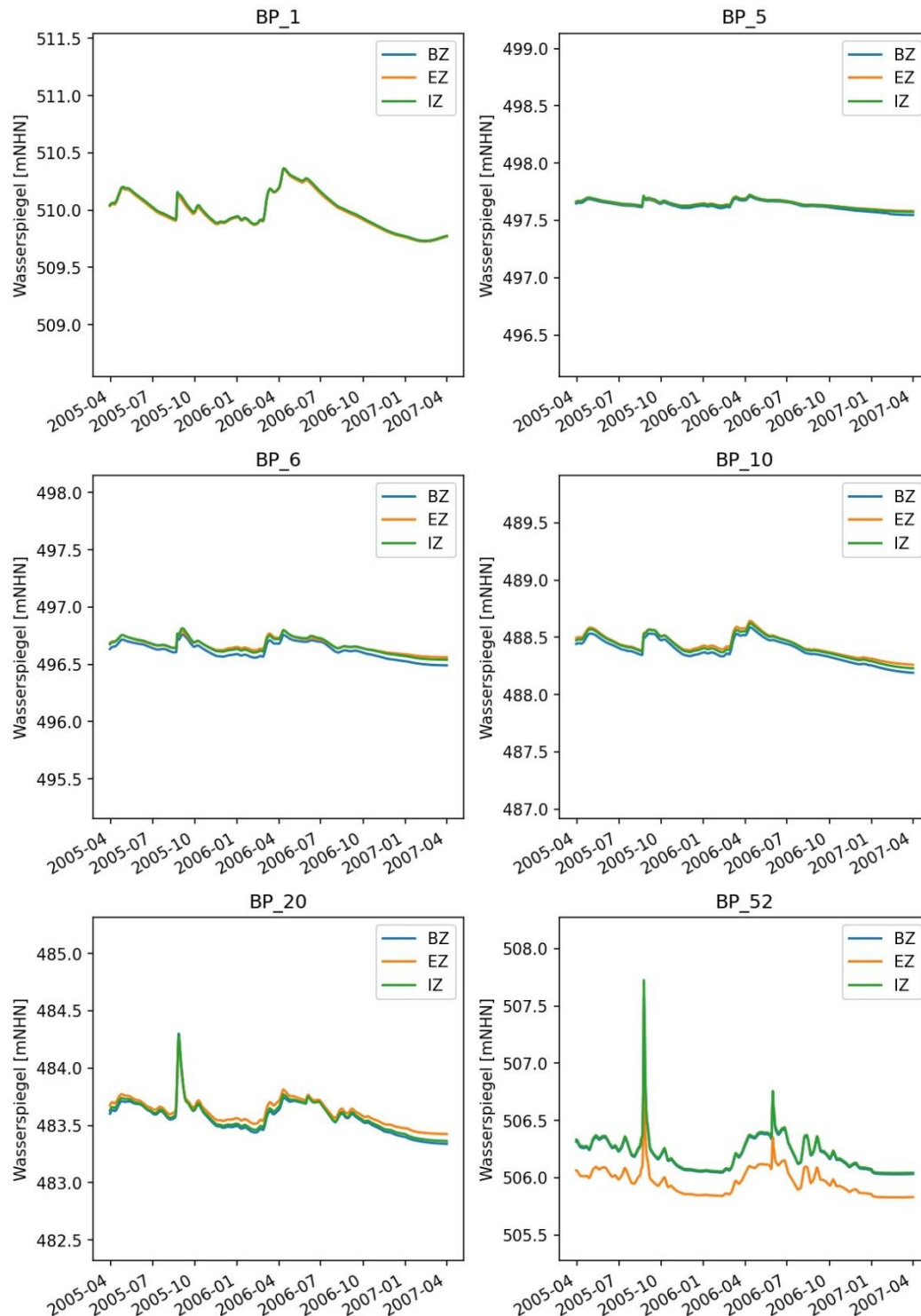


Abbildung 5.3: Ganglinien des Grundwasserstands an den Beobachtungspunkten im Bezugs-, End- und Initialzustand (Teil 1)

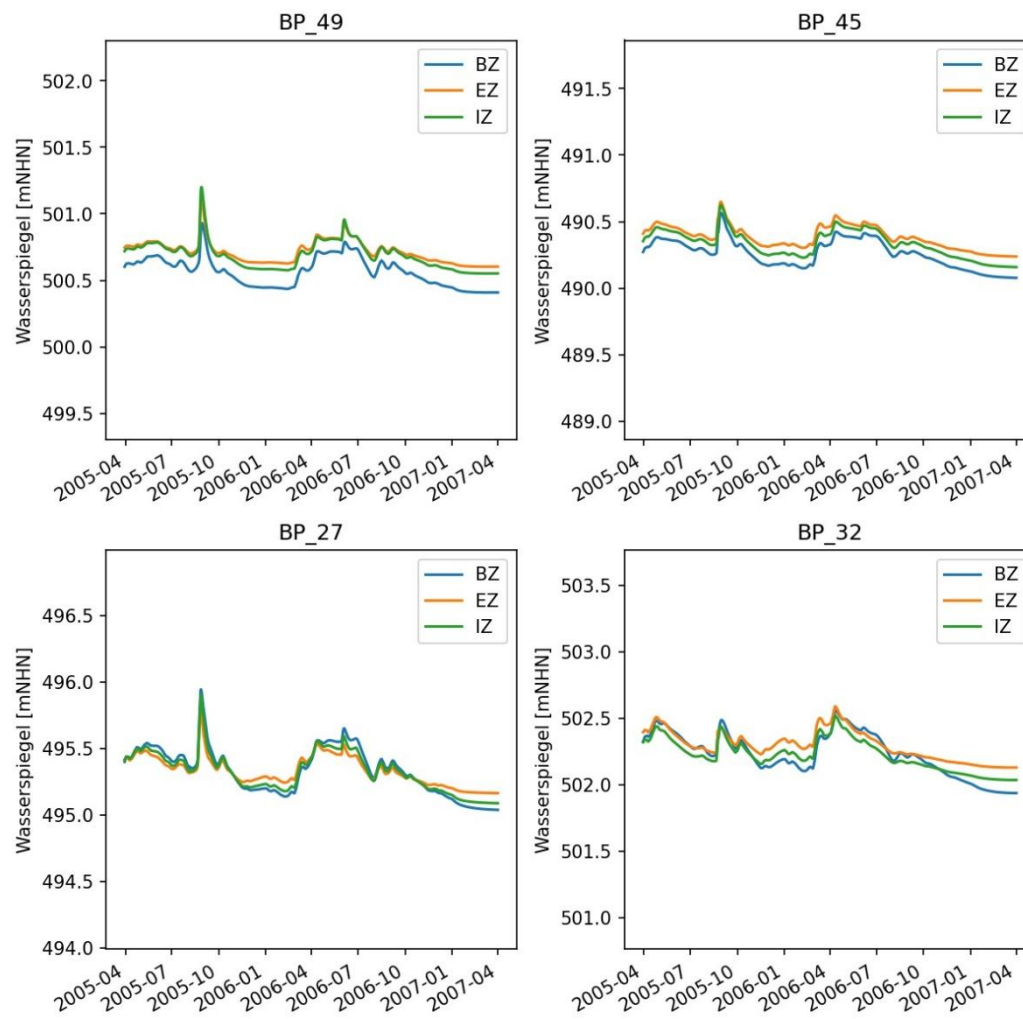


Abbildung 5.4: Ganglinien des Grundwasserstands an den Beobachtungspunkten im Bezugs-, End- und Initialzustand (Teil 2)

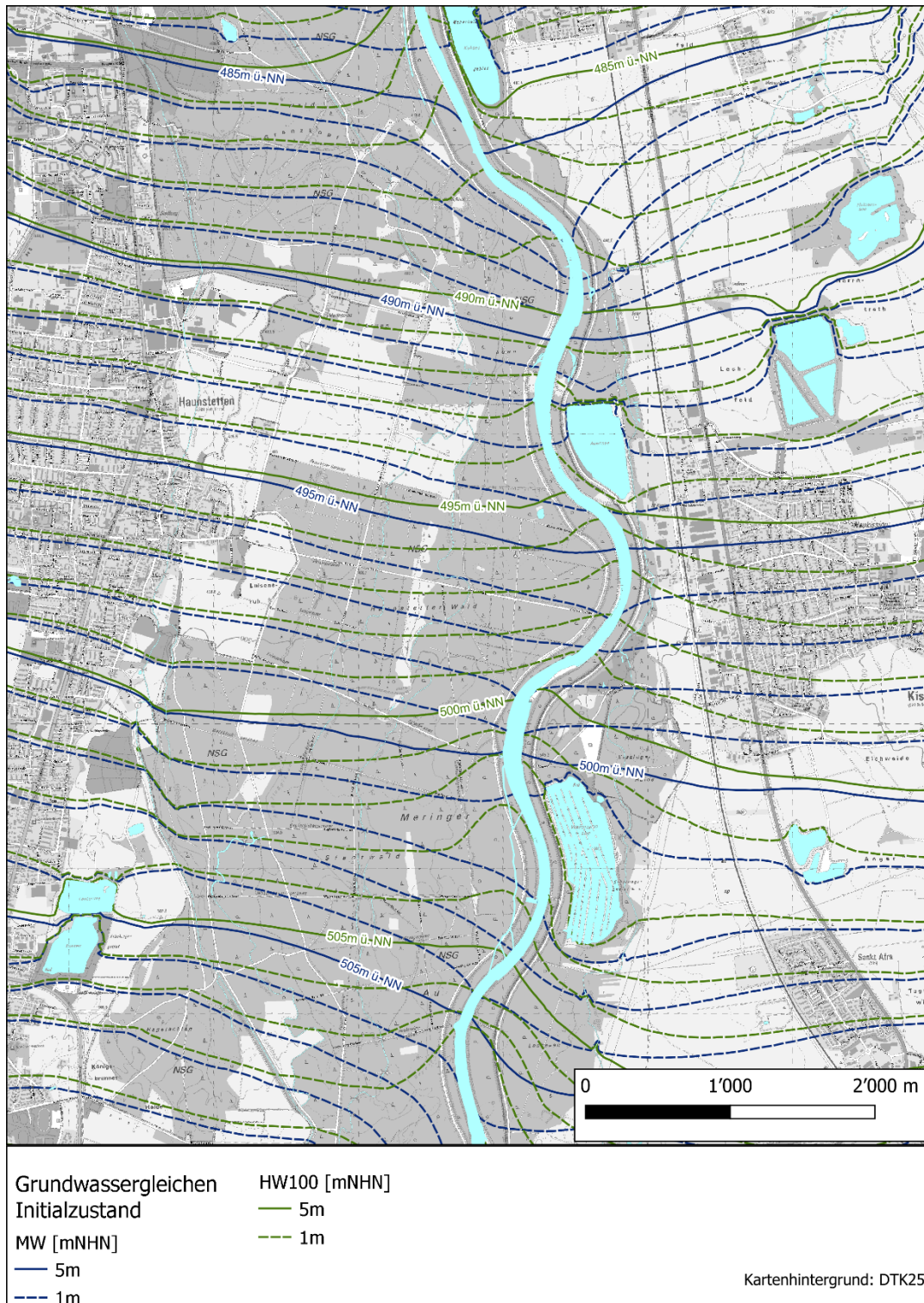


Abbildung 5.5: Grundwassergleichen im Initialzustand für mittlere und hohe Grundwasserstände

5.4 Absenkung/Aufhöhung des Grundwasserspiegels

Wie im Endzustand kommt es im Initialzustand zu Veränderungen des Grundwasserstands. Im Folgenden wird die Veränderung des Grundwasserstands an den NW- und MW-Stichtagen sowie in den Hochwasserphasen ausgewertet.

Die Absenkung/Aufhöhung der Grundwasserstände bei niedrigen Grundwasser-Verhältnissen ist für den MNW-Stichtag in Abbildung 5.6 dargestellt. Ähnlich zum Endzustand dominieren Aufhöhungen des Grundwasserstands das Bild, die Aufhöhungen reichen im Vergleich zum Endzustand jedoch nicht so weit nach Norden. Das Ergebnis für das NW ist nahezu identisch mit dem MNW-Stichtag, daher ist davon auszugehen, dass sich ein stationärer Zustand eingestellt hat (Abbildung 5.7).

Die Differenz der Grundwasserstände zwischen Initialzustand und dem Bezugszustand ist für mittlere Grundwasser-Verhältnisse in Abbildung 5.7 dargestellt. Wie im Endzustand dominieren westlich des Lechs Bereiche mit Aufhöhungen des Grundwasserstands. Östlich des Lechs sind die Bereiche mit Absenkungen des Grundwasserstands von eher kleiner räumlicher Ausdehnung. Südöstlich des Weitmannsees befindet sich ein Bereich mit Absenkungen, da der Weitmannsee dauerhaft 10 cm unter dem Wasserstand des Bezugszustands gehalten wird.

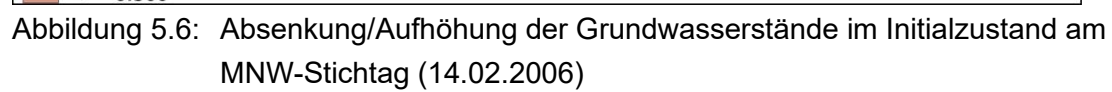
Abbildung 5.9 zeigt die Absenkung/Aufhöhung der maximalen Grundwasserstände bei Verhältnissen im Bereich eines häufigen Hochwassers. Die Darstellung zeigt Aufhöhungen des Grundwasserstands im Stadtwald und Absenkungen des Grundwasserstands östlich des Lechs.

Abbildung 5.10 zeigt die analoge Darstellung für einen Zeitraum mit einem ca. 100-jährlich auftretenden Hochwasser (HQ₁₀₀). Bereiche mit Absenkungen des Grundwasserstands dominieren den Bereich östlich des Lechs, während im Stadtwald Aufhöhungen dominieren. Der Ostteil des Krankenhaus Haunstetten liegt im Bereich mit einer Aufhöhung von 6 cm. Die zeitliche Variabilität des Grundwasserstands ist der Grundwasserstandsganglinie am nächstgelegenen Beobachtungspunkt BP_6 (Abbildung 5.3) zu entnehmen. Das Krankenhaus besitzt lediglich einen so genannten Kriechkeller sowie einen Rohrgang. Der maximale Grundwasserspiegel bei HQ₁₀₀ liegt mit 497,18 mNHN 4 cm unter der Oberkante der Bodenplatte des Rohrgangs (497,22 mNHN) und 93 cm unter der Bodenplatte des Kriechkellers (498,11 mNHN). Bei niedrigen oder mittleren GW-Verhältnissen sowie einem häufigen Hochwasser liegt das Krankenhaus im Initialzustand außerhalb des Bereichs mit einer Aufhöhung. Im geplanten Endzustand liegt das Krankenhaus Haunstetten auch bei einem hundertjährigen Hochwasser außerhalb des Bereichs mit einer Aufhöhung des Grundwasserstands. Somit ergeben sich für das Krankenhaus Haunstetten insgesamt keine Verschlechterungen. Die Aufhöhung ist nur von sehr kurzer Dauer (ca. 9 Tage)

und liegt mit ca. 6 cm unter der üblichen Schwankungsbreite des Grundwasserspiegels.

Es ergeben sich Veränderungen des Grundwasserstands im Bereich der Bebauung im Stadtwald (Siebenbrunn, Hugenottenweg) in etwas geringerer Höhe als im Endzustand. Eine Bewertung erfolgt im Kapitel 5.6.

Detailldarstellungen zur Absenkung und Aufhöhung des Grundwasserspiegels bei mittleren und hohen Grundwasserverhältnissen im Initialzustand finden sich in den Anlagen A5.13 bis A5.15.2.



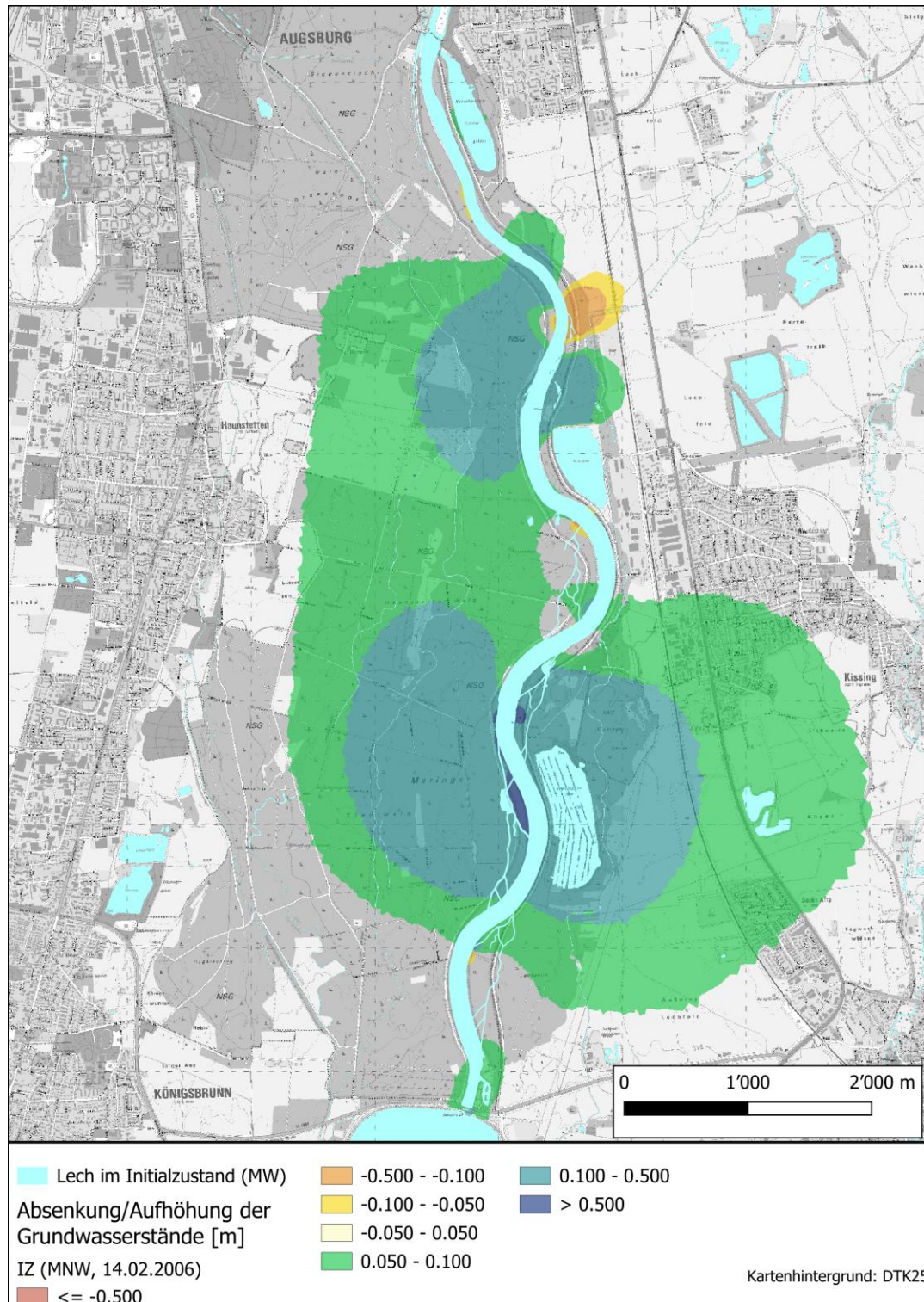


Abbildung 5.7: Absenkung/Aufhöhung der Grundwasserstände im Initialzustand bei NW-Verhältnissen

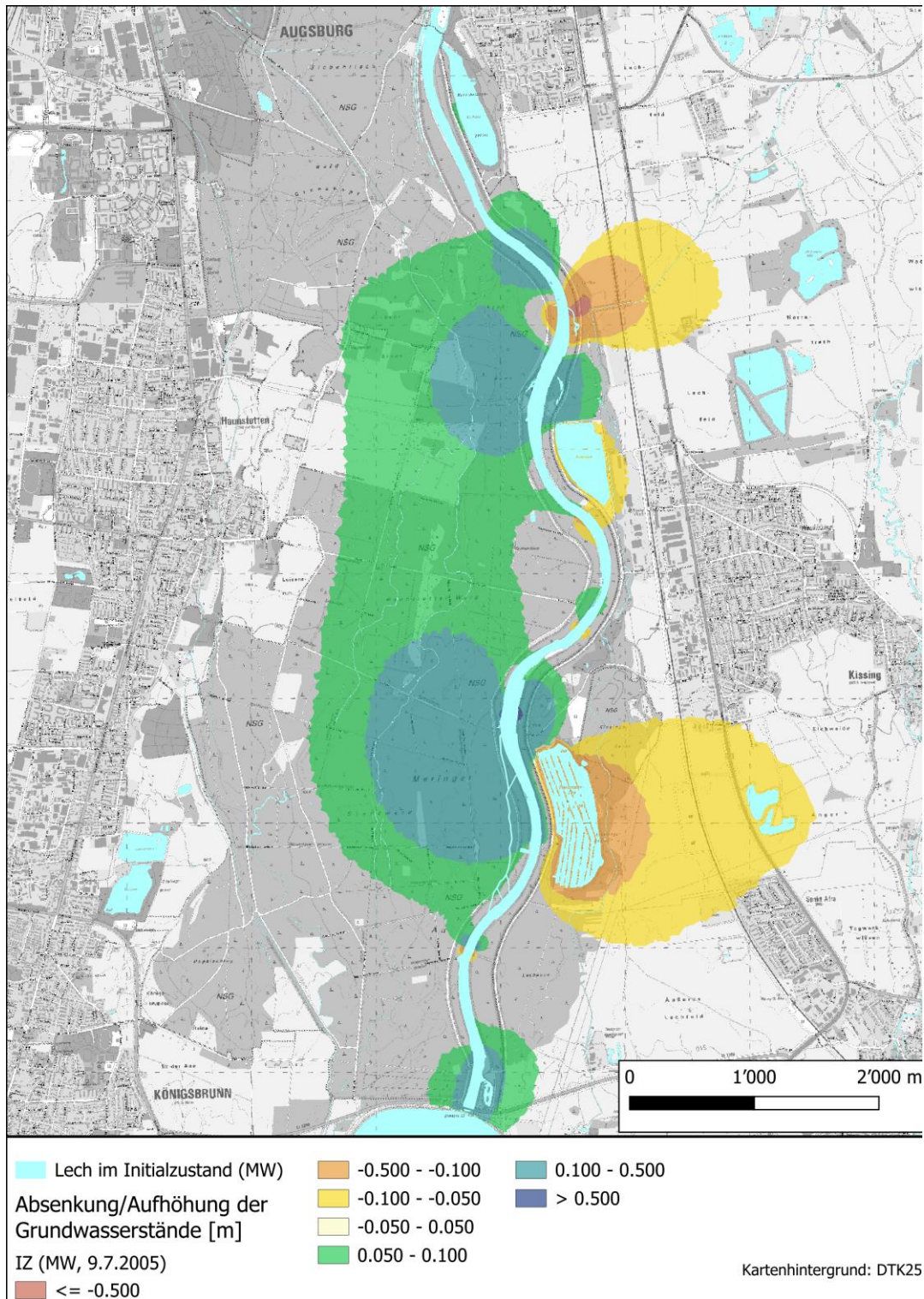


Abbildung 5.8: Absenkung/Aufhöhung der Grundwasserstände im Initialzustand bei mittleren Verhältnissen (9.7.2005)

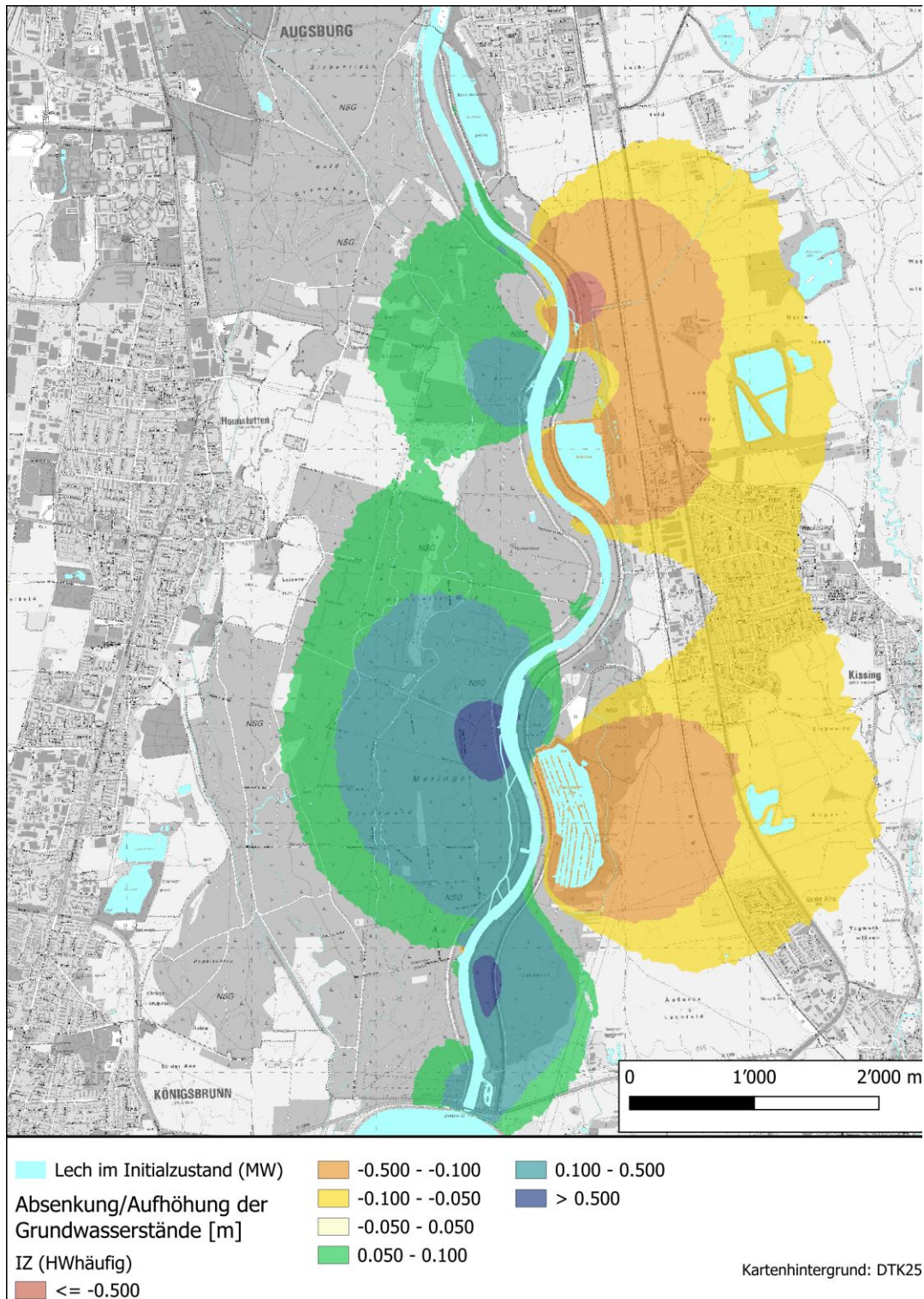


Abbildung 5.9: Absenkung/Aufhöhung der maximalen Grundwasserstände bei $HW_{\text{häufig}}$ im Initialzustand

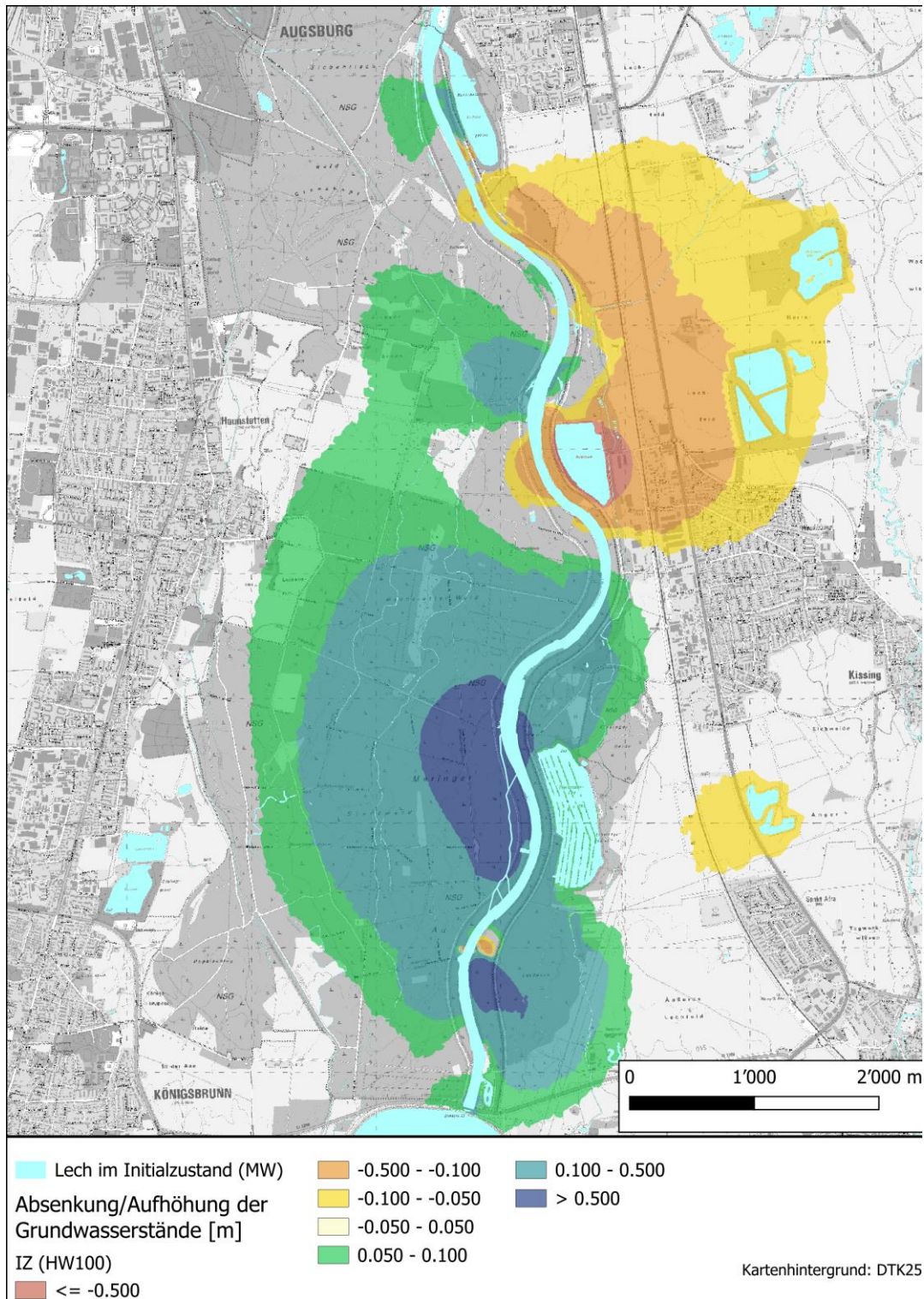


Abbildung 5.10: Absenkung/Aufhöhung der maximalen Grundwasserstände bei hohen Grundwasserständen im Initialzustand

5.5 Einzugsgebiete der Trinkwasserbrunnen

5.5.1 Stromlinien bei mittleren und niedrigen Grundwasserverhältnissen

Die Stromlinien der quartären Trinkwasserbrunnen werden für mittlere und niedrige Grundwasserverhältnisse in Anhang E.1 und E.2 dargestellt. Aus den Stromlinien lässt sich das Einzugsgebiet des Brunnens über Fließzeiten mehrerer Jahre ableiten.

Die vergleichenden Darstellungen zeigen, dass der Initialzustand bei niedrigen und mittleren Grundwasserverhältnissen zu keiner relevanten Verlagerung von Brunneneinzugsgebieten der SWA oder des Einzugsgebiets des Trinkwasserbrunnens Kissings führt.

5.5.2 50-Tage-Pfadlinien der Hochwasserphasen

5.5.2.1 Hundertjährliches Hochwasser

Anhang E.4 stellt die Pfadlinien der quartären Trinkwasserbrunnen bei einem hundertjährlichen Hochwasser dar. Die Pfadlinien zeigen das Grundwassereinzugsgebiet der Trinkwasserbrunnen innerhalb von 50 Tagen nach dem Hochwasserereignis.

Die Pfadlinien, und damit die Lage der Einzugsgebiete der Trinkwasserbrunnen, sind in Bezugs- und Initialzustand weitgehend identisch. Dies trifft auf die meisten Brunnen der SWA sowie auf das Einzugsgebiet des Trinkwasserbrunnens Kissings zu.

Bei einem hundertjährlichen Hochwasser ufert der Lech im Bereich der südlichen Sohlrampe weiträumig bis zur zukünftigen Deichlinie aus. Die benetzten Flächen sind in den Anhängen und Abbildungen schraffiert dargestellt. Die Einzugsgebiete der Brunnen swa_212 und swa_218 verlaufen nahe oder innerhalb der Ausuferungsflächen des Initialzustands. Daher wird der Bereich südlich der Brunnen swa_212 und swa_218 zusätzlich in Abbildung 5.11 als Detailansicht dargestellt.

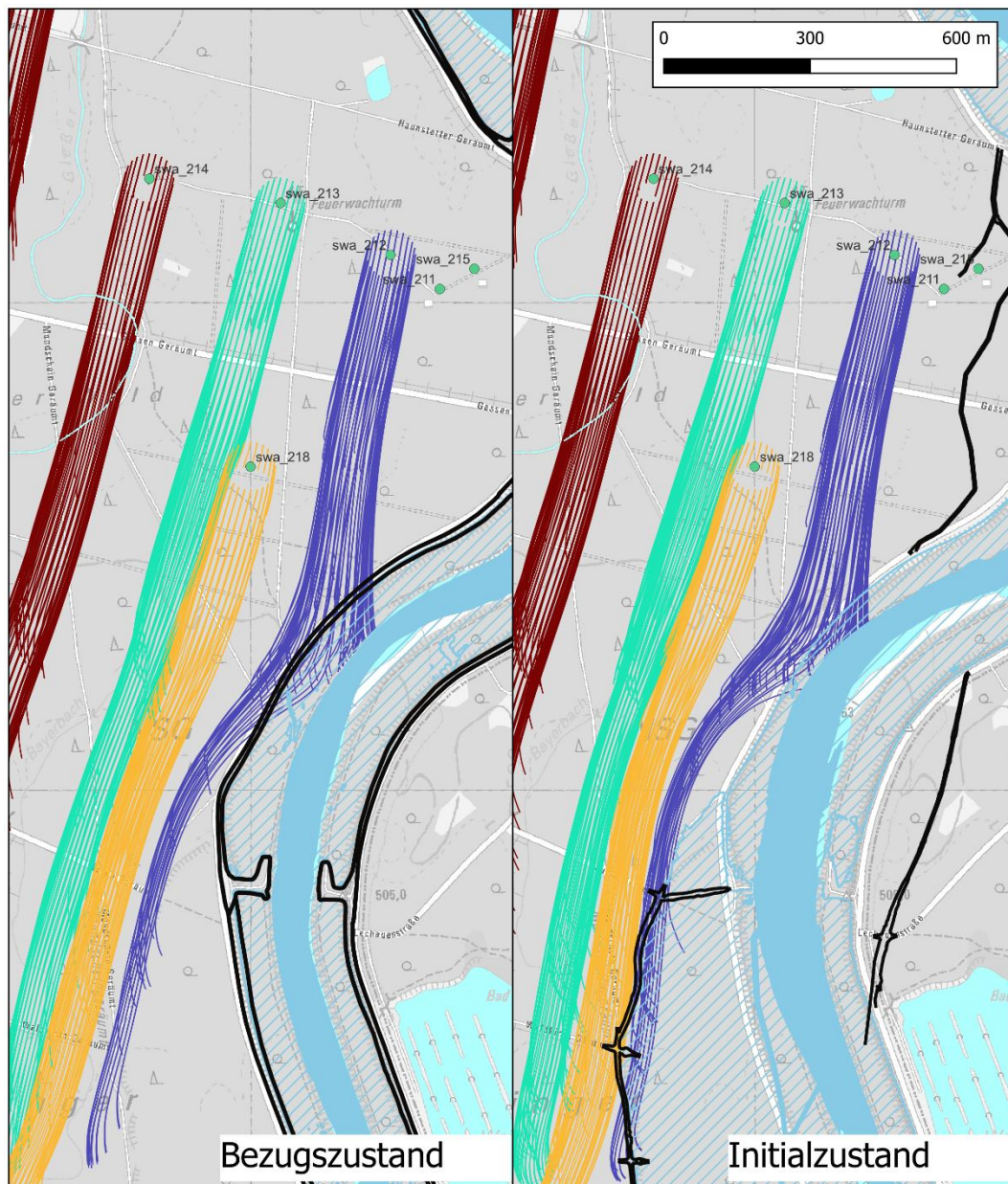
SWA_212:

- Im Initialzustand enden alle Pfadlinien nahe der Rampe am Fkm 53,4 oder in der Überflutungsfläche südlich der Rampe (bei genauer Betrachtung gibt es auch einige Pfadlinien, die in räumlicher Nähe der Überflutungsfläche verharren).

- Im Bezugzustand verläuft etwa ein Fünftel der Pfadlinien lechparallel und entspringt nicht dem Lech. Damit ist die Situation im Bezugzustand bei ausschließlicher Betrachtung der Verhältnisse im Grundwasserleiter hinsichtlich des Bezugs von Lechwasser geringfügig besser.
- Allerdings queren die lechparallelen Pfadlinien des Bezugzustands einen Bereich, der im Hochwasserfall durch geringe Grundwasserflurabstände geprägt ist (s. Abbildung 5.12 für den Bezugzustand und Abbildung 5.15 für den Initialzustand). Negative Grundwasserflurabstände weisen Bereiche aus, in denen der Grundwasserspiegel höher liegt als die Geländeoberkante. Dies bedeutet, dass das Grundwasser im Hochwasserfall dort austritt (Qualmwasserbildung). Das Qualmwasser breitet sich entlang der dort vorhandenen Rinnen im Gelände aus und kann bis zu den lechparallel verlaufenden Pfadlinien abfließen. Damit ist davon auszugehen, dass lechbürtiges Wasser auch im Bezugzustand über die lechparallelen Pfadlinien den Trinkwasserbrunnen in weniger als 50 Tagen erreicht.
- Daher werden die Einzugsgebiete des Brunnens SWA_212 in Bezugs- und Initialzustand vom hundertjährlichen Hochwasser in ähnlichem Ausmaß beeinträchtigt.

SWA_218:

- Ein sehr kleiner Teil des Einzugsgebiets des Brunnens swa_218 liegt innerhalb der Ausuferungsfläche im Initialzustand. Damit erreicht lechbürtiges Grundwasser innerhalb einer Fließzeit von weniger als 50 Tagen den Brunnen. Etwa 10 % der Pfadlinien tangieren den Bereich der Ausuferungsfläche. Dies ist im Bezugzustand nicht der Fall.
- Das Modell vernachlässigt die folgenden Prozesse, die eine Beeinträchtigung relativieren:
 - Dispersivität wird nur indirekt berücksichtigt, indem die Partikel der Pfadlinien in einem 50 m Radius um den Brunnen eingegeben werden
 - Mischungseffekte/Verdünnungseffekte im Grundwasserleiter
 - Ausbreitung von Qualmwasser im Drainagesystem des Bezugzustands (s.o.)
- In Relation zur Wahrscheinlichkeit, dass ein hundertjährliches Hochwasser in der kurzen Umsetzungsphase des Initialzustands auftritt, ist die Beeinträchtigung unter Berücksichtigung der o.g. zusätzlich abschwächenden Argumente vernachlässigbar. Zusätzlich ist auf die Verbesserung im Endzustand zu verweisen (siehe Kap. 4.4.3).

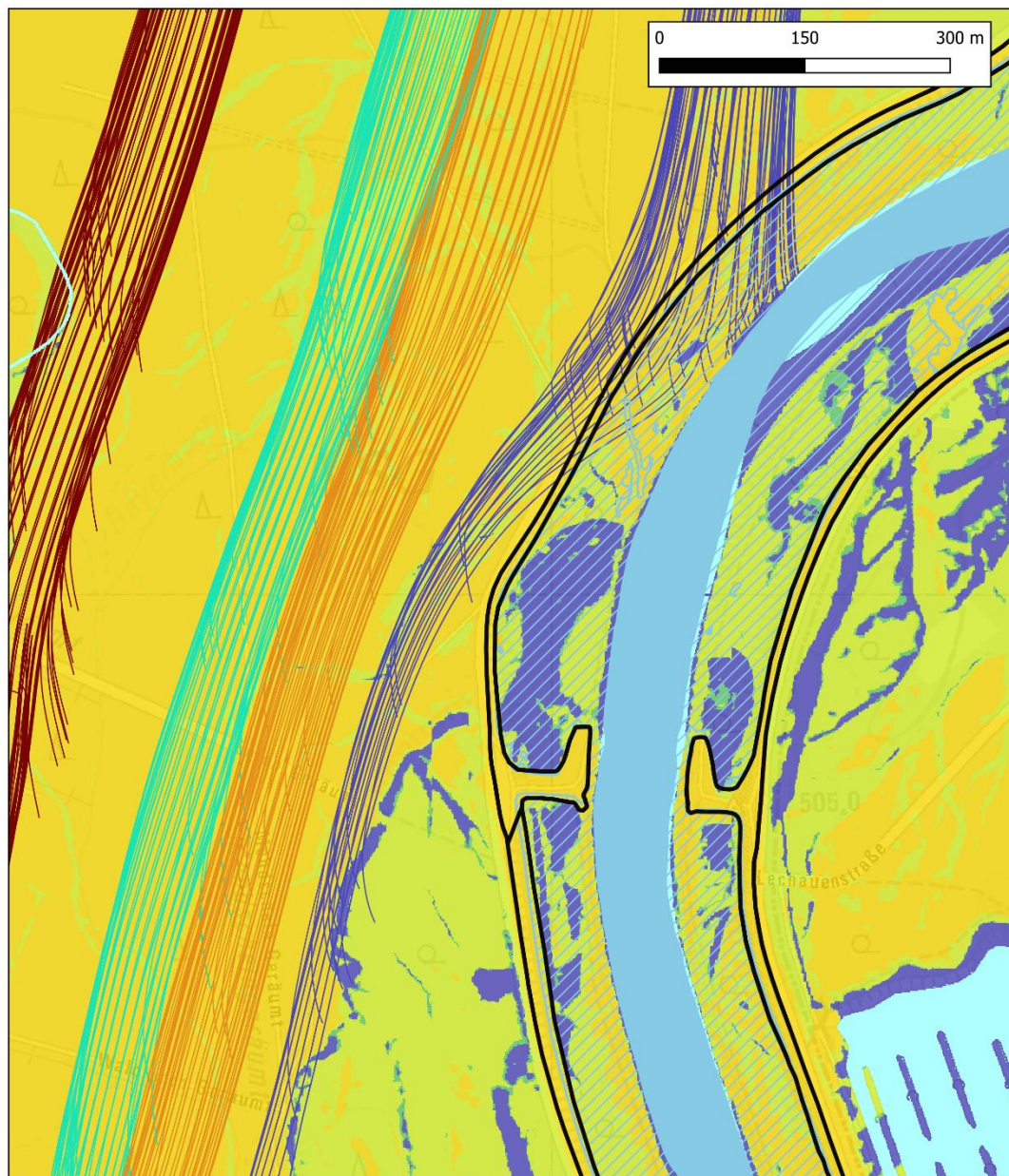


Legende

- | | |
|------------|-----------------------------|
| Pfadlinien | Trinkwasserentnahmen |
| swa_212 | Quartärbrunnen |
| swa_213 | Lech bei Mittelwasser |
| swa_218 | Lech bei Hochwasser (HQ100) |
| Sonstige | |
| Deiche | |

Kartenhintergrund: DTK25





Abbildung 5.11: Detailansicht der Brunneneinzugsgebiete im Initialzustand bei einem hundertjährigen Hochwasser






Legende

Pfadlinien

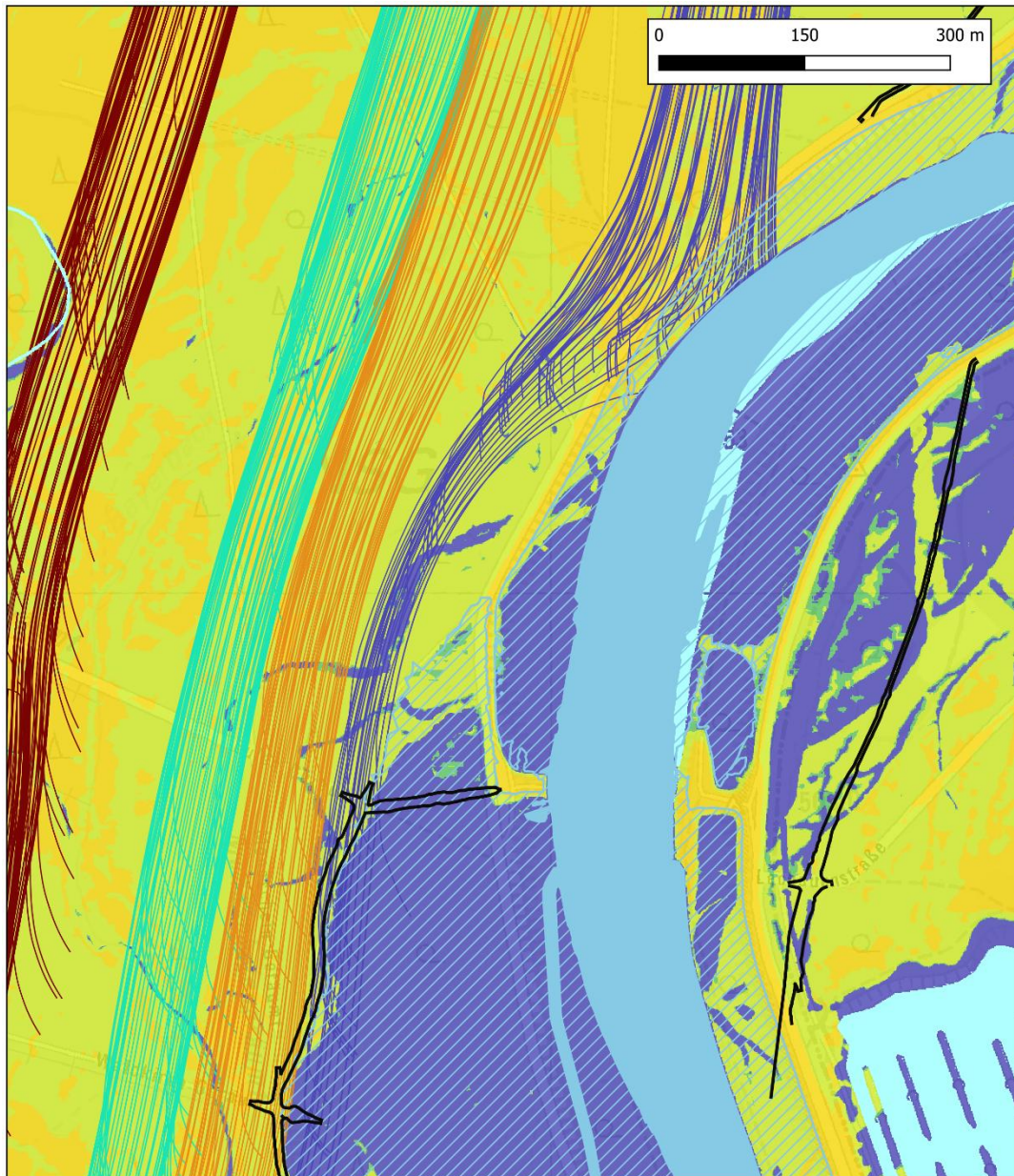
- swa_212
- swa_213
- swa_218
- Sonstige

-  Lech bei Mittelwasser
-  Lech bei Hochwasser (HQ100)
-  Deiche (Bestand)
- Grundwasserflurabstand (BZ, HW100) [m]
-  < 0

-  0.0000 - 0.1000
-  0.1000 - 1.0000
-  > 1

Kartenhintergrund: DTK25

Abbildung 5.12: Pfadlinien und Grundwasserflurabstände des Bezugszustands bei HW-Verhältnissen (HW100).



Legende

Pfadlinien

- swa_212
- swa_213
- swa_218

- Sonstige
- Lech bei Mittelwasser
- Lech bei Hochwasser (HW100)
- Grundwasserflurabstand (IZ, HW100) [m]
- < 0

- 0.0000 - 0.1000
- 0.1000 - 1.0000
- > 1

Kartenhintergrund: DTK25

Abbildung 5.13: Pfadlinien und Grundwasserflurabstände des Initialzustands bei HW-Verhältnissen (HW100).

5.5.2.2 Häufiges Hochwasser

Ein ähnliches Bild wie für den Fall des hundertjährigen Hochwassers zeigt sich bei Betrachtung eines häufigen Hochwassers (Anhang E.3 / Detailansicht in Abbildung 5.14). Die Pfadlinien zeigen aus welchen Regionen der Trinkwasserbrunnen innerhalb eines Zeitraums von 50 Tagen nach dem Hochwasserscheitel sein Grundwasser bezieht.

Generell kommt es im Initialzustand zu keiner relevanten Umlagerung von Brunneneinzugsgebieten, allerdings verschiebt sich die Ausuferungsfläche südlich der Rampe im Initialzustand nach Westen. Das Einzugsgebiet des Trinkwasserbrunnens Kissings bis zum Weitmannsee verlagert sich nicht.

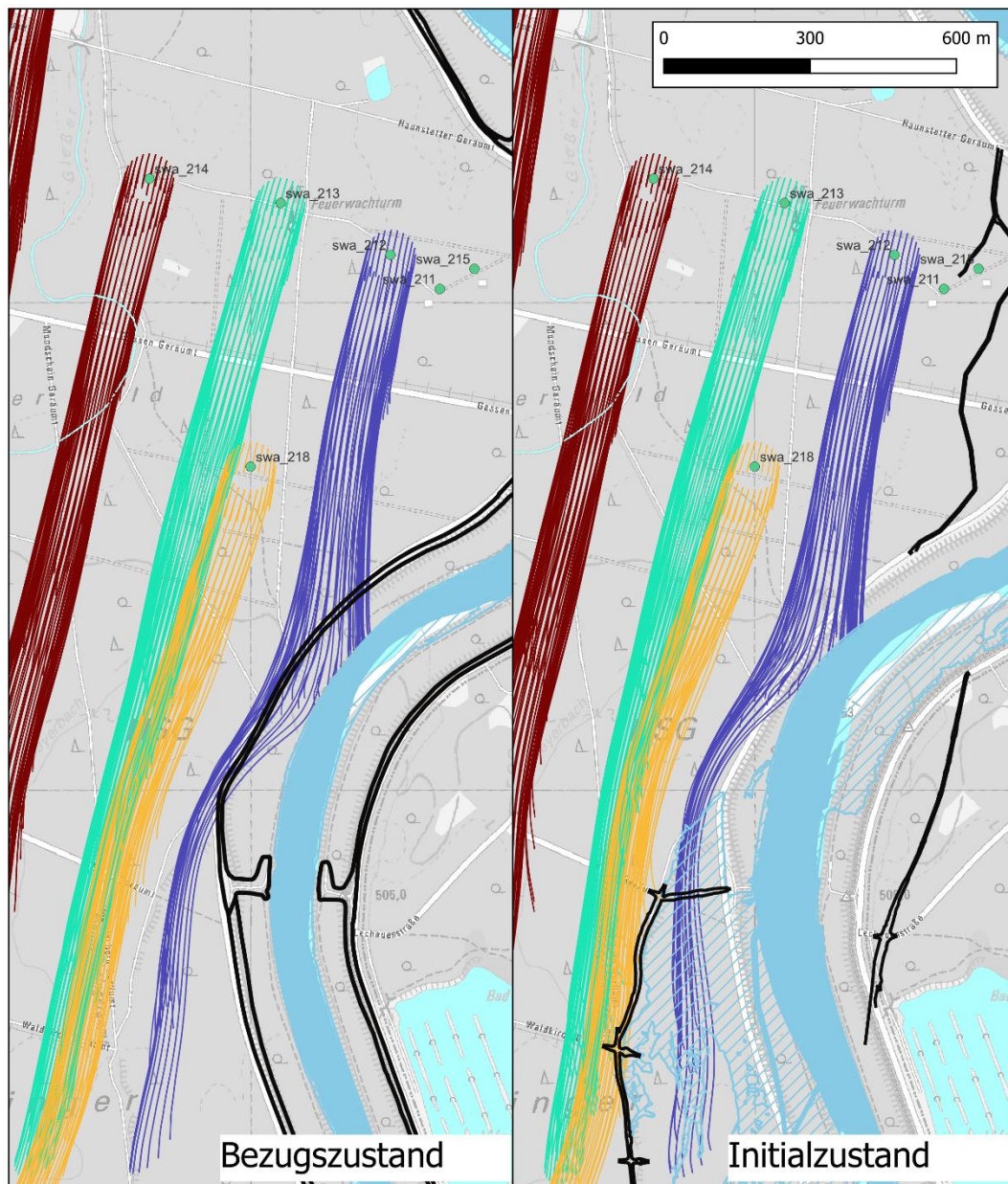
Brunnen SWA_212:

- An diesem Brunnen entspringen etwa 2/3 der Pfadlinien im Bezugs- und Initialzustand dem Unterwasser des Absturzes/Rampe am Fkm 53,4. Im Initialzustand kreuzt das verbleibende Drittel der Pfadlinien einen überfluteten Altarm des Lechs, im Bezugszustand verlaufen diese Pfadlinien lechparallel.
- Auch bei einem häufigen Hochwasser zeigt die Auswertung des Grundwasserflurabstands ein von Qualmwasser gespeistes Drainagesystem (Bezugszustand: Abbildung 5.15, Initialzustand: Abbildung 5.16). Im Bezugszustand erreichen die lechparallelen Pfadlinien den Bereich mit lechbürtigem Qualmwasser in den Rinnen. Dies beeinträchtigt die lechparallelen Pfadlinien des Bezugszustands.
- Die Einzugsgebiete des Brunnens SWA_212 werden in Bezugs- und Initialzustand vom häufigen Hochwasser in ähnlichem Ausmaß beeinträchtigt.

Brunnen SWA_218:

- Die Pfadlinien tangieren die Ausuferungsfläche bei einem häufigen Hochwasser in wesentlich geringerem Umfang als während eines hundertjährigen Hochwassers. Aufgrund der im Zusammenhang mit dem 100jährigen Hochwasser genannten Argumente (Kapitel 5.5.2.1) ist davon auszugehen, dass das häufige Hochwasser das Einzugsgebiet des Brunnens SWA_218 im Bezugs- und Initialzustand ähnlich beeinträchtigt.

Zusätzlich ist auf die Verbesserung im Endzustand zu verweisen (siehe Kapitel 4.4.3).



Legende

- | | |
|------------------|---------------------------|
| Pfadlinien | Trinkwasserentnahmen |
| swa_212 | Quartärbrunnen |
| swa_213 | Lech bei Mittelwasser |
| swa_218 | Lech bei Hochwasser (HQ1) |
| Sonstige | |
| Deiche (Bestand) | |

Kartenhintergrund: DTK25

Abbildung 5.14: Detailansicht der Brunneneinzugsgebiete bei einem häufigen Hochwasser in Bezugs- und Initialzustand.

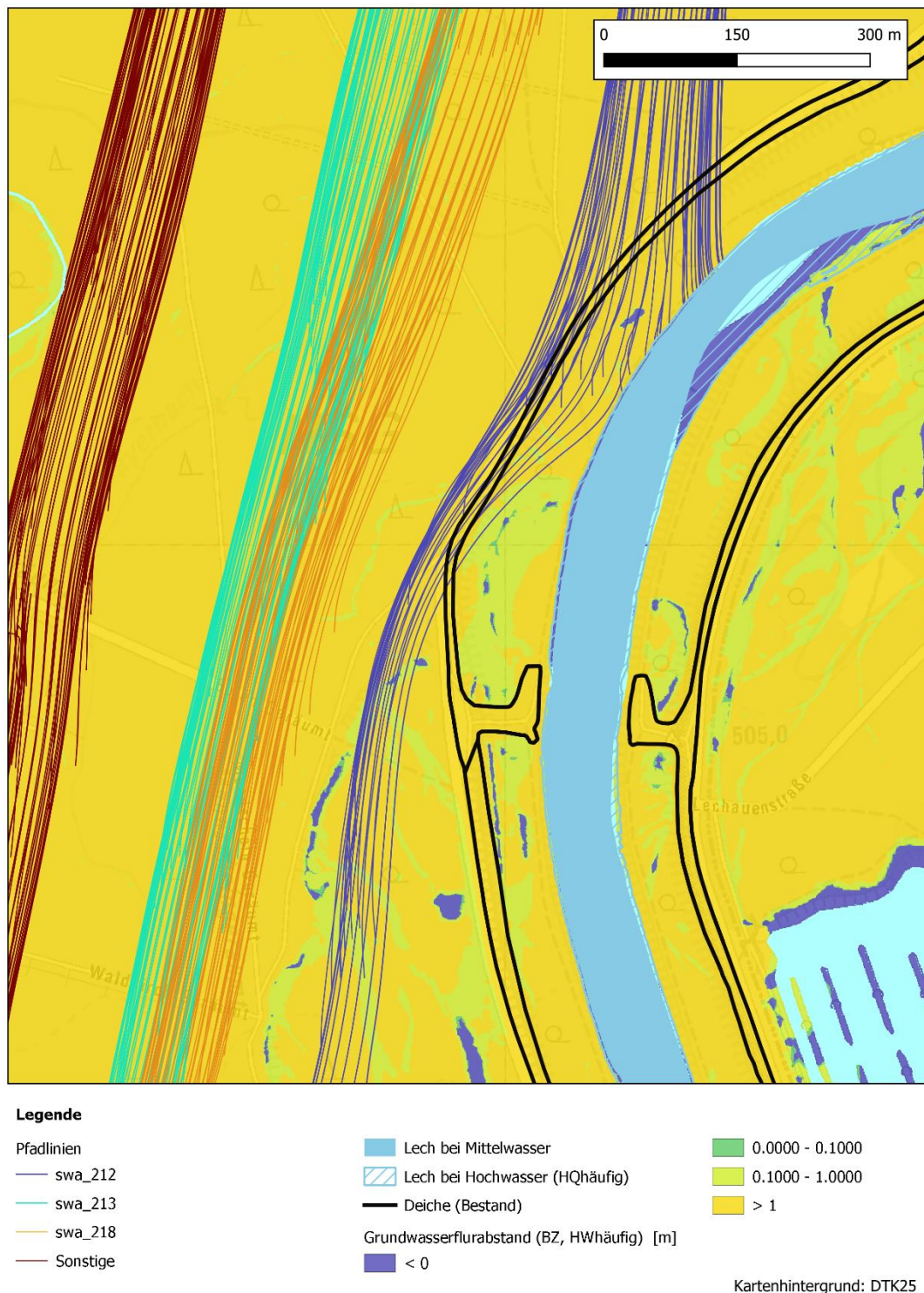
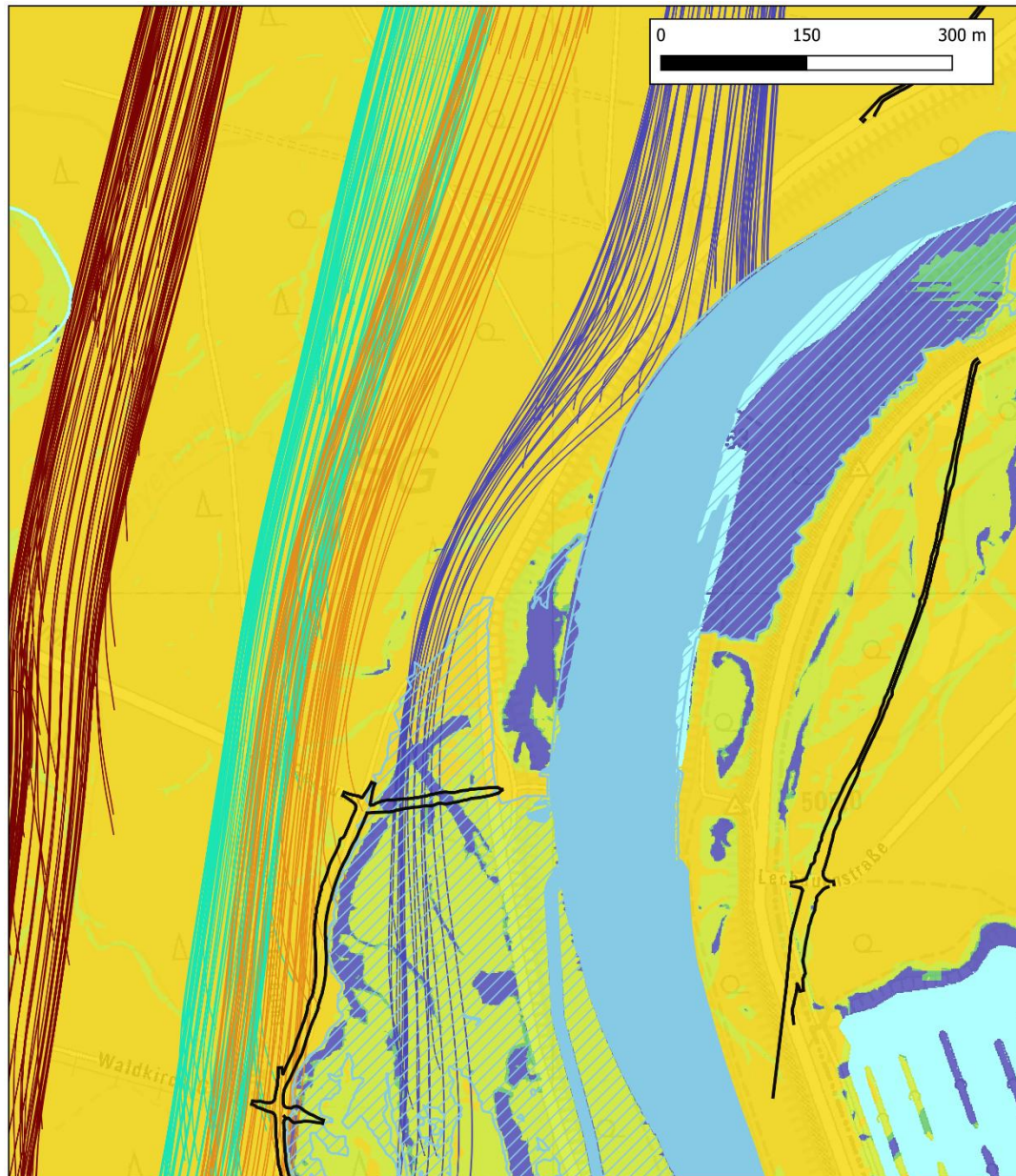


Abbildung 5.15: Pfadlinien und Grundwasserflurabstände des Bezugszustands bei HW-Verhältnissen ($HW_{häufig}$).



Legende

Pfadlinien

- swa_212
- swa_213
- swa_218
- Sonstige

Lech bei Mittelwasser

Lech bei Hochwasser (IZ, HQ1)

— Deiche (Planung)

Grundwasserflurabstand (IZ, HW_{häufig}) [m]

< 0

0.0000 - 0.1000

0.1000 - 1.0000

> 1

Kartenhintergrund: DTK25

Abbildung 5.16: Pfadlinien und Grundwasserflurabstände des Initialzustands bei HW-Verhältnissen (HW_{häufig}).

5.5.3 Betrachtung des Zustroms zu den Brunnen im oberen Tertiär

An den folgenden lechnahen Brunnen im oberen Tertiär wird der vertikale Austausch mit dem Quartär quantifiziert und mit der Austauschrate des Bezugszustands verglichen:

- swa_354
- swa_353
- swa_825
- swa_222
- swa_826
- swa_221
- swa_712
- swa_120
- swa_121
- swa_820
- swa_830

Wie im Endzustand verändert sich die Austauschrate Quartär/Oberes Tertiär im Umfeld der genannten Brunnen jeweils um weniger als 5 %. Der Austausch wird im Initialzustand damit nicht in relevantem Ausmaß beeinflusst.

5.6 Grundwasserflurabstände

Anlage A5.6 bis Anlage A5.9 stellen die Grundwasserflurabstände des Initialzustands im Vergleich zum Bezugszustand dar. Generell stimmt die Einschätzung im Initialzustand, insbesondere für die Bebauung im Stadtwald (Siebenbrunn, Hugentottenweg), mit der Einschätzung im Endzustand überein (siehe Kapitel 4.5).

5.7 Fazit Initialzustand

Die Auswertungen zeigen, dass auch der Initialzustand von Licca Liber keine negativen Auswirkungen auf die Interessen von Anliegern hat.

Die Hochwasserentlastungsklappe am Kuhsee muss für Licca Liber nicht angepasst werden. Am Auensee kann das geplante Wehr aus dem Endzustand unverändert

umgesetzt werden. Aufgrund der Besonderheiten im Hochwasserfall am Weitmannsee sollte die Überfallhöhe des geplanten Wehrs im Initialzustand um 10 cm tiefer als im Endzustand gesetzt werden. Der Weitmannsee profitiert von Licca Liber auch im Initialzustand von etwas höheren Wasserspiegeln in NW-Phasen. An Auen- und Kuhsee sind die Wasserspiegel auf ähnlichen Niveaus.

Die Veränderungen des Grundwasserspiegels sind überwiegend unproblematisch. Im Bereich Siebenbrunn / Hugenottenweg ergibt sich wie im Endzustand eine leichte Erhöhung des Grundwasserstands. Wir empfehlen in diesen Bereichen ein Monitoring des Grundwasserstands. Hervorzuheben sind die positiven Effekte in Phasen mit Grundwasserständen unterhalb von mittleren Verhältnissen, da Licca Liber auch im Initialzustand zu einer deutlichen Anhebung des Grundwasserspiegels führt. Ferner zeigen die Auswertungen, dass in den meisten Siedlungsgebieten durch Licca Liber Hochwasserspitzen im Grundwasser reduziert werden.

Die Einzugsgebiete der Trinkwasserbrunnen bleiben bei mittleren und niedrigen Grundwasserverhältnissen weitgehend gleich. An zwei Trinkwasserbrunnen erreicht lechbürtiges Grundwasser im Hochwasserfall innerhalb von weniger als 50 Tagen die Brunnen. Anhand von Auswertungen des Grundwasserflurabstands kann nachgewiesen werden, dass Qualmwasser im Bezugszustand zu Beeinträchtigungen in ähnlichem Umfang wie im Initialzustand führt.

6 Betrachtung einer erhöhten Entnahme an drei Brunnen der SWA

6.1 Hintergrund

An den Trinkwasserbrunnen der SWA wird ein mit den SWA abgestimmtes Entnahmeregime angesetzt, das eher auf der Annahme von mittleren Entnahmeraten basiert. Auf Wunsch der Stadtwerke Augsburg wird an den folgenden Brunnen der SWA zusätzlich eine erhöhte Entnahmerate angesetzt:

- swa_212: 39 l/s (1 l/s)
- swa_218: 42 l/s (13,8 l/s)
- swa_819: 50 l/s (13,8 l/s)

Die Entnahmen des mittleren Entnahmeregimes werden in Klammern angegeben. Auf diesen Entnahmen basieren die Betrachtungen der vorangegangenen Kapitel. Auf Grundlage von Stromlinienberechnungen werden die Brunneneinzugsgebiete dieser Brunnen abgegrenzt. Aus einer vergleichenden Betrachtung von Bezugs- sowie Initial-/Endzustand kann abgeleitet werden, ob sich die Änderung gleichermaßen auf die Brunneneinzugsgebiete auswirken.

6.2 Stromlinien im Endzustand

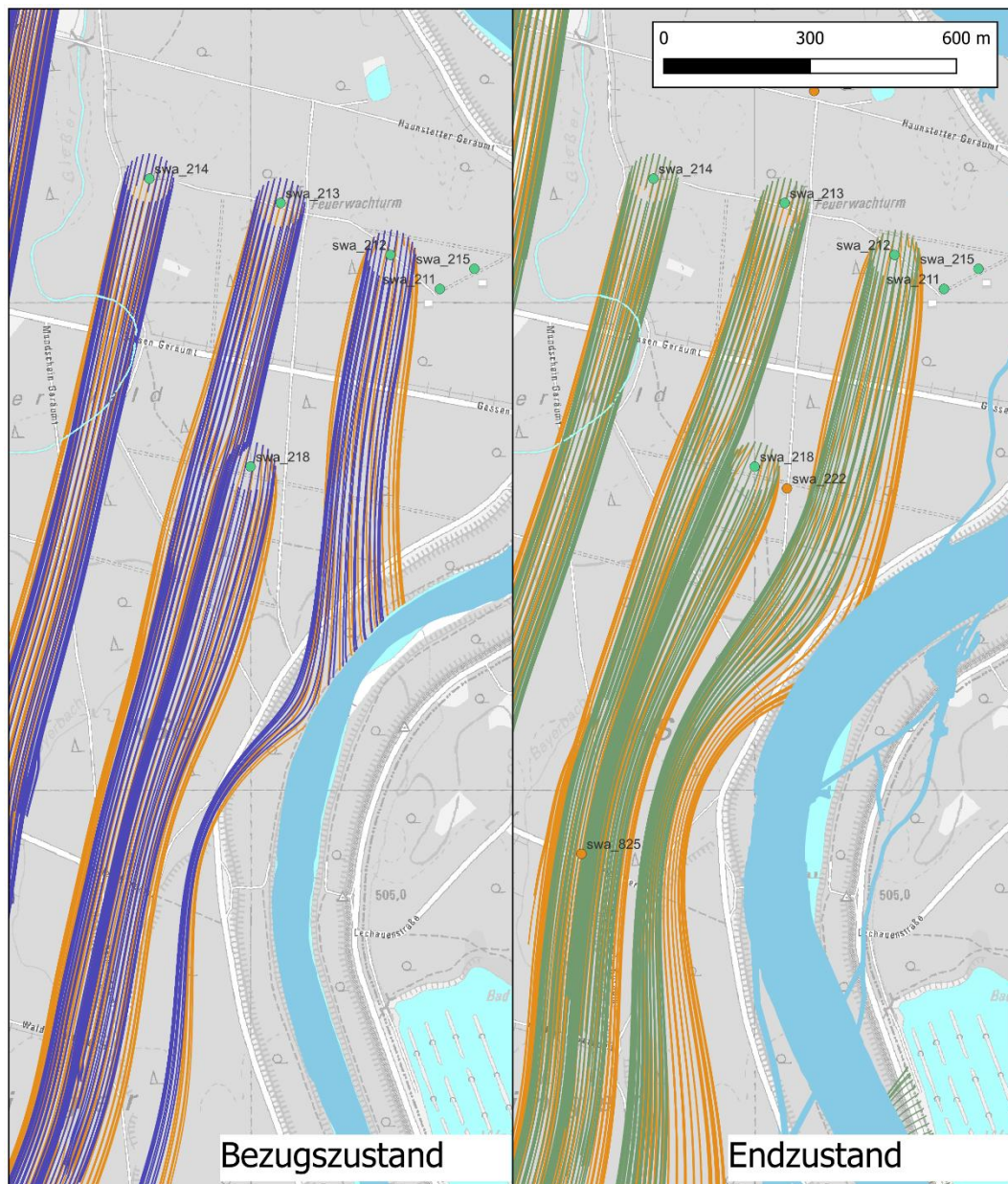
Abbildung 6.1 stellt die Stromlinien bei mittleren Grundwasserverhältnissen im Bezugs- und Endzustand für die Brunnen swa_212 und swa_218 gegenüber. Die Stromlinien bei einer erhöhten Entnahme werden jeweils in Orange dargestellt. Die Einzugsgebiete der Brunnen werden in beiden Fällen etwas breiter. Im Endzustand hat dies zur Folge, dass am Brunnen swa_212 auch lechbürtiges Wasser aus dem Bereich nördlich der Rampe gefasst wird. Der Anteil an lechbürtigem Wasser im Einzugsgebiet ist im Endzustand dennoch geringer als im Bezugszustand.

Die Stromlinien der NW-Phase (Abbildung 6.2) verlaufen im Endzustand in allen Fällen lechparallel, allerdings verringert sich der Abstand zwischen Lech und Brunneneinzugsgebiet im Vergleich zur mittleren Entnahme.







Für Hochwasserverhältnisse sind die Pfadlinien über eine Dauer von 50 Tagen Abbildung 6.3 und Abbildung 6.4 zu entnehmen. Auch in diesen Fällen verlagern sich die Einzugsgebiete leicht, qualitativ bleiben die Aussagen aus Kapitel 4.4.3 für die mittlere Entnahme bestehen.

In den betrachteten Fällen verbessert sich das Einzugsgebiet des Brunnens swa_212. Die Änderungen des Einzugsgebiets der beiden weiteren Brunnen sind kaum relevant.

Am Brunnen swa_819 wird das Einzugsgebiet durch die Erhöhung der Entnahme gering breiter. Die Einzugsgebiete in Bezugs- und Endzustand sind qualitativ identisch. Dies ist für hohe Grundwasserverhältnisse (HW100) in Abbildung 6.5 dargestellt. Auf eine Darstellung bei weiteren Grundwasserverhältnissen wird aufgrund des fehlenden Erkenntnisgewinns verzichtet.

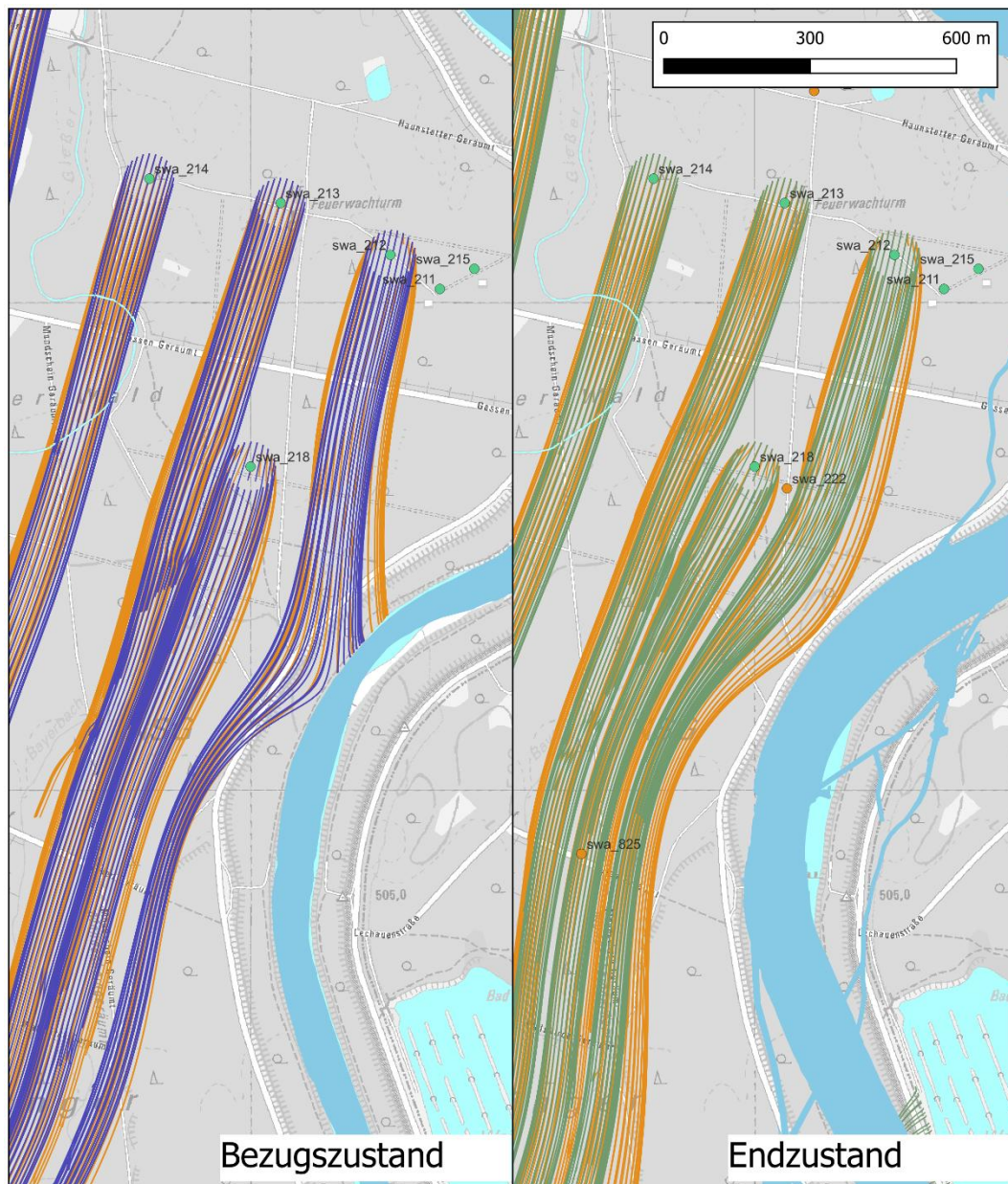


Legende







- | | |
|--|--|
|  Lech bei Mittelwasser | Trinkwasserentnahmen |
|  Stromlinien BZ |  Quartärbrunnen |
|  Stromlinien EZ |  Tertiärbrunnen |
|  Stromlinien b. erhöhter Entnahme | |

Kartenhintergrund: DTK25

Abbildung 6.1: Vergleich der Stromlinien bei mittleren Grundwasserverhältnissen bei einer mittleren und einer erhöhten Entnahme an drei Brunnenstandorten im Bezugs- und Endzustand

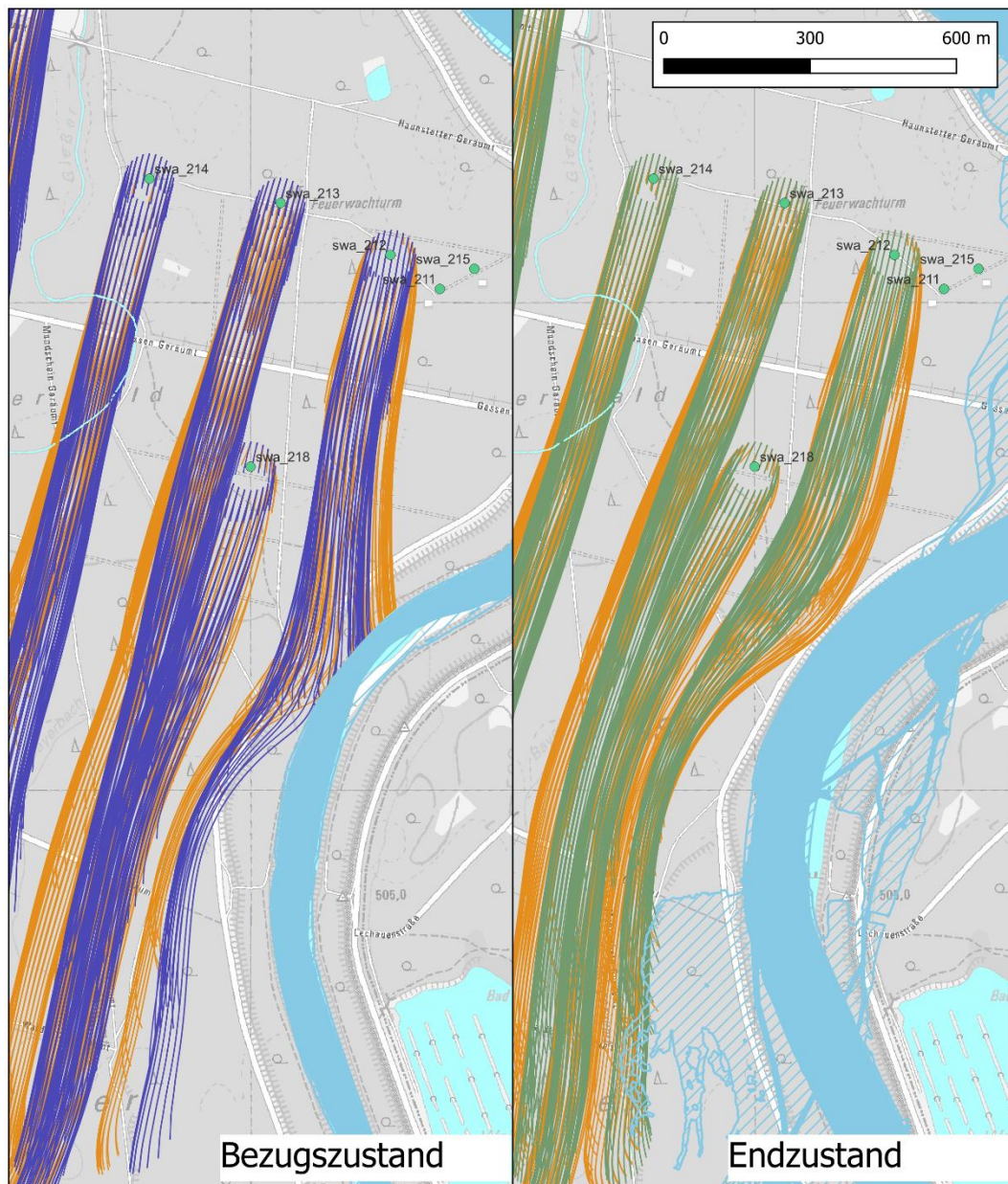


Legende







- | | |
|--|--|
|  Lech bei Mittelwasser | Trinkwasserentnahmen |
|  Stromlinien BZ |  Quartärbrunnen |
|  Stromlinien EZ |  Tertiärbrunnen |
|  Stromlinien b. erhöhter Entnahme | |

Kartenhintergrund: DTK25

Abbildung 6.2: Vergleich der Stromlinien bei niedrigen Grundwasserverhältnissen bei einer mittleren und einer erhöhten Entnahme an drei Brunnenstandorten im Bezugs- und Endzustand

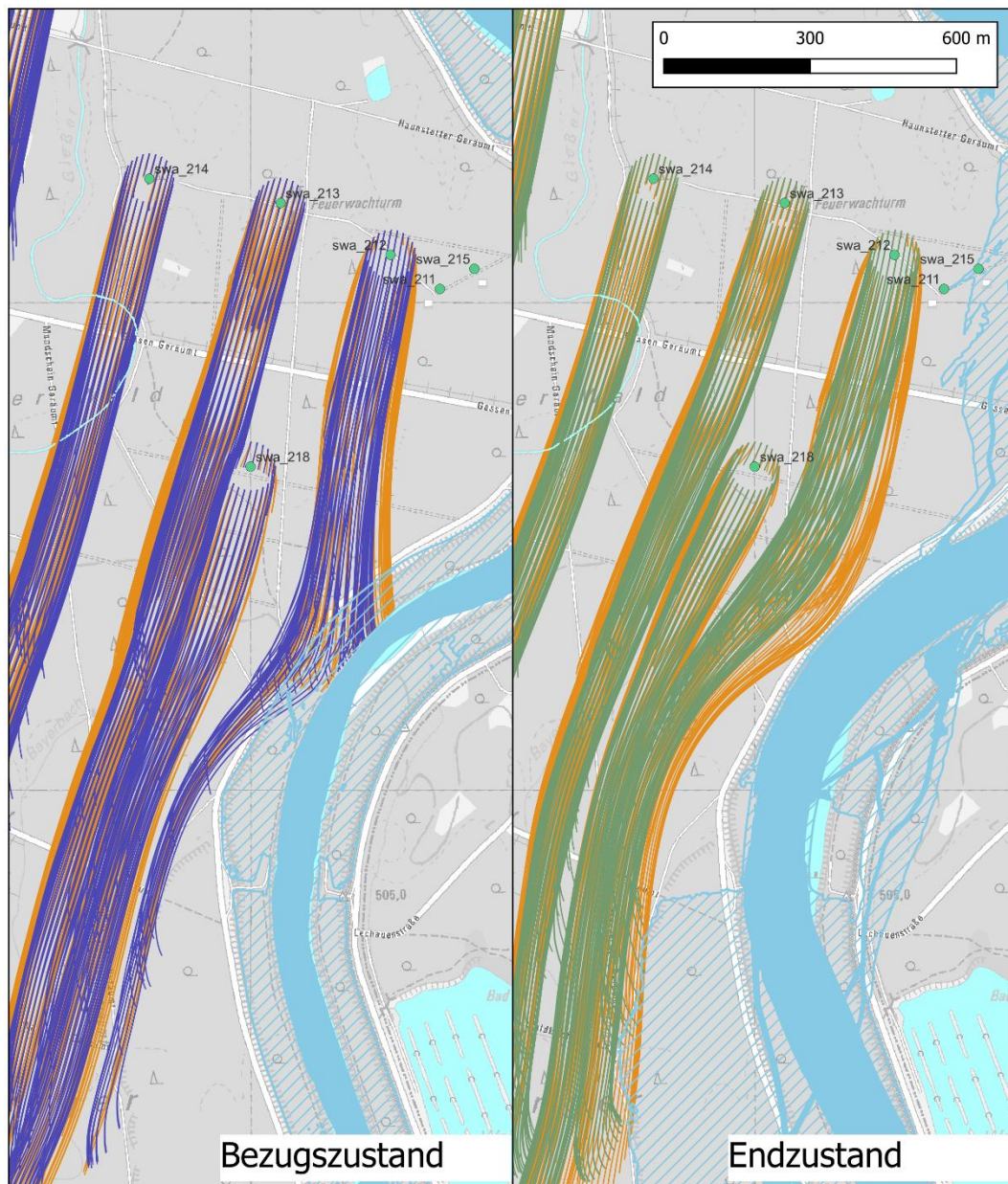


Legende







- | | |
|--|--|
|  Lech bei Mittelwasser | Trinkwasserentnahmen |
|  Stromlinien BZ |  Quartärbrunnen |
|  Stromlinien EZ |  Tertiärbrunnen |
|  Stromlinien b. erhöhter Entnahme | |

Kartenhintergrund: DTK25

Abbildung 6.3: Vergleich der Pfadlinien bei Hochwasserverhältnissen ($HW_{\text{häufig}}$) bei einer mittleren und einer erhöhten Entnahme an drei Brunnenstandorten im Bezugs- und Endzustand

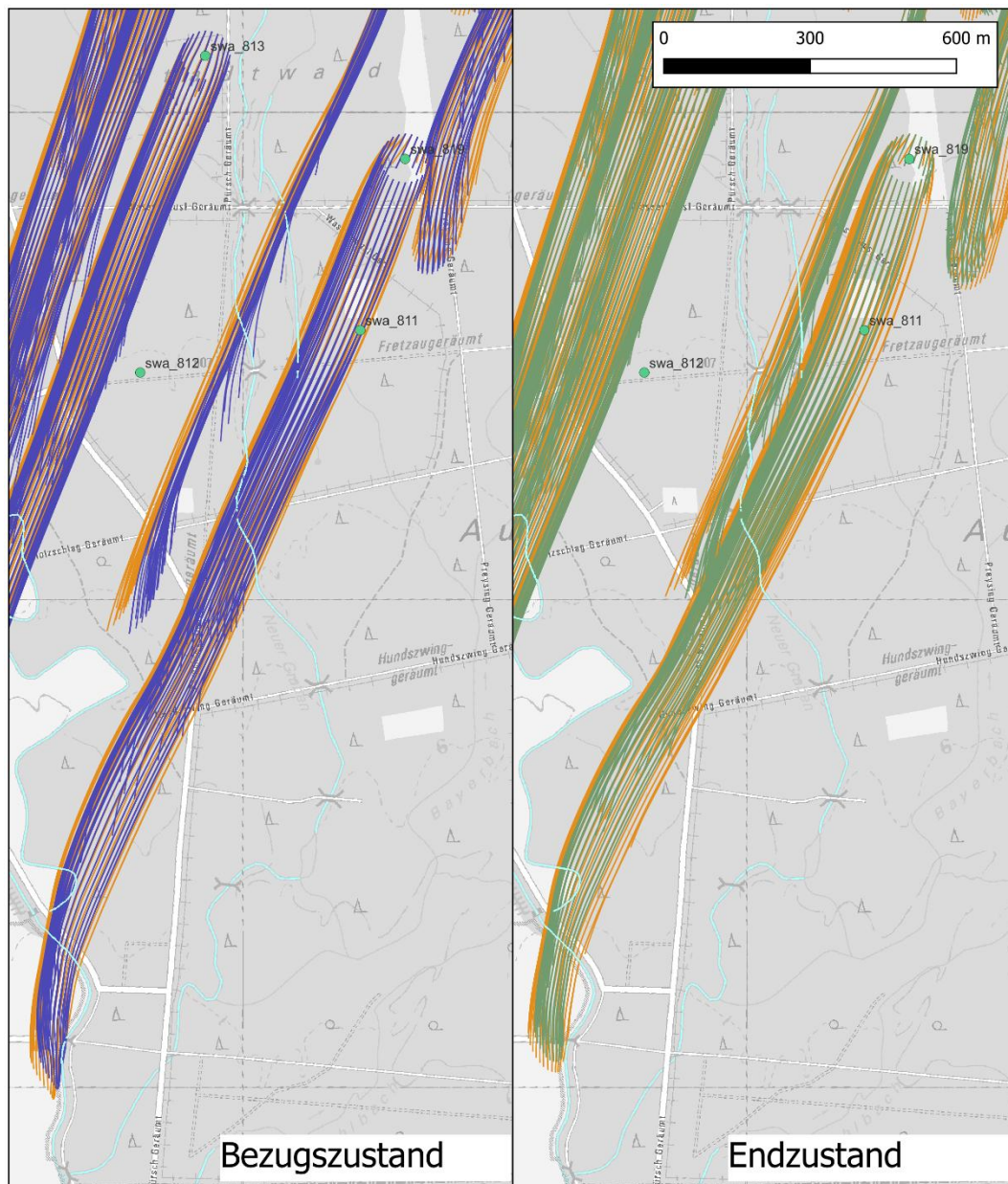


Legende







- | | |
|--|--|
|  Lech bei Mittelwasser | Trinkwasserentnahmen |
|  Stromlinien BZ |  Quartärbrunnen |
|  Stromlinien EZ |  Tertiärbrunnen |
|  Stromlinien b. erhöhter Entnahme | |

Kartenhintergrund: DTK25

Abbildung 6.4: Vergleich der Pfadlinien bei Hochwasserverhältnissen (HW_{100}) bei einer mittleren und einer erhöhten Entnahme an drei Brunnenstandorten im Bezugs- und Endzustand



Legende

- | | |
|--|--|
|  Lech bei Mittelwasser | Trinkwasserentnahmen |
|  Stromlinien BZ |  Quartärbrunnen |
|  Stromlinien EZ |  Tertiärbrunnen |
|  Stromlinien b. erhöhter Entnahme | |

Kartenhintergrund: DTK25

Abbildung 6.5: Vergleich der Pfadlinien bei Hochwasserverhältnissen (HW_{100}) bei einer mittleren und einer erhöhten Entnahme an drei Brunnenstandorten im Bezugs- und Endzustand am Brunnen swa 819.

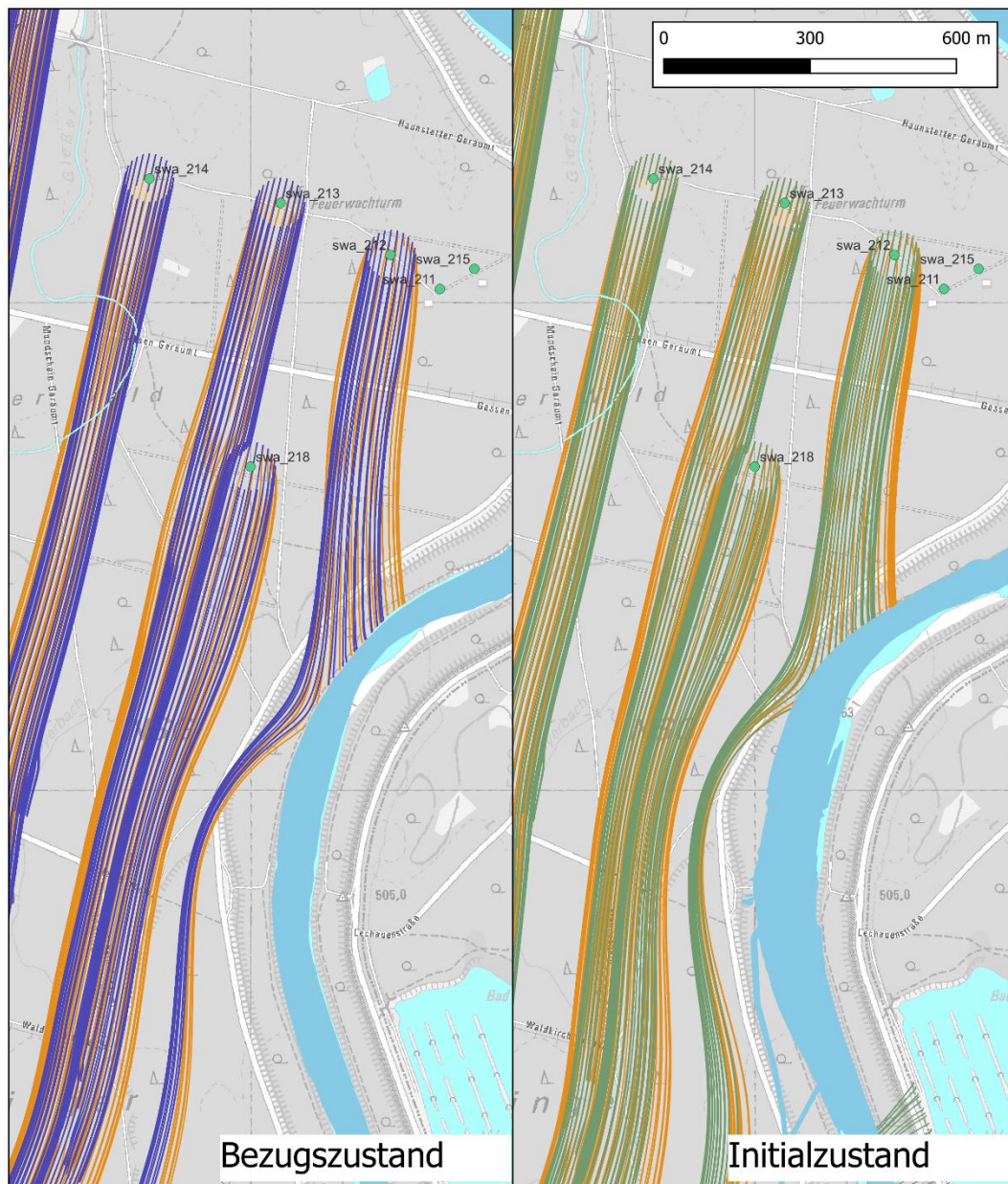
6.3 Stromlinien im Initialzustand

Abbildung 6.6 stellt die Stromlinien der beiden Entnahmeregimes für Bezugs- und Initialzustand bei mittleren Grundwasserverhältnissen an den Brunnen swa_212 und swa_218 dar. Abbildung 6.7 zeigt die analoge Darstellung für niedrige Grundwasserverhältnisse.







Die Pfadlinien bei Hochwasserverhältnissen sind für ein $HW_{\text{häufig}}$ in Abbildung 6.8 dargestellt, die entsprechende Darstellung für ein HW_{100} ist Abbildung 6.9 zu entnehmen.

Am Brunnen swa 819 kommt es im Initialzustand zu keiner Verlagerung des Einzugsgebiets. Abbildung 6.10 stellt die Pfadlinien am Beispiel eines Hochwassers (HW_{100}) dar. Die Einzugsgebiete sind bei mittlerer und erhöhter Entnahme jeweils im Bezugs- und Initialzustand identisch. Dies trifft auch auf niedrige und mittlere Grundwasserverhältnisse zu (ohne Darstellung).

Bei einer erhöhten Entnahme an den drei Brunnen erweitern sich die Einzugsgebiete in Bezugs- und Initialzustand in ähnlichem Umfang. Es ergibt sich damit auch bei einer erhöhten Entnahme keine wesentliche Verlagerung der Einzugsgebiete, die den in Kapitel 5.5.2 getroffenen Aussagen widersprechen.

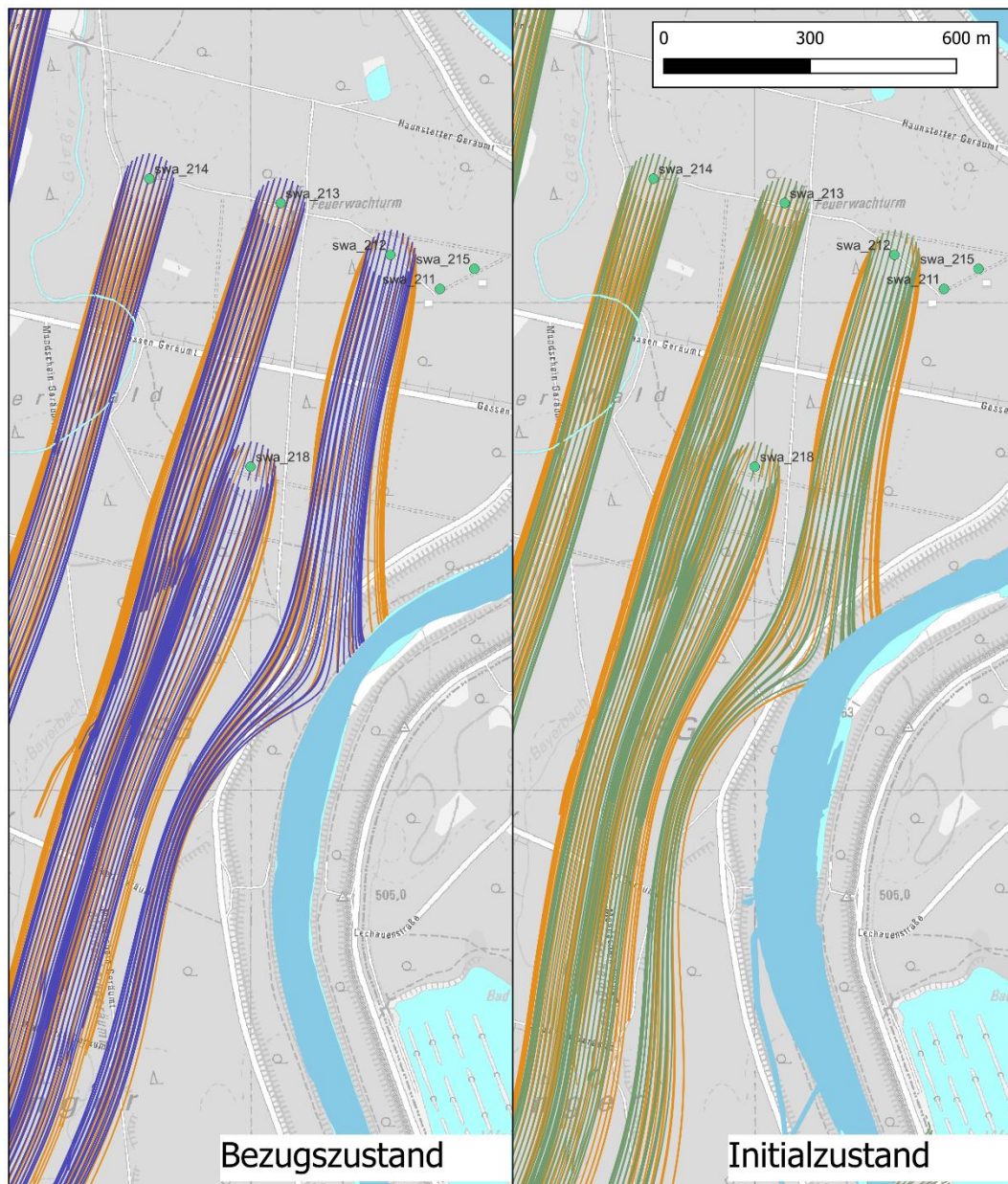


Legende







- | | |
|--|--|
|  Lech bei Mittelwasser | Trinkwasserentnahmen |
|  Stromlinien BZ |  Quartärbrunnen |
|  Stromlinien IZ |  Tertiärbrunnen |
|  Stromlinien b. erhöhter Entnahme | |

Kartenhintergrund: DTK25

Abbildung 6.6: Vergleich der Stromlinien bei mittleren Grundwasserverhältnissen bei einer mittleren und einer erhöhten Entnahme an drei Brunnenstandorten im Bezugs- und Initialzustand

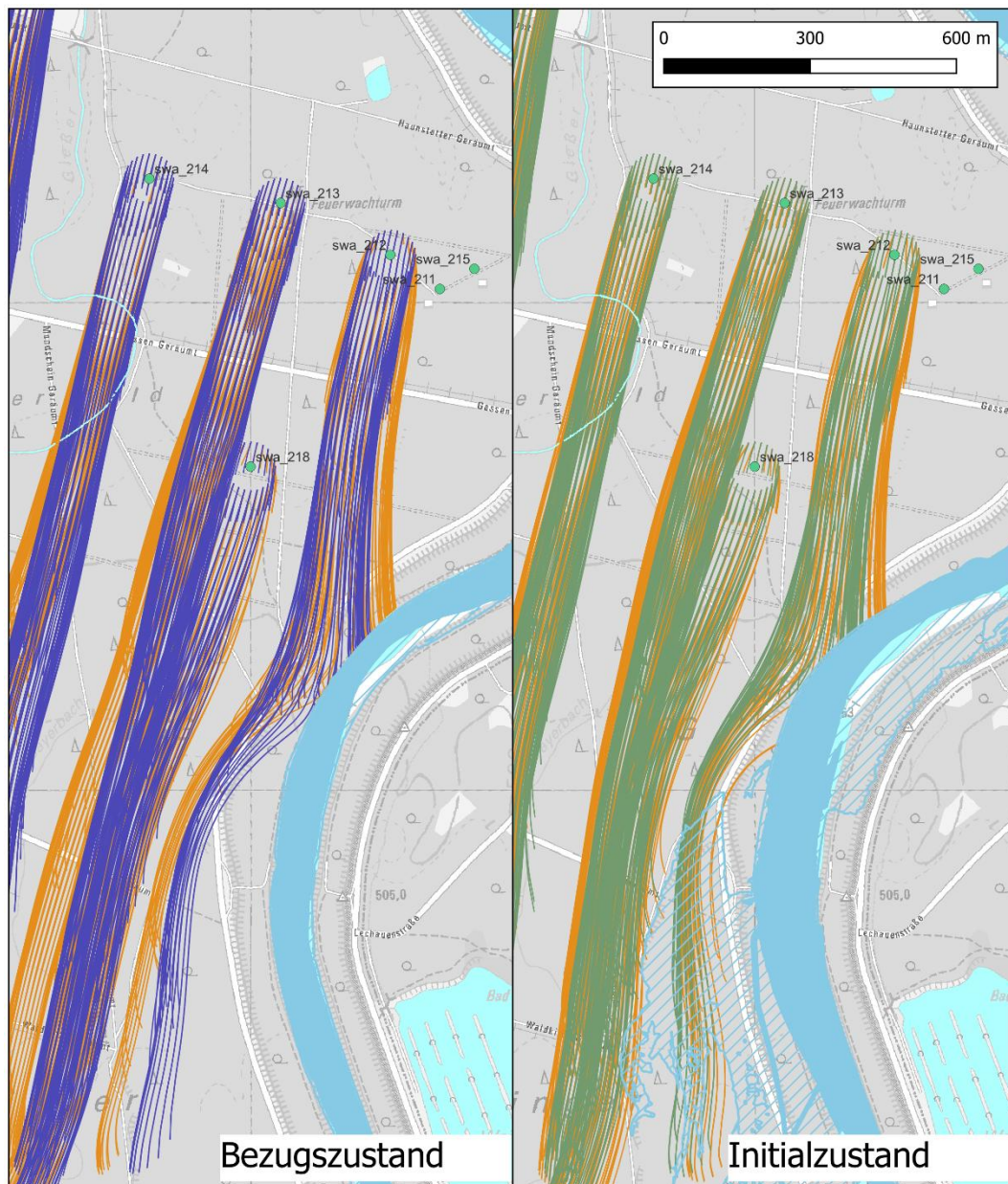


Legende







- | | |
|--|--|
|  Lech bei Mittelwasser | Trinkwasserentnahmen |
|  Stromlinien BZ |  Quartärbrunnen |
|  Stromlinien IZ |  Tertiärbrunnen |
|  Stromlinien b. erhöhter Entnahme | |

Kartenhintergrund: DTK25

Abbildung 6.7: Vergleich der Stromlinien bei niedrigen Grundwasserverhältnissen bei einer mittleren und einer erhöhten Entnahme an drei Brunnenstandorten im Bezugs- und Initialzustand

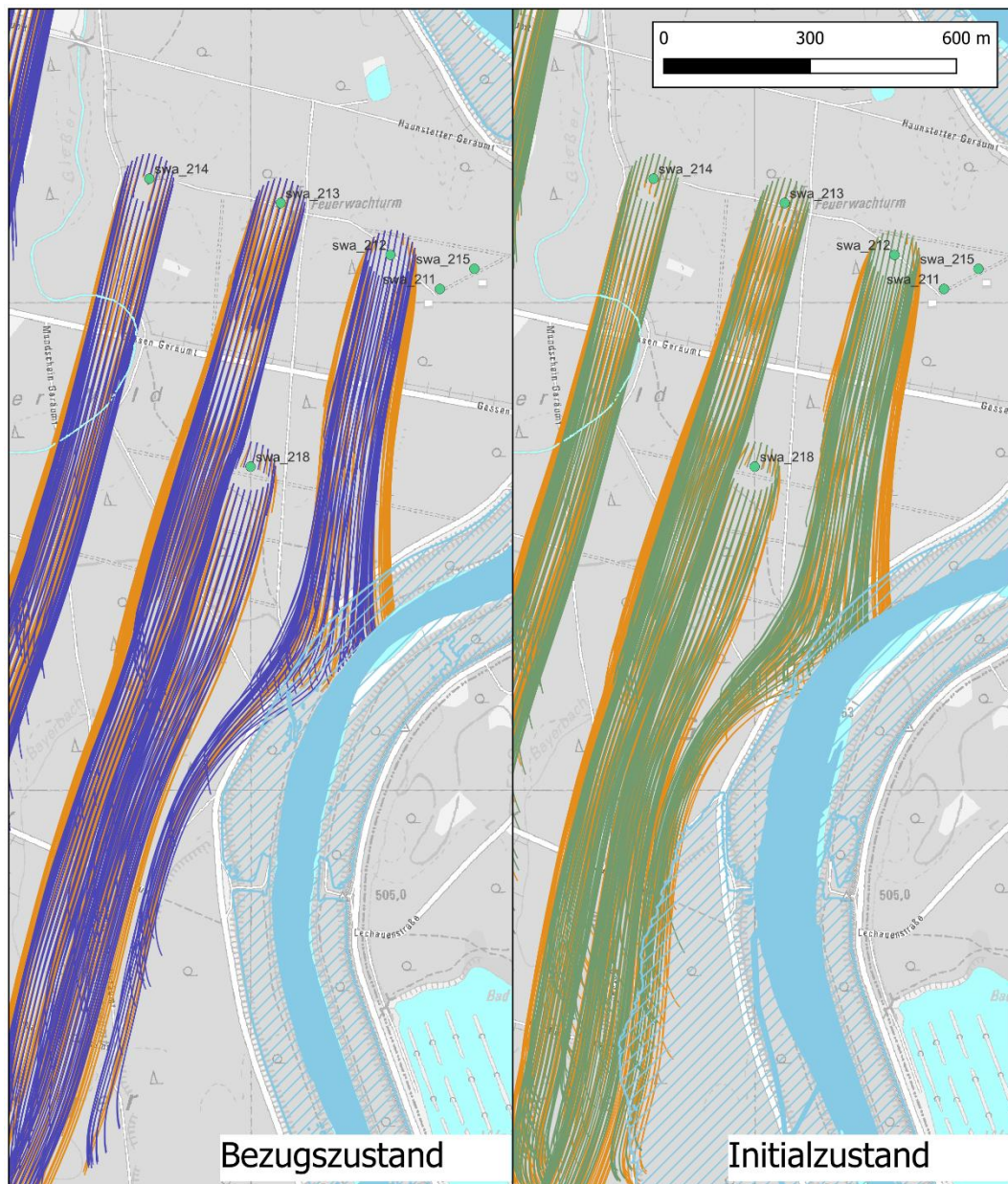


Legende







- | | |
|--|--|
|  Lech bei Mittelwasser | Trinkwasserentnahmen |
|  Stromlinien BZ |  Quartärbrunnen |
|  Stromlinien IZ |  Tertiärbrunnen |
|  Stromlinien b. erhöhter Entnahme | |

Kartenhintergrund: DTK25

Abbildung 6.8: Vergleich der Pfadlinien bei Hochwasserverhältnissen ($HW_{\text{häufig}}$) bei einer mittleren und einer erhöhten Entnahme an drei Brunnenstandorten im Bezugs- und Initialzustand

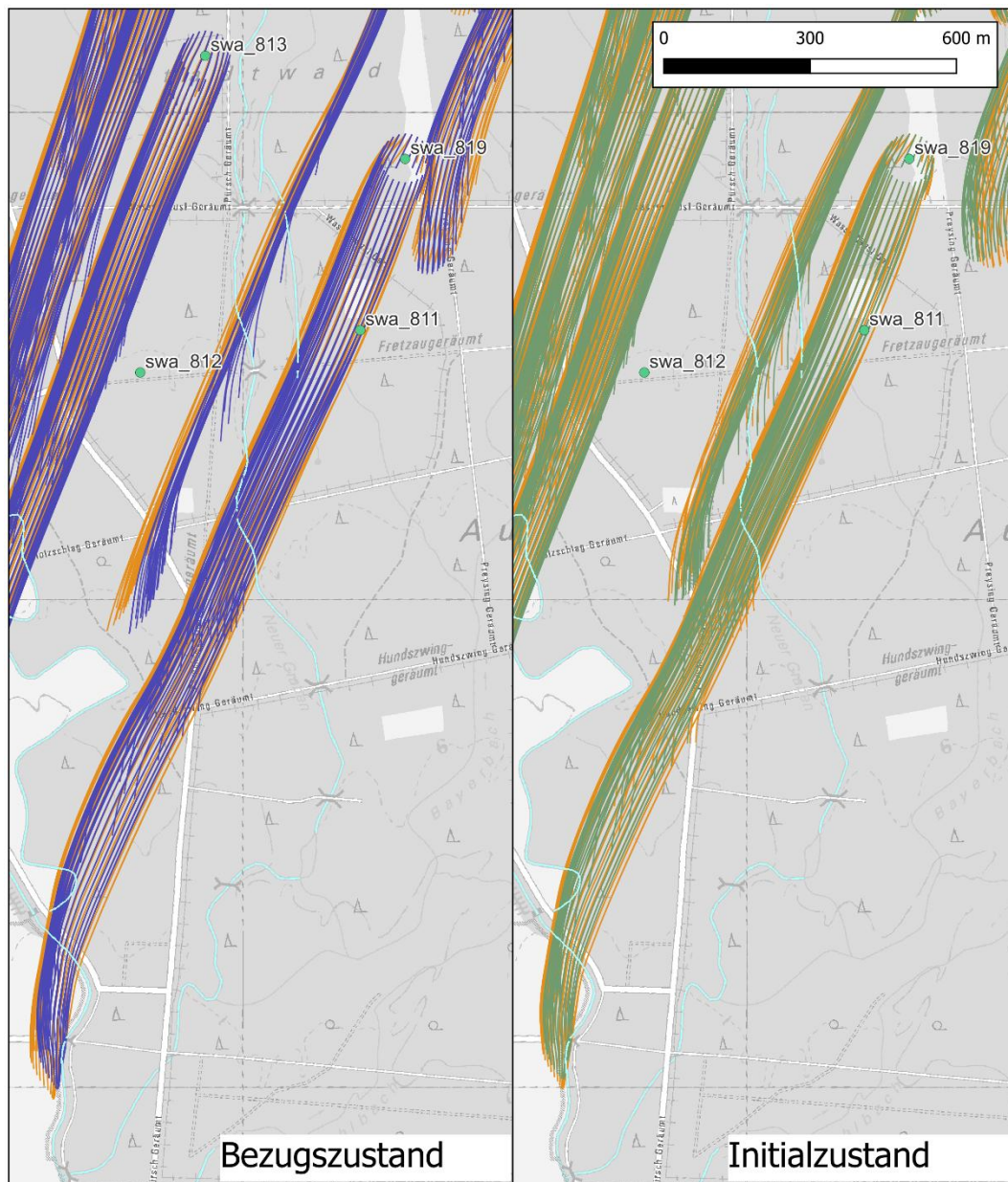


Legende







- | | |
|--|--|
|  Lech bei Mittelwasser | Trinkwasserentnahmen |
|  Stromlinien BZ |  Quartärbrunnen |
|  Stromlinien IZ |  Tertiärbrunnen |
|  Stromlinien b. erhöhter Entnahme | |

Kartenhintergrund: DTK25

Abbildung 6.9: Vergleich der Pfadlinien bei Hochwasserverhältnissen (HW_{100}) bei einer mittleren und einer erhöhten Entnahme an drei Brunnenstandorten im Bezugs- und Initialzustand



Legende

- | | |
|--|--|
|  Lech bei Mittelwasser | Trinkwasserentnahmen |
|  Stromlinien BZ |  Quartärbrunnen |
|  Stromlinien IZ |  Tertiärbrunnen |
|  Stromlinien b. erhöhter Entnahme | |

Kartenhintergrund: DTK25

Abbildung 6.10: Vergleich der Pfadlinien bei Hochwasserverhältnissen (HW_{100}) bei einer mittleren und einer erhöhten Entnahme an drei

Brunnenstandorten im Bezugs- und Initialzustand am Brunnen
swa_819

6.4 Fazit der Betrachtung einer höheren Entnahme

Die Auswertungen zeigen, dass die bezüglich mittleren Entnahmen getroffenen Aussagen zu den Einzugsgebieten (Kapitel 4.4 und 5.5) auch für eine Erhöhung der Entnahme an den Trinkwasserbrunnen swa_212, swa_218 und swa_819 gültig sind. Die Erhöhung der Entnahme führt im Bezugs-, Initial- und Endzustand gleichermaßen zu einem gering breiteren Brunneneinzugsgebiet. Dies führt im Endzustand dazu, dass zeitweise Wasser aus dem unterstromigen Bereich der Rampe zum Brunnen swa_212 strömt. Dennoch verbessert sich die Situation im Vergleich zum Bezugzustand, im Bezugzustand stammen etwa 2/3 des Wassers aus dem Bereich der Rampe.

7 Fazit

Im Rahmen der vorliegenden Objektplanung wurde das Grundwassermodell Licca Liber weiterentwickelt. Mit dem Grundwassermodell wird ein längerer, zusammenhängender Zeitraum betrachtet, der neben niedrigen, mittleren und außergewöhnlich hohen Grundwasserständen (HW_{100}) auch den Zeitraum eines häufigen Hochwassers umfasst. Das Modell wurde weiterhin in das amtliche Koordinatensystem ETRS89 übertragen und das Höhenmodell auf den derzeit gültigen Standard DHHN16 gebracht.

Das Modell bildet neben dem auch in den weiterführenden Untersuchungen betrachteten Endzustand zusätzlich auch den Initialzustand ab. Im Initialzustand wurden die Sohlrampen bereits gebaut, während Deiche nur zum Teil zurückverlegt wurden und Sekundärrauen nur abschnittsweise umgesetzt sind (s. Kapitel „Wichtige Begriffe“).

Sowohl im End- als auch im Initialzustand sind am Auen- und Weitmannsee Überfallwehre von 3 bzw. 5 m Breite vorgesehen, die im gegenwärtigen Zustand so noch nicht existieren. Diese Wehre kompensieren, dass der Lech in der Planung mehr Wasser an das Grundwasser verlieren wird (Infiltration). Ohne diese Wasserentnahme aus den Seen würden sich die Grundwasserstände auf großer Fläche erhöhen. An Auen- und Weitmannsee werden Gewässer eingerichtet, die über die Wehre abfließendes Wasser zurück in den Lech führen.

Kuh-, Auen- und Weitmannsee profitieren in Niedrigwasserphasen von Licca liber durch die im Vergleich zum Bezugszustand höheren See-Wasserspiegel. Bei mittleren Verhältnissen bleiben die See-Wasserspiegel in etwa gleich, während die Wasserspiegel im Hochwasserfall im Vergleich zum Bezugszustand abgesenkt werden.

Die Veränderungen des Grundwasserspiegels sind weitgehend positiv. In Phasen mit eher niedrigen Grundwasserständen (d.h. unterhalb von mittleren Verhältnissen) führt Licca liber zu einer deutlichen Anhebung des Grundwasserspiegels. Ferner zeigen die Auswertungen, dass durch Licca Liber Grundwasserhöchststände insbesondere im Siedlungsgebiet Kissings reduziert werden. In Königsbrunn, Haunstetten und Hochzoll sind keine Veränderungen der Grundwasserstände bei mittleren und hohen Grundwasserverhältnisse zu erwarten. Für einige Gebäuden im Stadtwald (Siebenbrunn/Hugenottenweg) ergibt sich eine leichte Erhöhung des Grundwasserstands durch Licca liber. Die Auswertungen deuten darauf hin, dass sich nach Umsetzung von Licca liber keine völlig neuen Betroffenheiten für bestehende Keller ergeben. Wir empfehlen jedoch Grundwasserstände im Umfeld der Gebäude durch ein Monitoring zu beobachten.

Das Einzugsgebiet des Trinkwasserbrunnens Kissings verändert sich durch Licca liber nicht. Die Einzugsgebiete der Trinkwasserbrunnen der SWA bleiben auch weitgehend gleich. Während der Endzustand eher zu positiven Verlagerungen der Brunnen-Einzugsgebiete führt, ähneln die Ergebnisse des Initialzustands in Bezug auf die Einzugsgebiete den Ergebnissen des Bezugzustands. So erhalten Trinkwasserbrunnen im Initialzustand im Hochwasserfall Wasser aus Ausuferungsflächen des Lechs, während diese Brunnen im Bezugzustand Wasser aus Bereichen mit lechbürtigem Qualmwasser beziehen. Bei mittleren und niedrigen Grundwasserverhältnissen sind die Einzugsgebiete des Initialzustands qualitativ lagegleich. Zusätzlich wurde untersucht, ob sich aus einer höheren Entnahme an einigen lechnahen Trinkwasserbrunnen andere Erkenntnisse ableiten lassen. Es kann nachgewiesen werden, dass dies nicht der Fall ist.

8 Literaturverzeichnis

- ARGE SKI KUP UIBK. (2017). *Licca Liber - Weiterführende Untersuchungen - Anlage 4.1 Hydraulik – Modellaufbau und -anpassung.*
- ARGE SKI KUP UIBK. (2018-2). *Licca Liber - Weiterführende Untersuchungen - Anlage 6.2 - Aufbau und Anpassung des Grundwassermodells.*
- ARGE SKI KUP UIBK. (2019). *Weiterführende Untersuchungen - Anlage 6.4 - Bericht zum Planungszustand.*
- ARGE SKI KUP UIBK. (2019-1). *Licca Liber - Weiterführende Untersuchungen - Anlage 6.3 - Bericht zum Bezugszustand.*
- ARGE SKI Revital. (2023). *Licca Liber, Abschnitt 1 - Erläuterungsbericht .*
- Bundesamt für Kartographie und Geodäsie. (2012). *CORINE Land Cover 10 ha.*
- DVGW. (2016). *Technische Regel - Arbeitsblatt DVGW W 107 (A) - Aufbau und Anwendung numerischer Grundwassermodelle in Wassergewinnungsgebieten.*
- Mayr, M.-T. (1996). *Erläuterungsbericht zum Landschaftspflegerischen Begleitplan - Ökologischer Ausbau des Auensees.* Neusäss.
- WWA Donauwörth. (2023). *Oberkante des Wehrs am Weitmannsee.*

Anhang A Ermittlung eines Mittelwasser-Stichtags

Mit dem Grundwassermodell soll die gesamte Bandbreite der in der Natur auftretenden Grundwasserstände abgebildet werden. Dies bedeutet, dass der gewählte Betrachtungszeitraum so gewählt wird, dass er nicht nur die aktuellen Bedingungen innerhalb dieses Zeitraums berücksichtigt, sondern auch repräsentativ für Verhältnisse außerhalb dieses Zeitraums ist. Der Zeitraum um das Jahr 2005 beinhaltet neben dem hundertjährigen Hochwasser im August 2005 auch ausgeprägte Niedrigwasserphasen, sodass dieser Zeitraum für die Untersuchung geeignet ist.

Aus den Grundwasserstandsganglinien im Stadtwald und östlich des Lechs wurde für alle Grundwassermessstellen im Zeitraum 2004 bis einschließlich 2007 der mittlere und der niedrigste Grundwasserstand berechnet. Anschließend wurde für jede Ganglinie die Differenz zwischen gemessenen Tageswert des Grundwasserstands und MW bzw. NW berechnet. Anschließend werden die Differenzen aller Messstellen je Tag aufsummiert:

$$Diff.MW(t) = \sum_{1}^{n_{GWM}} GWS_{GWM\ n}(t) - MW_{GWM\ n}$$

Bzw.

$$Diff.NW(t) = \sum_{1}^{n_{GWM}} GWS_{GWM\ n}(t) - NW_{GWM\ n}$$

Mit:

MW: Mittlerer Grundwasserstand

NW: Niedrigster Grundwasserstand

GWM n: nte Grundwassermessstelle

Ein Tag mit mittleren Verhältnissen liegt vor, wenn die Summe aller Differenzen (MW) möglichst nahe Null liegt:

- Abbildung 8.1: Darstellung des Gesamtzeitraums
- Abbildung 8.2: Detailansicht um MW-Stichtag am 9.07.2005

Ein Tag mit niedrigen Grundwasserständen, wenn die Summe aller Differenzen einen möglichst geringen Wert ergibt:

- Abbildung 8.3: Darstellung Gesamtzeitraum
- Abbildung 8.4: Darstellung um den NW-Stichtag am 14.02.06

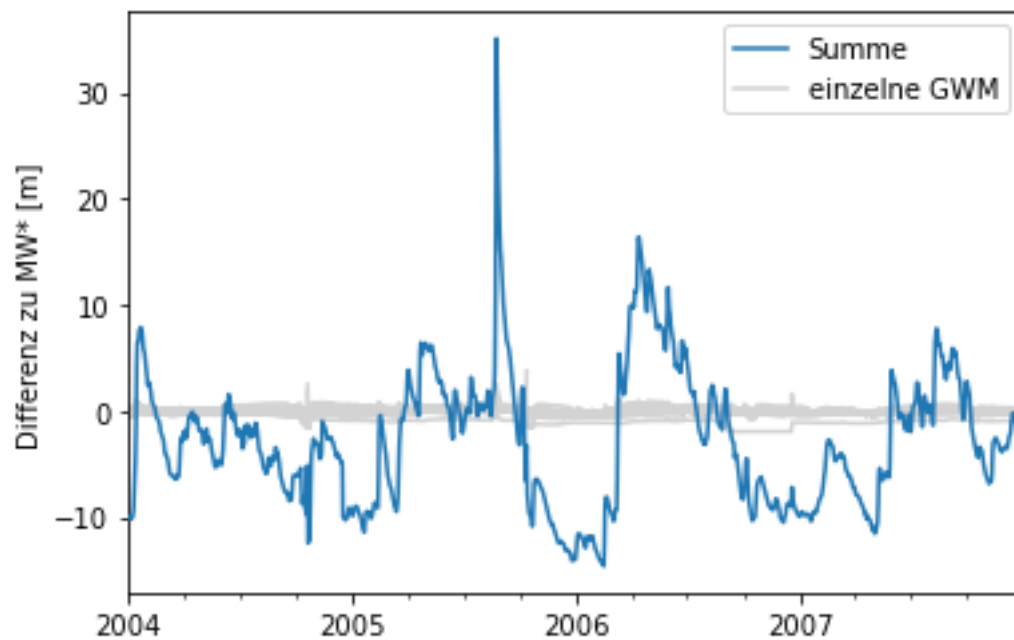


Abbildung 8.1: Summe aller Differenzen zwischen gemessenem Grundwasserstand und mittlerem Grundwasserstand je Grundwassermessstelle und individueller Differenz

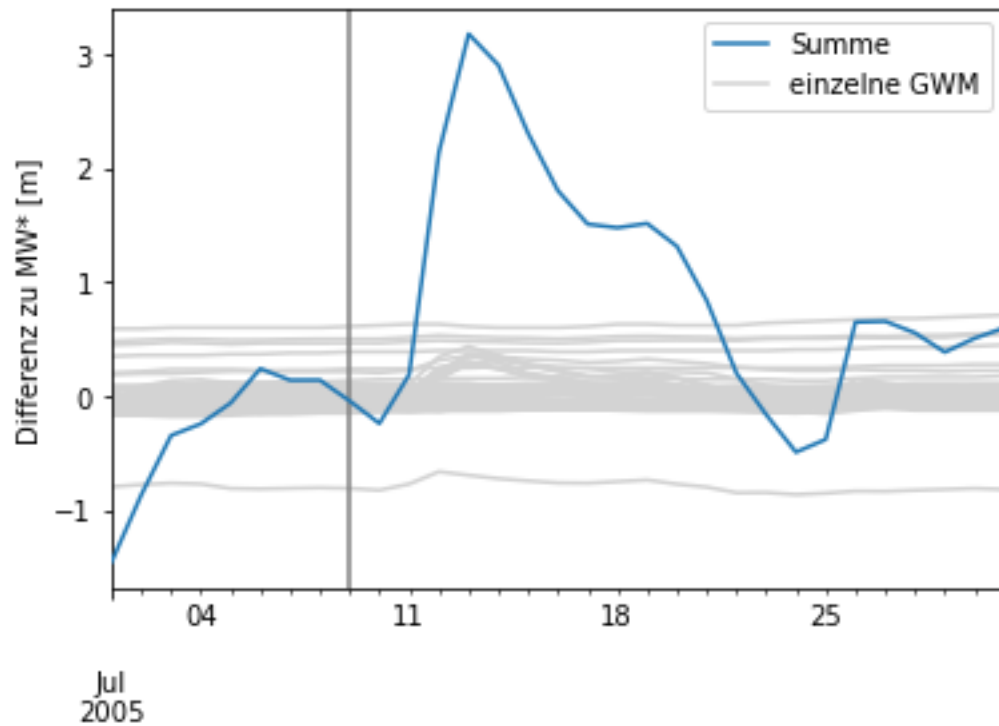


Abbildung 8.2: Detailansicht Juli 2005: Summe aller Differenzen zwischen gemessenem Grundwasserstand und mittlerem Grundwasserstand je Grundwassermessstelle und individueller Differenz

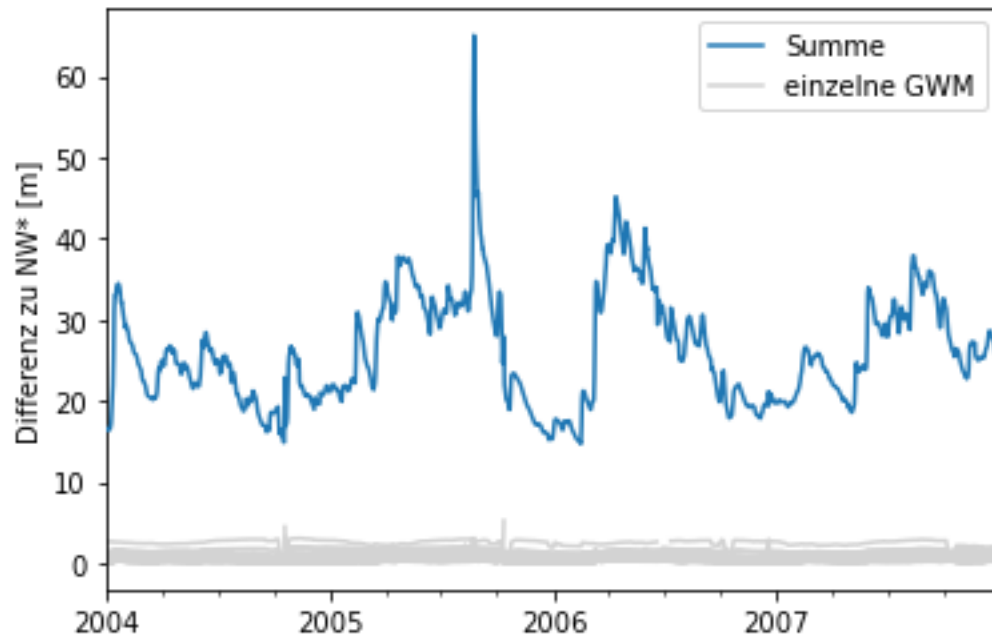


Abbildung 8.3: Summe aller Differenzen zwischen gemessenem Grundwasserstand und niedrigstem Grundwasserstand je Grundwassermessstelle und individueller Differenz

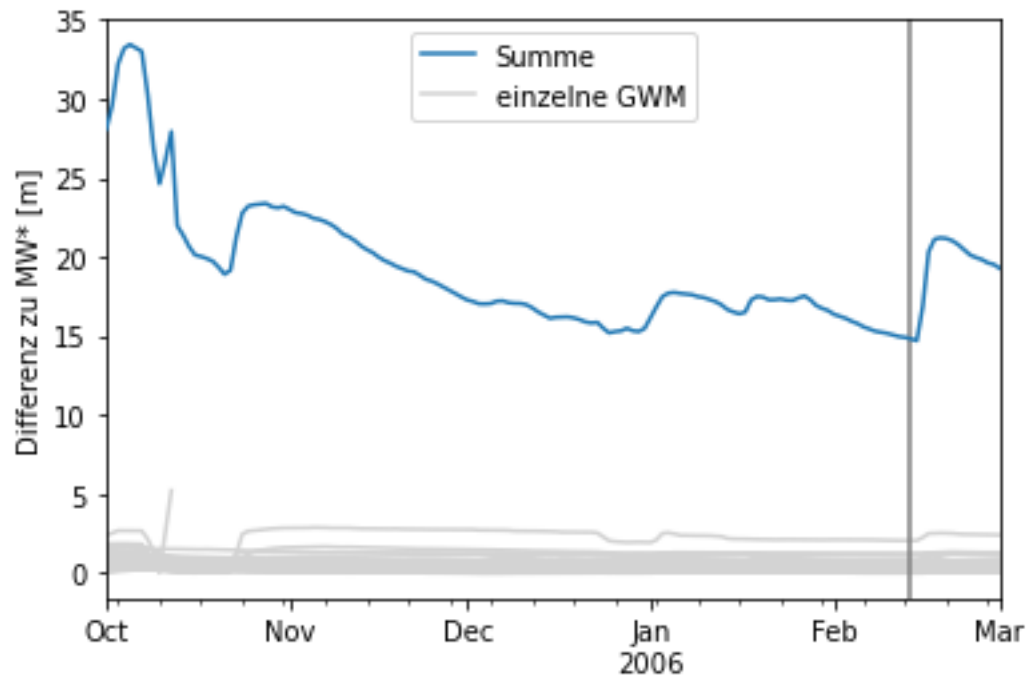


Abbildung 8.4: Detailansicht Oktober 2005 bis Februar 2006: Summe aller Differenzen zwischen gemessenem Grundwasserstand und niedrigstem Grundwasserstand je Grundwassermessstelle und individueller Differenz

Anhang B Generierung von instationären Wasserspiegeln aus stationären Wasserspiegelberechnungen

Für das Grundwassermodell sind instationäre Lech-Wasserspiegel als Randbedingung erforderlich. Diese Lech-Wasserspiegel werden aus stationär mit Oberflächengewässermodellen berechneten Wasserspiegellagen generiert. Dazu müssen diese flächig vorliegenden Wasserspiegel auf die benetzten Knoten des Grundwassermodells übertragen werden. Im Ergebnis soll jeder Knoten eine individuelle Ganglinie des Wasserstands erhalten. Im Folgenden wird das Vorgehen zur Generierung von instationären Gewässerrandbedingungen allgemein beschrieben.

1. Angenommen es liegen folgende Wasserspiegelberechnungen für ein Gewässer vor:
 - a. $WSP_{Simulation}(MQ)$
 - b. $WSP_{Simulation}(HQ5)$
 - c. $WSP_{Simulation}(HQ100)$
2. Zunächst werden diese auf die Modellknoten des Grundwassermodells interpoliert (z.B. über das Inverse Distanzverfahren), es liegen folgende Werte am Modellknoten X, Y vor
 - a. $WSP_{x,y}(MQ)$
 - b. $WSP_{x,y}(HQ5)$
 - c. $WSP_{x,y}(HQ100)$
3. An der nächstgelegenen Abflussmessstelle liegen folgende Werte vor:
 - a. $WSP_{Messstelle}(MQ)$: Wasserspiegel MQ
 - b. $WSP_{Messstelle}(1.1.2000)$: Wasserspiegel am 1.1.2000
 - c. $WSP_{Messstelle}(HQ5)$: Wasserspiegel HQ5
4. Anschließend soll für den 1.1.2000 ein flächiger Wasserspiegel für das Gewässer berechnet werden. An der nächstgelegenen Abflussmessstelle lag an diesem Tag ein mittlerer Abfluss von 7 m³/s vor.
 Der Wasserspiegel am 1.1.2000 muss zwischen $MQ_{(X,Y)}$ und $HQ5_{(X,Y)}$ interpoliert werden.

$$WSP_{x,y}(1.1.2000)$$

$$= \frac{1}{(WSP_{Messstelle}(1.1.2000) - WSP_{Messstelle}(MQ))} * WSP_{x,y}(MQ) + \frac{1}{(WSP_{Messstelle}(HQ5) - WSP_{Messstelle}(1.1.2000))} * WSP_{x,y}(HQ5)$$

Wenn an den Gewässern Wasserstands-Abfluss-Beziehungen vorliegen, wird in einem Zwischenschritt der Wasserstand aus der Abflussganglinie errechnet, um die generierten Wasserspiegel etwas zu glätten.

Anhang C Anpassung der Kolmationsschicht am Weitmannsee

Durch die überarbeitete Umsetzung des Weitmannsees durch ein diskretes Element kommt es im Grundwassermodell zu einem Anstieg des See-Wasserspiegel. Dies führt zu einer Verschlechterung der Anpassung des Modells an die natürlichen Verhältnisse. Eine gute Übereinstimmung mit der Natur wurde wieder erzielt, in dem die am Nordufer vorhandene Kolmationsschicht in ihrer Ausdehnung etwas verkleinert wurde.

Im Modell der Weiterführenden Untersuchungen (ARGE SKI KUP UIBK, 2018-2) wurde bei Mittelwasserverhältnissen diese Änderung (Einbau diskretes Element und Minderung der Kolmationszone) testweise umgesetzt. Die Änderung des Grundwasserspiegels ist Abbildung 8.5 zu entnehmen. In diesem Bereich liegen nur wenige Messungen vor. Die Anpassungen haben keinen relevanten Einfluss auf die Anpassungsgüte des Grundwassermodells.

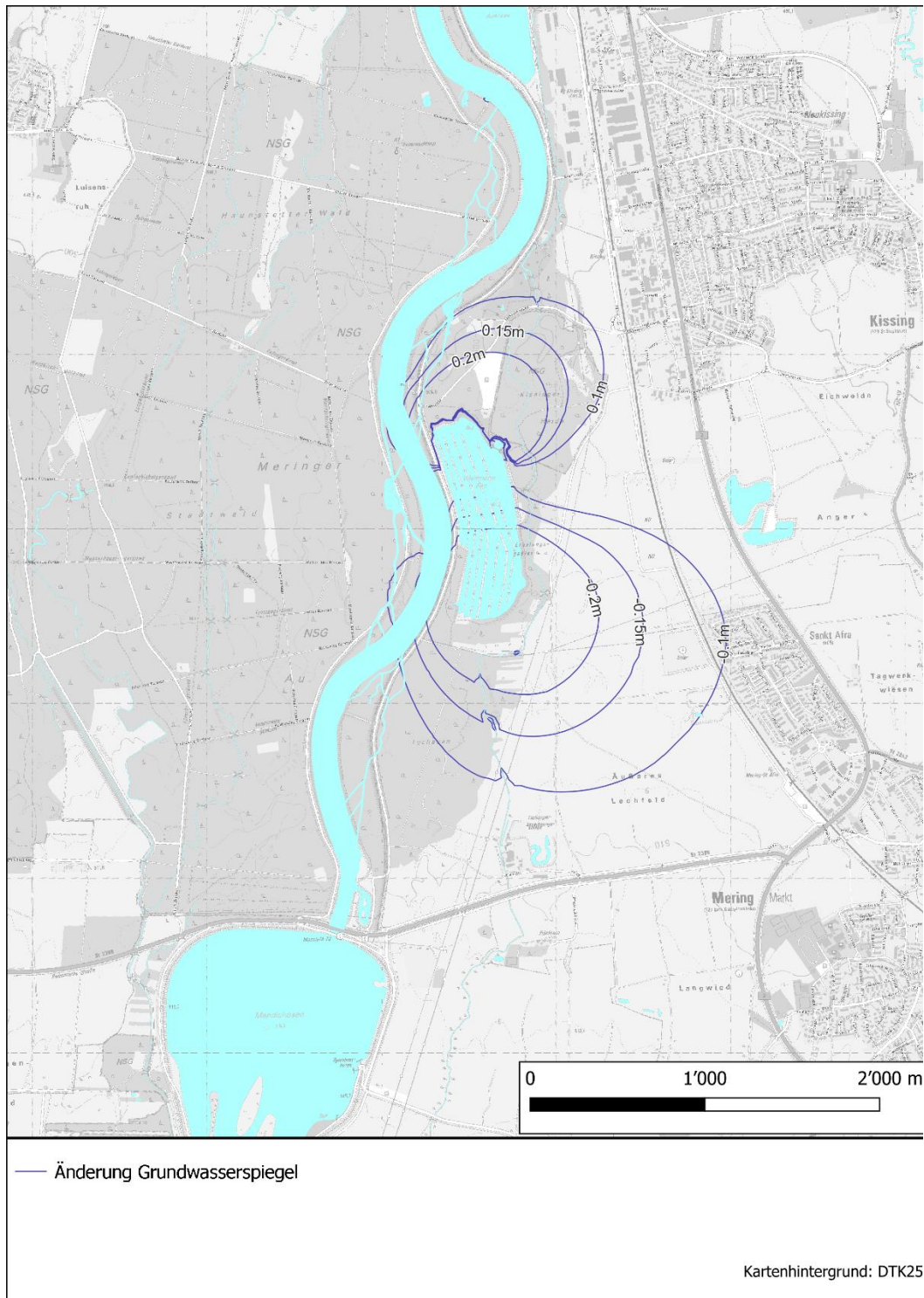


Abbildung 8.5: Änderung der Grundwasserstände im Umfeld des Weitmannsees im Vergleich zum kalibrierten Modell der Weiterführenden Untersuchungen bei Mittelwasser-Verhältnissen

Anhang D Strom- und Pfadlinien des Endzustands

D.1 Stromlinien des Endzustands bei MW-Verhältnissen

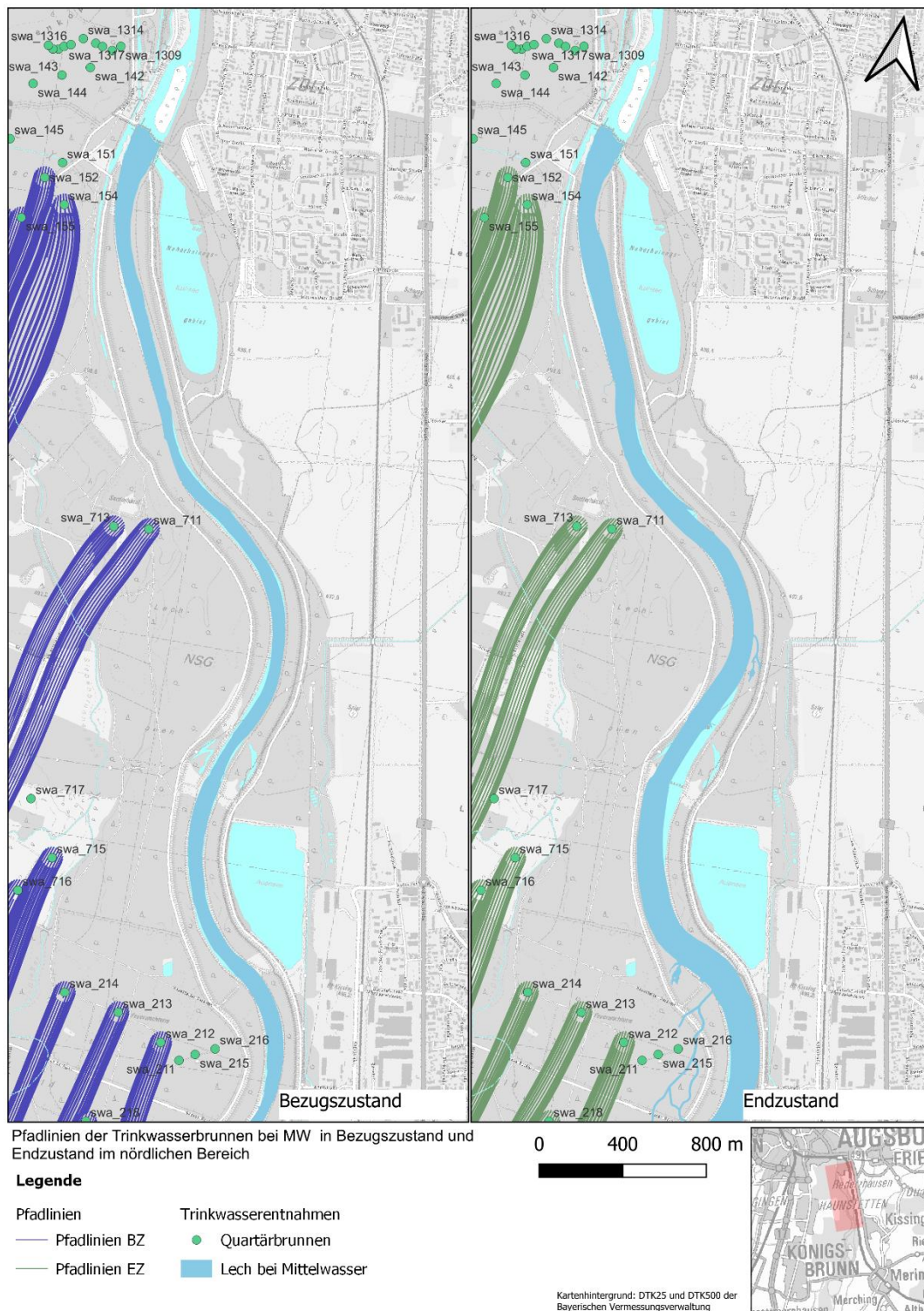


Abbildung 8.6: Stromlinien der Trinkwasserbrunnen im Bezugs- und Endzustand bei MW / Bereich Nord

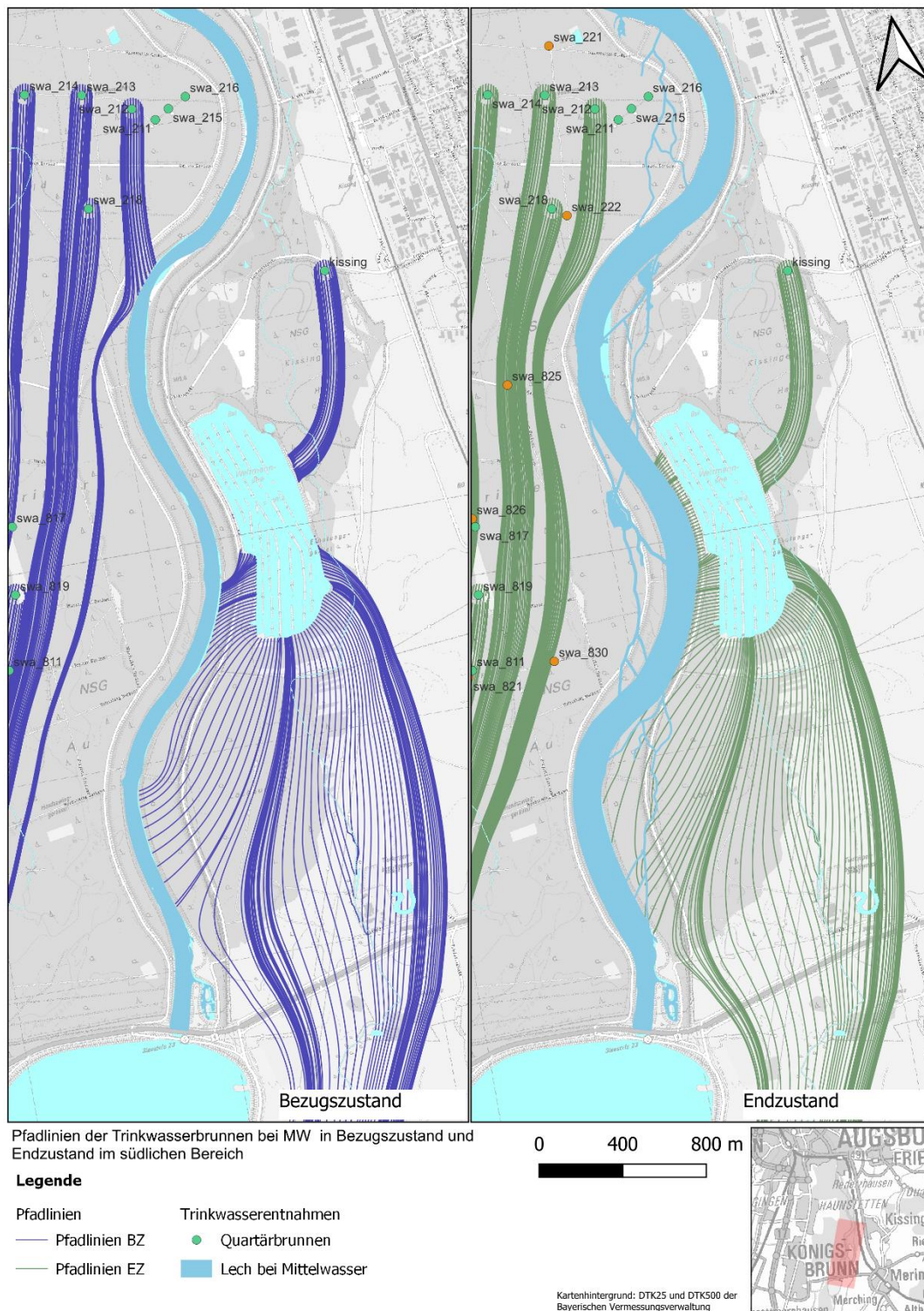
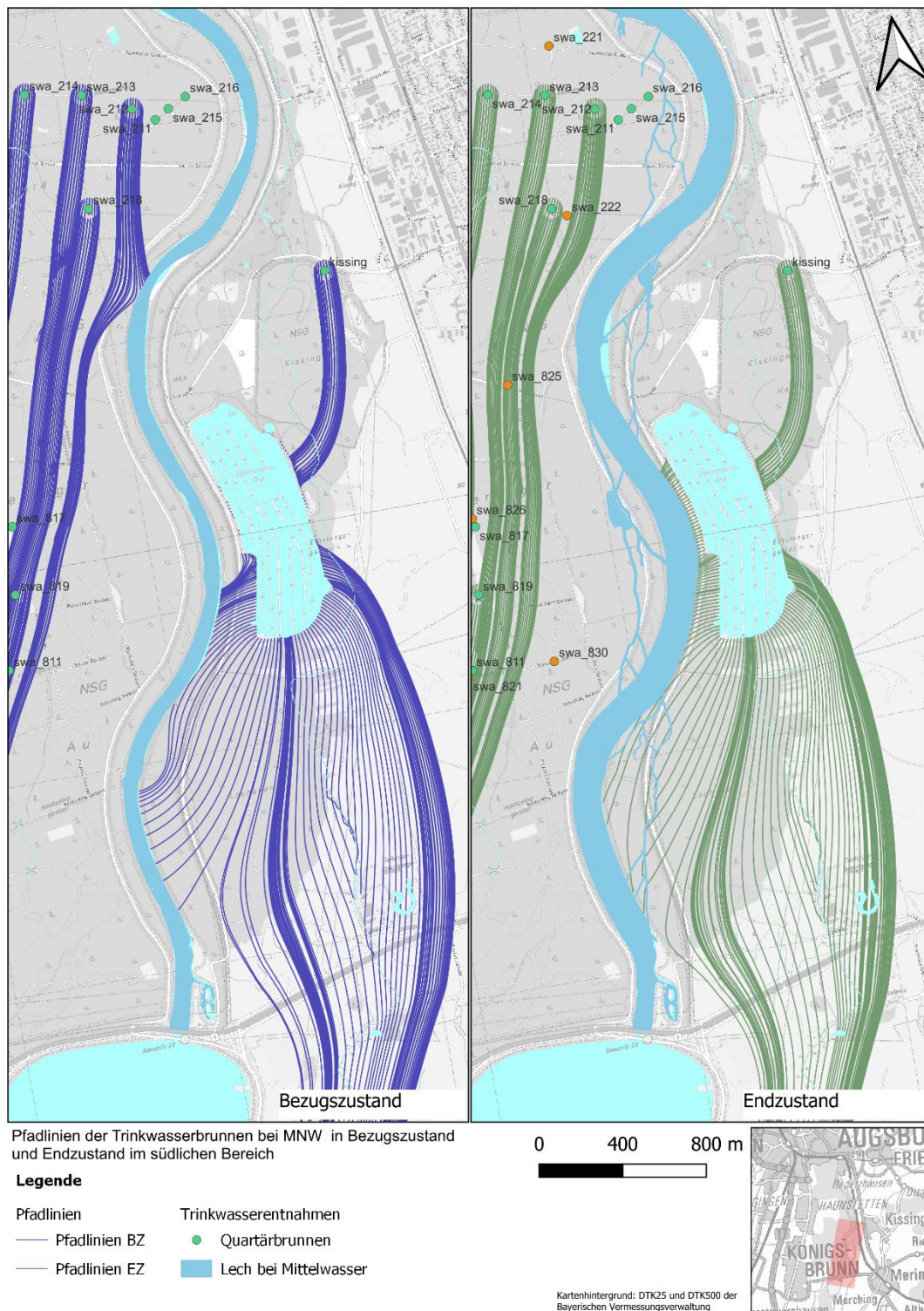


Abbildung 8.7: Stromlinien der Trinkwasserbrunnen im Bezugs- und Endzustand bei MW / Bereich Süd

D.2 Stromlinien des Endzustands bei MNW-Verhältnissen



Abbildung 8.8: Stromlinien der Trinkwasserbrunnen im Bezugs- und Endzustand bei MNW / Bereich Nord



D.3 Pfadlinien des Endzustands bei HWhäufig



Abbildung 8.10: Pfadlinien der Trinkwasserbrunnen im Bezugs- und Endzustand bei HWhäufig / Bereich Nord

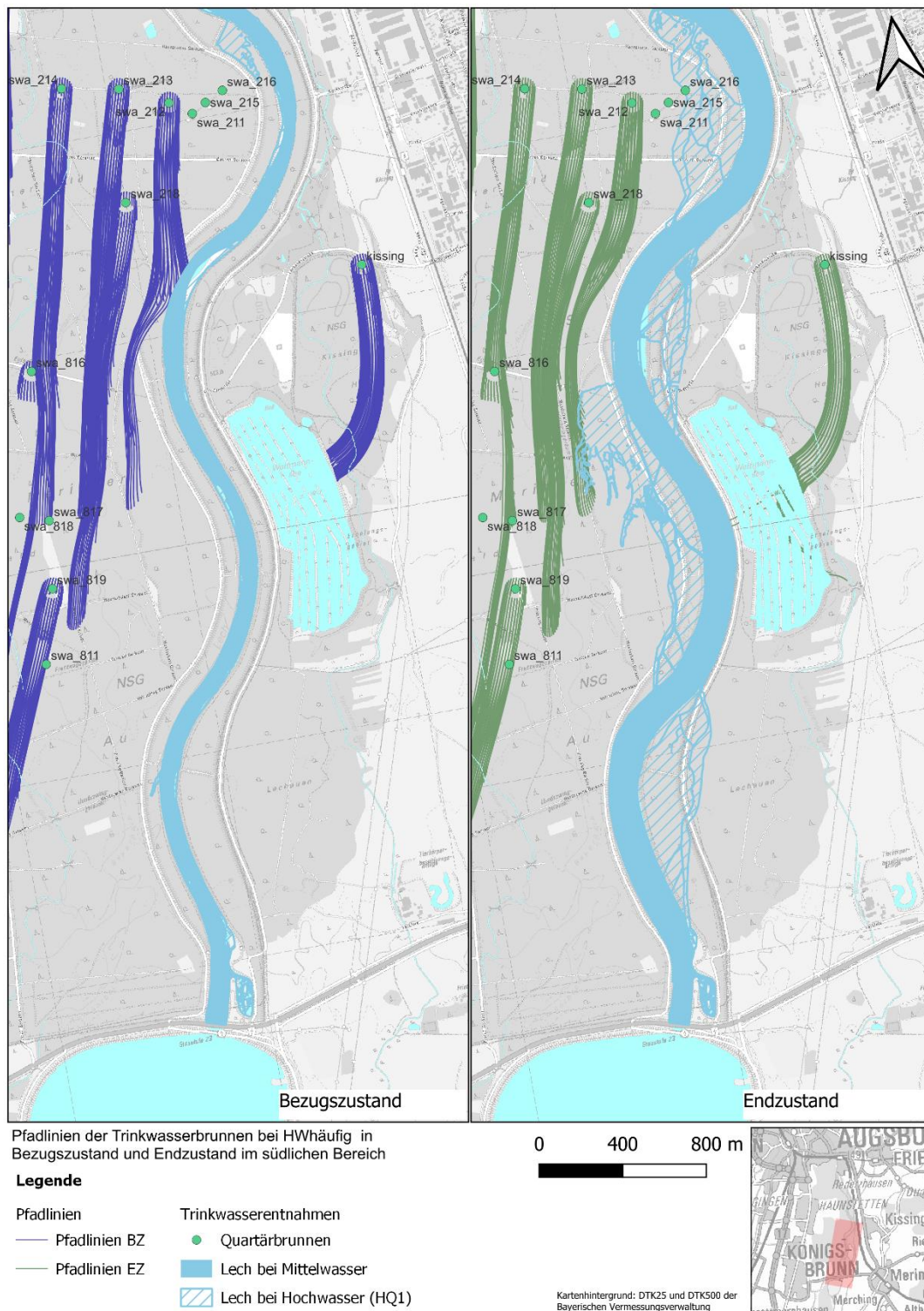


Abbildung 8.11: Pfadlinien der Trinkwasserbrunnen im Bezugs- und Endzustand bei HWhäufig / Bereich Süd

D.4 Pfadlinien des Endzustands bei HW100

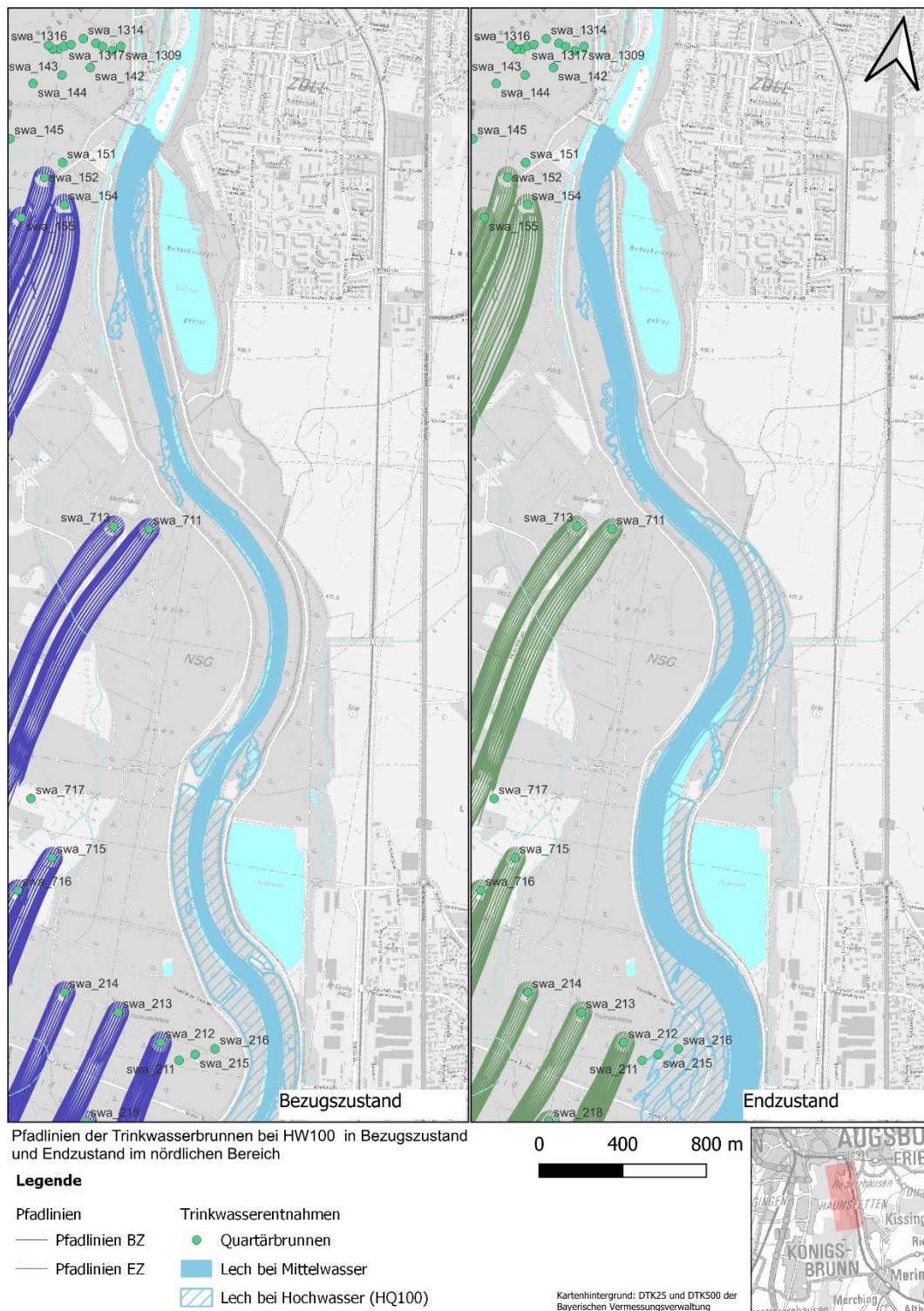


Abbildung 8.12: Pfadlinien der Trinkwasserbrunnen im Bezugs- und Endzustand bei HW100 / Bereich Nord

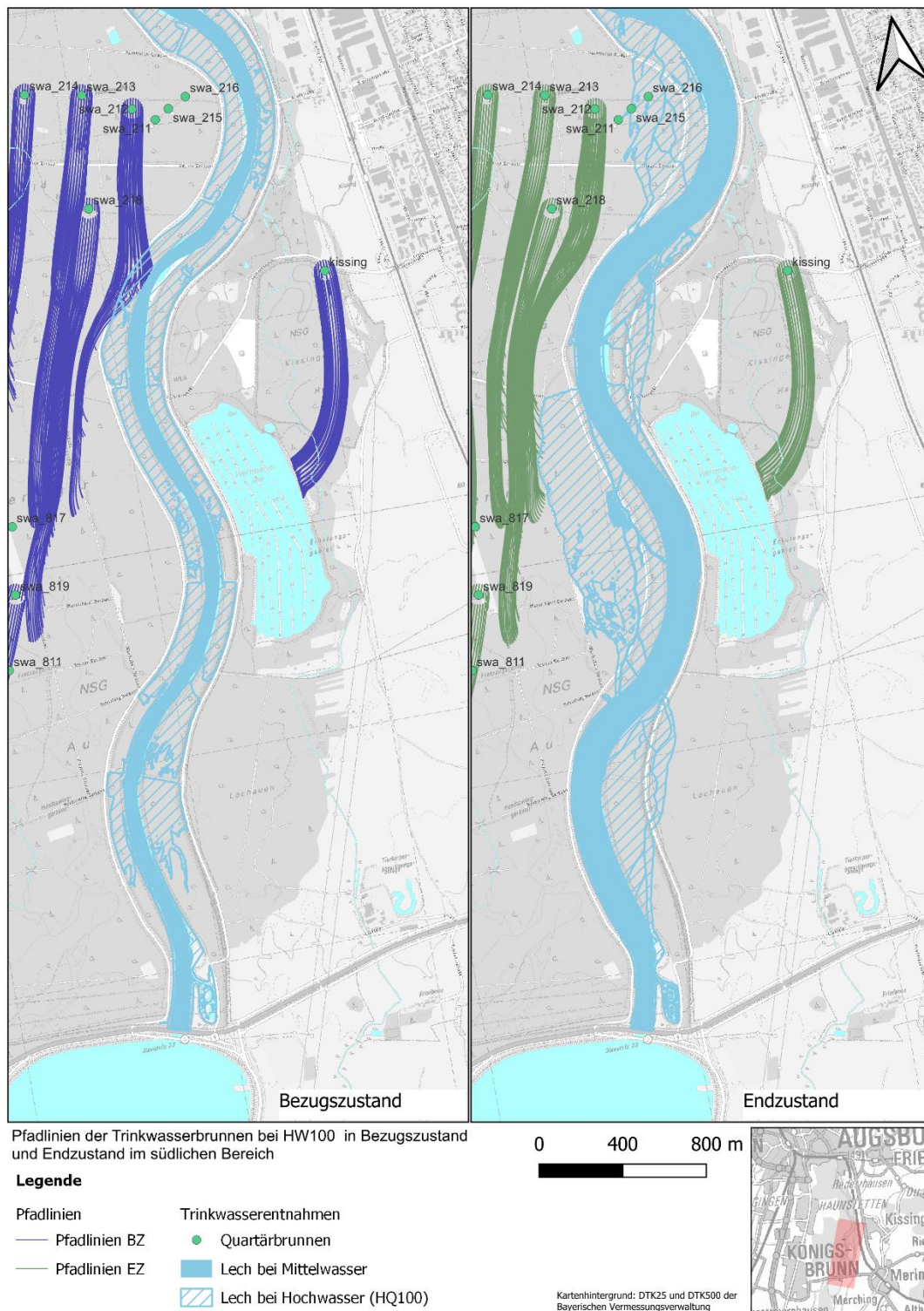


Abbildung 8.13: Pfadlinien der Trinkwasserbrunnen im Bezugs- und Endzustand bei HW100 / Bereich Süd

Anhang E Strom- und Pfadlinien des Initialzustands

E.1 Stromlinien des Initialzustands bei MW

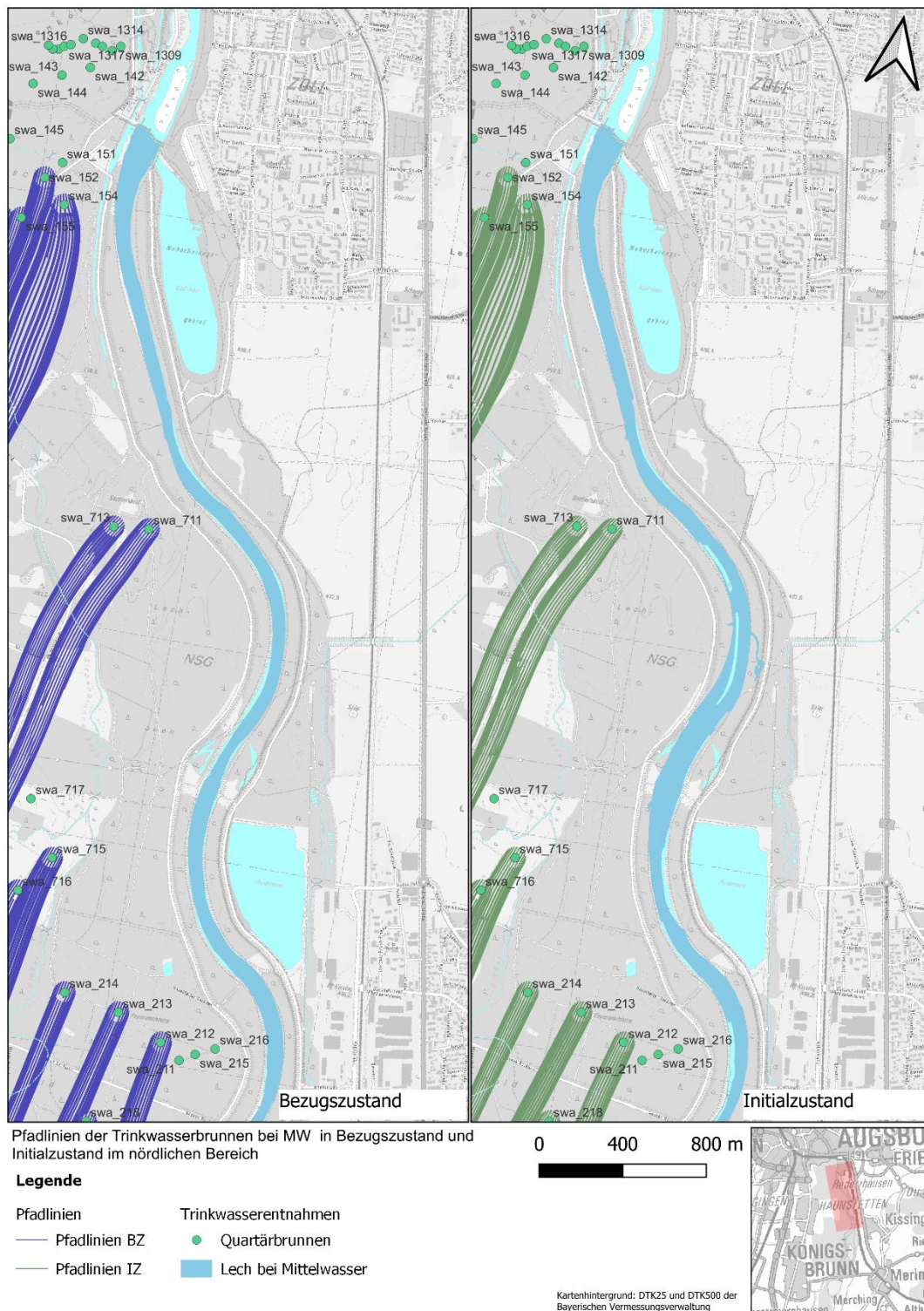


Abbildung 8.14: Stromlinien der Trinkwasserbrunnen im Bezugs- und Initialzustand bei MW / Bereich Nord

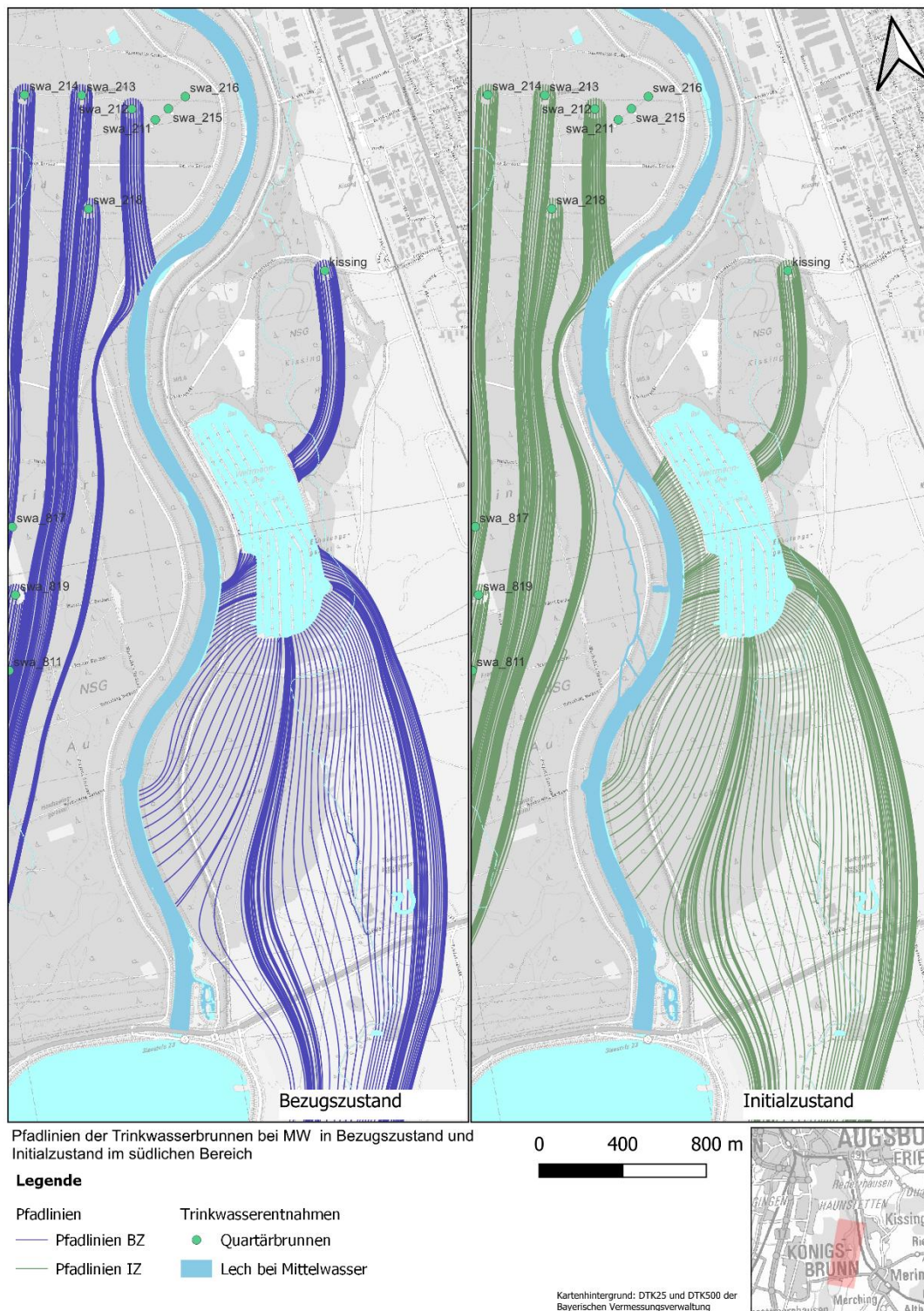


Abbildung 8.15: Stromlinien der Trinkwasserbrunnen im Bezugs- und Initialzustand bei MW / Bereich Süd

E.2 Stromlinien des Initialzustands bei MNW

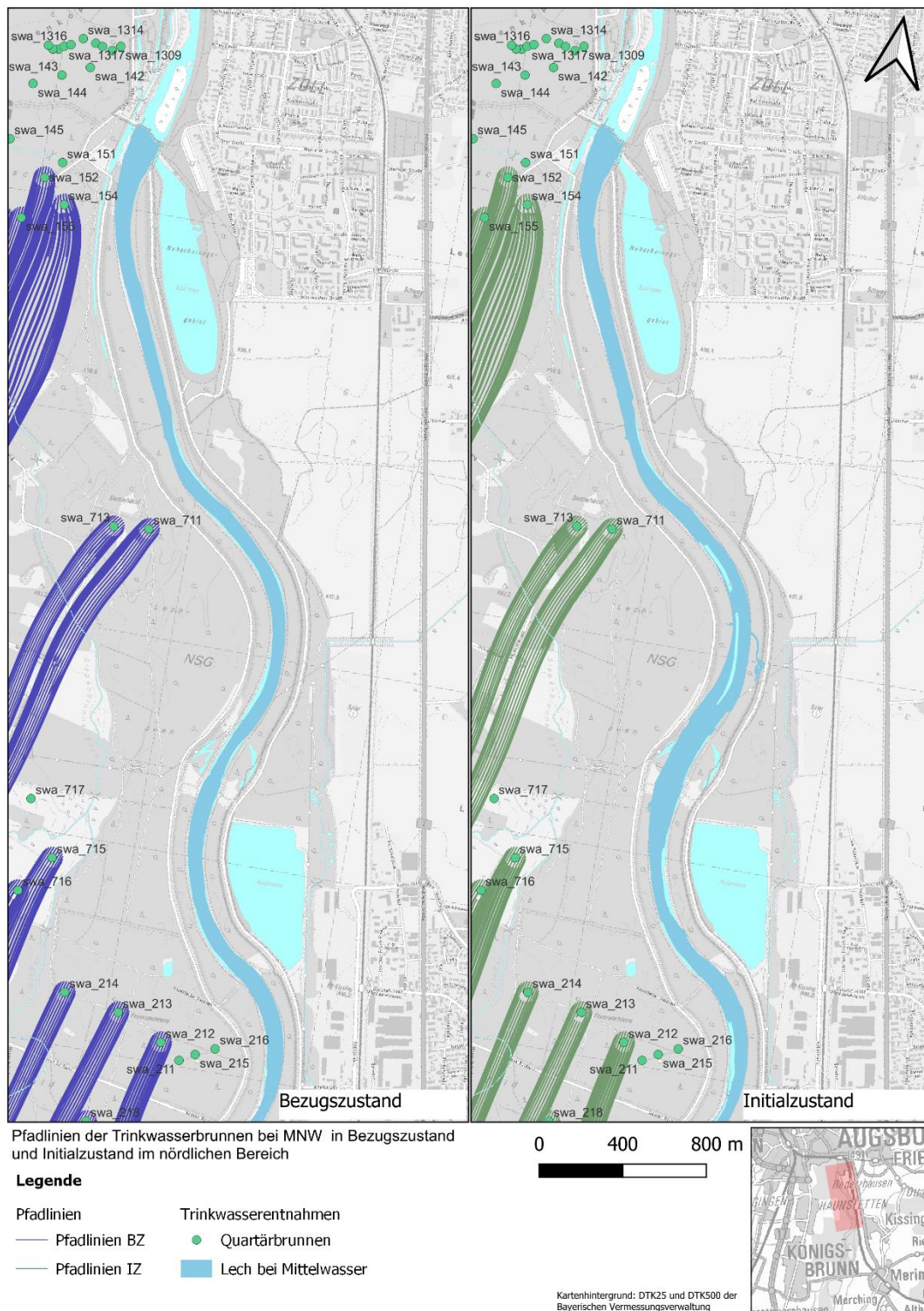


Abbildung 8.16: Stromlinien der Trinkwasserbrunnen im Bezugs- und Initialzustand bei MNW / Bereich Nord

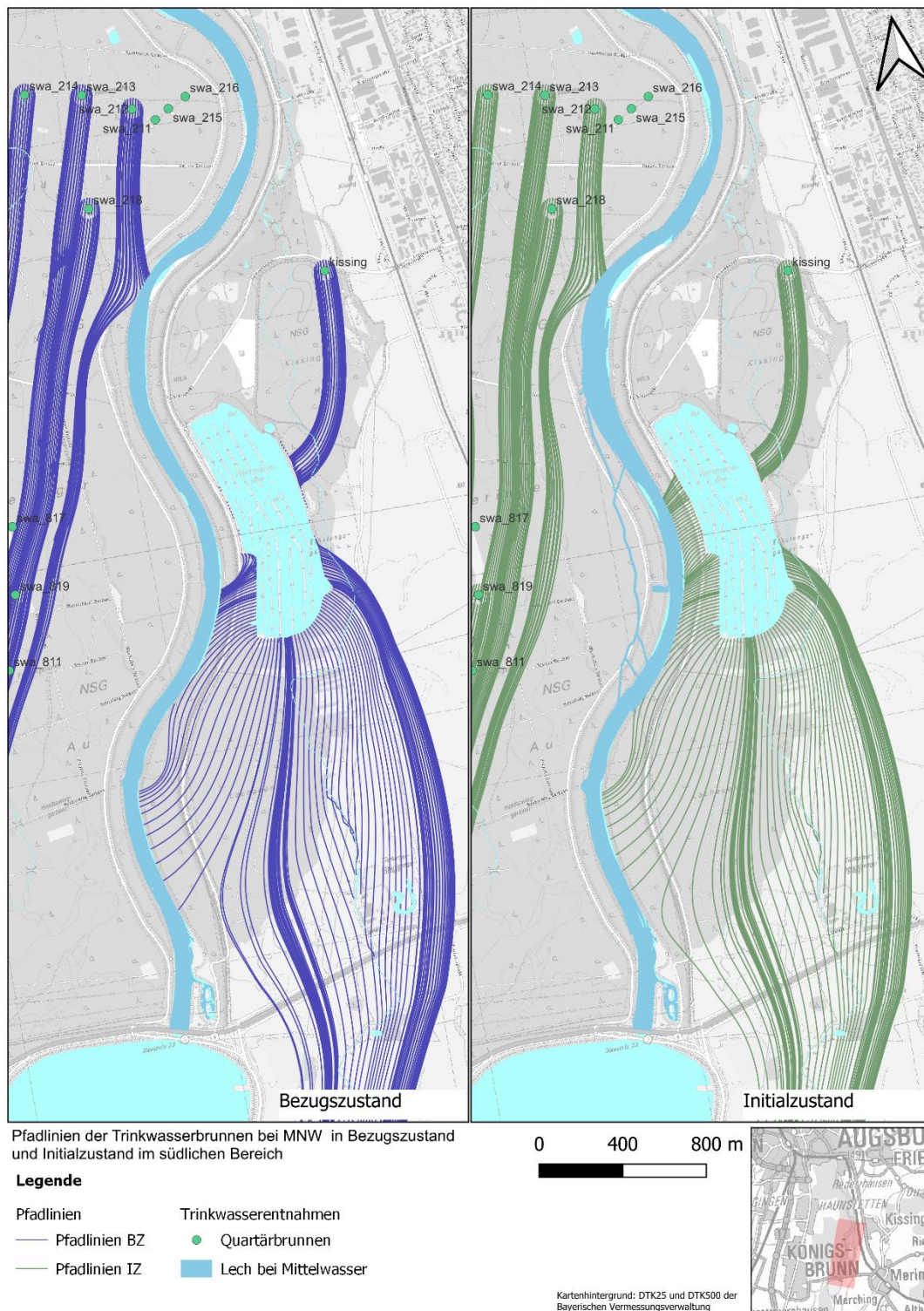


Abbildung 8.17: Stromlinien der Trinkwasserbrunnen im Bezugs- und Initialzustand bei MNW / Bereich Süd

E.3 Pfadlinien des Initialzustands bei HWhäufig

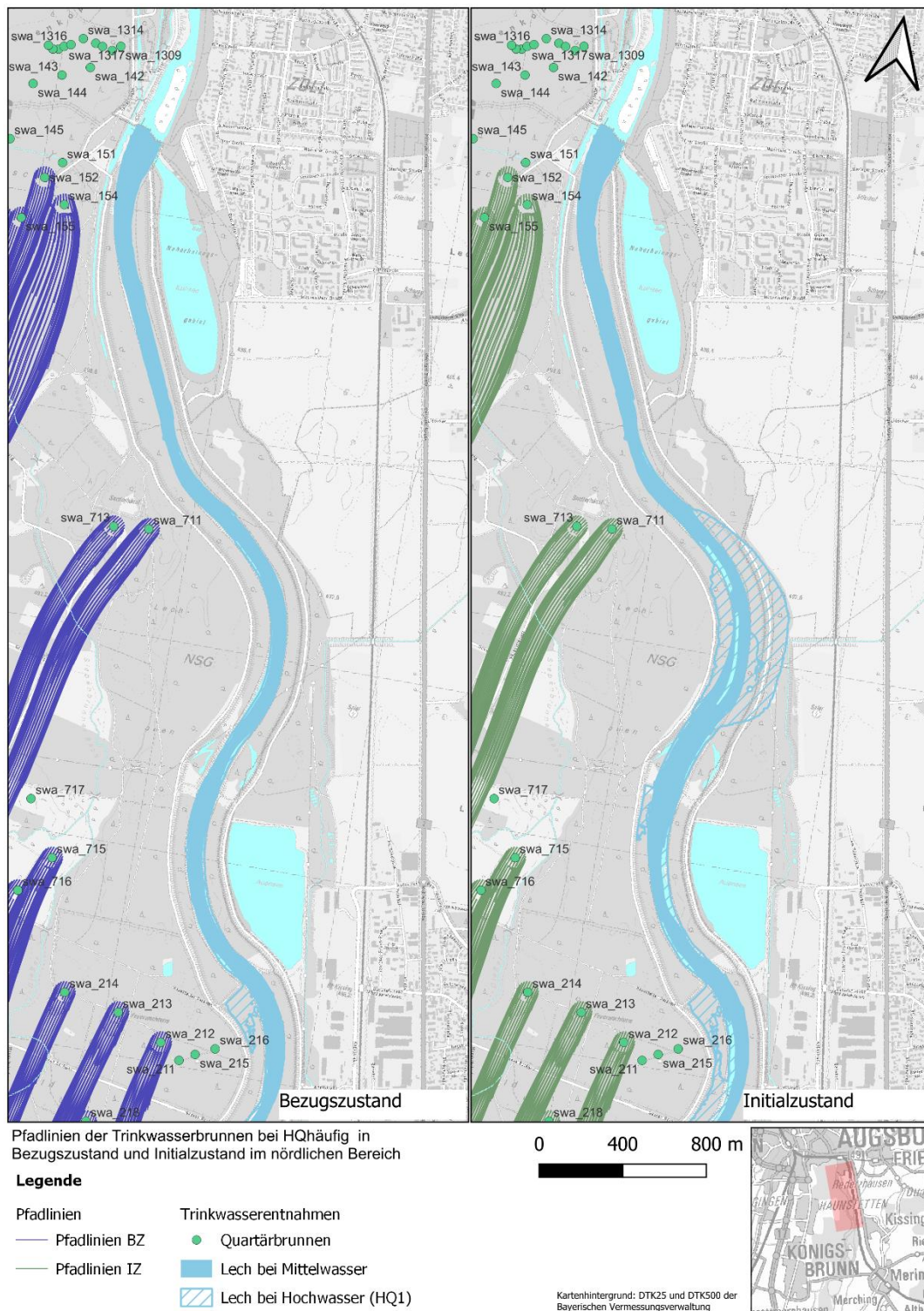


Abbildung 8.18: Pfadlinien der Trinkwasserbrunnen im Bezugs- und Initialzustand bei HWhäufig / Bereich Nord

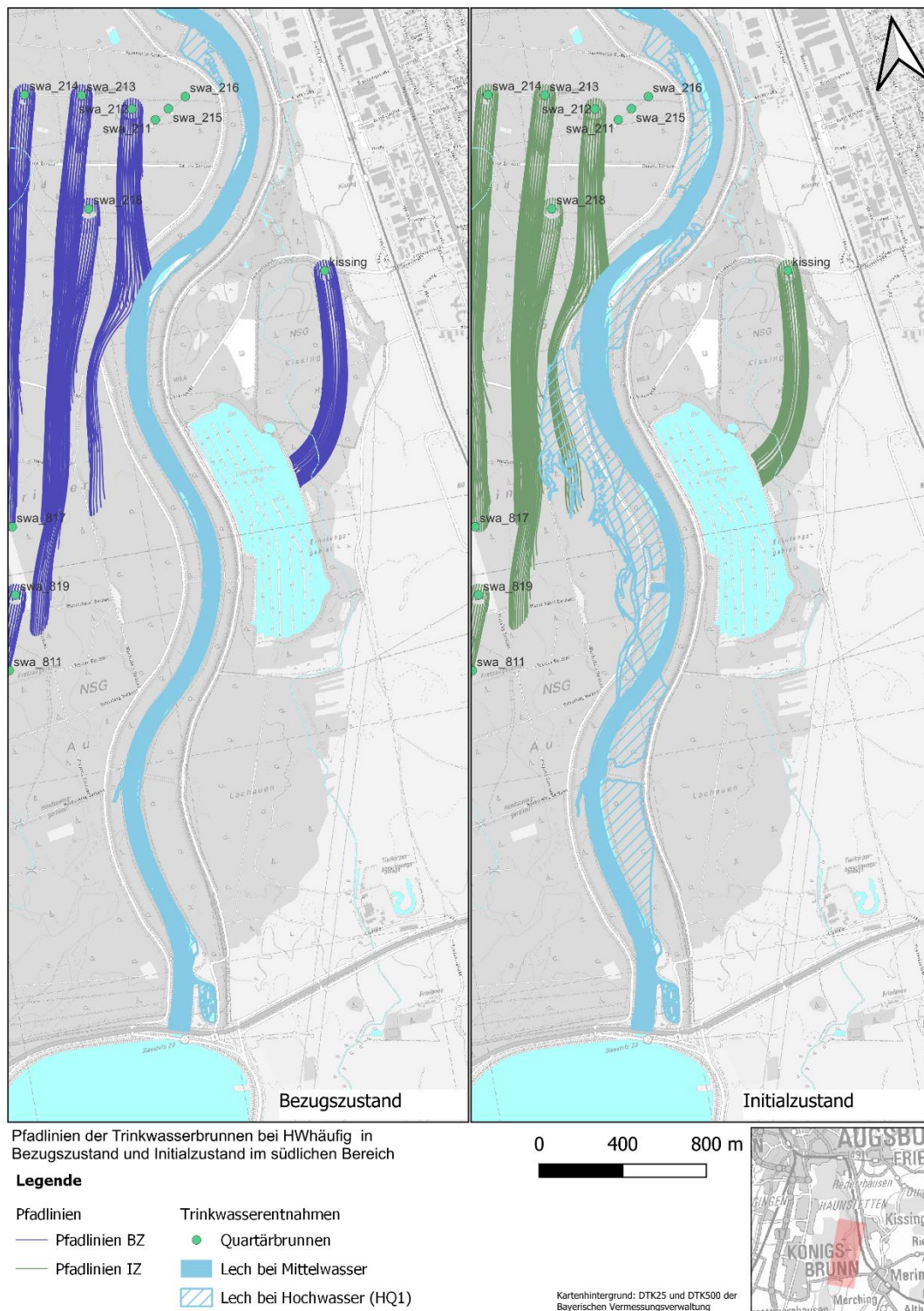
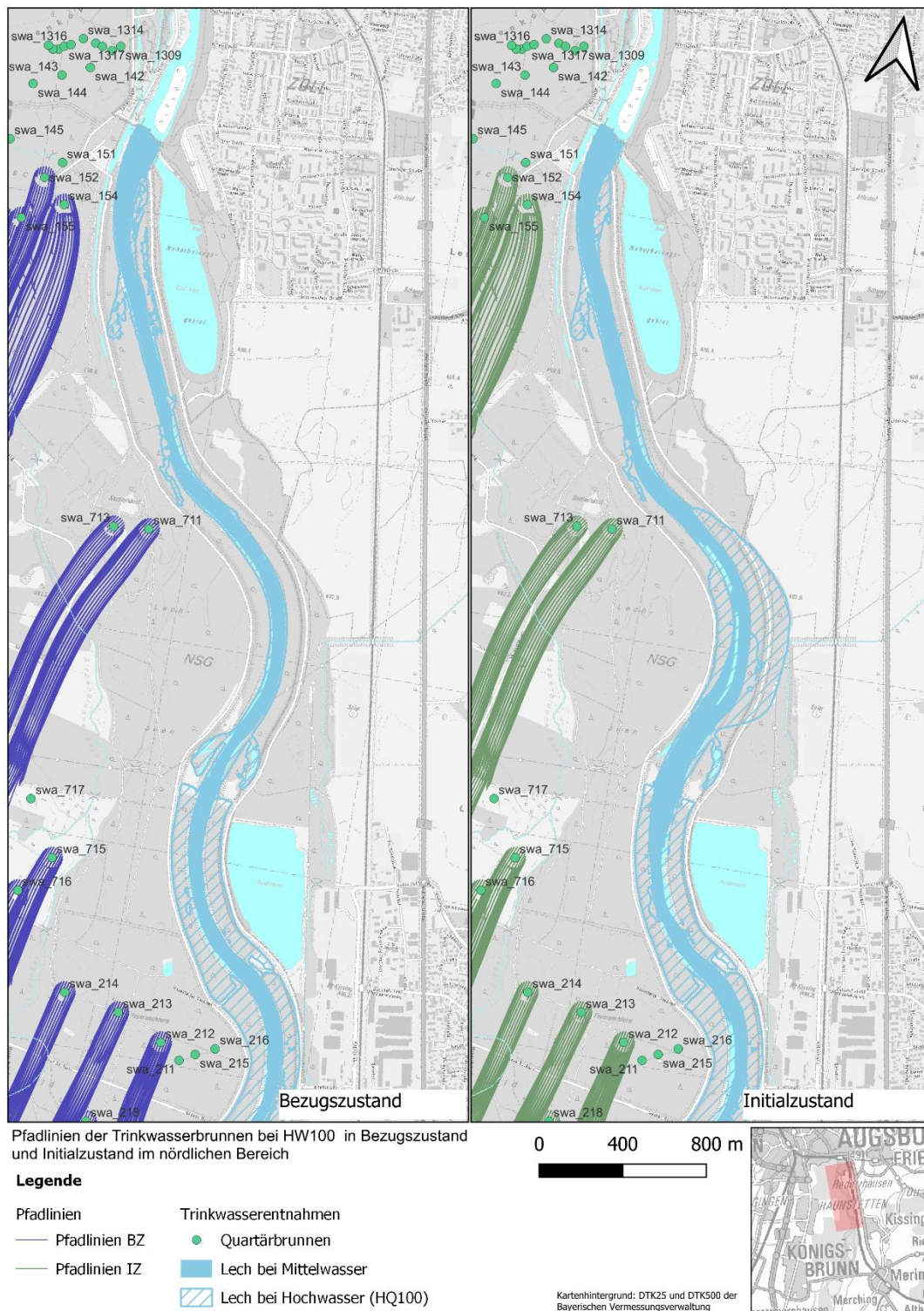


Abbildung 8.19: Pfadlinien der Trinkwasserbrunnen im Bezugs- und Initialzustand bei HWhäufig / Bereich Süd

E.4 Pfadlinien des Initialzustands bei HW100



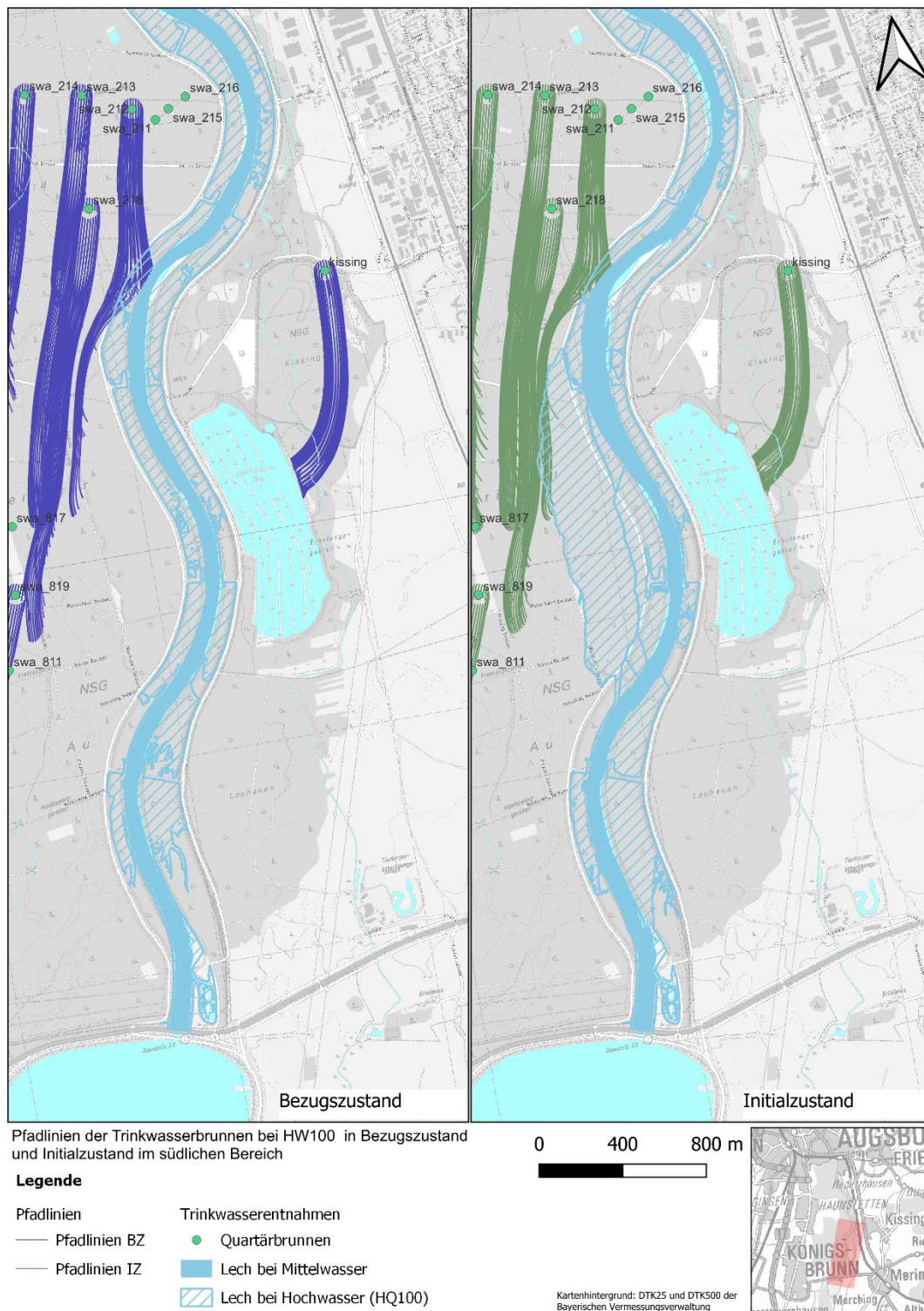


Abbildung 8.21: Pfadlinien der Trinkwasserbrunnen im Bezugs- und Initialzustand bei HW100 / Bereich Süd

Anhang F Austausch des Weitmannsees mit dem Grundwasser im Hochwasserfall

F.1 Hintergrund

Der Weitmannsee ist im Planungszustand (Initial- und Endzustand) eine wichtige Kompensationsmaßnahme, um einer Erhöhung der Grundwasserstände durch die Maßnahmen am Lech im Rahmen des Projekts Licca Liber zu verhindern. Durch ein Überfallwehr wird im Planungszustand dauerhaft Wasser aus dem Weitmannsee entnommen und unterstrom in den Lech eingeleitet. Hierdurch erhöht sich der Austausch des Weitmannsees mit dem Grundwasser. Im Folgenden wird ausgewertet, welche Folgen ein im Lech im Hochwasserfall mitgeführter Stoff (z.B. hervorgerufen durch einen gleichzeitigen Unfall/Störfall) für den See und den Austausch mit dem Grundwasser hat.

F.2 Methodik

Grundlage der Auswertungen bildet die Auswertung des Austauschs des Weitmannsees mit dem Grundwasser im numerischen Grundwassermodell (Programmcode Feflow) während der Hochwasserphase (HW100). Dazu werden die Modellelemente des Weitmannsees in Feflow selektiert und mittels des Panels „Period Budget“ ausgewertet. Hieraus ergeben sich folgende Größen der Wasserbilanz des Weitmannsees:

- Q_{Exf} : Exfiltrierende Wassermenge aus dem Grundwasser in den Weitmannsee
- Q_{Inf} : Infiltrierende Wassermenge aus dem Weitmannsee ins Grundwasser
- Q_{Wehr} : Abfluss über das Wehr des Weitmannsees in die Vorflut

Diese Auswertungen werden für den Istzustand und den Planungszustand vorgenommen. Verdunstungseffekte bzw. Niederschlag auf den See stellen weitere Bilanzkomponenten dar. Diese werden jedoch nicht betrachtet, da diese eher klein sind. Ferner zielen die Auswertungen auf den Vergleich des Istzustands mit dem Planungszustand ab, die beiden vernachlässigten Bilanzterme sind in beiden Fällen gleich groß.

Abbildung 8.22 stellt die ausgewerteten Bilanzkomponenten während des Hochwassers 2005 in der Übersicht dar.

Für die Betrachtungen zum Stoffeintrag wird angenommen, dass während eines Hochwassers über eine spezifische Dauer ein Stoff (beispielsweise ein Schadstoff aus einem oberstromigen Schadenfalls am Lech) über die Grundwasserpassage in den Weitmannsee strömt. Es wird angenommen, dass das in den Weitmannsee

exfiltrierende Grundwasser hauptsächlich aus dem Lech stammt. Damit ist die Konzentration des exfiltrierenden Wassers identisch mit einer im Lech vorliegenden Konzentration.

Für jeden Zeitpunkt kann das Seewasservolumen des Weitmannsees abgeschätzt werden mit:

$$V(t) = (Q_{Exf} - Q_{Inf} - Q_{wehr}) \cdot dt + V(t - 1) \text{ [m}^3\text{]}$$

Mit:

t: Betrachteter Zeitpunkt [d]

t - 1: Vorheriger Zeitpunkt [d]

dt: Zeitdifferenz zwischen betrachtetem und vorherigem Zeitpunkt [d]

V(t) = Volumen des Weitmannsees zum Zeitpunkt t [m³]

Über eine Bilanzierung der Massenströme des aus dem Lech stammenden Stoffs kann auch eine Massenbilanz gebildet werden:

$$M(t) = (Q_{Exf} \cdot c_{Lech}(t) - Q_{Inf} \cdot c_{See}(t - 1) - Q_{wehr} \cdot c_{See}(t - 1)) \cdot dt + M(t - 1) \text{ [g]}$$

Mit:

M(t): Stoffmasse im Weitmannsee am betrachteten Zeitpunkt [g]

M(t-1): Stoffmasse im Weitmannsee zum vorherigen Zeitpunkt [g]

c_{Lech}: Stoffkonzentration im Lech [g/m³]

c_{See}: Stoffkonzentration im See [g/m³]

Dabei wird eine vollständige Vermischung des Stoffeintrags im See angenommen. Diese Annahme ist im Hinblick auf die Stoff-Situation im Grundwasser-Abstrom konservativ, da mit dieser Annahme schneller höhere Konzentrationen an das Ostufer gelangen als in einer real verzögerten Ausbreitung im See.

Da die „aktuelle“ Konzentration im Weitmannsee unbekannt ist, wird für die Konzentration im See der Wert des vorherigen Zeitschritts übernommen. Dies ist möglich, wenn der Zeitschritt ausreichend klein gewählt wird.

Die Stoff-Konzentration im Seewasser kann zu jedem Zeitpunkt über folgenden Ansatz bestimmt werden:

$$c_{See}(t) = \frac{M(t)}{V(t)} \text{ [g/m}^3\text{]}$$

Mit:

V(t): Seewasservolumen am betrachteten Zeitpunkt [g]

Die infiltrierende Stoff-Fracht B, die vom See an das Grundwasser abgegeben wird, kann folgendermaßen berechnet werden:

$$B_{inf}(t) = c_{See}(t) * Q_{Inf}(t) \text{ [g/s]}$$

Mit:

B(t): Stofffracht zum aktuellen Zeitpunkt

Diese Stoff-Fracht ist im Hinblick auf die Bewertung einer Beeinträchtigung des Grundwassers maßgeblich.

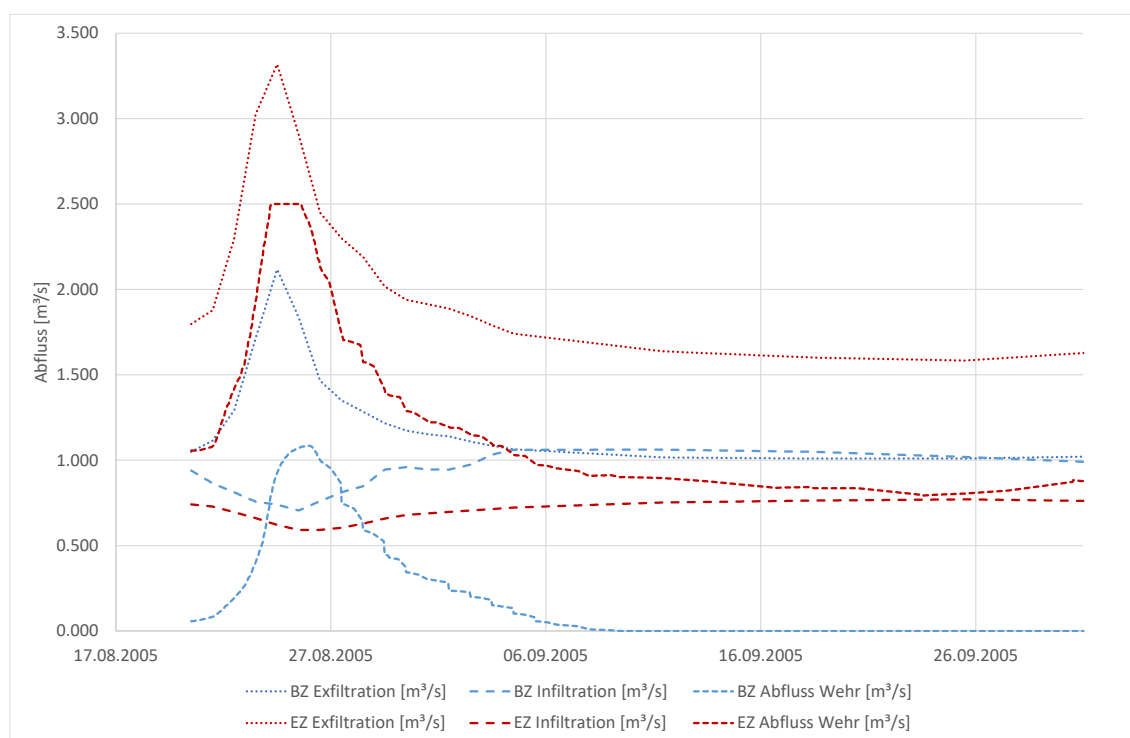


Abbildung 8.22: Bilanzkomponenten des Austauschs Grundwasser – Weitmannsee;
 Vergleich des Bezugszustands (BZ) und Endzustands (EZ)

F.3 Betrachtung 1: Kurzzeitige Stofffracht im Lech

Die folgende Betrachtung basiert auf der Annahme, dass während des Hochwasser-Peaks im Lech ein Stoff mitgeführt wird. Der Stoff wird ab einem Tag vor dem Peak mitgeführt und endet 1 Tag nach dem Peak (s. Abbildung 8.23).

Abbildung 8.24 zeigt die errechnete Stoffkonzentration im Weitmannsee gemäß dem oben beschriebenen Verfahren. Im Endzustand steigt die Konzentration im

Weitmannsee durch den höheren Austausch mit dem Grundwasser kurzzeitig stärker an, fällt aber anschließend deutlich unter die Konzentration im Bezugszustand, da im Endzustand dauerhaft Wasser über das Wehr aus dem System entnommen wird.

Aus Grundwasser-Sicht ist eine Betrachtung der aus dem See infiltrierenden Stofffracht (Einheit g/s) ins Grundwasser besser geeignet. Die infiltrierende Stofffracht ist in Abbildung 8.25 dargestellt. Bei Betrachtung der Fracht ist der Unterschied zwischen Bezugs- und Endzustand im Vergleich zur Betrachtung der Seewasser-Konzentration visuell kleiner. Bereits 1 Tag nach Ende des Stoffeintrags durch den Lech, fällt die aus dem Weitmannsee infiltrierende Fracht im Endzustand unter den Wert im Bezugszustand.

Die Betrachtung der kumulierten Fracht (Sekundärachse in Abbildung 8.25) verdeutlicht die langfristig geringere, infiltrierenden Stoffmenge im Endzustand im Vergleich zum Bezugszustand.

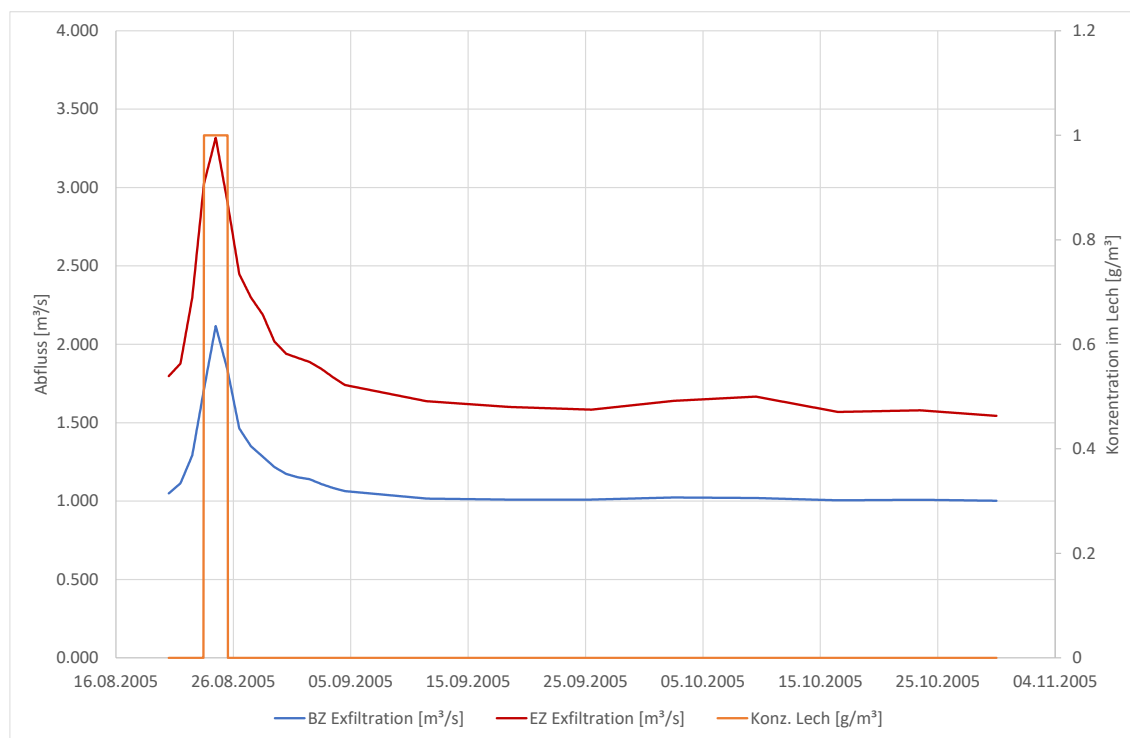


Abbildung 8.23: Exfiltrierende Wassermenge (Primärachse) und angenommene Stoffkonzentration im Lech (Sekundärachse) im Vergleich für Bezugszustand (BZ) und Endzustand (EZ)

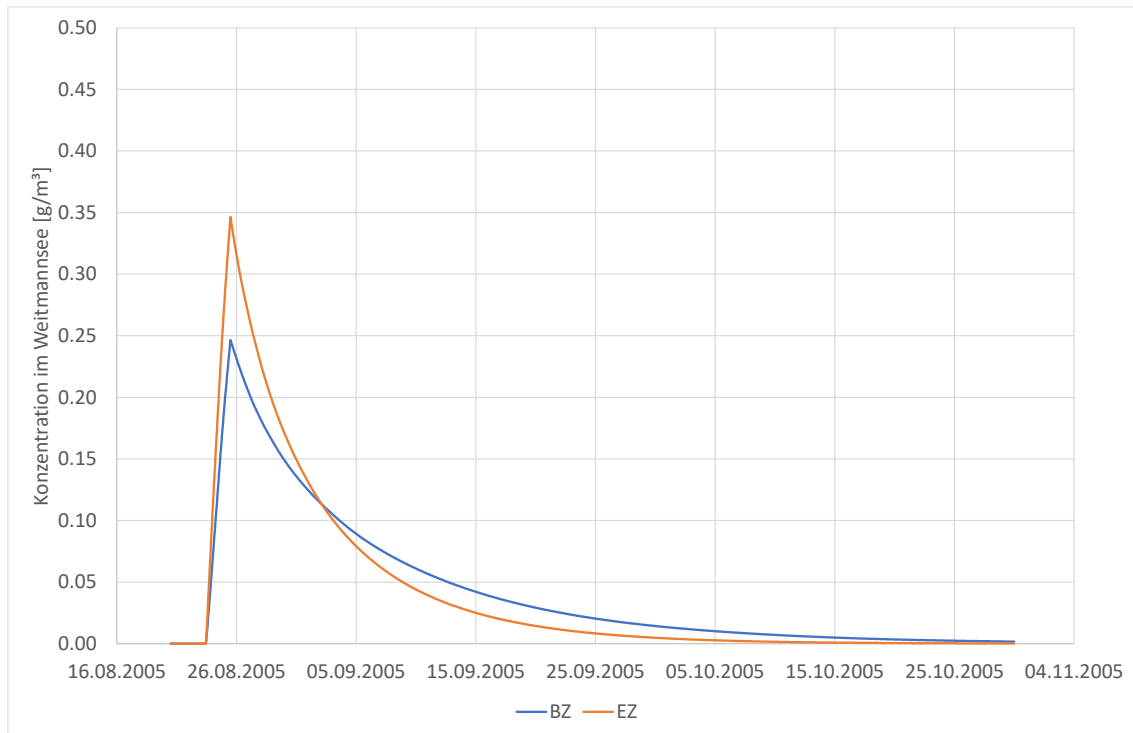


Abbildung 8.24: Berechnete Stoff-Konzentration im Weitmannsee; Vergleich des Bezugszustands (BZ) und Endzustands (EZ)

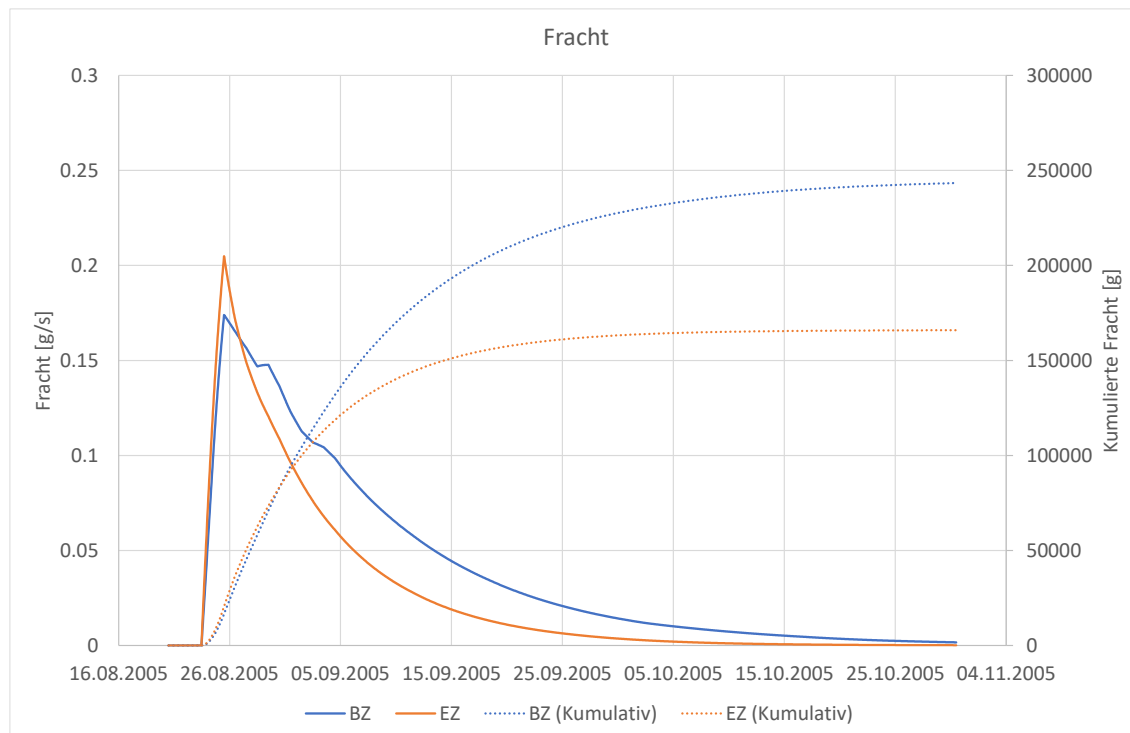


Abbildung 8.25: Berechnete aus dem Weitmannsee infiltrierende Fracht ins Grundwasser als Rate (Primärachse) und kumulative Menge (Sekundärachse) für Bezugs- und Planungszustand.

F.4 Betrachtung 2: Länge anhaltende Stofffracht im Lech

Bei dieser Betrachtung wird angenommen, dass der Schadstoff im Vergleich zur ersten Betrachtung deutlich länger mitgeführt wird. Die angenommene Konzentrationsverteilung ist in Abbildung 8.26 dargestellt.

Durch den im Vergleich zur ersten Betrachtung deutlich längeren Stoffeintrag, ergibt sich im Weitmannsee sowohl im Bezugs- als auch im Planungszustand eine höhere Stoffkonzentration (Abbildung 8.27). Bei Betrachtung der infiltrierenden Stoffmenge ins Grundwasser (Fracht) wird deutlich, dass der Endzustand wesentlich besser als der Bezugszustand ausfällt. Die maximale Fracht ist im Bezugszustand höher als im Endzustand.

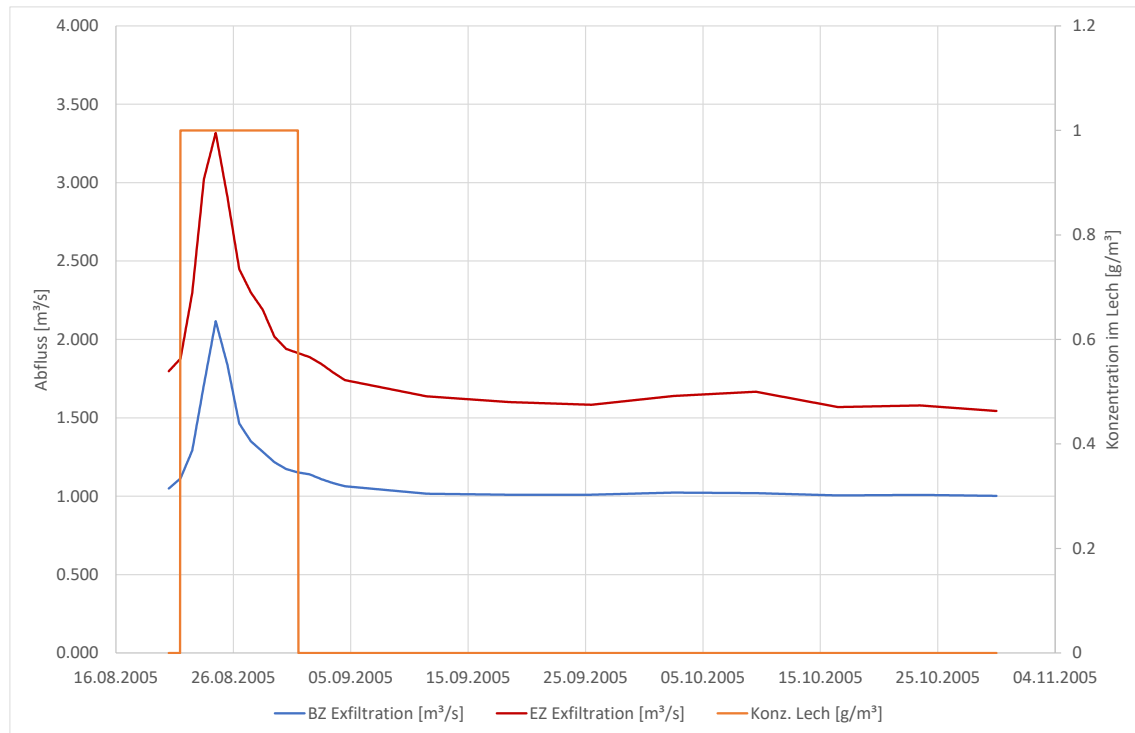


Abbildung 8.26: Exfiltrierende Wassermenge (Primärachse) und angenommene Stoffkonzentration im Lech (Sekundärachse) im Vergleich für Bezugszustand (BZ) und Endzustand (EZ)

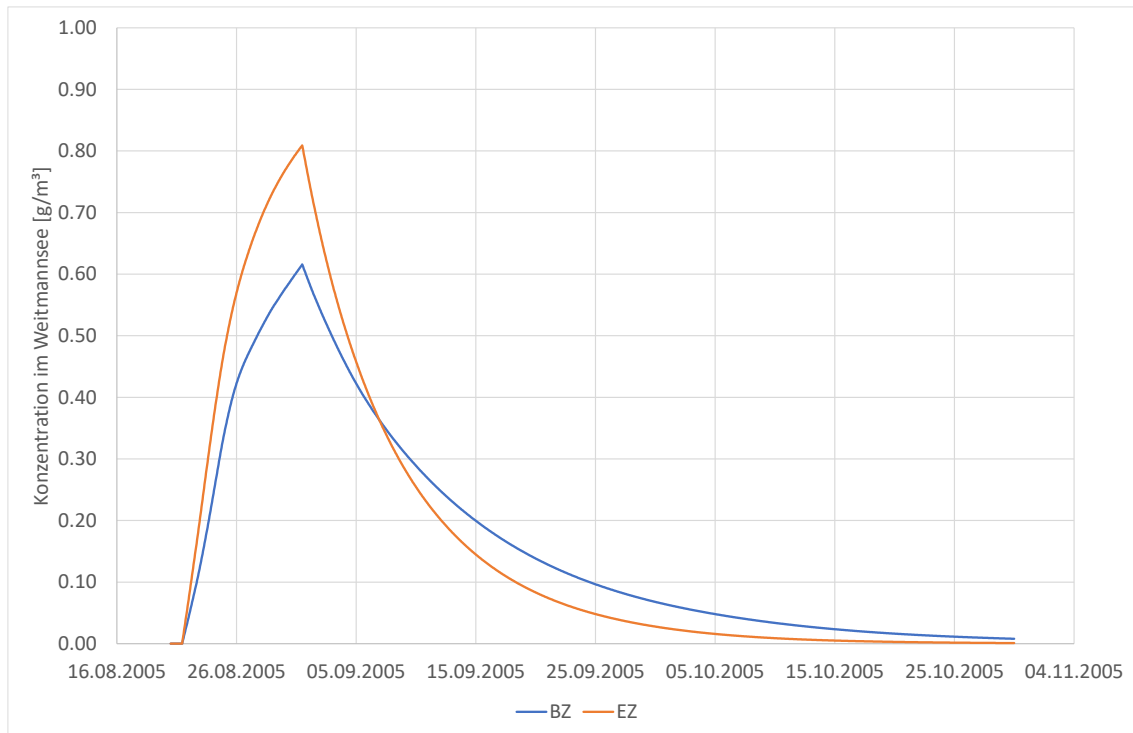


Abbildung 8.27: Berechnete Stoff-Konzentration im Weitmannsee; Vergleich des Bezugzustands (BZ) und Endzustands (EZ)

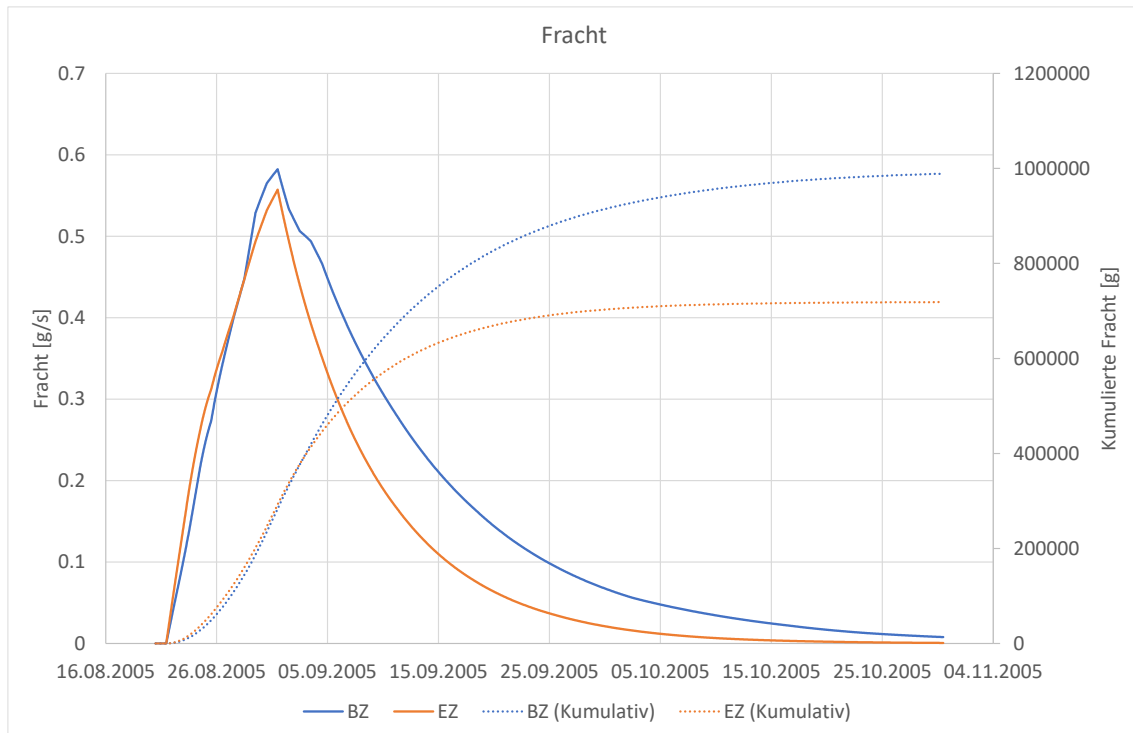


Abbildung 8.28: Berechnete aus dem Weitmannsee infiltrierende Fracht ins Grundwasser als Rate (Primärachse) und kumulative Menge (Sekundärachse) für Bezugs- und Planungszustand.

F.5 Fazit

Wird im Lech im Hochwasserfall durch einen Unfall oder Störfall ein Stoff transportiert, wird dieser im Bezugs- und Endzustand über die Grundwasserpassage in den Weitmannsee gelangen.

Im Endzustand ist von einer im Vergleich zum Bezugszustand kurzzeitig leicht erhöhten Konzentration auszugehen, jedoch führt die dauerhafte Ableitung von Seewasser über das Wehr zu einem schnelleren Austrag des Stoffs. Langfristig wird im Endzustand vom Weitmannsee eine wesentlich geringere Menge des lechbürtigen Stoffs an das Grundwasser abgegeben.

Die Dauer der erhöhten, infiltrierenden Fracht aus dem See ist kurz, diese beträgt im ersten Fall etwa 3 Tage. Die Transportzeit zum Brunnen liegt bei 20-25 Tagen. Auf dem Transportweg zwischen See und Brunnen findet eine weitere Vermischung statt, bei der die kurzzeitige höhere Konzentration an Relevanz verliert. Maßgeblich ist in solchen Fällen die eingetragene Stoffmasse. Diese ist im Endzustand geringer. Die in der Planung berücksichtigte Ausleitung über das Wehr ist daher nicht nur wichtig, um

eine Erhöhung der Grundwasserstände zu verhindern, sondern auch, um die Grundwasserqualität im Brunnen-Einzugsgebiet nicht zu beeinträchtigen.

Im Initialzustand exfiltriert im Hochwasserfall im Vergleich zum Endzustand wesentlich weniger Wasser in den Weitmannsee. Dies ist u.a. auf eine im Vergleich zum Endzustand dem Bezugzustand ähnlichere Grundwasserströmung zurückzuführen. Für den Initialzustand ergeben sich damit insgesamt geringere Konzentrations- und Frachtwerte, sodass die Veränderungen zwischen Bezugs- und Initialzustand geringer oder gar positiv ausfallen. Die temporäre Außerbetriebnahme des Überfallwehrs im Initialzustand bei Abflüssen $> HQ_{10}$ führt ebenso zu keiner relevanten Veränderung.

Das Überfallwehr zur Seewasserentnahme kann als festes Wehr ausgeführt werden, da eine Steuerung der Überfallhöhe in der Mischungsrechnung zu keiner relevanten Verbesserung geführt hat. Im Initialzustand ist ein festes Wehr ebenfalls ausreichend.

Die beschriebene Mischungsrechnung vernachlässigt zahlreiche Prozesse, die einen Stofftransport zum Trinkwasserbrunnen zusätzlich abschwächen. So basiert die Mischungsrechnung auf der Annahme eines vollständig durchmischten Sees. Dabei wird vernachlässigt, dass sich durch die hohe Seewasserentnahme am Nordende des Weitmannsees eine Strömung in Richtung der Entnahmestelle einstellen wird. Diese Strömung wird die Ausbreitung eines Schadstoffs vom West- ans Ostufer (ähnlich einem Abwehrbrunnen im Grundwasser) einschränken bzw. die Konzentration eines Schadstoffs durch den frühzeitigen Austrag über das Wehr reduzieren. Auch die in Nord-Süd-Richtung verlaufenden Inseln/Seichtwasserzonen im Weitmannsee, werden eine West-Ost-Ausbreitung zusätzlich beschränken. Ferner wird in den Betrachtungen vernachlässigt, dass es im Grundwasserleiter zu einer weiteren Stoffreduktion, z.B. durch Adsorption und Vermischung, kommt.