

Anlage 06

Sanierung Kanalanlagen Uppenbornwerke (SKUP)

Berechnung der bauzeitlichen Auswirkungen
der Sanierungsmaßnahmen auf die
Grundwasserverhältnisse
(Grundwassermodell)

05.08.2024

Vorhabenträger:

Stadtwerke München GmbH
Emmy-Noether-Straße 2
80992 München

Verfasser:



ea-SWM-Uppenborn-001.03

Verzeichnis der Unterlagen

Erläuterungsbericht

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Grundwassergleichenplan der Stichtagsmessung vom 11.06.2015; Maßstab 1:25.000

Anlage 2: Übersichtslageplan Kalibrierung Grundwassermodell mit Grundwassergleichen; Maßstab 1:25.000

Anlage 3: Tabellarische Zusammenstellung verwendeten Punktdaten (Bohrungen, Grundwassermessstellen, Gewässerpegel)

Anlage 4: Bohrprofile und Ausbaupläne (SKUP)

Anlage 5: Pumpversuchsauswertungen nach THIEM/DUPOINT

Anlage 6: Lagepläne: Ergebnisse der Modellrechnungen (vergrößerte Darstellungen der Abbildungen im Erläuterungsbericht)

Anlage 7: Auswertediagramme Grundwassermodell (Bilanzierungen)

Erläuterungsbericht

Inhaltsverzeichnis

1.	Vorhabenträger	1
2.	Zweck der Untersuchungen / Vorbemerkungen / Historie.....	1
3.	Hydrogeologisches Modell	1
3.1	Überblick	1
3.2	Morphologie.....	2
3.3	Geologie und Hydrogeologie - Überblick.....	3
3.3.1	Hydraulische Durchlässigkeiten / Pumpversuchsauswertungen	4
3.3.2	Auswertung von Bohrprofilen – Lage der Tertiäroberkante.....	7
3.3.3	Grundwasserstände	10
3.3.3.1	Messstellen	10
3.3.3.2	Messwerte	11
3.3.3.2.1	Stichtagsmessung am 11.06.2015 (Kalibrierung Grundwassermodell).....	11
3.3.3.2.2	Messwernerfassung.....	12
3.3.3.2.3	Bewertung der ergänzten Grundwasserstandsmesswerte	13
4.	Numerisches Grundwasserströmungsmodell.....	16
4.1	Modellaufbau (Modell Stichtagsmessung = MW)	16
4.1.1	Diskretisierung.....	17
4.1.2	Modellrandbedingungen und Materialparameter.....	18
4.1.2.1	Randbedingungen	18
4.1.2.2	Materialparameter	19
4.1.2.3	Weitere Modellparameter	20
4.1.3	Modellgrundlagen der Bilanzierungsrechnungen	21
4.1.4	Kalibrierung – Modell Stichtagsmessung (MW).....	22
4.1.5	Modellkalibrierung und Variantenrechnungen der Grundwasserstandshöhen und Kolmationszustände (Gutachten 2016)	23
5.	Sanierung Kanalanlagen Uppenbornkraftwerke (SKUP).....	24
5.1	Vorbemerkungen	24
5.2	Geplante Maßnahmen.....	25
5.2.1	Bauphase 1	26

5.2.2	Bauphase 2	27
5.2.3	Bauphase 3	29
5.2.4	Fragestellungen.....	30
5.3	Modellrechnungen / Ergebnisse.....	32
5.3.1	Istzustand	32
5.3.1.1	Modellanpassungen	32
5.3.1.2	Ergebnisse	35
5.3.2	Bauphase 2	39
5.3.2.1	Auswirkungen auf die Grundwasserstände.....	41
5.3.2.2	Bilanzierung der Infiltration / Exfiltration (Bauphase 2)	51
5.3.2.3	Detailauswertungen.....	54
5.3.3	Bauphase 3	60
6.	Zusammenfassung.....	61

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Übersichtslageplan Geländehöhe im Modellgebiet.....	2
Abbildung 2:	Übersichtslageplan Geologie im Modellgebiet (gem. Geol. Karte v. Bayern 1:500.000; LfU Bayern).....	3
Abbildung 3:	Pumpversuche an den Grundwassermessstellen (Histogrammdarstellung) ..	4
Abbildung 4:	Pumpversuchsauswertungen (k_f -Werte [m/s])	5
Abbildung 5:	Pumpversuchsergebnisse SKUP	6
Abbildung 6:	Pumpversuchsergebnisse SKUP (Lageplan).....	6
Abbildung 7:	Histogrammdarstellung der Lage der Tertiäroberkante [m u. GOK]	8
Abbildung 8:	Übersichtslageplan Tertiäroberkante im Modellgebiet	8
Abbildung 9:	Staueroberkante Untersuchungsgebiet SKUP (TOK bei R1, MIK-26 und B24-P-2023)	9
Abbildung 10:	Übersichtslageplan mit Grundwassermessstellen und Gewässerpegel	10
Abbildung 11:	Lageplan Messstellen im Untersuchungsgebiet SKUP.....	11
Abbildung 12:	Ganglinien der Gewässerpegel der SWM und Gkd 2003 bis 2023	12
Abbildung 13:	Ganglinien Messstellen Bereich Moosburger und Echinger Speichersee	13
Abbildung 14:	Grundwassergleichen ca. MW (Stichtagsmessung 11.06.2015) und Messwerte MW (neue Messstellen, aktuell vorliegende Messzeiträume, westlicher Teilbereich)	14
Abbildung 15:	wie Abbildung 14, östlicher Bereich (Hofham B1L: Bohrwasserspiegel u. GOK).....	14
Abbildung 16:	Übersichtslageplan mit Netzdiskretisierung des Modellgebietes und Stützstellen der Kalibrierung (Grundwassermessstellen)	17
Abbildung 17:	3D-Darstellung des Modellgebietes mit Netzdiskretisierung, Oberflächengewässern und Grundwassermessstellen.....	18
Abbildung 18:	Netzdiskretisierung, Randbedingungen 1. Art (blau) und 3. Art (grün).....	19
Abbildung 19:	Übersichtslageplan mit Grundwasserfenstern und Spundwandverbauen	20
Abbildung 20:	Randbedingung 3. Art (grüne Knoten) auf der Modelloberfläche (Slice 1) und der unterlagernden Schichtfläche (Slice 2) spannen eine vertikale Fläche auf, durch die Infiltration/Exfiltration erfolgt.....	21
Abbildung 21:	Übersichtslageplan mit modellierten Grundwassergleichen und Abweichungen der Modellwerte von den Messwerten (an den Grundwassermessstellen)	22
Abbildung 22:	Übersicht - geplante Maßnahmen (betroffener Streckenabschnitt SKUP) ...	25
Abbildung 23:	Bauphase 1 - Geplante Maßnahmen.....	26
Abbildung 24:	Bauphase 2 - Geplante Maßnahmen.....	28
Abbildung 25:	Bauphase 3 - Geplante Maßnahmen.....	29
Abbildung 26:	Lageplan - Detailauswertungen	31

Abbildung 27:	Pegelstand Isar: Bauzeitlich und NW-17 (Ist-Zustand), Pegeldifferenz	34
Abbildung 28:	Ergebnis Kalibrierung Ist-Zustand	35
Abbildung 29:	Ergebnis Kalibrierung Ist-Zustand – Grundwassergleichen Bereich West (siehe auch Anlage 6).....	36
Abbildung 30:	Ergebnis Kalibrierung Ist-Zustand – Grundwassergleichen Bereich Mitte (siehe auch Anlage 6).....	37
Abbildung 31:	Ergebnis Kalibrierung Ist-Zustand – Grundwassergleichen Bereich Ost (siehe auch Anlage 6).....	38
Abbildung 32:	Bauphase 2 – Pegelstand und Grundwasserstand im Kanalverlauf, Istzustand und Bauphase 2 (Sommer- und Winterhalbjahre).....	39
Abbildung 33:	Bauphase 2 – Grundwassergleichen Bereich West, Differenzhöhen (siehe auch Anlage 6).....	42
Abbildung 34:	Bauphase 2 – Grundwassergleichen Bereich Mitte, Differenzhöhen (Winter) (siehe auch Anlage 6).....	43
Abbildung 35:	Bauphase 2 – Grundwassergleichen Bereich Mitte, Differenzhöhen (Sommer) (siehe auch Anlage 6).....	44
Abbildung 36:	Bauphase 2 – Grundwassergleichen Bereich Ost, Differenzhöhen (ohne Druckabsenkung; Winterhalbjahre) (siehe auch Anlage 6).....	46
Abbildung 37:	Bauphase 2 – Grundwassergleichen Bereich Ost, Differenzhöhen (ohne Druckabsenkung; Sommerhalbjahre) (siehe auch Anlage 6)	47
Abbildung 38:	Bauphase 2 – Grundwassergleichen Bereich Ost, Differenzhöhen mit Druckabsenkung auf Kanalsohle (19 Brunnen, Absenkung auf 392,5 m ü. NN; Gesamtförderrate 340 l/s) (siehe auch Anlage 6).....	48
Abbildung 39:	Bauphase 2 – Grundwassergleichen Bereich Ost, Differenzhöhen mit Druckabsenkung auf Kanalsohle (11 Brunnen, Absenkung auf 392,0 m ü. NN; Gesamtförderrate 390 l/s) (siehe auch Anlage 6).....	49
Abbildung 39:	Bauphase 2 – Grundwassergleichen Abschnitt Haltung 5b, Differenzhöhen mit Druckabsenkung auf Kanalsohle – 0,5 m (= 404,0 – 0,5 = 403,5 m ü. NN) 50	
Abbildung 40:	Ergebnis Bauphase 2 – Teiche WK km 0+900 bis 0+950	54
Abbildung 41:	Ergebnis Bauphase 2 – Teiche MIK km 2+150 bis 2+200 (Winterhalbjahr) .	55
Abbildung 42:	Ergebnis Bauphase 2 – Teiche MIK km 3+450 bis 3+500 (Winterhalbjahr) .	56
Abbildung 43:	Ergebnis Bauphase 2 – Teich Echinger Speichersee km 5+550 bis 5+600 (Winterhalbjahr)	57
Abbildung 44:	Ergebnis Bauphase 2 – Teiche MIK km 9+000 bis 9+050 (ohne Druckabsenkung).....	58
Abbildung 45:	Ergebnis Bauphase 2 – Teiche MIK km 9+000 bis 9+050 (mit Druckabsenkung).....	59
Abbildung 46:	Ergebnis Bauphase 3 – Nordende Moosburger Speichersee.....	60

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Zusammenstellung der Modelldaten.....	16
Tabelle 2:	Bilanzierung Infiltration / Exfiltration Ist-Zustand/Bauphase 2 (Winterhalbjahr)	52
Tabelle 3:	Bilanzierung Infiltration / Exfiltration Ist-Zustand/Bauphase 2 (Sommerhalbjahr)	53

Glossar / Abkürzungsverzeichnis

AWK	Alter Werkkanal
WK	Werkkanal
DKW	Dammkronenwege
DHW	Dammhinterwege
STK	Stichkanal
KW	Kraftwerk
UP1	Uppenbornkraftwerk 1
UP2	Uppenbornkraftwerk 2
OW	Oberwasser
UW	Unterwasser
SWM	Stadtwerke München
Infiltration	Übertritt von Oberflächenwasser in den Grundwasserleiter
Exfiltration	Aussickerung von Grundwasser in den Vorfluter
Kolmation	Abdichtung der Gewässersohle gegenüber Ex- oder Infiltration aus dem oder in den Grundwasserleiter
HHW	Höchstwasserstand, höchster aufgezeichneter Grundwasserstand
MHW	Mittlerer Hochwasserstand, arithmetischer Mittelwert der jährlichen Höchstwasserstände innerhalb eines Beobachtungszeitraums
HW	Hochwasserstand, relativer Hochwasserstand im Grundwasser
MW	Mittelwasserstand, arithmetischer Mittelwert der aufgezeichneten Grundwasserstände innerhalb eines Beobachtungszeitraums
NW	Niedrigwasserstand, relativer Niedrigwasserstand im Grundwasser
MNW	Mittlerer Niedrigwasserstand, arithmetischer Mittelwert der jährlichen Niedrigwasserstände innerhalb eines Beobachtungszeitraums
NNW	Niedrigstwasserstand, niedrigster aufgezeichneter Grundwasserstand
MIK	Mittlere-Isar-Kanal
STM	Stichtagsmessung
P	Pegel (Oberflächengewässer)
GWM	Grundwassermessstelle
Wsp	Wasserspiegel
Rwsp	Ruhewasserspiegel
GOK	Geländeoberkante
TOK	Tertiäroberkante
IK	Isarkies
Gkd	Gewässerkundlicher Dienst (LfU)
LfU	(Bayerisches) Landesamt für Umwelt

1. Vorhabenträger

Vorhabenträger sind die Stadtwerke München GmbH, Emmy-Noether-Straße 2 in 80992 München.

2. Zweck der Untersuchungen / Vorbemerkungen / Historie

Zweck der vorliegenden Untersuchungen ist die Ermittlung der bauzeitlichen grundwasserhydraulischen Auswirkungen der geplanten Sanierungsmaßnahmen am Mittlere-Isar-Kanal (i. F. MIK) zwischen Isarwehr Moosburg und Mündung des MIK in die Isar unterstromig des Uppenbornkraftwerks 2.

Für die Berechnungen wurde ein numerisches Grundwasserströmungsmodell verwendet, welches im Auftrag der Stadtwerke München im Jahr 2015 erstellt wurde und die Kanalbauwerke *Amperüberleitung* südlich von Moosburg und *Mittlere-Isar-Kanal* zwischen der Ableitung aus der Isar und seiner Mündung in die Isar umfasst.

Veranlassung war damals die Untersuchung der hydraulischen Situation entlang der Kanäle insbesondere in zuvor als problematisch definierten Abschnitten (Vernässungen, Wasserverluste aus dem Kanal) sowie die Verbesserung der Kenntnisse der Wechselwirkungen Kanal ↔ Grundwasser.

3. Hydrogeologisches Modell

3.1 Überblick

Grundlage für die Erstellung eines numerischen Grundwassermodells ist i.d.R. ein hydrogeologisches Modell des Untersuchungsgebietes, welches die hydrogeologisch-hydraulischen Verhältnisse unter Berücksichtigung aller vorhandener Untersuchungsergebnisse abbildet.

Das Modellgebiet *Amperüberleitung und Mittlere-Isar-Kanal* umfasst den naturräumlichen Bereich des Isar-Amper-Tales von rd. 2 km südlich von Moosburg a. d. Isar bis zur Mündung des *Mittlere-Isar-Kanals* in die Isar bei Tiefenbach rd. 3 km westlich von Landshut. Es erstreckt sich in südwest-nordöstlicher Richtung auf rd. 17 km und in nordwest-südöstlicher Richtung auf rd. 7 km mit einer Größe von rd. 50 km².

Hydrogeologisch umfasst es den quartären Grundwasserleiter der eiszeitlichen und fluviatilen Schotter des Isar-Amper-Tales, welche an den Flanken von den zutage tretenden Sedimenten des tertiären Hügellandes (Obere Süßwassermolasse) begrenzt werden.

Im Folgenden sind die hydrogeologischen Untersuchungsdaten zusammengestellt und ausgewertet. In den entsprechenden Übersichtslageplänen ist jeweils das numerische Modellgebiet dargestellt, dessen Grenzen weitgehend mit den Grenzen des hydrogeologischen Modells identisch sind (siehe hierzu Erläuterungen zum Aufbau des numerischen Modells ab Kapitel 0).

3.2 Morphologie

Hinweis: Sämtliche Höhenangaben basieren auf dem zum Zeitpunkt des Projektbeginns im Jahr 2015 gültigen Höhensystem des Deutschen Haupthöhennetzes DHHN12. Mit der Finalisierung der Gesamtunterlagen sowie dem vorliegenden Auszug für die Sanierungsmaßnahmen SKUP erfolgte keine Umrechnung auf das zwischenzeitlich eingeführte Höhensystem DHHN16, da die lokalen Abweichungen im Modellgebiet mit rd. 0,04 m im Toleranzbereich der für die vorliegenden Fragestellungen erforderlichen Aussagegenauigkeit liegen.

In der folgenden Abbildung ist die Geländehöhe im Modellgebiet dargestellt. Die Detailpläne für die Kanäle *Mittlere-Isar-Kanal* und *(Alter) Werkkanal* zeigen die Sohlhöhenvermessungen. Der Übersichtslageplan des gesamten Modellgebietes zeigt eine großräumig mittels Krigingverfahrens unter Verwendung aller verfügbaren Geländehöhenangaben (Bohrungen, topografische Karte) interpolierte Geländeoberfläche.

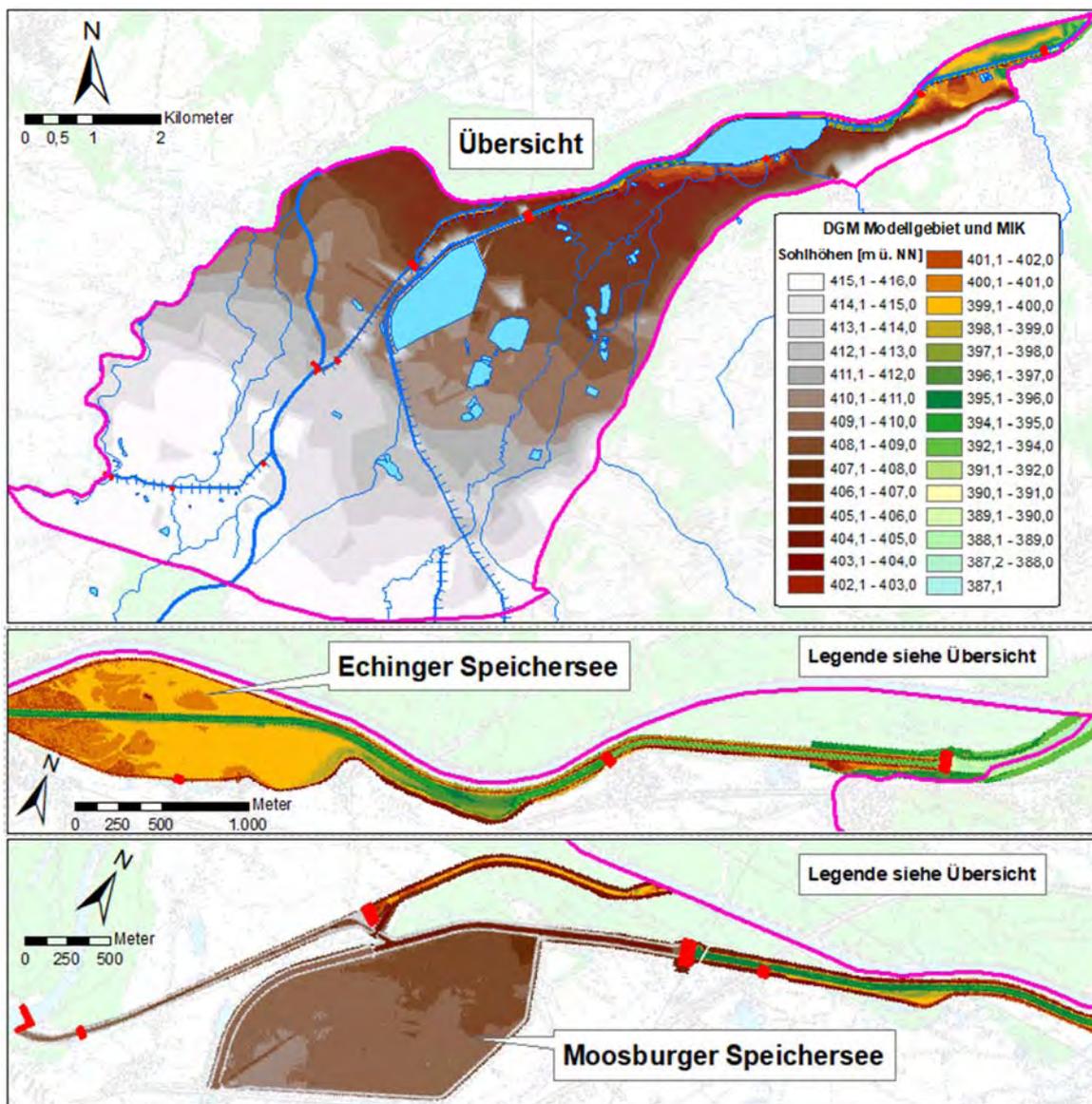


Abbildung 1: Übersichtslageplan Geländehöhe im Modellgebiet

Im Bereich der Schotterebene des Isar-Ampertales ist die Geländeoberfläche nur gering reliefiert. Bei Moosburg liegt die Geländeoberkante weitgehend bei rd. 415 m ü. NN und fällt bis Hofham am nordöstlichen Ende des Modellbereiches relativ gleichmäßig auf rd. 400 m ü. NN ab.

3.3 Geologie und Hydrogeologie - Überblick

In der folgenden Abbildung sind die geologischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet im großräumigen Überblick dargestellt.

Die Kanäle *Amperüberleitung*, *Mittlere-Isar-Kanal* und (*Alter*) *Werkkanal* liegen im Isar- bzw. Ampertal. Hier sind flächig mit geringer morphologischer Reliefierung würm- und rißeiszeitliche sowie holozäne fluviatile Schotter abgelagert. Entlang der Fließgewässer sind feinkörnige Auenablagerungen verbreitet. Nördlich und südlich des Isar-/Ampertales treten die tertiären Sedimente der Oberen Süßwassermolasse zutage.

Der Grundwasserstrom folgt dem Verlauf des Isartales nach Nordosten bzw. Osten mit einem Gefälle von im Mittel rd. 0,2 %.

Aus den Hochgebieten des tertiären Hügellandes fließen dem quartären Grundwasserleiter des Isartales von Südosten einige kleinere Bäche zu (Pfrombach, Erlbach, Gleißenbach, Tiefenbach).

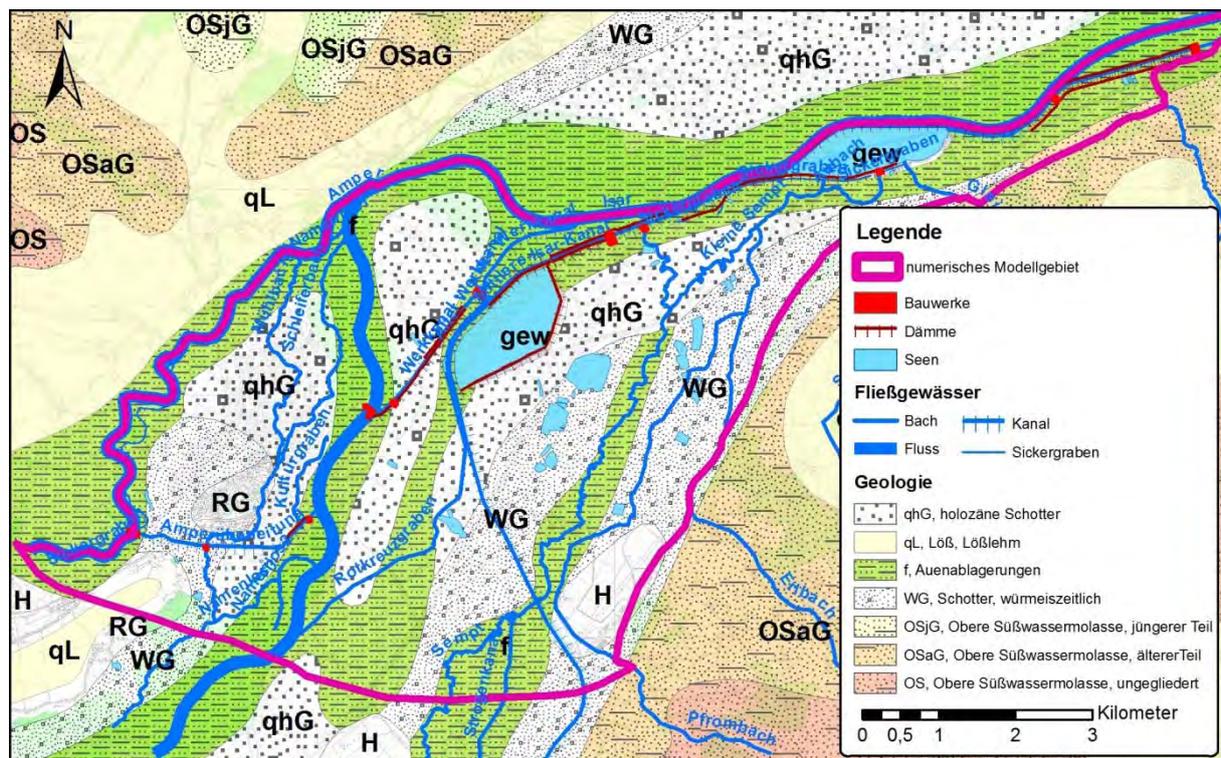


Abbildung 2: Übersichtslageplan Geologie im Modellgebiet (gem. Geol. Karte v. Bayern 1:500.000; LfU Bayern)

3.3.1 Hydraulische Durchlässigkeiten / Pumpversuchsauswertungen

Gesamtes Modellgebiet

Für die Erstellung des Gutachtens zum Grundwassermodell wurden im Jahr 2015 Pumpversuche an Grundwassermessstellen ausgewertet. Das Diagramm der Abbildung 3 zeigt ein Histogramm der mit Hilfe von Pumpversuchen ermittelten hydraulischen Durchlässigkeiten an den Messstellen.

Die Abbildung 4 zeigt im Lageplan die Einzelwerte mit entsprechender Lagezuordnung der Messstellen.

Es ist eine Häufung der ermittelten hydraulischen Durchlässigkeiten (k_f -Wert) im Bereich 1 bis 5×10^{-3} m/s festzustellen. Der Mittelwert liegt bei $5,5 \times 10^{-3}$ m/s. Dies steht in guter Übereinstimmung mit der im Bereich des Flughafens München für die quartären Schotter festgestellten mittleren Durchlässigkeit von rd. 5×10^{-3} m/s.

Tendenziell ergaben die Pumpversuchsauswertungen im Bereich der Amperüberleitung höhere Durchlässigkeiten, als im übrigen Modellgebiet.

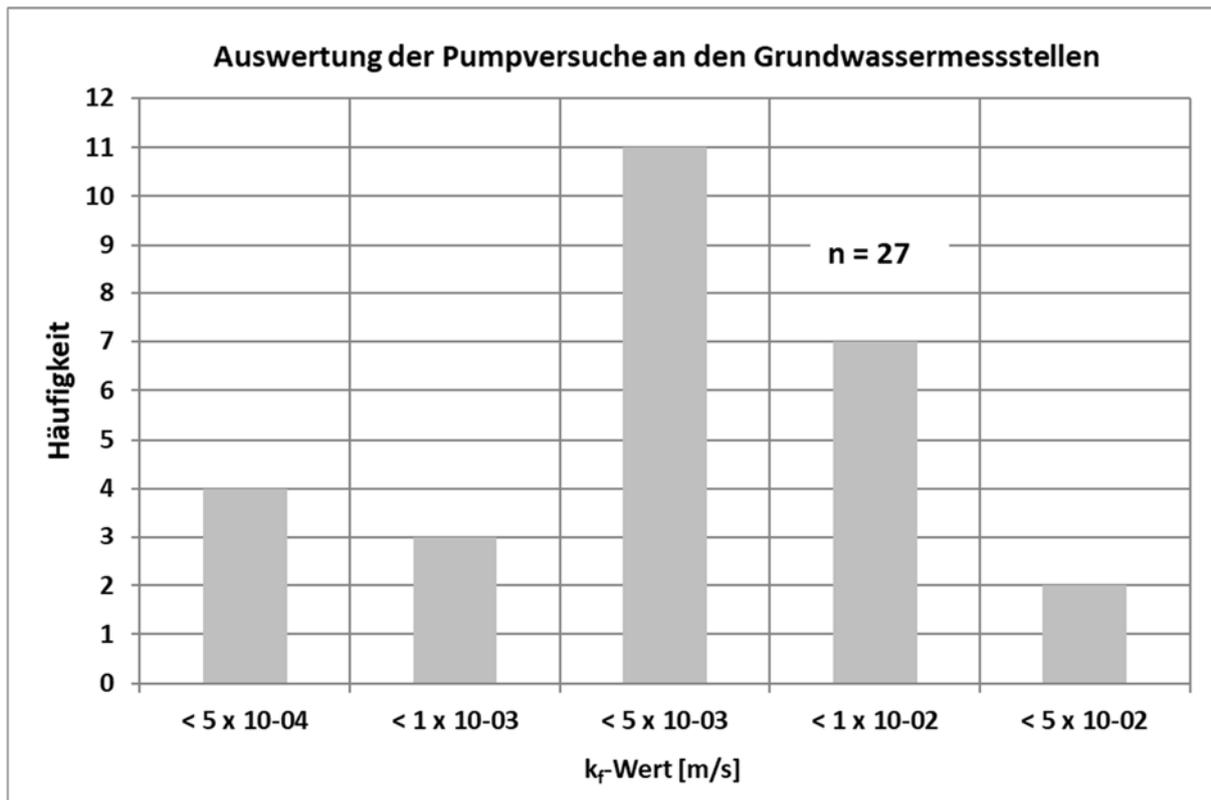


Abbildung 3: Pumpversuche an den Grundwassermessstellen (Histogrammdarstellung)

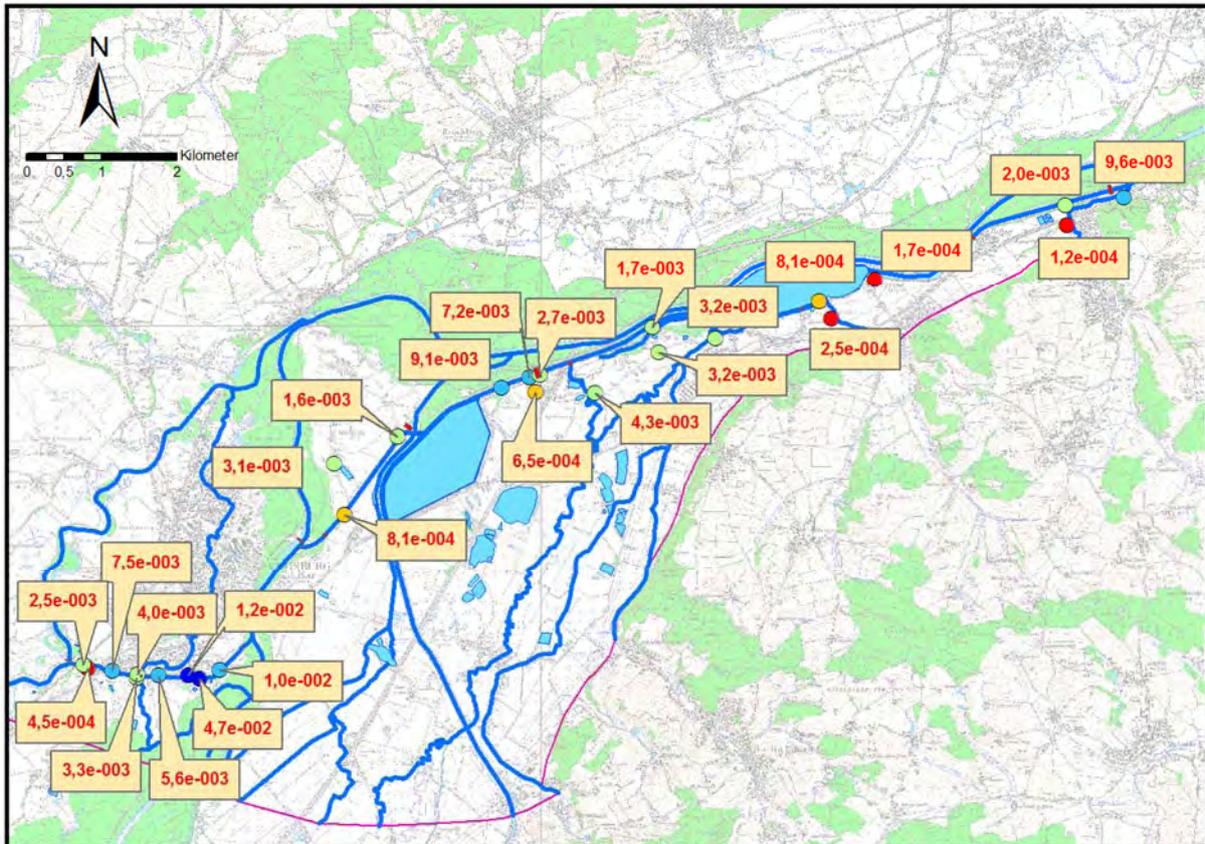


Abbildung 4: Pumpversuchsauswertungen (k_f -Werte [m/s])

Untersuchungsgebiet SKUP

Für den aktuellen Untersuchungsbereich SKUP wurden im November 2022 und Februar 2023 an den in der Abbildung 6 dargestellten Messstellen Pumpversuche durchgeführt. Die berechneten k_f -Werte liegen im Bereich von rd. 1×10^{-04} bis rd. 2×10^{-02} m/s mit einem Mittelwert (geometrisch) von $k_f = 2 \times 10^{-03}$ m/s. Das Diagramm der Abbildung 5 zeigt die Ergebnisse im Überblick.

Diese Ergebnisse weichen damit nicht signifikant von den bisherigen Kenntnissen ab und liegen im natürlichen Schwankungsbereich der quartären Schmelzwasserschotter.

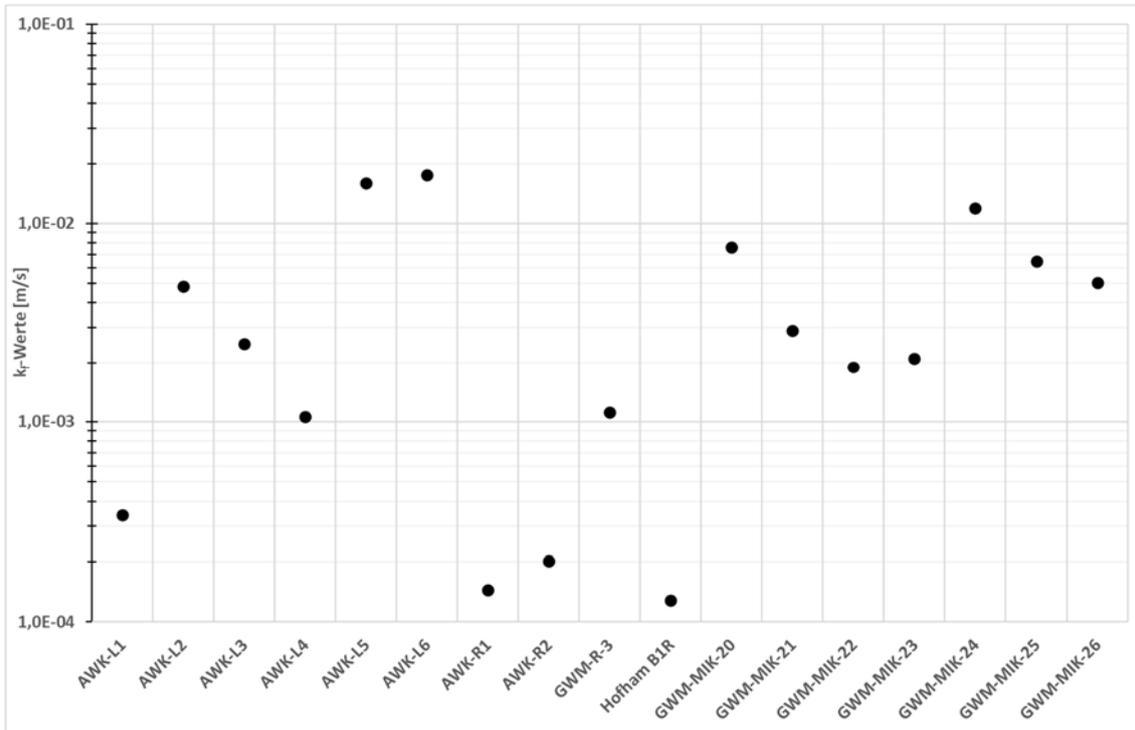


Abbildung 5: Pumpversuchsergebnisse SKUP

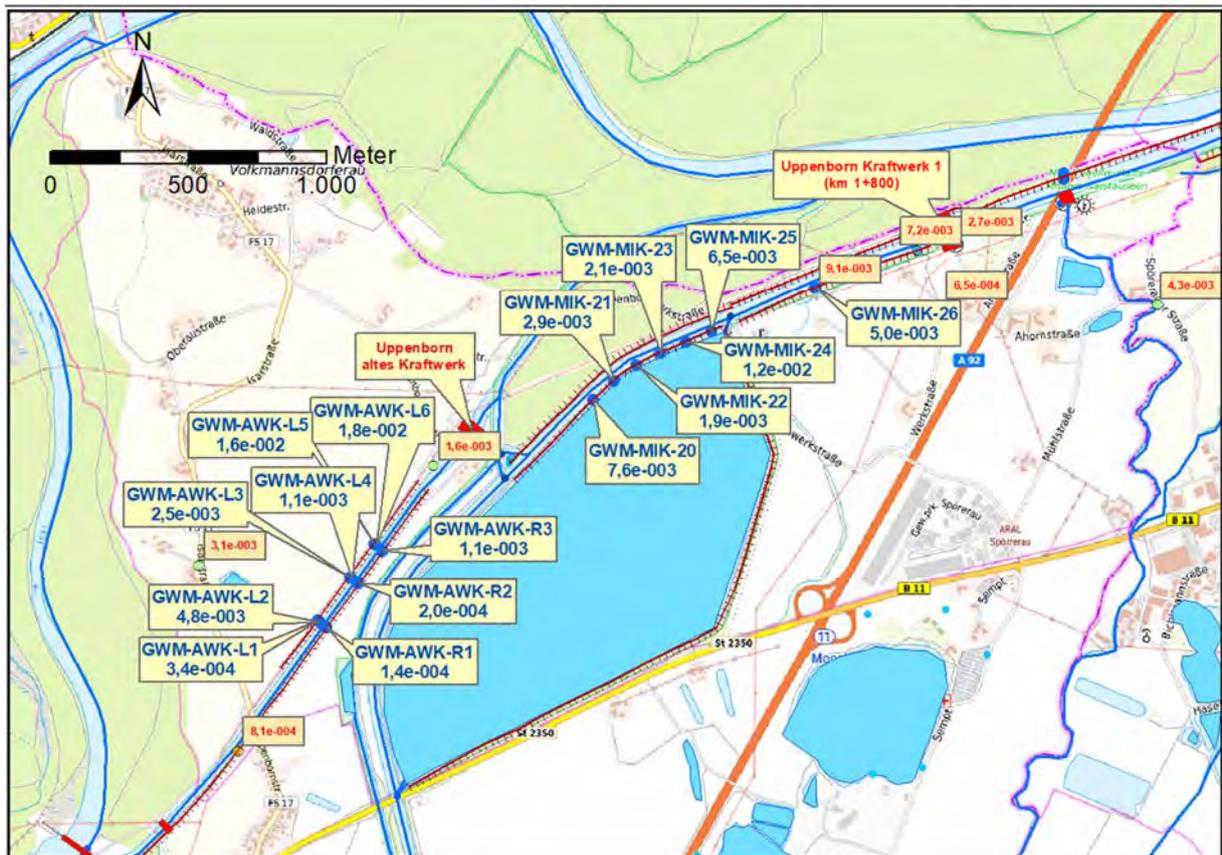


Abbildung 6: Pumpversuchsergebnisse SKUP (Lageplan)

3.3.2 Auswertung von Bohrprofilen – Lage der Tertiäroberkante

Gesamtes Modellgebiet

Im Vorfeld der Modellerstellung 2015 wurden zunächst zur Schaffung einer ausreichenden Datenbasis 29 neue Grundwassermessstellen errichtet. Zudem wurde entlang der Kanalflanken eine Vielzahl von Aufschlussbohrungen abgeteuft, um die Standfestigkeit der Dämme zu untersuchen. Für die Erstellung des Grundwassermodells sind die Untersuchungsergebnisse hinsichtlich der Tiefenlage der Staueroberkante und der hydraulischen Durchlässigkeit des quartären Grundwasserleiters bedeutsam.

Im Zuge der Untersuchungen der Standsicherheit wurden auf den Dämmen entlang des *Mittlere-Isar-Kanals* über 100 Rammkernsondierungen durchgeführt. Nach eigenen Recherchen lagen ergänzend noch zahlreiche Bohrprofile von Aufschlussbohrungen und Messstellenbohrungen von Kiesunternehmen im Isartal vor.

Soweit diese Bohraufschlüsse die Tertiäroberkante (TOK) erreicht haben, konnte die Tiefenlage exakt festgestellt werden. Wurde die TOK nicht erreicht, wurde die Bohrendteufe als Mindesttiefe angenommen.

Nach der Auswertung der Daten und Plausibilitätsprüfung wurde mittels *Kriging*-Verfahren die Tertiäroberfläche konstruiert. Sie ist im Überblick in der Abbildung 8 dargestellt.

An den Isolinien der Tertiäroberkante [m ü. NN] ist deren Ansteigen an den Flanken des Isartales zu erkennen. Hinsichtlich der Tiefenlage unter Geländeoberkante erfolgte eine Auswertung in der folgenden Histogrammdarstellung aller 209 Aufschlusspunkte, welche die TOK erreicht haben. Lässt man die Bohrpunkte am Rande der Schotterfläche im Bereich der aufsteigenden Tertiäroberkante (Tiefenlage < 2 m u. GOK) außer Betracht, so ist zu erkennen, dass die TOK meist zwischen rd. 4 m und 10 m u. GOK angetroffen wurde.

Für die Erstellung des Grundwassermodells ist die Grundwassermächtigkeit, d.h. die Differenz zwischen Grundwasserstand und tertiärer Staueroberkante von Bedeutung. Die entsprechende Auswertung zeigt, dass die Grundwassermächtigkeit an den Grundwassermessstellen im Modellgebiet meist zwischen rd. 2 m und 6 m beträgt.

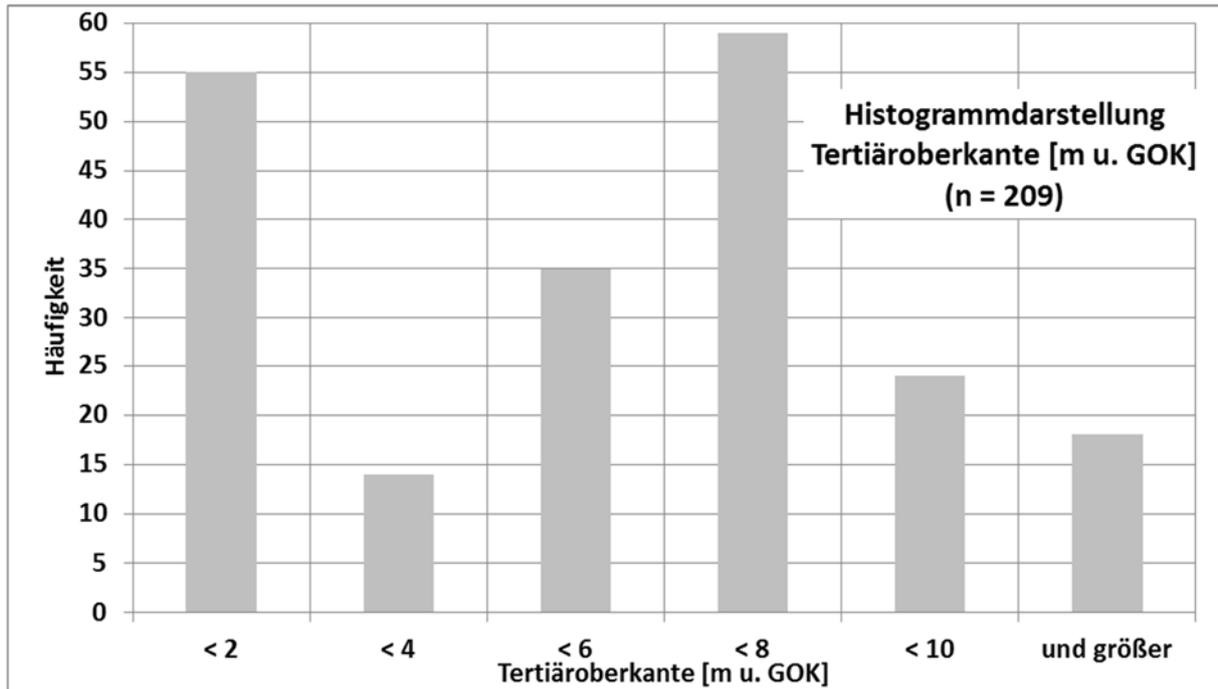


Abbildung 7: Histogrammdarstellung der Lage der Tertiäroberkante [m u. GOK]

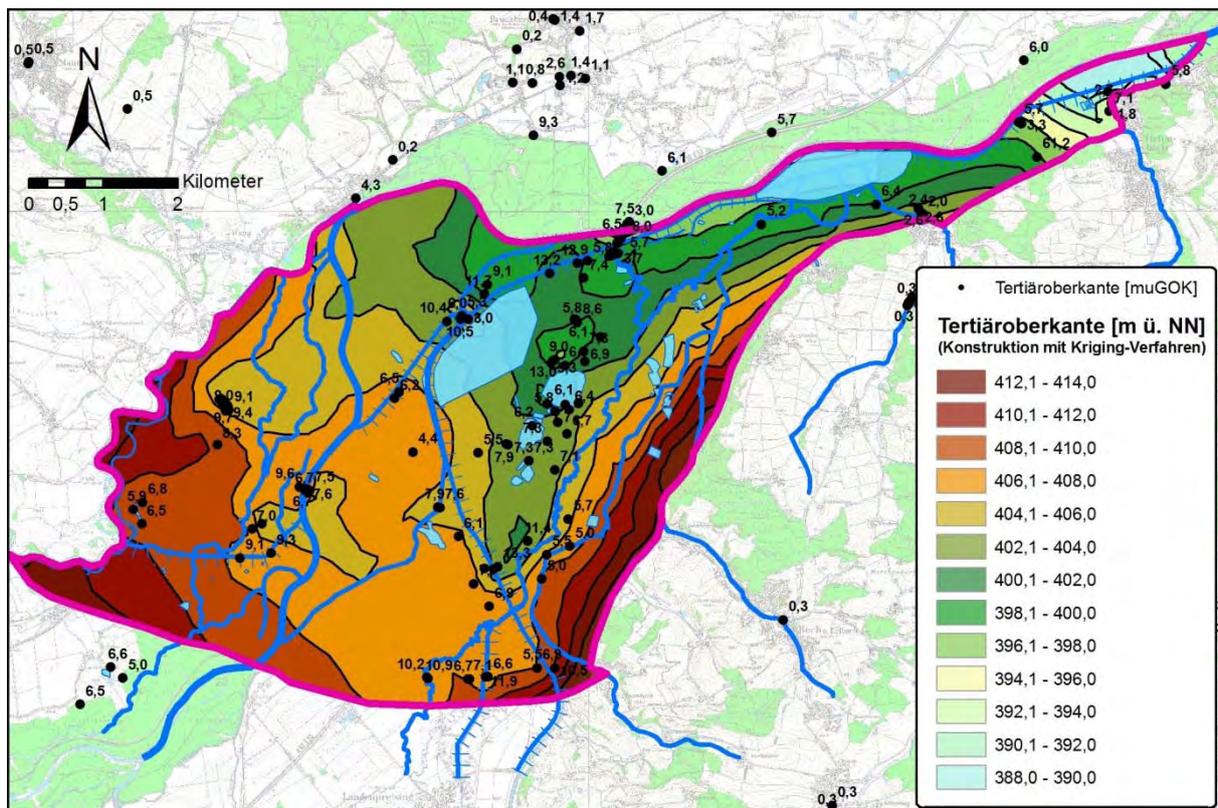


Abbildung 8: Übersichtslageplan Tertiäroberkante im Modellgebiet

Untersuchungsgebiet SKUP

Für das Untersuchungsgebiet SKUP wurden die Bohrprofile der neu erstellten Grundwassermessstellen entlang des MIK und AWK ausgewertet.

Bohrprofile und Ausbaupläne der neu erstellten Messstellen sind in der Anlage 4 beigefügt.

In einigen Fällen ist dabei nicht zweifelsfrei zu erkennen, ob die obersten feinkörnigen (Feinsand) bis bindigen Einheiten (Schluff) der tertiären Oberen Süßwassermolasse und die im Liegenden folgenden Schotter den tertiären Nördlichen Vollschootern zuzuordnen sind oder ob es sich um feinkörnig-bindige quartäre Einschaltungen handelt (Flusssande-/Lehme). Die sog. *Steckbriefe* der Bohrungen im Umweltatlas (LfU) weisen beide Interpretationen auf.

In der Bohrung GWM-AWK-R1 wurde mit hoher Wahrscheinlichkeit die Tertiäroberkante erreicht. Für die Bohrungen GWM-AWK-L1 bis -L4 sind ebenfalls schluffige tertiäre Deckschichten mit im Liegenden erschlossene, gespannte tertiäre Grundwasser in den Nördlichen Vollschootern zu vermuten. Die weiteren Bohrungen GWM-MIK-20 bis -26 haben dagegen bindige quartäre Einschaltungen durchteuft und Grundwasser führende quartäre Kiese im Liegenden erschlossen. Die Tertiäroberkante als Basis dieser Kiese wurde jedoch mit Bohrteufen bis 12 m nur bei GWM-MIK-26 erreicht.

In der Abbildung 9 ist die Höhenlage der obersten bindigen Schichten in [m ü. NN] und [m u. GOK] an den Bohrpunkten dargestellt. Für die Bohrpunkte R1, MIK-26 und B24-P-2023 ist diese mit der Tertiäroberkante gleichzusetzen.

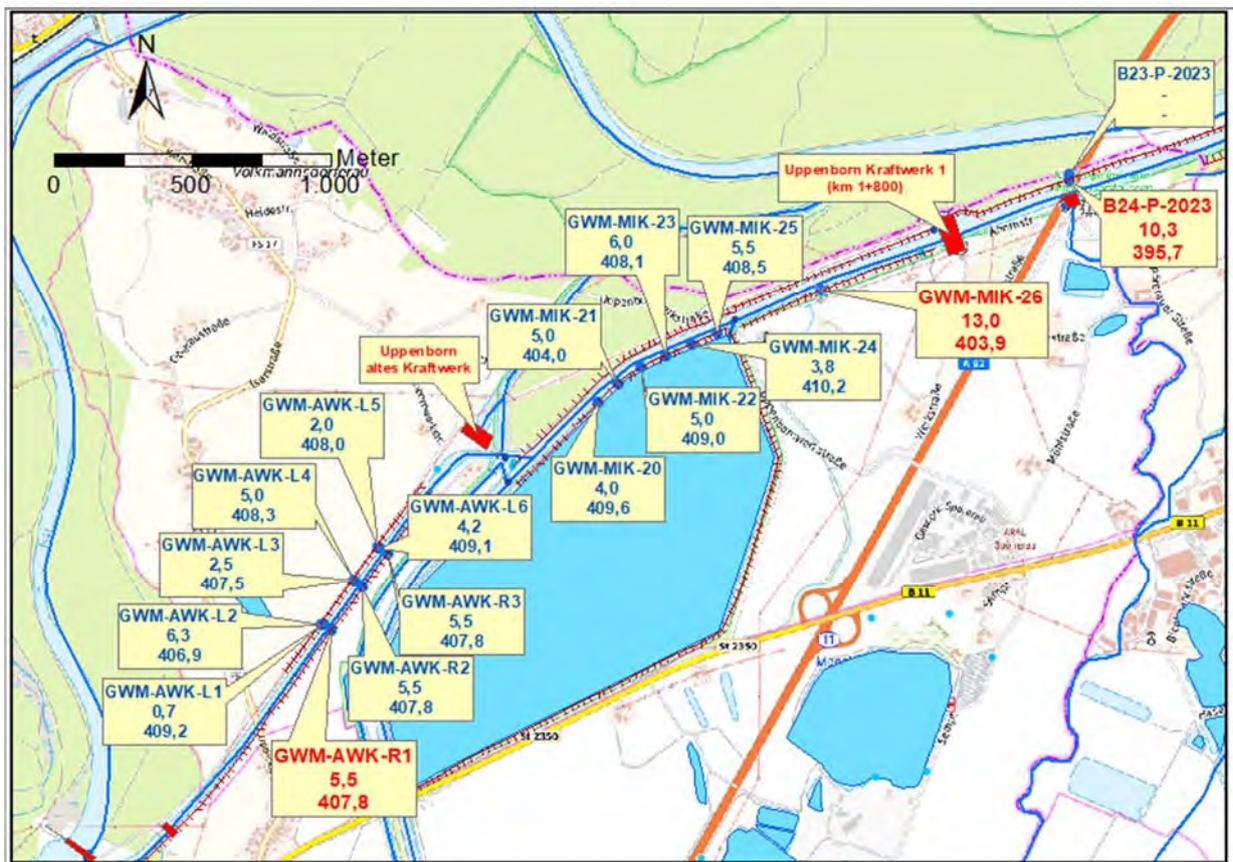


Abbildung 9: Staueroberkante Untersuchungsgebiet SKUP (TOK bei R1, MIK-26 und B24-P-2023)

Auf der Grundlage dieser Stützpunkte ergibt sich kein Überarbeitungsbedarf der großräumig konstruierten Tertiäroberkante (= Unterkante der Grundwassermodells)

3.3.3 Grundwasserstände

3.3.3.1 Messstellen

In den nachfolgenden Abbildungen sind die Pegel und Grundwassermessstellen dargestellt, für die Messwertaufzeichnungen vorliegen. Die Beschriftungen sind nach manueller bzw. automatischer Aufzeichnung sowie nach Messstellentyp differenziert.

Abbildung 10 zeigt die Übersicht über das gesamte Modellgebiet. Die neu erstellten Messstellen im Untersuchungsgebiet SKUP sind aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht eingetragen. In Abbildung 11 sind die für die Berechnungen SKUP relevanten Messstellen dargestellt.

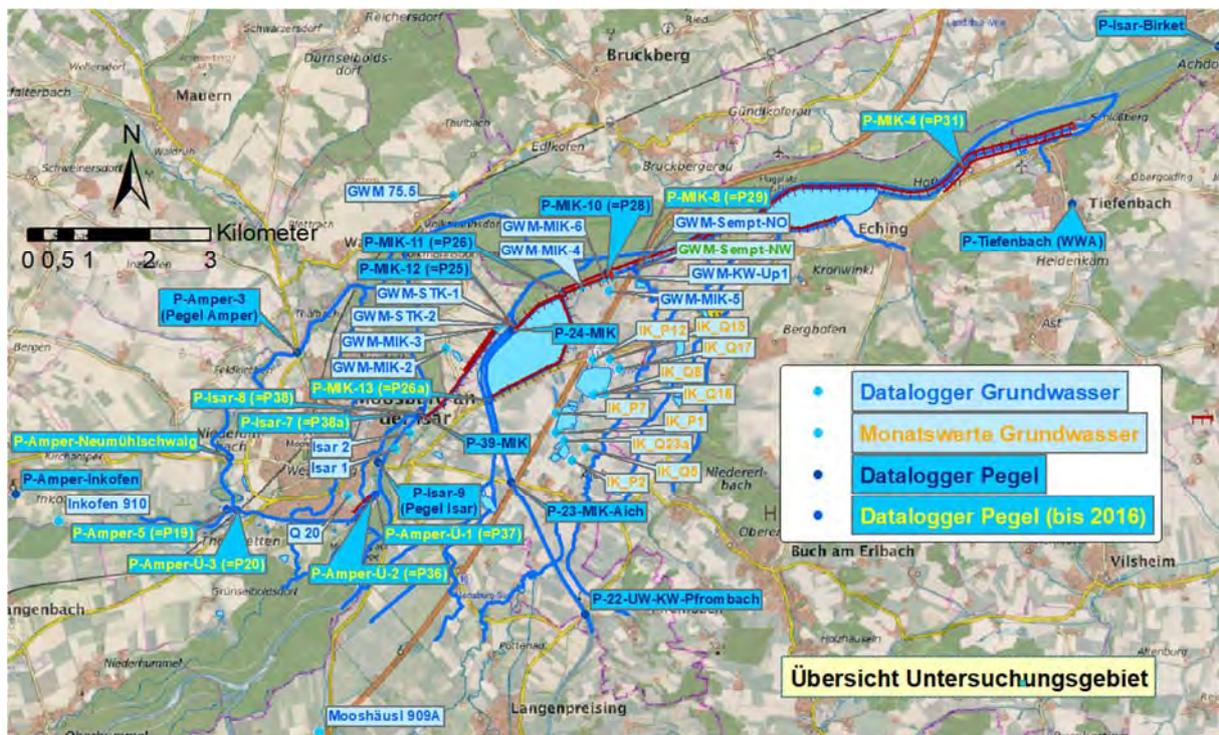


Abbildung 10: Übersichtslageplan mit Grundwassermessstellen und Gewässerpegel

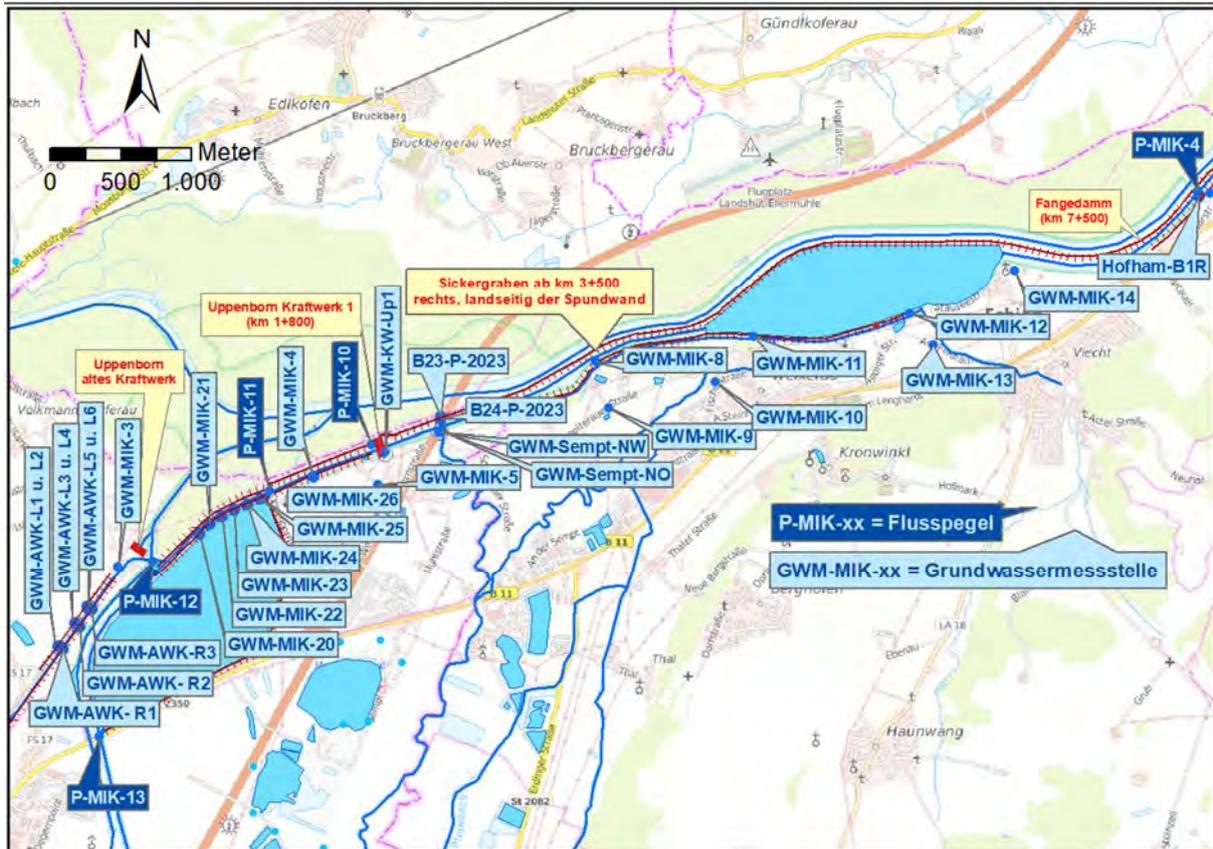


Abbildung 11: Lageplan Messstellen im Untersuchungsgebiet SKUP

3.3.3.2 Messwerte

3.3.3.2.1 Stichtagsmessung am 11.06.2015 (Kalibrierung Grundwassermodell)

Für die Erstkalibrierung des Grundwassermodells wurde am 11.06.2015 eine umfassende Stichtagsmessung an 64 Grundwassermessstellen sowie 37 Messpunkten an Oberflächenfließgewässern durchgeführt.

Die Grundwasserstandsmesswerte sowie die zum Stichtag herrschenden klimatischen Verhältnisse wurden analysiert und statistisch ausgewertet. Eine ausführliche Erläuterung enthält der Bericht zum Grundwassermodell für das Projekt "Neue Wasserrechtliche Bewilligung Uppenbornwerke". Zusammenfassend ist festzustellen, dass zum Stichtag näherungsweise ein mittlerer, bereichsweise geringfügig erhöhter Grundwasserstand im Modellgebiet angenommen werden kann.

Das Ergebnis ist als Grundwassergleichenplan in der Anlage 1 beigefügt.

In Bereichen mit geringer Stützstellendichte, d.h. großen Interpolationsstrecken ebenso wie in Bereichen mit deutlicher Beeinflussung der Grundwasserstände durch Exfiltration in einen bzw. Infiltration aus einem Vorfluter sind die so konstruierten Isolinien der Grundwasserstandshöhen naturgemäß fehlerbehaftet.

Die Grundwasserströmung ist generell nach Nordnordosten mit einem Gefälle von rd. 2 ‰ gerichtet.

Untersuchungsgebiet SKUP

Für die neu erstellten Messstellen im Untersuchungsgebiet SKUP liegen Messwerte ab Mai bzw. ab Oktober 2023 vor. Im folgenden Diagramm sind die vorliegenden Messreihen im Untersuchungsgebiet dargestellt.

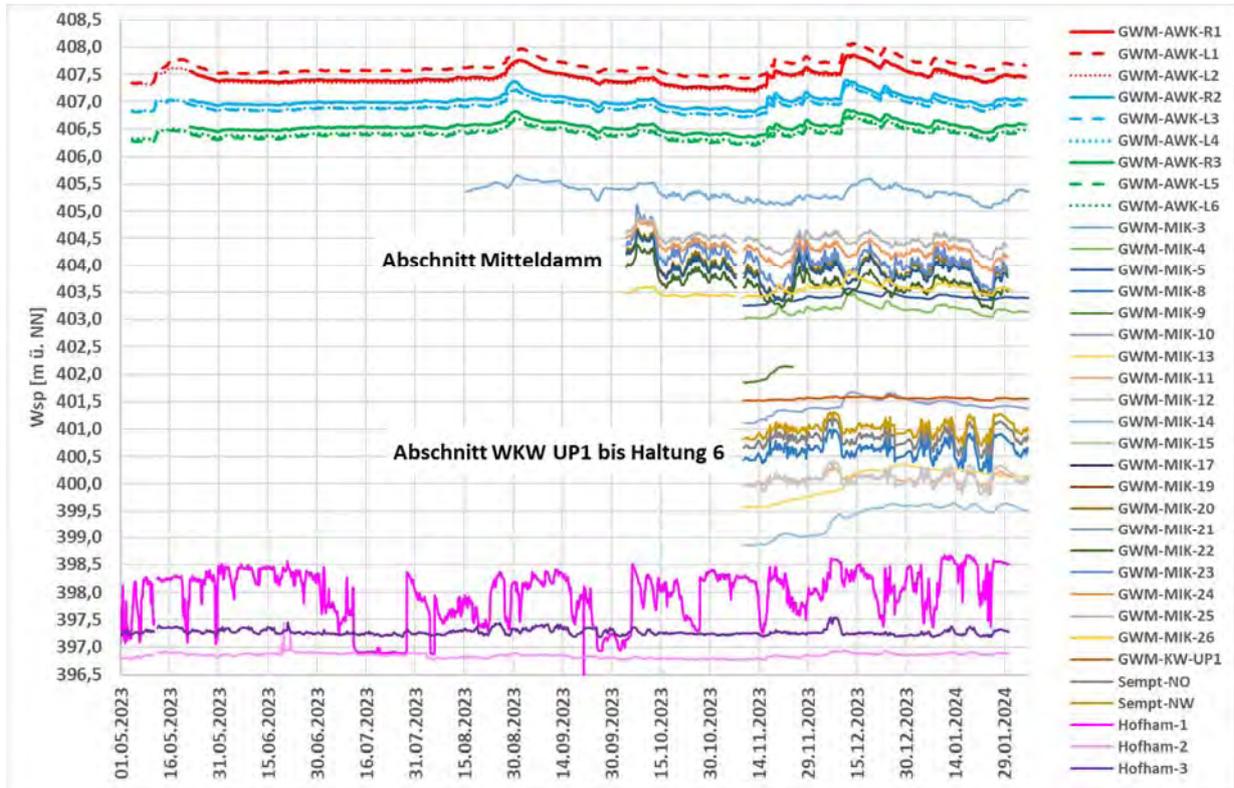


Abbildung 13: Ganglinien Messstellen Bereich Moosburger und Echinger Speichersee

3.3.3.2.3 Bewertung der ergänzten Grundwasserstandsmesswerte

Für eine belastbare statistische Aussage hinsichtlich der Grundwasserstandshauptwerte (NW, MW, MHW etc.) ist dieser Erfassungszeitraum von weniger als einem Jahr naturgemäß deutlich zu kurz. Es kann jedoch als Plausibilitätsprüfung der Mittelwert der bisherigen Messdaten der neuen Messstellen mit den auf den Messwerten der Stichtagsmessung vom 11.06.2015 (damals existierende Messstellen) beruhenden Grundwassergleichen verglichen werden.

In der Abbildung 14 ist dies für den Bereich Moosburger bis Echinger Speichersee dargestellt. Es ist zu erkennen, dass sich die Messwerte „Mittelwasser“ der neuen Messstellen unabhängig vom relativ kurzen Erfassungszeitraum weitgehend in den Grundwassergleichenplan einfügen. Lediglich die Messstellen GWM-MIK-23, -24 und -25 im Mitteldamm zeigen bezogen auf die konstruierten Grundwassergleichen ein um einige dm zu hohes Grundwasserstands-niveau. Möglicherweise erfolgt hier eine Exfiltration aus dem Speichersee oder dem MIK, was zu einer lokalen Anhebung des Grundwasserstands führt. Das GW-Niveau im Mitteldamm ist auf die aktuelle Betriebsweise des Kanals zurückzuführen. Außerdem kann auch die zwischenzeitlich durchgeführte Sanierung der Stichkanalinsel (und der angrenzenden Bereiche im MIK) zu Veränderungen in der Abdichtung der Kanal- und Speicherseeböschungen (und -Sohlen) geführt haben.



Abbildung 14: Grundwassergleichen ca. MW (Stichtagsmessung 11.06.2015) und Messwerte MW (neue Messstellen, aktuell vorliegende Messzeiträume, westlicher Teilbereich)

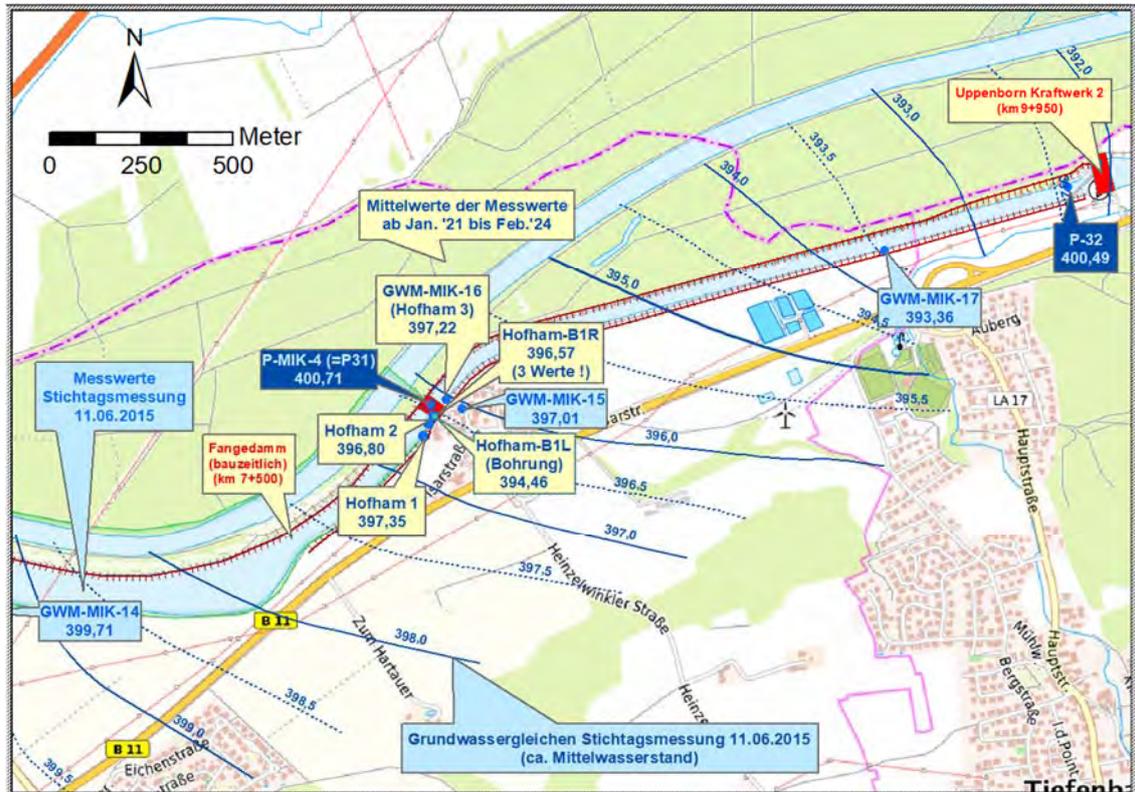


Abbildung 15: wie Abbildung 14, östlicher Bereich (Hofham B1L: Bohrwasserspiegel)

Für den östlichen Teilbereich liegt eine neue Grundwassermessstelle (Hofham-B1R) mit drei Messwerten vor. Diese fügen sich ebenfalls näherungsweise in die vorliegenden Grundwassergleichen ein. Die Messstellen Hofham 1 bis Hofham 3 erschließen vermutlich Sickerwasservorkommen im Dammbereich. Die Messstelle MIK15 zeigt einen etwas höheren Grundwasserstand. Hier wird eine sehr geringmächtige Kieseinschaltung (rd. 0,5 m) mit geringer Grundwassermächtigkeit (rd. 0,25 m) erschlossen. Von einem ungestörten Anschluss an den umgebenden Grundwasserleiter kann hier nicht sicher ausgegangen werden.

Da für die Modellerstellung 2015 eine umfassende Stichtagsmessung an allen zum damaligen Zeitpunkt im gesamten Modellgebiet vorhandenen Messstellen (also noch ohne die neuen GWMs aus Abbildung 14) durchgeführt wurde und im Zuge der vorliegenden Untersuchungen keine neuerliche umfassende Stichtagsmessung an allen aktuell vorhandenen Messstellen wiederholt wurde, konnte nach oben erläuteter Prüfung der grundsätzlich sehr ähnlichen hydraulischen Grundwasserstandssituationen (Stichtagsmessung 2015 und MW der neuen Messstellen seit Erstellung) eine Kombination aus beiden Messwerten ohne Qualitätsverlust der Aussagegenauigkeit in Kauf genommen werden.

4. Numerisches Grundwasserströmungsmodell

Auf der Grundlage der Stichtagsmessung vom 11.06.2015 wurde ein numerisches Grundwasserströmungsmodell erstellt, welches die *Amperüberleitung* südlich von Moosburg sowie den *Mittlere-Isar-Kanal* bis zur Mündung in die Isar und den Alten Werk-Kanal umfasst.

4.1 Modellaufbau (Modell Stichtagsmessung = MW)

Das Modell wurde mit der Grundwassermodellierungssoftware *Feflow* (zum Zeitpunkt der Modellerstellung Version 6.2, zwischenzeitlich aktuelle Version 8.1) auf der Grundlage eines Finite-Elemente-Netzes erstellt.

Es handelt sich um ein dreidimensionales, stationäres Modell mit einer Modellgröße von rd. 50 km². In der folgenden Tabelle sind die maßgeblichen Modelldaten zusammengestellt. Die aufgeführten Parameter werden i. F. erläutert.

Tabelle 1: Zusammenstellung der Modelldaten

Software		Feflow 8.0 (DHI) - Finite-Elemente-Netz	
Modellgröße		50,1	km ²
Horizontale Diskretisierung		73.000 95.000	Knoten Elemente
Vertikale Diskretisierung		3 2	Slices Layer
Modelltyp	3-dimensional, stationär		
Randbedingungen	1. Art - Fixpotential am oberstromigen Modellrand entlang der Grundwassergleiche	416,5	m ü. NN
	3. Art - Transfer in Kombination mit Materialparameter <i>Transferrate</i> (Kolmation)	linear interpoliert entlang Oberflächenfließgewässer entsprechend den Pegelwerten der Stichtagsmessung	m ü. NN
Materialparameter	Hydraulische Durchlässigkeit	1×10^{-05} bis 2×10^{-02} 5×10^{-03} (Startwert Kalibrierung)	m/s
	k_f -Wert Baggerseen Isarkies u.a.	1	m/s
	Transferrate-IN (Kolmation bzgl. Infiltration)	0 - 10.000	1×10^{-04} 1/d
	Transferrate-OUT (Kolmation bzgl. Exfiltration)	0 - 40.000	1×10^{-04} 1/d
	Grundwasserneubildung	0	mm/d

4.1.1 Diskretisierung

In der Abbildung 16 ist der Modellumgriff mit der horizontalen Netzdiskretisierung mit rd. 95.000 Elementen (in 2 Layern) zu erkennen. Die Netzverfeinerung entlang der implementierten Oberflächengewässer sowie die Stützstellen der Modellkalibrierung (Grundwassermessstellen) sind zu erkennen.

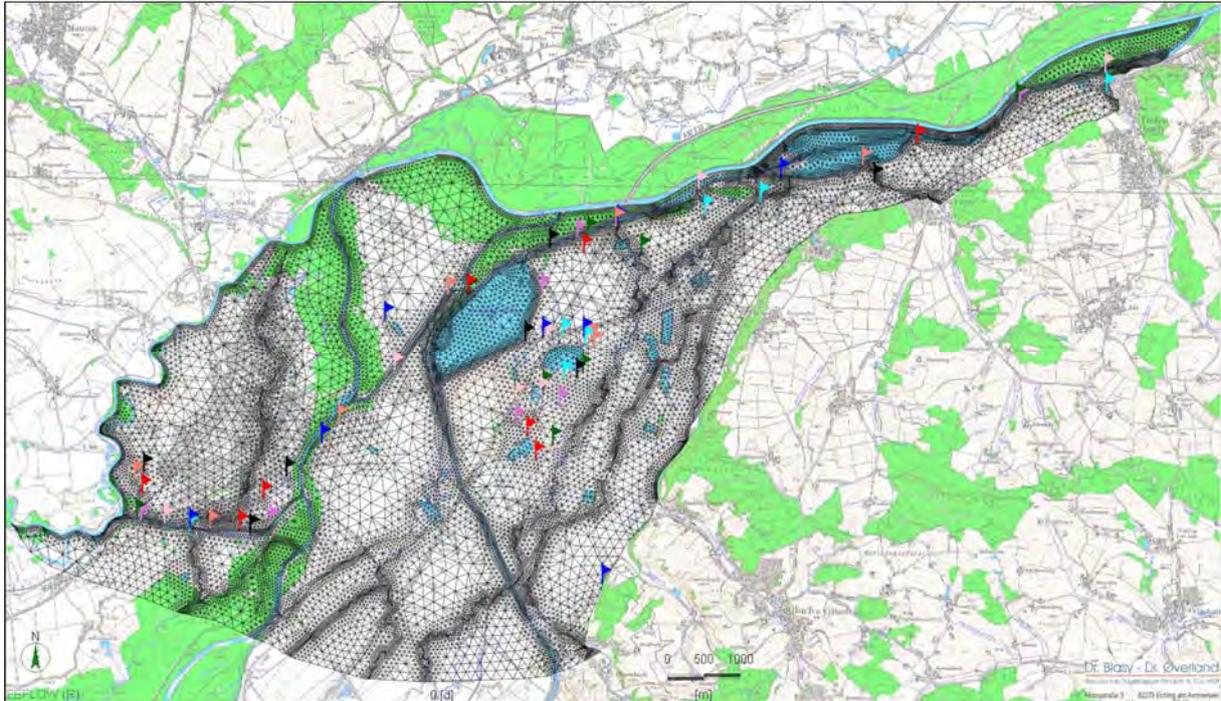


Abbildung 16: Übersichtslageplan mit Netzdiskretisierung des Modellgebietes und Stützstellen der Kalibrierung (Grundwassermessstellen)

Die Abbildung 17 zeigt eine 3-D-Ansicht des Modellgebietes mit den implementierten Oberflächengewässern und Grundwassermessstellen.

Die vertikale Modellausdehnung umfasst den quartären Grundwasserleiter zwischen Geländeoberkante und Tertiäroberkante. Das Quartär ist in 2 Modellschichten (Layer) unterteilt, wobei im oberen Layer 1 modelltechnisch der Austausch zwischen Grund- und Oberflächenwasser erfolgt.

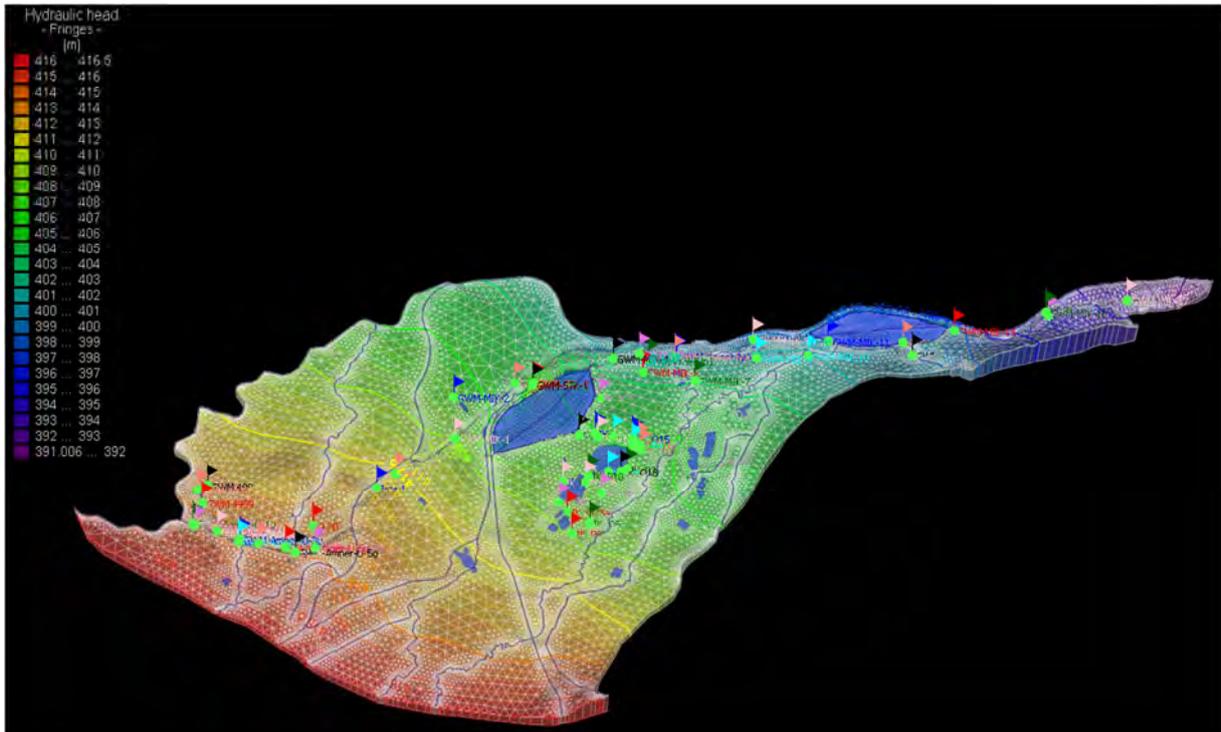


Abbildung 17: 3D-Darstellung des Modellgebietes mit Netzdiskretisierung, Oberflächengewässern und Grundwassermessstellen

4.1.2 Modellrandbedingungen und Materialparameter

Mittels der Modellrandbedingungen und Materialparameter werden die hydrogeologischen Verhältnisse im Modellgebiet definiert.

4.1.2.1 Randbedingungen

In der Abbildung 18 sind die im Modell implementierten Randbedingungen 1. Art (Fixpotenzial) und 3. Art (Transfer = Oberflächengewässer) dargestellt.

Der südliche Modellrand wurde entlang der auf der Grundlage der Stichtagsmessung vom 11.06.2015 ermittelten Grundwassergleiche 416,5 m ü. NN gelegt. Durch die Randbedingung 1. Art (blau markierte Netzknoten) wird damit der Wasserstand des stationären Grundwassermodells entlang dieser Linie für das Modell „Stichtagsmessung“ unveränderlich auf 416,5 m ü. NN fixiert.

Die grün markierten Netzknoten zeigen den Verlauf der Randbedingung 3. Art, d.h. der implementierten Oberflächenfließgewässer an. Entlang der Gewässerverläufe werden hier die zur Stichtagsmessung gemessenen Wasserstandshöhen zwischen den Pegel-Messstellen linear interpoliert.

Diese Randbedingungen basieren auf tatsächlichen Messwerten und werden im Zuge der Kalibrierung nicht verändert.

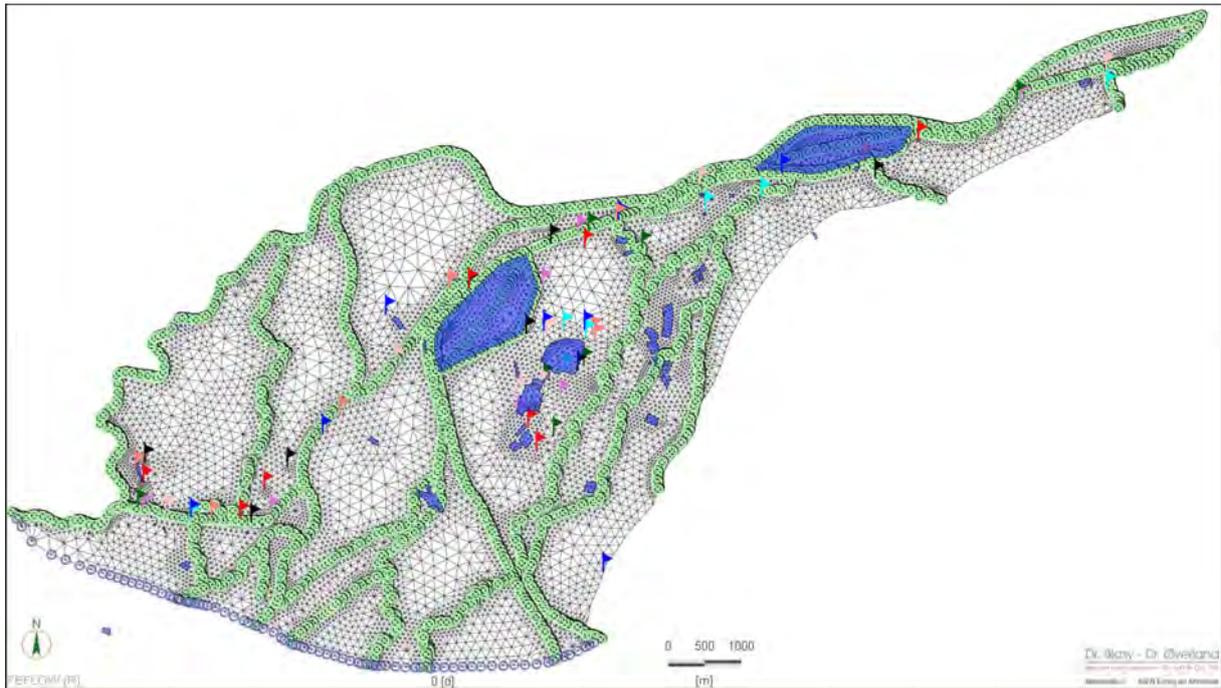


Abbildung 18: Netzdiskretisierung, Randbedingungen 1. Art (blau) und 3. Art (grün)

4.1.2.2 Materialparameter

Der Austausch zwischen dem Wasserstand im Oberflächengewässer und dem Grundwasser wird zum einen über die Potenzialdifferenz dieser Wasserstandshöhen und zum anderen über die Kolmation, d.h. über die Abdichtung der Gewässersohle gesteuert. Die Kolmation wird als Materialparameter *Transfer-Rate* definiert und kann für Exfiltration und Infiltration getrennt angegeben werden.

Die Kolmation wird nach folgendem Zusammenhang modelltechnisch implementiert:

$$K \left[\frac{1}{d} \right] = k_f \left[\frac{m}{d} \right] : M [m]$$

mit: K: Wirksamkeit der Kolmation [1/d]
k_f: hydraulische Durchlässigkeit der Kolmationsschicht [m/d]
M: Mächtigkeit der Kolmationsschicht [m]

Je größer der für K angesetzte Wert ist, desto unmittelbarer ist die Anbindung des Oberflächengewässers an das Grundwasser, je kleiner K ist, desto größer ist die Abdichtung, d.h. die Abkoppelung des Gewässers vom Grundwasser.

Beispiele:

- hohe Kolmation/schlechte Anbindung:
k_f = 1 x 10⁻⁰⁸ m/s mit einer Mächtigkeit von 0,2 m ⇒ K = 43,2 x 10⁻⁰⁴ 1/d
- geringe Kolmation/unmittelbare Anbindung:
k_f = 1 x 10⁻⁰² m/s mit einer Mächtigkeit von 0,1 m ⇒ K = 8.640 1/d

Weitere Materialparameter sind die hydraulische Durchlässigkeit (k_f-Wert) und die Grundwasserneubildung.

Da im Zeitraum von über zwei Wochen vor der Stichtagsmessung vom 11.06.2015, welche die Grundlage der stationären Modellsituation bildet, kaum Niederschläge zu verzeichnen waren, wurde die Grundwasserneubildung gleich 0 gesetzt.

Für die hydraulische Durchlässigkeit des quartären Grundwasserleiters wurde zu Beginn der Modellkalibrierung ein einheitlicher Wert von 5×10^{-03} m/s gesetzt. Dies entspricht dem Mittelwert der Pumpversuchsergebnisse an den Grundwassermessstellen (siehe Kapitel 3.3.1 und Abbildung 3). Im Verlauf der Kalibrierung wurden bereichsweise Anpassungen der Durchlässigkeiten im Wertebereich zwischen 1×10^{-04} und 5×10^{-02} m/s vorgenommen. Ins Tertiär einbindende (d.h. nicht unterströmte) Spundwände wurden mittels Zonen mit einer Durchlässigkeit von 1×10^{-09} m/s, Grundwasser gespeiste Baggerseen mit einer Durchlässigkeit von 1 m/s modelliert.

4.1.2.3 Weitere Modellparameter

Im Modell wurden verschiedene anthropogene Eingriffe in den Untergrund berücksichtigt und mittels entsprechender Modellparametrisierung (verringerte Gewässerkolmation bzw. undurchlässige Bereiche im Untergrund) simuliert. Diese sind u.a.:

- Grundwasserfenster in Streckenabschnitten des *Mittlere-Isar-Kanals* in den Böschungen und in der Sohle
- Spundwandverbau entlang der Dämme und im Bereich der Insel Stichkanal

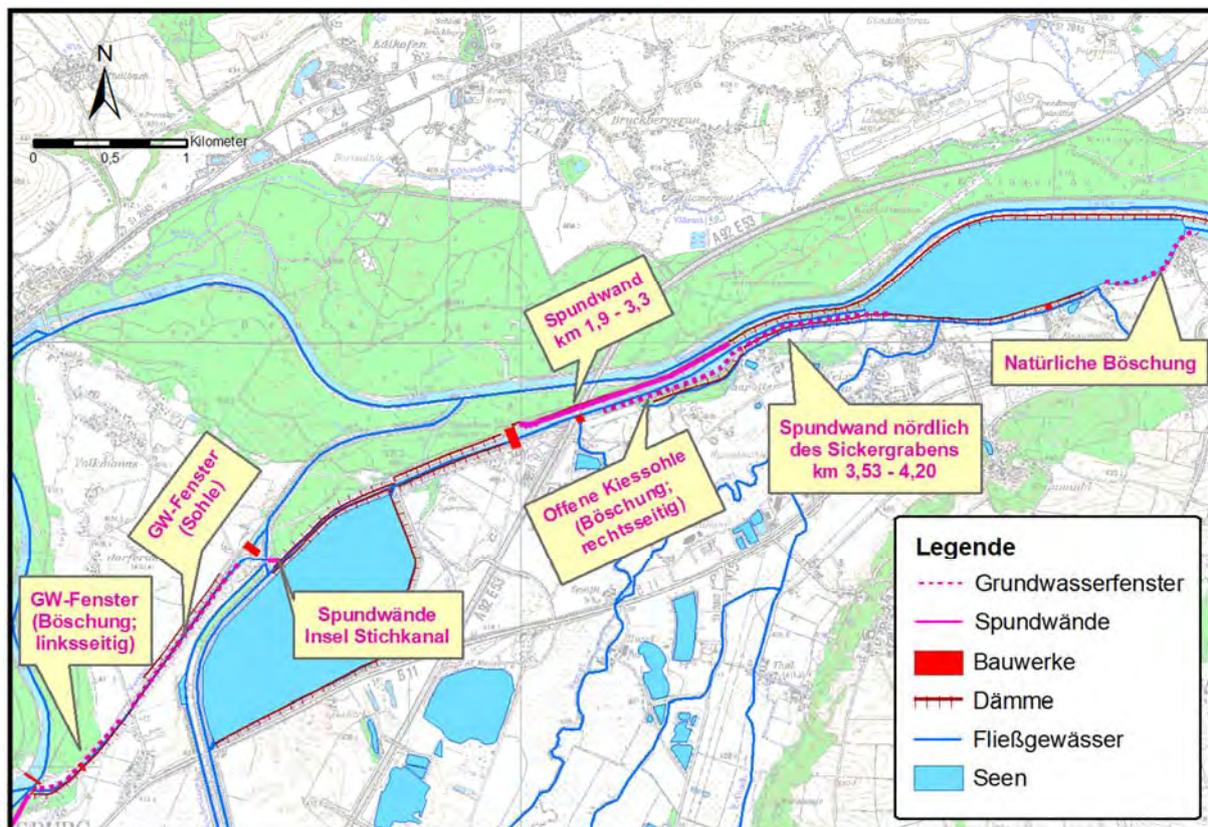


Abbildung 19: Übersichtslageplan mit Grundwasserfenstern und Spundwandverbauen

4.1.3 Modellgrundlagen der Bilanzierungsrechnungen

Die Oberflächengewässer sind im Grundwassermodell als sog. Randbedingung 3. Art implementiert. Mittels einer linearen 1-D-Interpolation zwischen den vorhandenen Pegelmessungen werden der auf dem Kanalverlauf liegenden Reihe von Netzknoten des Finite-Elemente-Netzes die Potenzialhöhen des Kanalwasserstandes zugewiesen. Aus modelltechnischen Gründen erfolgte die Zuweisung auf die Knoten der ersten Schichtfläche und der zweiten Schichtfläche (Slices 1 und 2), so dass entlang des Kanalverlaufs eine vertikal gestellte Fläche aufgespannt wird (siehe Abbildung 20), durch die ein horizontaler Massenstrom erfolgt, welcher abhängig ist von der

- a) Potentialdifferenz zwischen angegebenem Wasserstand im Kanal und dem berechneten Grundwasserpotenzial an diesem Knoten und
- b) von der Wirksamkeit der Kolmation (= sog. Transferrate) in diesem Kanalabschnitt.

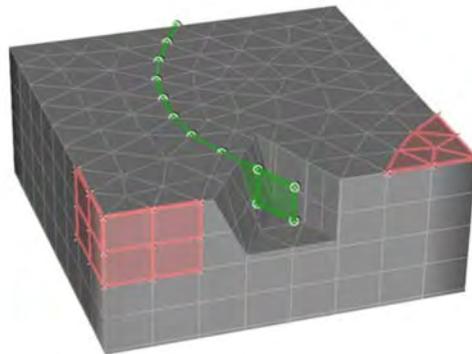


Abbildung 20: Randbedingung 3. Art (grüne Knoten) auf der Modelloberfläche (Slice 1) und der unterlagernden Schichtfläche (Slice 2) spannen eine vertikale Fläche auf, durch die Infiltration/Exfiltration erfolgt.

Die Kolmation (Transferrate) ist dem Layer zugewiesen, der zwischen den beiden Slices (hier: 1 und 2) liegt.

Dem Ergebnisfile des Grundwassermodells ist für jeden Netzknoten mit einer Randbedingung 3. Art die Bilanz des Austauschs zwischen Grundwasser und Oberflächenwasser, d.h. der Abfluss aus dem Modellgebiet = Exfiltration = (-) bzw. der Zustrom in das Modellgebiet = Infiltration = (+) zu entnehmen. Die Angabe erfolgt in [l/s] für den jeweiligen Netzknoten bzw. für die von jeweils vier Knoten aufgespannte Fläche.

Die Fließgewässer im Modellgebiet werden jeweils mit einer einzigen Reihe von Netzknoten abgebildet.

Anmerkung zur Begriffserläuterung:

Die englischsprachigen Bezeichnungen *Slices* und *Layer* entsprechen im deutschen den Bezeichnungen *Schichtflächen* und *Schichten*, d.h. *Schichtflächen* haben keine vertikale Ausdehnung und bilden die Ober- und Unterseite von Schichten.

4.1.4 Kalibrierung – Modell Stichtagsmessung (MW)

Nachdem im Modell die zur Stichtagsmessung tatsächlich gemessenen Randbedingungen, d.h. die unveränderlichen Modellparameter, implementiert wurden, wurden im Zuge der Modellkalibrierung die nicht lückenlos bekannten Modellparameter (hydraulische Durchlässigkeit, Kolmation) innerhalb plausibler Grenzen iterativ soweit variiert, bis eine bestmögliche Anpassung des Modells an die Realität erreicht war. Das heißt, dass die mit dem Modell berechneten Grundwasserstände an den Grundwassermessstellen die gemessenen Grundwasserstände möglichst genau abbilden.

Für das vorliegende Modell sollte im Kernbereich eine Genauigkeit von ± 20 cm erreicht werden.

In Bereichen ohne Grundwassermessstellen weichen die mit dem Modell berechneten Grundwassergleichen von den mittels Triangulation zwischen den Grundwassermessstellen konstruierten Grundwassergleichen z.T. deutlich ab. Dies ist plausibel, da mit dem Modell Randbedingungen wie Vorfluter oder Schwankungen der Grundwassermächtigkeit Auswirkungen auf die Berechnung der Grundwasserstandshöhen haben. Bei einer Triangulation der Messwerte zwischen den Messstellen ist das naturgemäß nicht der Fall.

In der Abbildung 21 sind in einem Übersichtslageplan die berechneten Grundwassergleichen und die Abweichungen der Modellwerte von den Messwerten an den Grundwassermessstellen (Konfidenzintervall: $\pm 0,2$ m) dargestellt.

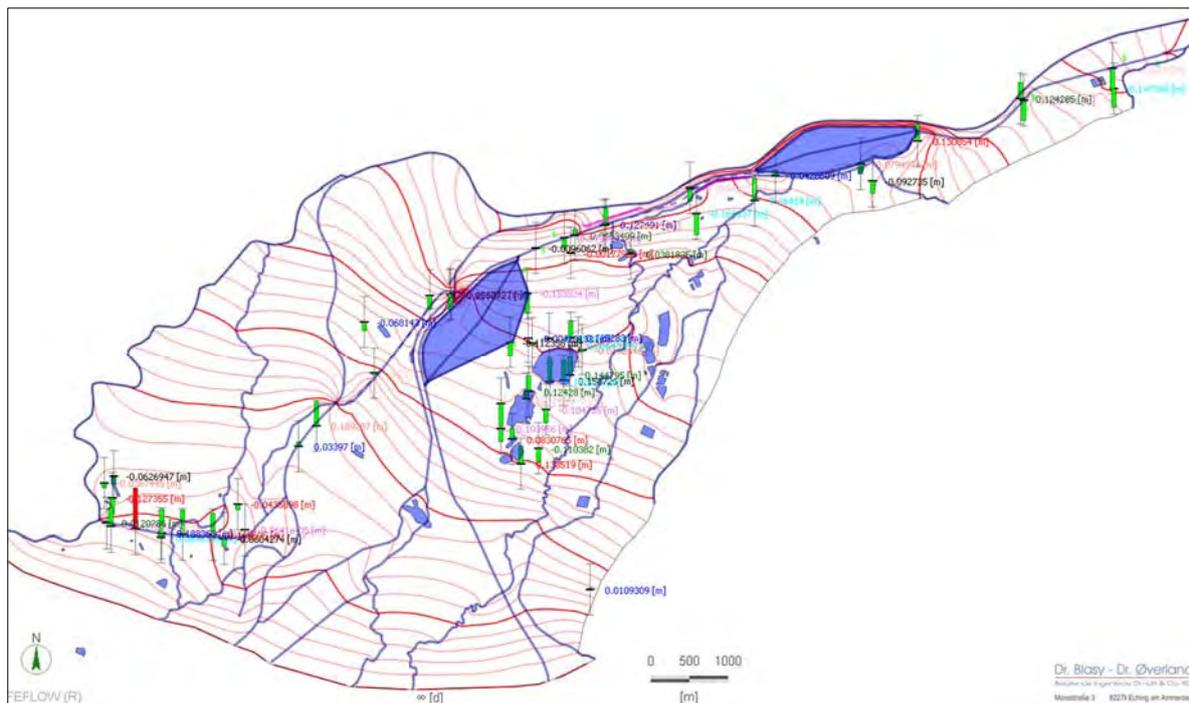


Abbildung 21: Übersichtslageplan mit modellierten Grundwassergleichen und Abweichungen der Modellwerte von den Messwerten (an den Grundwassermessstellen)

4.1.5 Modellkalibrierung und Variantenrechnungen der Grundwasserstandshöhen und Kolmationszustände (Gutachten 2016)

Das wie vorstehend erläutert erstellte Grundwasserströmungsmodell wurde anhand der umfassenden Stichtagsmessung (rd. Mittelwasserstand, MW) kalibriert und es wurden mit Variation der Randbedingungen Modellvarianten für Hochwasserstand (HW) und Niedrigwasserstand (NW) entwickelt.

Die jeweiligen Modellergebnisse und streckendifferenzierten Bilanzierungsrechnungen für Infiltrations- und Exfiltrationsvorgänge zwischen Fluss- und Grundwasser im Modellgebiet sowie Detailauswertung für definierte Untersuchungsbereiche sind ausführlich im Bericht zum Grundwassermodell für das Projekt "Neue Wasserrechtliche Bewilligung Uppenbornwerke" erläutert.

Die folgenden Erläuterungen beschränken sich daher auf die Modellanwendung hinsichtlich der Sanierung der Kanalanlagen Uppenbornkraftwerke (SKUP) und beschreiben die in diesem Zusammenhang maßgeblichen Modellparameter und -ergebnisse.

5. Sanierung Kanalanlagen Uppenbornkraftwerke (SKUP)

5.1 Vorbemerkungen

Koordinaten- und Höhensystem

Zum Zeitpunkt des Projektbeginns und Erstellung des Grundwassermodells im Jahr 2015 lagen Vermessungsdaten im damals gültigen Höhensystem DHHN2012 in Gauß-Krüger-Koordinaten vor. Zwischenzeitlich erfolgte eine Umstellung über DHHN92 auf das derzeit aktuelle Höhensystem DHHN2016 und Darstellung in UTM 32N.

Aufgrund der im Projektverlauf erzeugten und sukzessive erweiterten umfangreichen Datengrundlage wurde bei der Wiederaufnahme der Arbeiten zur Finalisierung des Gesamtgutachtens im Jahr 2023 beschlossen, das ursprüngliche Koordinatensystem beizubehalten. Diese Entscheidung erfolgte auch im Hinblick darauf, dass eine Koordinatentransformation des Grundwassermodells softwarebedingt nicht möglich ist und daher eine vollständige Neuerstellung des Modells erforderlich wäre.

Hinsichtlich der Aussagegenauigkeit und Belastbarkeit der Modellergebnisse zeigt eine Koordinatentransformation (XY-Lage) naturgemäß keine Auswirkungen. Im Untersuchungsgebiet liegen die Höhenangaben des neuen Höhensystem DHNN16 um rd. 0,04 m über dem alten Höhensystem DHHN12. Unter Berücksichtigung der sonstigen Unschärfen der Eingangsparameter (Messgenauigkeit, Kalibrierengenauigkeit) ist diese Abweichung unerheblich, insbesondere, da i. W. Aussagen zu Differenzhöhen (Ist-Zustand / Bauzustand / Endzustand) erfolgen und hierbei die zugrunde liegenden Absoluthöhen eine untergeordnete Rolle spielen.

Referenzwasserstand

Da die untersuchten Baumaßnahmen Bauzeiten von mehreren Monaten haben werden, wurde vereinbart, als Referenzwasserstand für den Ist- und Bau-Zustand jeweils den Mittelwasserstand zugrunde zu legen.

Hinweise zu Sohlabdichtungen

Der MIK wurde ab der sog. Stichkanalinsel bis rd. 150 m unterstromig (d.h. der im Eigentum der SWM befindliche Abschnitt) saniert und somit gegenüber dem umgebenden Untergrund abgedichtet ist.

Der Moosburger und der Echinger Speichersee weisen zwar keine künstliche Abdichtung auf, sind jedoch durch langjährigen Eintrag von Feinsedimenten weitestgehend kolmatiert.

5.2 Geplante Maßnahmen

Der von der Gesamtmaßnahme *Sanierung Kanalanlagen Uppenborn* betroffene Abschnitt des Mittlere-Isar-Kanals ist in der folgenden Abbildung im Überblick dargestellt.

Abschnitte vorhandener Sohlabdichtung und entsprechend reduziertem Austausch von Grund- und Kanalwasser sowie nicht abgedichtete Bereiche mit folglich zu erwartenden deutlichen Auswirkungen von Pegelstandsänderungen auf die Grundwasserverhältnisse sind in der Abbildung markiert und erläutert.

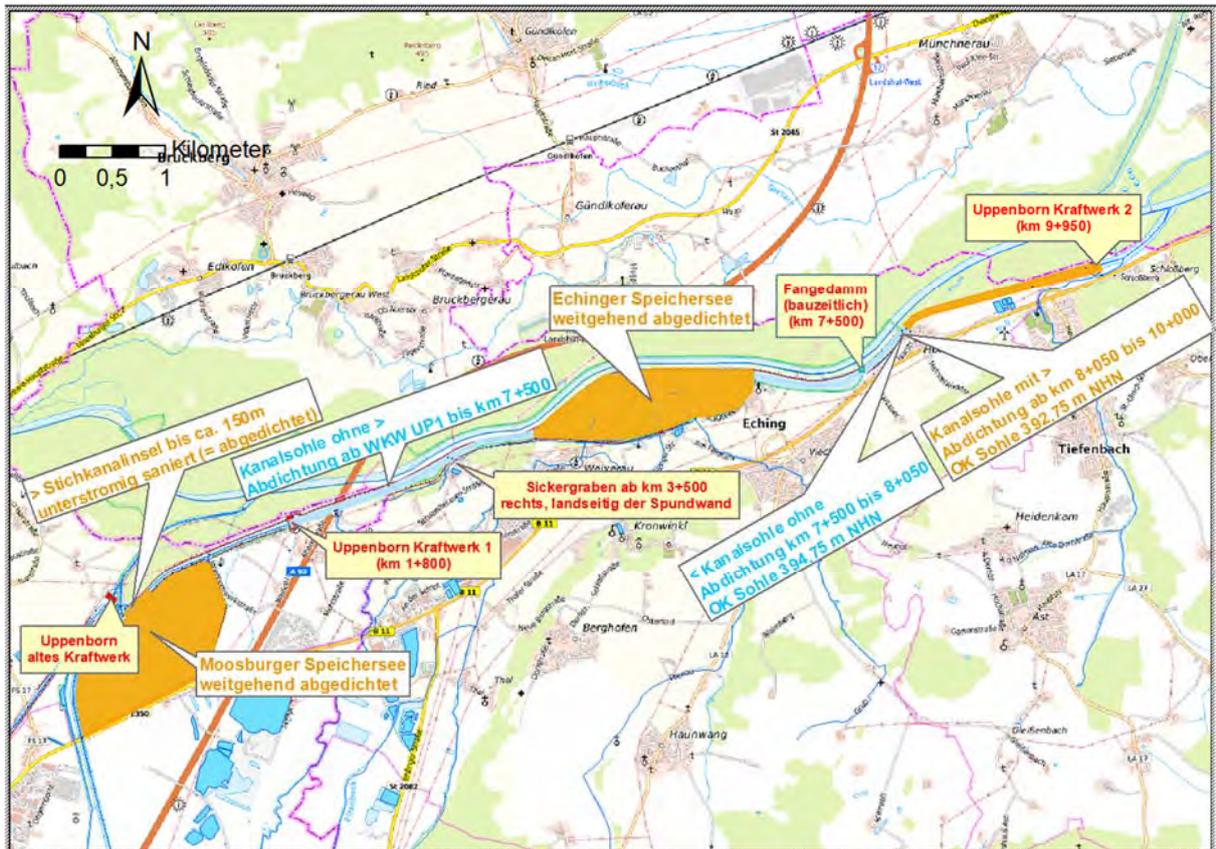


Abbildung 22: Übersicht - Bestandszustand im betroffenen Streckenabschnitt SKUP

Die Sanierung der Kanalanlagen Uppenborn soll in drei Bauphasen erfolgen. Hinsichtlich der temporären Änderungen der Wasserführungen bzw. Pegelstände sind hierbei die i. F. erläuterten Maßnahmen vorgesehen.

5.2.1 Bauphase 1

Die Bauphase 1 erstreckt sich über eine voraussichtlichen Dauer von rd. 9 Monaten, während derer Bauwerke (Stichkanalquädukt, Grundablass Moosburger Speichersee, Fischbachdurchlass und Brücken) saniert sowie Erdarbeiten zur Ertüchtigung der Dammkronenwege (DKW) und Dammhinterwege (DHW) des AWK, MIK H5b u. H6 und Moosburger Speichersees durchgeführt werden sollen.

Es sind hierbei folgende Maßnahmen vorgesehen:

- Der Alte Werkkanal (AWK) zwischen Einlauf am Isarwehr Moosburg und dem ehem. Alten Uppenbornkraftwerk bleibt in Betrieb.
- Bauzeitliche Wasserhaltung im Rotkreuzflutkanal; während der Sanierung wird die Wasserführung (wenige 100 l/s) in den MIK umgeleitet.
- Wasserführung in den Kanälen des MIK (*Haltung 5a, 5b und 6*) und in der Isar wie Ist-Zustand
- Der Pegel im Echinger Speichersee wird im Winter auf 399,5 und im Sommer auf 400,1 m ü. NN fixiert.

Der betreffende Streckenabschnitt der Bauphase 1 ist in der Abbildung 23 dargestellt.

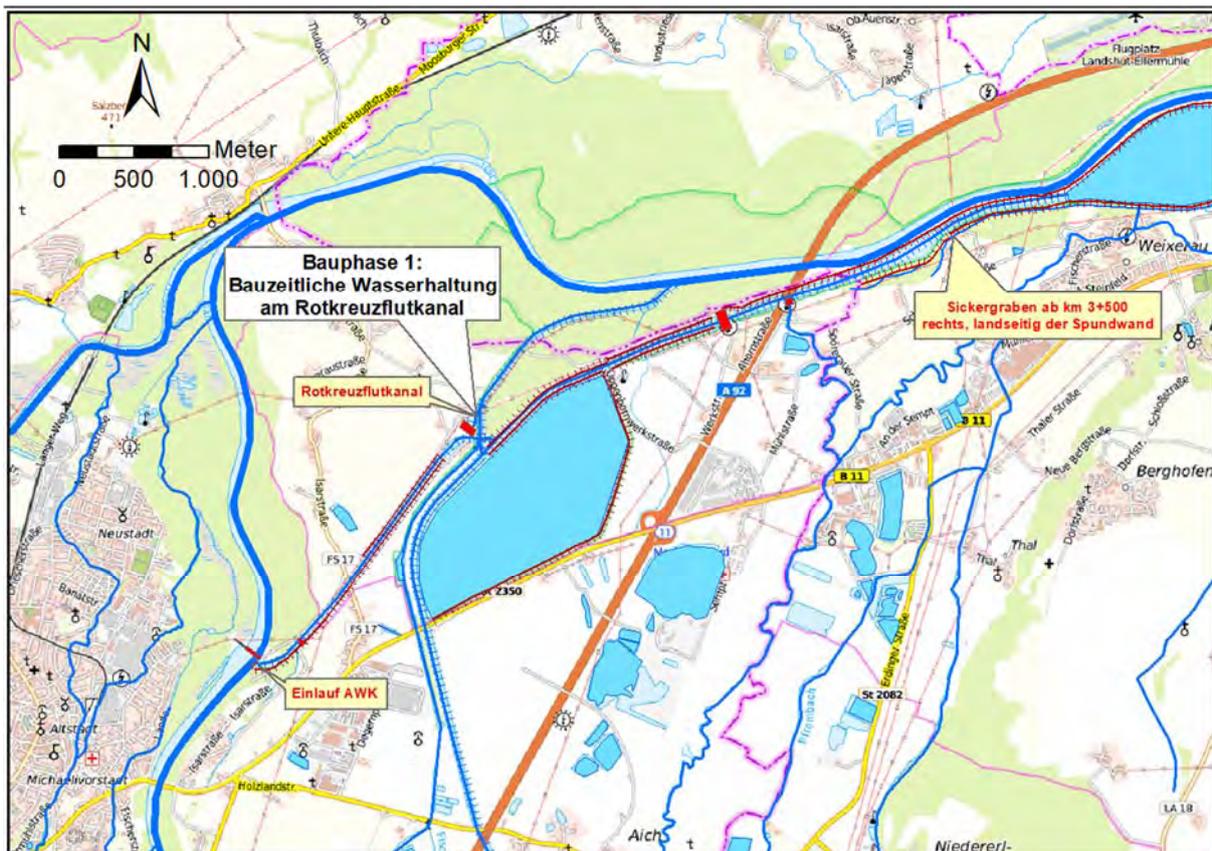


Abbildung 23: Bauphase 1 - Geplante Maßnahmen

5.2.2 Bauphase 2

Die Bauphase 2 erstreckt sich über eine voraussichtliche Dauer von rd. 11 Monaten. Es sind Kanalsanierungen (OW AWK, MIK H5b und H6, Zuläufe), Bauwerkssanierungen (Düker, Durchlässe, Brücken, Auslaufbauwerk; UP1 und UP2: Kraftwerkseinläufe), sowie der Rückbau der Wehranlage Hofham und die Sanierung der Uferwände vorgesehen.

Es sind hierbei folgende Maßnahmen vorgesehen:

- Der Alte Werkkanal zwischen Einlauf am Isarwehr Moosburg und dem ehem. Alten Uppenbornkraftwerk wird entleert.
- Kanal *Haltung 5b* zwischen dem ehem. Alten Uppenbornkraftwerk und dem Uppenbornkraftwerk 1 (UP1, km 1+800) wird entleert.
- Pegelstand im Kanal *Haltung 6* zwischen Uppenbornwerk 1 (UP1; rd. km 1+800) bis zum geplanten Fangedamm bei km 7+500 (inkl. Echinger Speichersee) soll konstant bei 399,5 m ü. NHN (Winterhalbjahr: Oktober bis März) gehalten werden.

Variantenrechnung: Die Baumaßnahme mit Einfluss auf die Wasserführung in Bauphase 1 bis 3 wird sich voraussichtlich über drei Winter- und zwei Sommerhalbjahre erstrecken. Für die Sommerhalbjahre jeweils April bis September der Jahre 1 und 2 ist eine geringere Absenkung im Bereich der *Haltung 6* auf 400,1 m ü. NHN vorgesehen. Dieser Zustand wird in einer Variantenrechnung dargestellt.

- Kanal von km 7+500 bis zum Wasserkraftwerk Uppenbornwerk 2 (UP2; rd. km 9+950) wird entleert (Kanalsole bis Hofham: 394,75 m ü. NN ohne Abdichtung; ab Hofham bis UP2: 392,75 m NN mit Abdichtung).
- Pegelstand im Moosburger Speichersee wird auf 410,36 m NHN (=410,40 m ü. NN) gehalten.
- Die Isar wird bauzeitlich zwischen Mündung UW AWK und Mündung H6 mit zusätzlichem Wasser aus dem Kanal beschickt. Es ergibt sich daraus ein erhöhter bauzeitlicher Pegelstand der Isar (siehe Kapitel 5.3.1.1).
- Für den Bereich km 3+500 bis zum Echinger Speichersee ist der Entwässerungsgraben rechts landseitig der Spundwand zu berücksichtigen.

Der betreffende Streckenabschnitt der Bauphase 2 ist in der Abbildung 24 auf der folgenden Seite dargestellt.

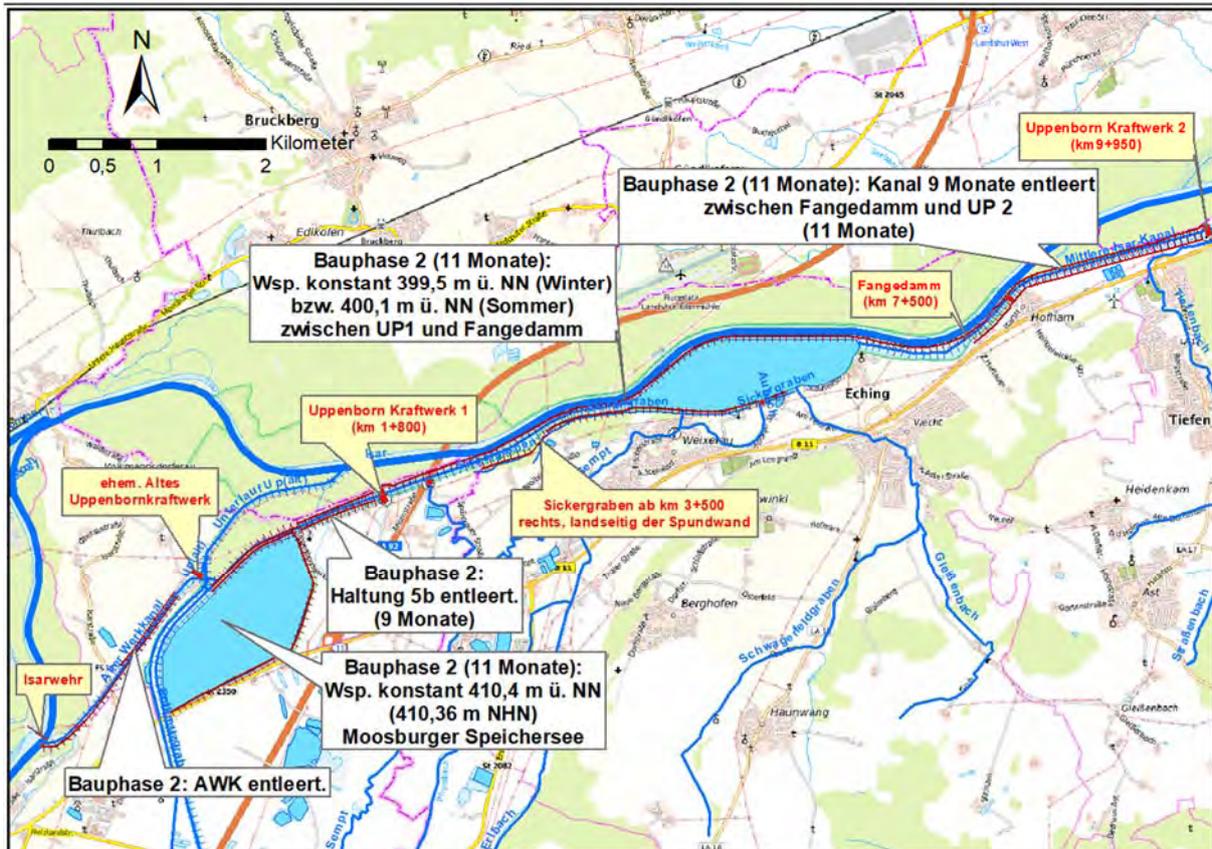


Abbildung 24: Bauphase 2 - Geplante Maßnahmen

5.2.3 Bauphase 3

Die Bauphase 3 erstreckt sich auf eine voraussichtliche Dauer von rd. 10 Monaten. Mit Einfluss auf die Wasserführung ist hierbei die Sanierung des Einlaufbauwerks sowie die Sanierung der Oberflächenabdichtung des Moosburger Speichersee vorgesehen. Weitere Maßnahmen im Zuge der Bauphase 3 haben keinen Einfluss auf die Wasserführung und werden daher hier nicht behandelt.

Dazu sind folgende Maßnahmen erforderlich:

- Pegelstand im Moosburger Speichersee wird auf 410,40 m ü. NN (= 410,36 m NHN) bzw. 409,64 m ü. NN (= 409,60 m ü. NHN) gehalten.
- Wasserführung in den Kanälen, dem Echinger Speichersee und in der Isar wie Ist-Zustand

Der betreffende Streckenabschnitt der Bauphase 3 ist in der Abbildung 25 dargestellt.

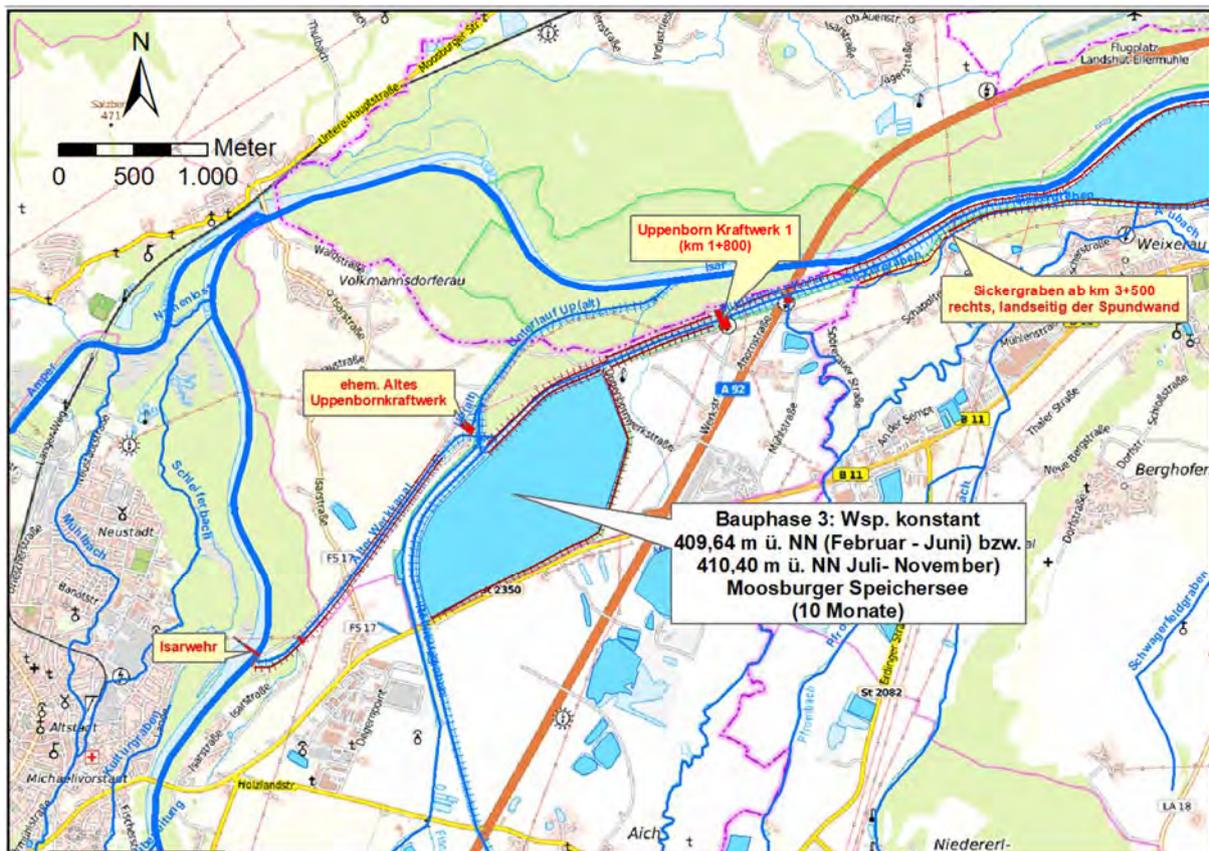


Abbildung 25: Bauphase 3 - Geplante Maßnahmen

5.2.4 Fragestellungen

Mit Hilfe von Modellrechnungen des numerischen Grundwasserströmungsmodells sollen folgende Fragestellungen geklärt werden:

- Bauphase 1
 - Aufgrund der geplanten Maßnahmen sind keine Änderungen der Grundwassersituation zu erwarten.
- Bauphase 2
 - Vordringliche Problematik: Situation unterstromig des Fangedamms bis Hofham: hier liegt der Grundwasserstand bis zu rd. 2,5 m über Kanalsohle. Es stellt sich die Frage, wie weit sich die vermutete Grundwasserabsenkung erstreckt. Konkrete Fragen: sind von der Absenkung Teiche und Bebauungen in Hofham betroffen? (siehe unten: *Detailauswertungen*)
 - Aktualisierung der Lagepläne der *Haltung 6* mit Erkenntnissen aus den neuen Bohraufschlüssen, die im GW-Modell bisher nicht berücksichtigt wurden
 - Darstellung der prognostizierten Grundwassergleichen für WSP 399,5 m NHN (Winter) bzw. 400,1 m NHN (Sommer) im Kanal von WKW UP1 bis km 7+500 (Kanalsohle ist ohne Abdichtung)
 - Darstellung der prognostizierten Grundwassergleichen für entleerten Kanal von km 7+500 bis km 8+050 (Kanalsohle ohne Abdichtung, OK Sohle ca. 394,75 m NHN)
 - Darstellung der prognostizierten Grundwassergleichen für entleerten Kanal von km 8+050 bis km 10+000 (Kanalsohle mit Abdichtung, OK Sohle ca. 392,75 m NHN)
 - Kumulierte In- bzw. Exfiltrationsrate von WKW UP1 bis Fangedamm bei km 7+500 (Haltung 6)
 - Kumulierte In- bzw. Exfiltrationsrate von km 7+500 (Fangedamm) bis Wasserkraftwerk UP2 für Bemessung der Bauwasserhaltung
 - Darstellung der Grundwassergleichen für den Bereich AWK
 - Darstellung der Grundwassergleichen für den Bereich MIK km 0 bis 1+800 (Haltung 5b)
- Bauphase 3
 - Auswirkungen der Absenkung des Wasserpegels des Moosburger Speichersees

- Detailauswertungen
 - Detailauswertungen beziehen sich auf die Beeinflussungen von Fisch- und Freizeitzeiten entlang der Kanalstrecke und sind in der folgenden Abbildung mit Angabe der Flusskilometrierung markiert.
 - Druckentspannung / Auftriebssicherheit
 - Durch die Entleerung des Kanals unterstromig der Schleuse Hofham (Haltung 6) und Anhebung des Grundwasserstands aufgrund der Anhebung des Isarpegels kann sich grundsätzlich eine Auftriebsproblematik der Kanalsole ergeben. Es soll zunächst überschlägig eine Grundwasserabsenkung entlang des entleerten Kanalabschnitts berechnet werden.
 - Analog zur obigen Berechnung soll für den Bereich des AWK und des MIK (Haltung 5b) die anfallende Förderrate bei Grundwasserabsenkung auf Sohlhöhe – 0,5 m berechnet werden.

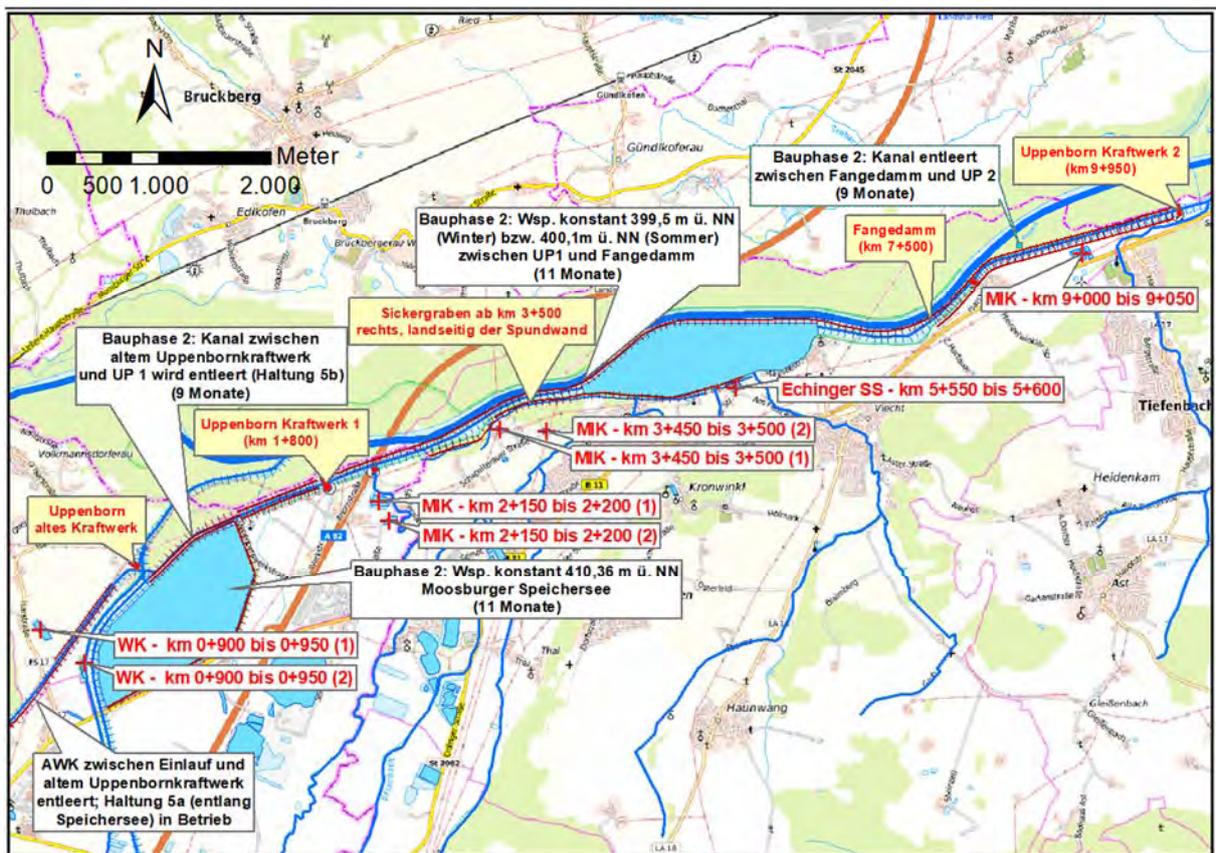


Abbildung 26: Lageplan - Detailauswertungen

5.3 Modellrechnungen / Ergebnisse

Grundsätzlicher Hinweis: Die nachfolgend dargestellten Modellrechnungen sowohl für den Istzustand als auch für die Bauzustände erfolgten stationär. Dies bedeutet, dass keine natürlichen Grundwasserschwankungen und Pegelschwankungen der implementierten Oberflächengewässer berücksichtigt wurden und in den Differenzplänen unter der Annahme einer zeitlich unbefristeten Pegeländerung jeweils die maximalen Auswirkungen im Endzustand dargestellt werden.

Zunächst wird der IST-Zustand beschrieben und darauffolgend die Ergebnisse für die Bauphasen 2 und 3. Die Bauphase 1 hat bis auf die Absenkung des Echinger Speichersees keine Auswirkungen auf die Grundwasserverhältnisse. Da diese Absenkung auch in der Bauphase 2 stattfindet wird auf die entsprechenden Unterkapitel verwiesen.

5.3.1 Istzustand

5.3.1.1 Modellanpassungen

Für den Bereich zwischen Isarwehr Moosburg / Einlauf AWK bis zum unterstromigen Modellrand (Uppenbornkraftwerk 2) wurde das bestehende Modell *Ist-Zustand* überarbeitet.

Es wurden die neu erstellten Grundwassermessstellen als Stützpunkte der Kalibrierung des Ist-Zustandes eingepflegt und die vorliegende 2-D-Hydraulik des Isarpegels zwischen Isarwehr Moosburg und Mündung des MIK in die Isar als Randbedingung implementiert.

Grundwassermessstellen / Stützstellen der Kalibrierung

Hinsichtlich der Anpassung bzw. Neu-Kalibrierung des *Modells Istzustand* ist folgendes festzustellen: Das bestehende Modell wurde bei der Erstellung auf die umfassende (im gesamten Modellgebiet durchgeführte) Stichtagsmessung vom 11.06.2015 kalibriert. Dieser Stichtagswasserstand an Messstellen, die z.T. erst kurze Beobachtungszeiträume aufwiesen, wurde auf der Grundlage statistischer Auswertungen und Vergleiche mit Messstellen in der Umgebung mit langjährigen Messreihen (Gewässerkundlicher Dienst des LfU) als geringfügig über dem Mittelwasserstand liegend identifiziert.

Zwischenzeitlich liegen für den Untersuchungsbereich SKUP neue Messstellen mit kürzeren Messreihen (und naturgemäß keinem Messwert für die Stichtagsmessung vom 11.06.2015) vor, so dass die verwendeten Datensätze bzw. die zur Neukalibrierung verwendeten Grundwasserstandshöhen nicht zu 100 % konsistent sind. Diese Messstellenverdichtung hat lokal stark begrenzten Einfluss auf die Interpretation der Grundwassersituation und korrumpiert die grundsätzlichen Aussagen des ursprünglichen Gutachtens in keinster Weise.

Wie im Kapitel 3.3.3.2.3 bereits erläutert, fügen sich die Mittelwerte der bislang vorliegenden Zeitreihen der neuen Messstellen gut in das *Modell Stichtagsmessung* ein und es wurden keine maßgeblichen Abweichungen hinsichtlich der Strömungsverhältnisse festgestellt. Da die neuen Messstellen vornehmlich im Nahbereich des MIK erstellt wurden, für den Aussagen zu den Auswirkungen der geplanten Maßnahmen SKUP auf die Grundwasserverhältnisse getroffen werden sollen, wurde das Modell in diesen Bereichen durch lokale geringfügige Anpassungen des Kolmationsparameters entlang des MIK auf die Mittelwasserstände der neuen Messstellen kalibriert. Weiter entfernte Modellbereiche (wie z.B. Amperüberleitung, südlich

des Moosburger Speichersees und im Bereich der Isarschleife um Volkmannsdorferau) blieben unverändert.

Randbedingung Isar

Im ursprünglichen *Modell Stichtagsmessung* wurde die *Randbedingung Isarpegel* zunächst durch eine modellinterne lineare Interpolation der Stichtagswerte zwischen den vorhandenen Isarpegeln (P9, P38, P38a und Pegel Birket) generiert. Da auf diese lange Fließstrecke naturgemäß die Flusssohle – und damit auch der Flusspegel – nicht linear fällt, wurden einige zusätzliche „virtuelle“ Stützpunkte für die Interpolation eingeführt.

Für das nun überarbeitete *Modell SKUP* liegt eine 2-D-Hydraulik der Isar zwischen Isarwehr Moosburg und der Mündung des MIK vor. Es sind Berechnungen der Pegelhöhen für die Mindestwasserszenarien NW12 und NW17 (Isar) sowie die (durch die Ableitung der Wasserführung des MIK) geplante bauzeitlich erhöhte Wasserführung der Isar verfügbar.

Dem Modell *SKUP Ist-Zustand* wurde als Randbedingung Isar die *Berechnung NW17* zugewiesen. Damit ändert sich naturgemäß der Modell-Grundwasserstand im Einzugsbereich der Isar gegenüber dem ursprünglichen Modell *Stichtagswasserstand*. Da jedoch keine Grundwassermessstellen (bzw. Kalibriermessstellen) in diesem Einzugsbereich vorhanden sind, resultiert daraus keine Änderung der berechneten Kalibriergenauigkeit. Die neuen Messstellen in geringer Entfernung links des MIK sind von der geänderten Pegelhöhe der Isar nicht betroffen.

Im Diagramm der Abbildung 27 sind die Pegelhöhen *bauzeitlich* und *NW17* sowie die Differenzbeträge entlang des Flusslaufes dargestellt.

Es ist zu erkennen, dass im maßgeblichen Untersuchungsbereich bauzeitlich der Isarpegel durch die zusätzliche Beschickung um rd. 1,0 bis max. rd. 1,3 m angehoben wird.

Für das Modell *Bauzustand* wurde der bauzeitliche Pegelstand als Randbedingung implementiert (siehe Kapitel 5.3.2).

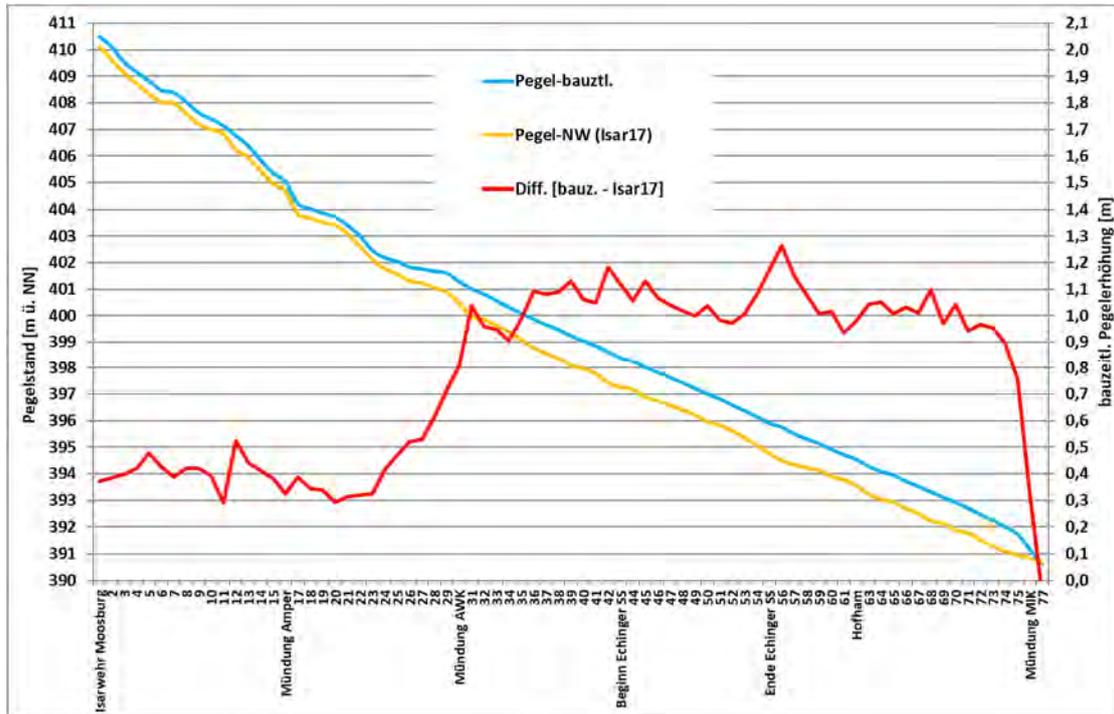


Abbildung 27: Pegelstand Isar: Bauzeitlich und NW-17 (Ist-Zustand), Pegeldifferenz

Hinweis: Die x-Achse des Diagramms stellt die mit der Randbedingung Isarpegel belegten Netzknoten des Finite-Elemente-Netzes dar, nicht Fluss-km o.ä.!

Zur besseren Orientierung sind markante Positionen der Isar bzw. des MIK auf Höhe des Flussverlaufs der Isar angetragen (z.B. Echinger Speichersee, Hofham etc.).

5.3.1.2 Ergebnisse

Im Diagramm der Abbildung 28 sind die berechneten Modellwerte den Messwerten (bzw. statistisch berechneten Werte) in Form eines Regressionsdiagramms gegenübergestellt.

Die Abweichungen liegen innerhalb eines Korridors von $\pm 0,2$ m, der Mittelwert liegt bei $-0,02$ m, der Mittelwert des Betrages der Abweichung liegt bei $0,09$ m. Nicht berücksichtigt sind hierbei die Messstellen der Sickerwasservorkommen im Dammbereich Hofham.

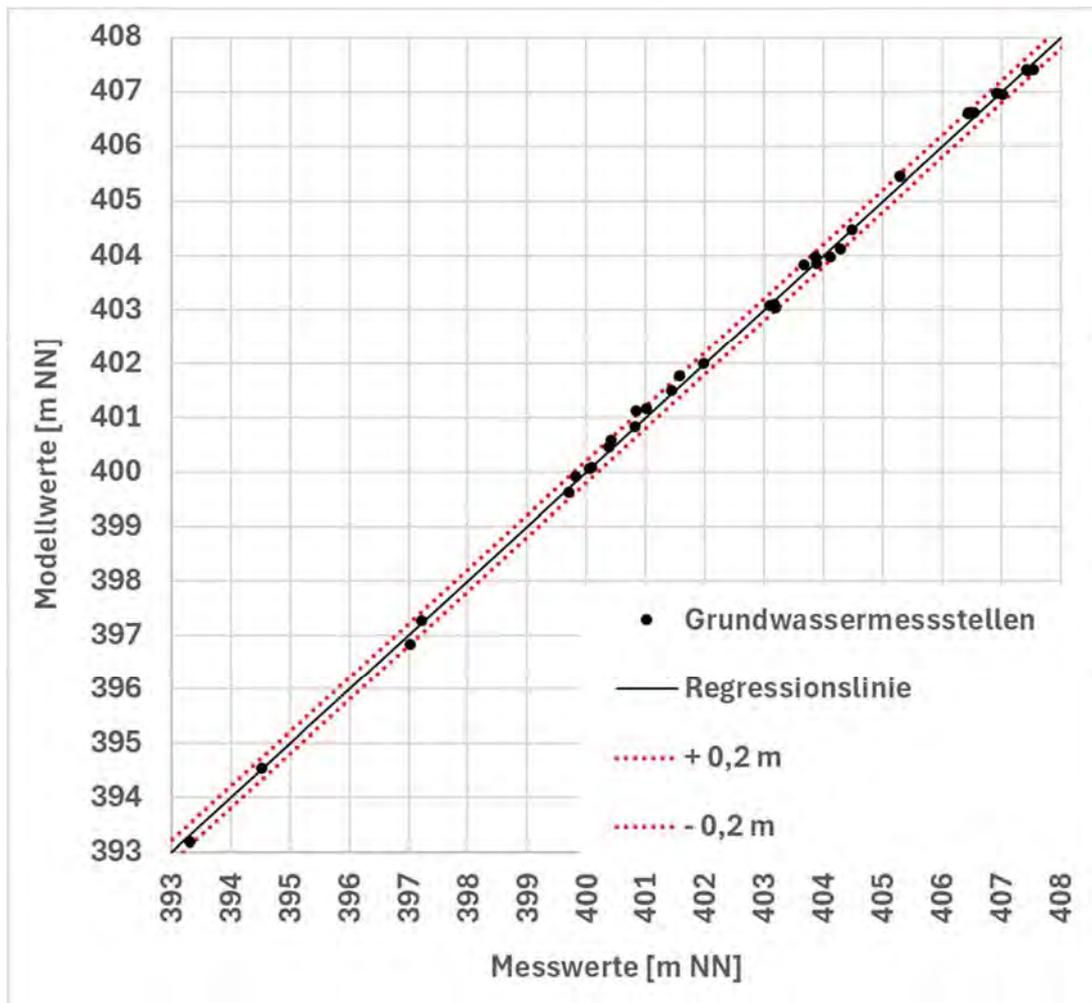


Abbildung 28: Ergebnis Kalibrierung Ist-Zustand

In den folgenden Abbildungen ist das Berechnungsergebnis *Grundwassergleichen Ist-Zustand* in drei Teilabschnitten (West, Mitte und Ost) dargestellt. An den Messstellen sind die Abweichungen in Form von Boxplots (angegebenes Konfidenzintervall $\pm 0,2$ m) dargestellt.

Bereich West – Moosburger Speichersee bis A92

In der folgenden Abbildung sind die berechneten Grundwassergleichen im westlichen Untersuchungsbereich ab Isarwehr Moosburg bis zur Autobahnbrücke der A92 dargestellt.

Die Modellrechnung gibt den Mittelwasserstand der bisherigen Messreihen für die neuen Messstellen beidseits des AWK gut wieder.

Die Grundwassergleichen queren den Moosburger Speichersee, da dieser weitgehend natürlich abgedichtet ist und daher keine signifikante Ausspiegelung verursacht.

Am nördlichen Ende des Speichersees wurde der Kolmationsparameter am MIK etwas verringert, so dass die gemessenen höheren Grundwasserstände an den Messstellen GWM-MIK-23, -24 und -25 durch erhöhte Infiltration (d.h. Versickerung aufgrund von Undichtigkeiten) realistisch abgebildet werden.

Die Baggerseen des Kiesabbaus Moosburg (Fa. Rohrdorfer) wie auch die kleineren Kiesweiherr sind ohne Abdichtung implementiert und verursachen dementsprechend ausgespiegelte Grundwassergleichen.

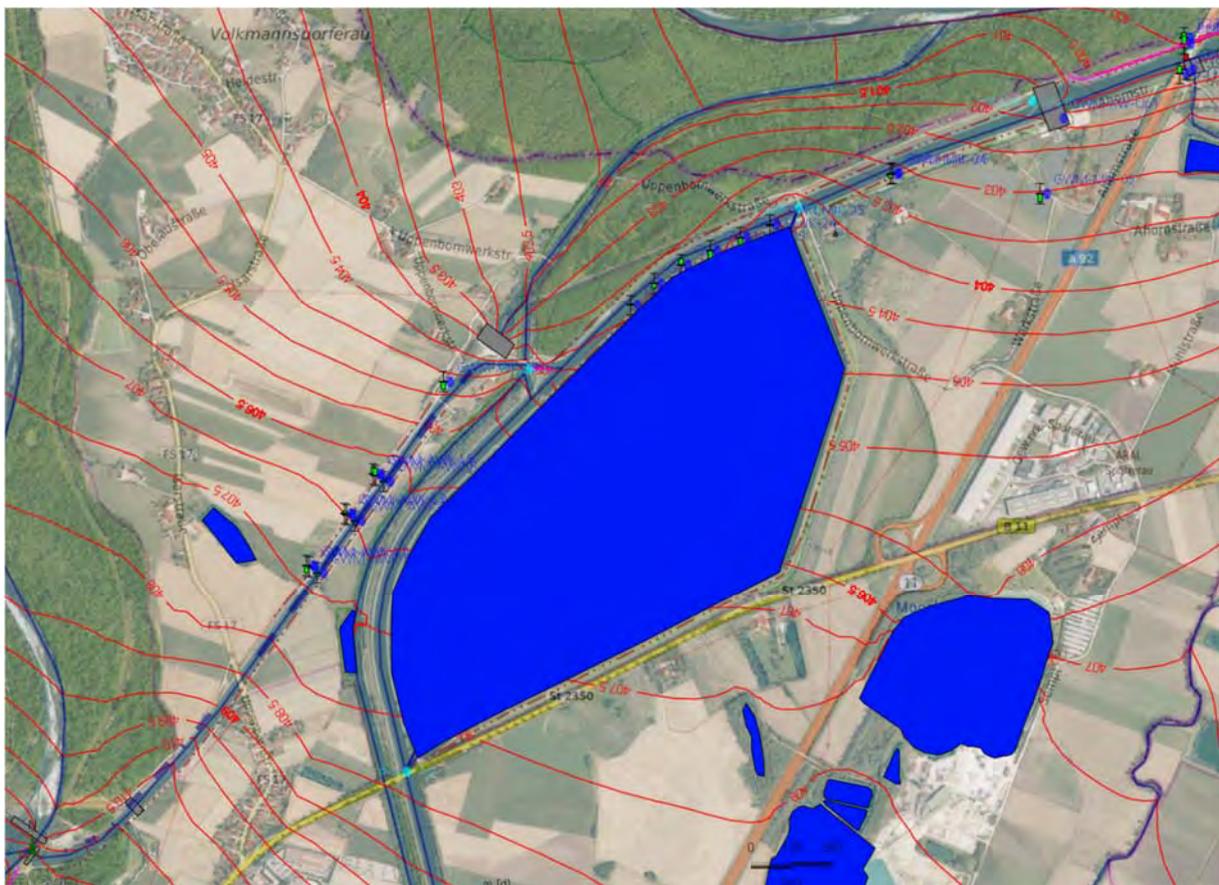


Abbildung 29: Ergebnis Kalibrierung Ist-Zustand – Grundwassergleichen Bereich West (siehe auch Anlage 6)

Bereich Ost –Echinger Speichersee bis Kraftwerk UP2

Der Kanalabschnitt östlich des Echinger Speichersees bis Hofham ist bis auf eine Beton-Oberflächenabdichtung der linken Böschung sowie rechtsseitig ab km 7+500 nicht abgedichtet. Dementsprechend ist eine deutliche Aufhöhung des den Kanal begleitenden Grundwasserstandes aufgrund von Infiltration zu erkennen.

Links des Kanals ergibt sich ein steiles (lineares) Grundwassergefälle zur Isar hin, die hier als Randbedingung *Vorfluter mit guter hydraulischer Anbindung an den Grundwasserleiter* wirksam ist. Eine sehr kleinräumige Inkontinuität des Druckgefälles zwischen Kanal und Isar aufgrund der Wirkung der Dammbabdichtung wird in diesem Abschnitt nicht berücksichtigt.

Ab Hofham ist der Grundwasserstand wiederum durch die abgedichtete Kanalsole vom Kanalpegel entkoppelt und wird i. W. durch die Randbedingung *Isarpegel* definiert.

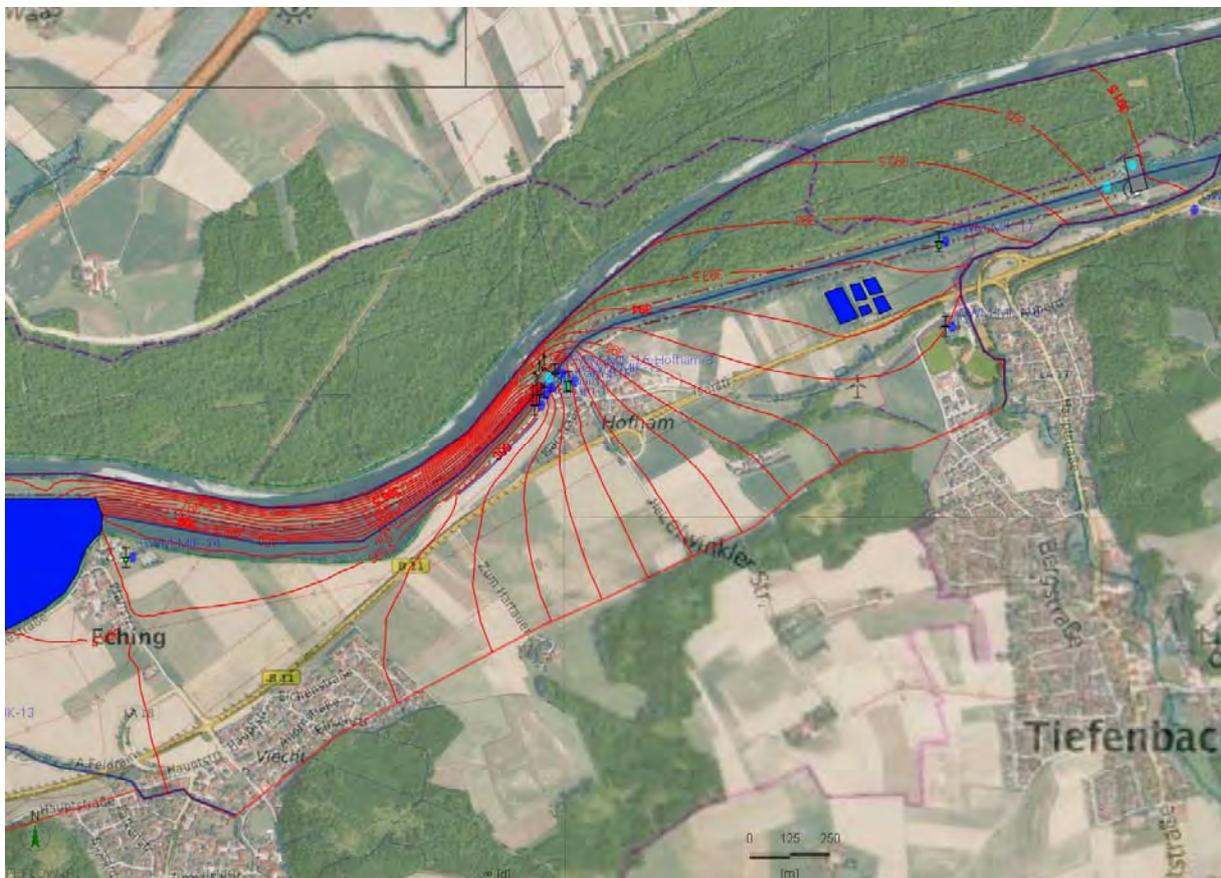


Abbildung 31: Ergebnis Kalibrierung Ist-Zustand – Grundwassergleichen Bereich Ost (siehe auch Anlage 6)

5.3.2 Bauphase 2

Im folgenden Diagramm sind die als Randbedingung implementierten Pegelhöhen entlang des Kanalverlaufs für den *Ist-Zustand* und den *Zustand Bauphase 2* sowie die entsprechend berechneten Grundwasserstandshöhen dargestellt. An der x-Achse ist die Kanalkilometrierung angetragen.

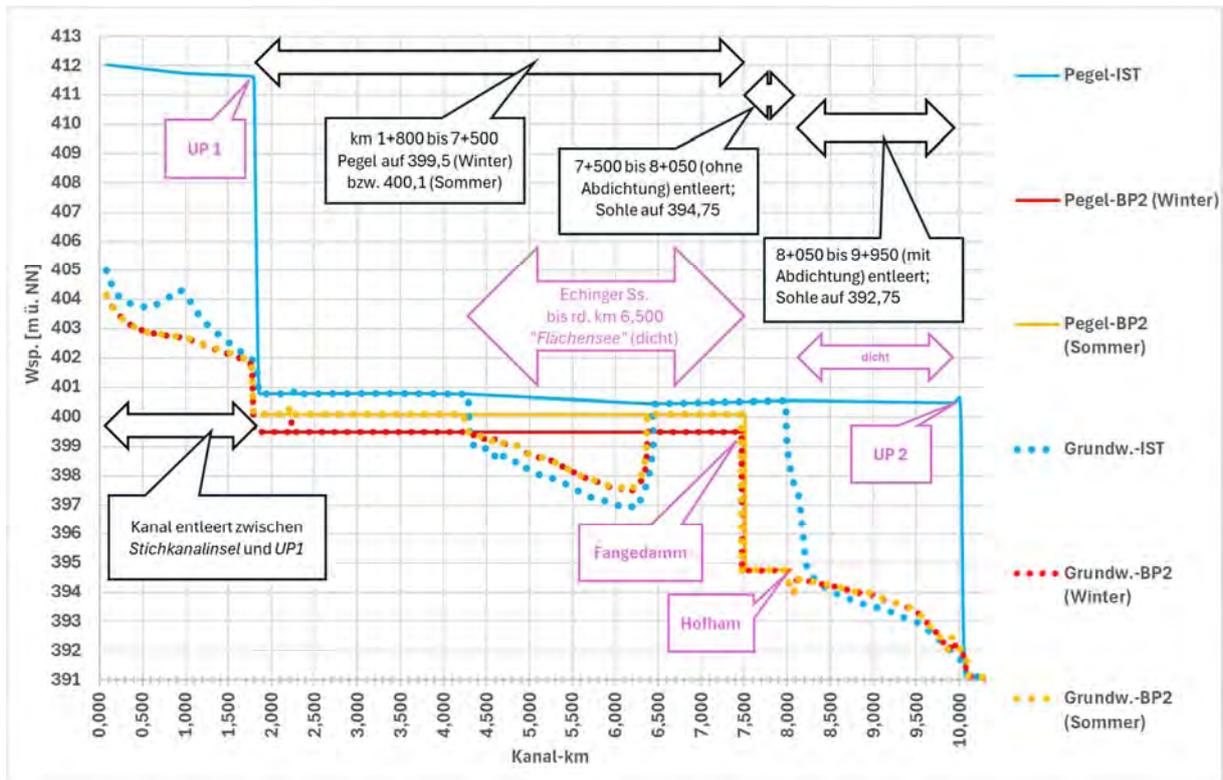


Abbildung 32: Bauphase 2 – Pegelstand und Grundwasserstand im Kanalverlauf, Istzustand und Bauphase 2 (Sommer- und Winterhalbjahre)

Pegelstände

Für den Ist-Zustand sind die Fallhöhen des Kanalpegels an den Kraftwerken UP1 und UP2 zu erkennen.

Während der Bauphase 2 wird der Kanal zwischen Einlaufbauwerk Alter Werkkanal (AWK) und dem Kraftwerk UP1 entleert. Der Kanalpegelstand während der Bauphase ist dementsprechend erst ab UP1 dargestellt.

Unterstromig UP1 liegt der *Pegel Bauphase 2* bei 399,5 m ü. NN (Winter) bzw. 400,1 m ü. NN (Sommer). Bei km 7+500 (Fangedamm) ist aufgrund der Kanalentleerung bis zur (nicht abgedichteten) Sohle auf 394,75 m ü. NN die entsprechende „Fallhöhe“ der Randbedingung dargestellt. Die Entleerung ab km 8+050 (Sohle auf 392,75 m ü. NN) ist hingegen nicht als Randbedingung implementiert, da der Kanal in diesem Abschnitt abgedichtet ist (was auch die Ergebnisse der Modellrechnungen bestätigen).

Grundwasserstände

Es ist im Diagramm Abbildung 32 zu erkennen, dass im Ist-Zustand in Abschnitten ohne Abdichtung der Grundwasserstand entlang des Kanalverlaufs (*Haltung 6*) weitgehend identisch mit dem Pegelstand verläuft (Winterhalbjahr 399,5, Sommerhalbjahr 400,1 m ü. NN). In Abschnitten mit Abdichtung liegt der Grundwasserstand deutlich unterhalb des Kanalpegels.

Im Zustand Bauphase 2 wird der Grundwasserstand zwischen km 1+800 und dem südwestlichen Ende des Echinger Speichersees unmittelbar unter dem Kanal um rd. 1,3 m (Winter) bzw. rd. 0,6 m (Sommer) abgesenkt.

Im weiteren Verlauf (unter dem abgedichteten Echinger See) ist eine Anhebung des Grundwasserstandes um rd. 0,7 m zu erkennen. Dieser Effekt ist auf die Anhebung des Pegels der in geringer Entfernung verlaufenden Isar um rd. 1,1 m zurückzuführen.

Am unterstromigen Ende des flächenhaften Bereichs des Echinger Speichersees (rd. km 6+500) bis zum offiziellen Übergang zum Kanal auf Höhe des Fangedamms (km 7+500) liegt der Grundwasserstand aufgrund der durch den geringeren Fließquerschnitt und die dadurch verursachte höhere Fließgeschwindigkeit fehlenden Kolmation bzw. fehlenden Kanalabdichtung wiederum auf Höhe des auf 399,5 m ü. NN (Winter) bzw. 400,1 m ü. NN (Sommer) fixierten Pegelstandes.

Nach dem Fangedamm bis km 8+050 (Hofham) fällt der Grundwasserstand entlang des Kanalabschnitts ohne Abdichtung auf den bis zur Kanalsohle (394,75 m ü. NN) abgesenkten Pegelstand.

Im weiteren Verlauf bis zum Kraftwerk UP2 ist der Kanal abgedichtet. Die Entleerung (Sohle auf 392,75 m) wird durch die Entfernung der Randbedingung in diesem Abschnitt simuliert.

Es erhöht sich der Grundwasserstand (ebenso wie unter dem Echinger Speichersee) aufgrund der Anhebung des Isarpegels um bis zu rd. 0,7 m.

5.3.2.1 Auswirkungen auf die Grundwasserstände

In den folgenden Abbildungen ist das Berechnungsergebnis *Grundwassergleichen Bau-phase 2* zusammen mit den *Grundwassergleichen Ist-Zustand* und den entsprechenden *Differenzhöhen* in den drei Teilabschnitten dargestellt.

Bereich West – Isarwehr Moosburg bis A92

Der gesamte Bereich westlich des AWK (Isarschleife Volkmannsdorferau) zeigt eine Grundwasserstandserhöhung um rd. 0,1 bis maximal 0,5 m, welche durch die bauzeitliche Anhebung des Isarpegels verursacht wird. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Modellrechnung stationär, d.h. mit zeitlich unveränderlichem Pegelstand durchgeführt wurde und in der Realität die Ausbildung einer großflächigen Grundwasserstandsveränderung durch natürliche Pegelschwankungen überlagert wäre. Der berechnete Grundwasserstandsanstieg in der Siedlung Volkmannsdorferau von rd. 0,2 – 0,3 m ist somit als theoretischer Maximalwert für eine dauerhafte Anhebung des Isarpegel anzusehen. Er liegt im normalen Schwankungsbereich des Grundwasserstandes. Der Grundwasserflurabstand liegt in diesem Bereich bei rd. 3 - 5 m.

Aufgrund der weitgehenden Abdichtung der Sohle des Moosburger Speichersees wirkt sich die im See fixierte Pegelhöhe von 410,40 m ü. NN nicht auf die Grundwasserverhältnisse aus.

Die bauzeitliche Entleerung des Kanalabschnitts MIK zwischen dem ehem. Alten Uppenbornkraftwerk und dem Kraftwerk UP1 sowie des Alten Werkkanals wird jedoch zu einer Verringerung der Infiltration aus dem Kanal in den Grundwasserleiter und damit einer Grundwasserabsenkung führen.

Für den alten Werkkanal wurde für den Abschnitt bis rd. 700 m nach der Einleitung beim Isarwehr Moosburg eine Infiltration in den Grundwasserleiter berechnet. Findet diese durch die Kanalentleerung nicht mehr statt, so ist mit einer Grundwasserabsenkung in diesem Bereich zu rechnen.

Da die Sohle des AWK unterhalb des Grundwasserniveaus liegt, wird bei Entleerung des Kanals Grundwasser dem leeren Kanal zusickern. Die Kanalsohle des AWK (ohne Auflandung) liegt zwischen Einlaufbauwerk und km 0+325 auf 409,17 m NHN und fällt ab km 0+350 bis UP1 von 407,76 auf 407,57 m NHN ab. Eine Modellrechnung, mit der das Grundwasserniveau entlang des Kanals auf die Kanalsohle abgesenkt und somit die Zusickerung bis auf diese Höhe simuliert wird ergibt eine Sickermenge von bis zu rd. 230 l/s. Der Sickerbereich erstreckt sich i. W. auf die ersten rd. 1.000 m des AWK.

Wie vorstehend erläutert, ist der MIK bis rd. 150 m unterstromig der Stichkanalinsel saniert und damit abgedichtet. Im weiteren Verlauf ist jedoch von einer Anbindung an den Grundwasserleiter aufgrund von Schadstellen in der Kanalauskleidung auszugehen. Die erwähnten hohen Grundwasserstände an den Messstellen GWM-MIK-23 bis -25 (siehe Kapitel 3.3.3.2.3) weisen auf eine Infiltration aus dem Kanal oder aus dem Speichersee hin. Unter der Annahme, dass diese Infiltration im Ist-Zustand aus dem Kanal erfolgt und durch die Kanalentleerung entfällt, ergibt sich für eine stationäre Berechnung die in der Abbildung 33 dargestellte Differenzhöhe und Reichweite der Absenkung. Nördlich des Kanals wird diese durch die Aufhöhung der Isar begrenzt.

Unterstromig des Kraftwerks UP1 wird im nicht abgedichteten Kanal der Pegel auf 399,5 m ü. NN abgesenkt. Dies verringert in diesem Abschnitt die Infiltration und senkt entsprechend den Grundwasserstand ab. Diese beiden Absenkungsbereiche überlagern sich bzw. grenzen unmittelbar aneinander (weitere Erläuterungen siehe folgender Abschnitt).

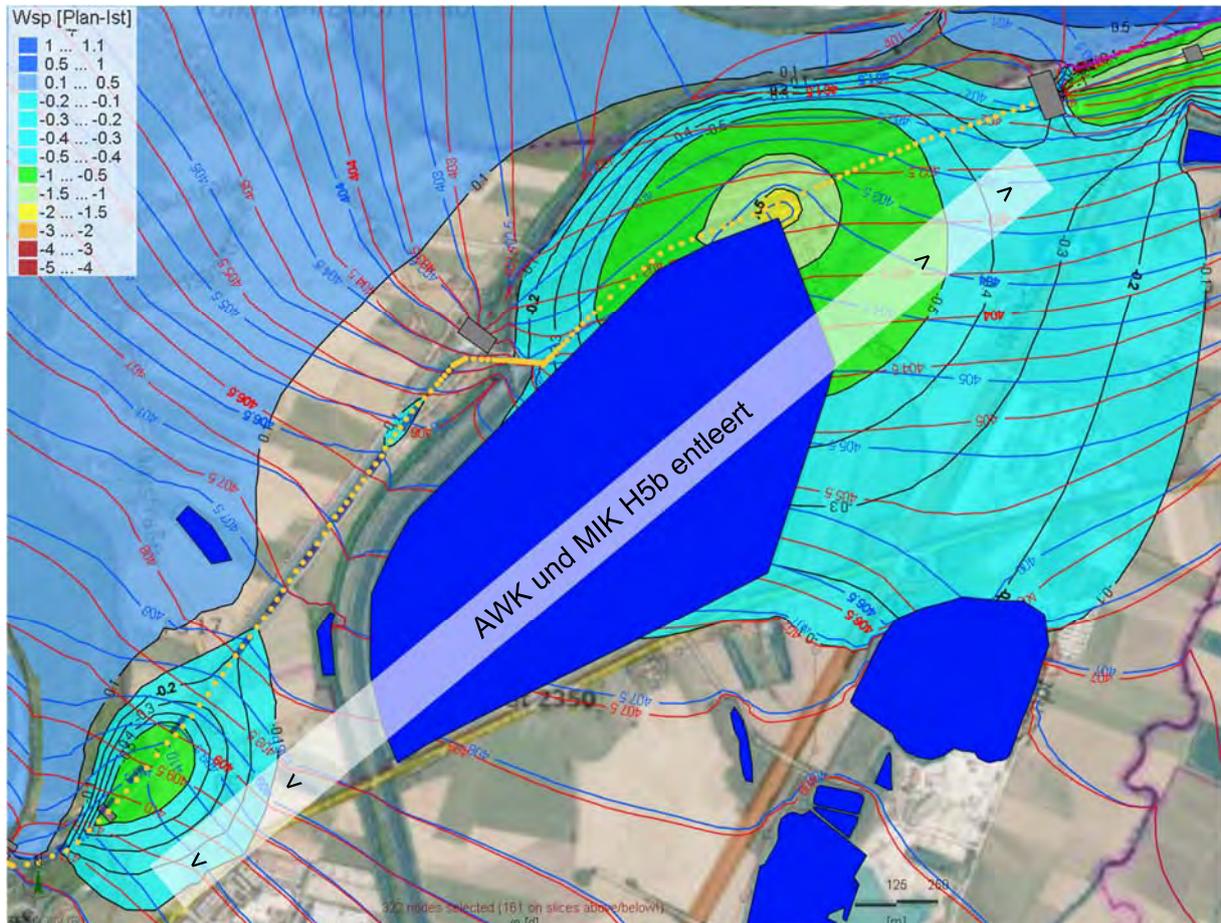


Abbildung 33: Bauphase 2 – Grundwassergleichen Bereich West, Differenzhöhen (siehe auch Anlage 6)

Bereich Mitte – A92 bis Echinger Speichersee

- Winterhalbjahre -

Unterstromig des Kraftwerks UP1 wird im nicht abgedichteten Kanal während der Winterhalbjahre der Pegel auf 399,5 m ü. NN abgesenkt. Durch Verringerung der Infiltration wird der Grundwasserstand entlang des Kanalverlaufs lokal um bis zu rd. 1,3 m abgesenkt.

Linksseitig des Kanals wird die Reichweite der Absenkung durch die hier vorhandene Spundwand begrenzt. Jenseits der Spundwand ist der durch die Pegelhebung der Isar verursachte Grundwasseranstieg zu erkennen. Da die Modellrechnung stationär durchgeführt wurde, entspricht der Grundwasseranstieg unmittelbar am Ufer der Isar der Pegelhebung und liegt bei bis zu rd. 1 m.

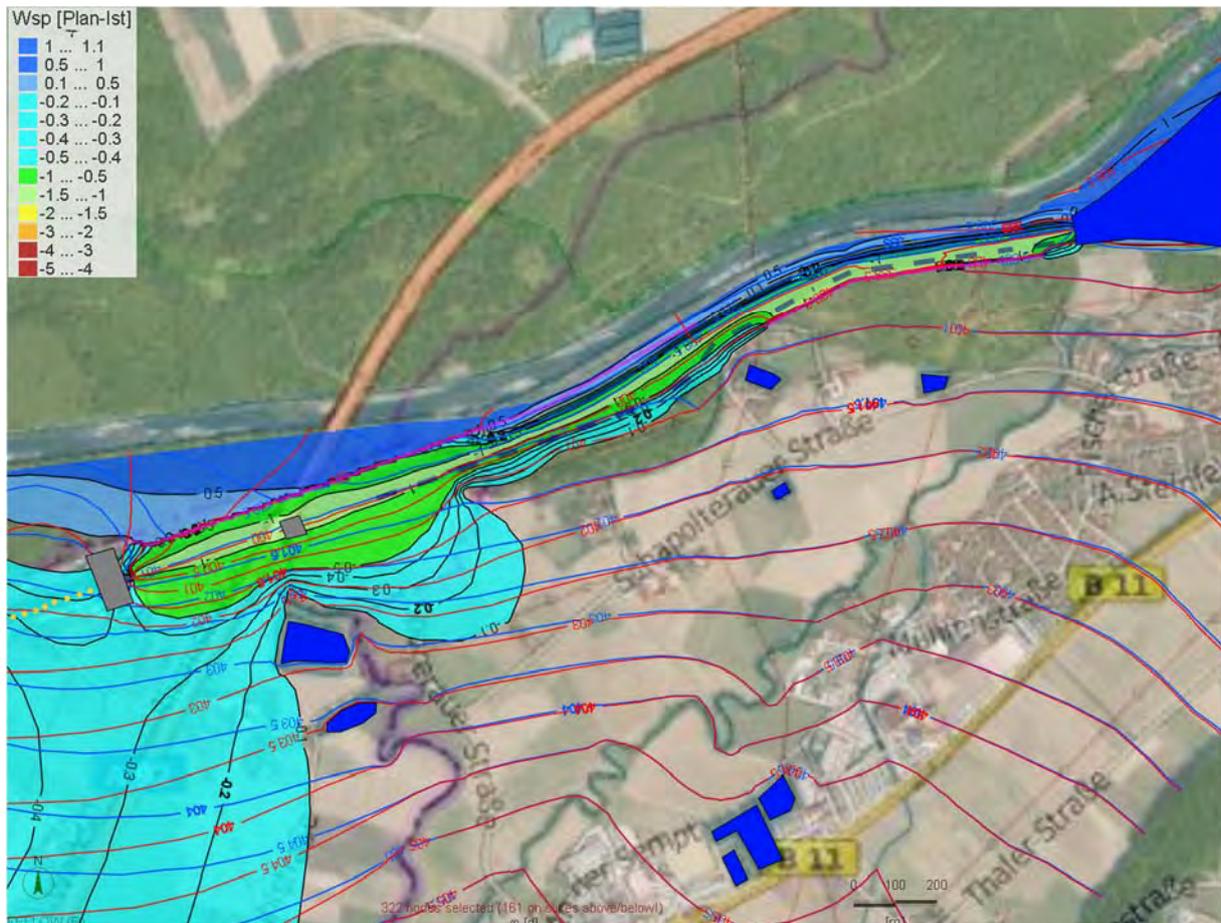


Abbildung 34: Bauphase 2 – Grundwassergleichen Bereich Mitte, Differenzhöhen (Winter) (siehe auch Anlage 6)

Westlich der A92 überlagern sich die Absenkungsbereiche der Kanalentleerung oberstromig UP1 und der Pegelabsenkung unterstromig von UP1.

Im Zuge der Modellkalibrierung wurde der Sempt Grundwasseranschluss zugewiesen. Daraus folgt bei Grundwasserabsenkung eine erhöhte Infiltration aus der Großen Sempt in den Grundwasserleiter, wodurch wiederum der Absenkungsbereich begrenzt wird. Für den Fall, dass die

Sempt stärker abgedichtet ist als im Modell angenommen, würde sich keine entsprechende „Einbuchtung“ des Absenkungsbereiches ergeben.

Östlich des Semptzuflusses beträgt rechtsseitig des Kanals die maximale Reichweite der Absenkung um mehr als 0,1 m rd. 350 m.

Östlich der Kanalstraße bis zum Echinger Speichersee existiert rechts des Kanals eine Spundwand und landseitig der Spundwand ein Sickergraben. Durch die Spundwand wird die Reichweite der Absenkung begrenzt. Die Exfiltration in den Sickergraben ändert sich gegenüber dem Istzustand unwesentlich, da er maßgeblich aus dem Zustrom von Süden her gespeist wird.

- Sommerhalbjahre -

Die Variantenrechnung für die Pegelabsenkung im Kanalabschnitt während der Sommerhalbjahre auf 400,1 m ü. NHN zeigt grundsätzlich qualitativ dieselben Auswirkungen.

Durch Verringerung der Infiltration wird der Grundwasserstand entlang des Kanalverlaufs um bis zu rd. 0,6 m abgesenkt. Rechtsseitig des Kanals verringert sich östlich des Semptzuflusses die maximale Reichweite der Absenkung um mehr als 0,1 m von 350 auf rd. 300 m.

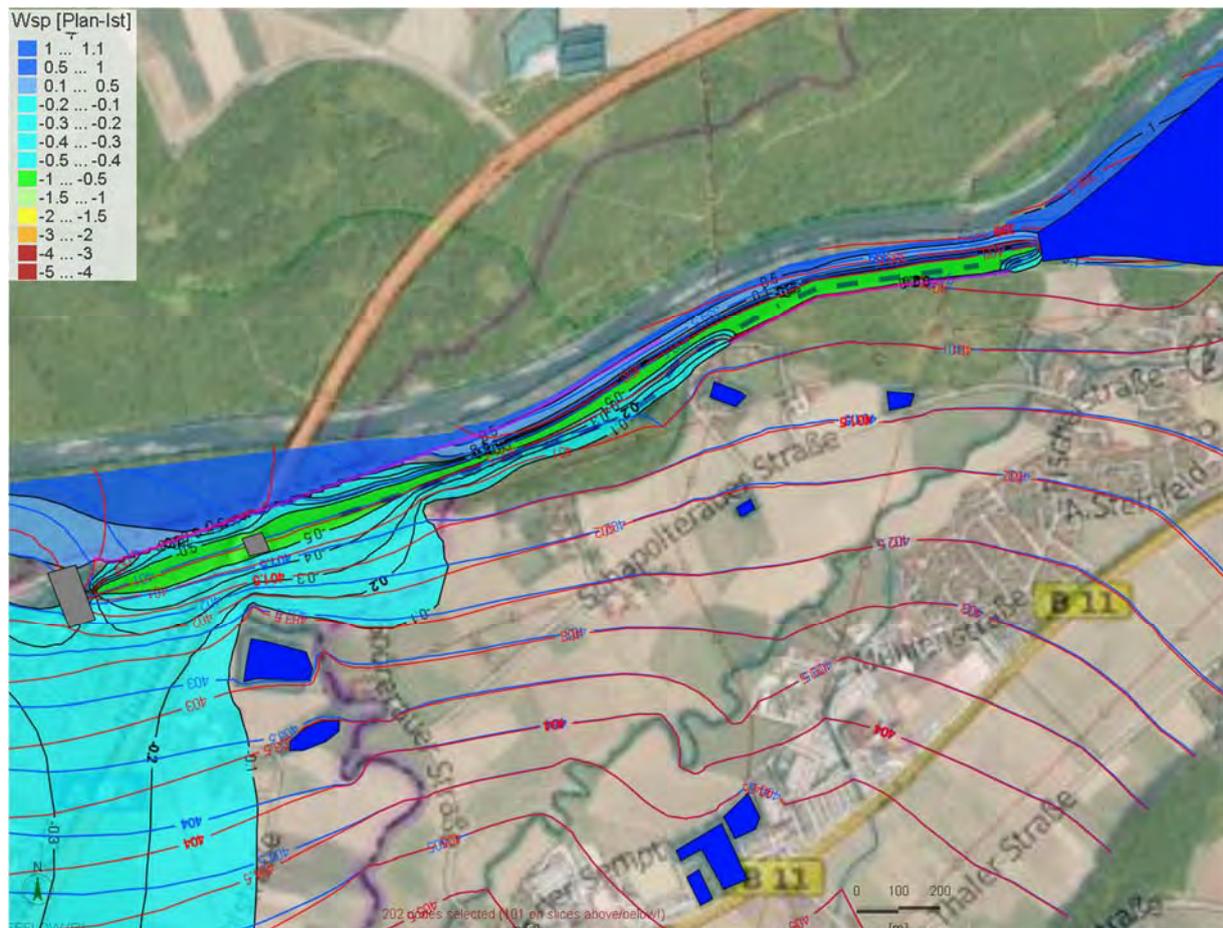


Abbildung 35: Bauphase 2 – Grundwassergleichen Bereich Mitte, Differenzhöhen (Sommer) (siehe auch Anlage 6)

Bereich Ost – Echinger Speichersee bis Kraftwerk UP2

- Winterhalbjahre -

Der Echinger Speichersee ist durch natürliche Kolmation weitgehend abgedichtet, so dass eine Pegelstandsänderung keine signifikanten Auswirkungen auf die Grundwasserverhältnisse im Umfeld hat.

Unterstromig des (flächenhaften Bereiches des) Echinger Speichersees bei rd. km 6+500 bis zum geplanten Fangedamm bei km 7+500 und weiter bis zur Schleuse Hofham bei km 8+050 ist der Kanal nicht abgedichtet.

Hinweis: Die nachfolgend beschriebenen Auswirkungen resultieren aus der *worst-case*-Annahme, dass der Kanal im o.g. Abschnitt tatsächlich keine Kolmation aufweist, d.h. unmittelbar an den kiesigen Grundwasserleiter angebunden ist. Die Auswirkungen stellen somit den Maximalfall dar, welche mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht erreicht wird.

Die Absenkung des Pegels auf 399,5 m ü. NN (Winterhalbjahr) bis zum Fangedamm verursacht unmittelbar entlang des Kanals eine entsprechende Grundwasserabsenkung um bis zu rd. 1 m.

Linksseitig des Kanals wird die Absenkung durch die Pegelanhebung der Isar begrenzt.

Rechtsseitig des Kanals wird in Richtung Oberstrom nach Südwesten die Absenkung nicht merklich durch eine mögliche Infiltration aus dem Gleißbach begrenzt. Im Zuge der Modellkalibrierung wurde der Gleißbach als weitgehend vom Grundwasserleiter entkoppelt implementiert. Für den Fall, dass dennoch ein signifikanter Grundwasseranschluss besteht, wird der Absenkungsbereich mit dem Verlauf des Gleißbachs begrenzt.

Ab dem Fangedamm wird der Kanal bis zum Kraftwerk UP2 entleert, wobei bis Hofham die Kanalsole (nicht abgedichtet) auf 394,75 m ü. NN liegt und ab Hofham auf 392,75 m ü. NN (abgedichtet).

Durch die Entleerung erfolgt auf der nicht abgedichteten Strecke bis Hofham keine Infiltration mehr aus dem Kanal in den Grundwasserleiter, so dass der Sickerwasserstand (im stationären Endzustand !) im Nahbereich des Kanals (bzw. im Dammbereich) um bis zu 5 m abgesenkt wird. Außerhalb des Dammbereichs bezieht sich die dargestellte Absenkung auf den Grundwasserstand. Die Reichweite der 2 m-Absenkung liegt (senkrecht zum Kanalverlauf) bei rd. 200 m. Der Absenkungsbereich breitet sich auch in Richtung Oberstrom nach Südwesten aus und überlagert die oberhalb des Fangedamms auf 399,5 m fixierte Pegelabsenkung.

Die Wasserführung des in diesem Bereich mündenden Tiefenbachs wird durch die Auswirkungen auf die Grundwasserstände in den quartären Schottern nicht merklich beeinflusst, da das Einzugsgebiet des Bachs i. W. in den südlich anschließenden tertiären Sedimenten der Oberen Süßwassermolasse liegt.

Grundsätzlich ist bei signifikanten Grundwasserabsenkungen unterhalb des natürlichen Schwankungsbereiches durch die Entleerung des Porenraums v.a. in bindigen Sedimenten (Tone, Schluffe) die Möglichkeit von Setzungen gegeben. Die o.g. Absenkungen liegen im bebauten Bereich von Hofham bei < 2 m. Im hier betroffenen Bereich wurden in den relevanten Teufen setzungs-unempfindliche Kiese angetroffen (Hofham B1L).

Da unterstromig der Schleuse Hofham der Kanal abgedichtet ist, hat die Entleerung keine signifikante (absenkende) Auswirkung auf das Grundwasser. In diesem Abschnitt wirkt sich jedoch ohne weitere Maßnahmen die Anhebung des Isarpegels Grundwasser anhebend (rd. 1 m am Isarufer; bis zu rd. 0,5 m entlang des Kanalverlaufs MIK) aus. Der Absenkungsbereich oberstromig der Schleuse Hofham wird dadurch begrenzt (siehe Abbildung 36).

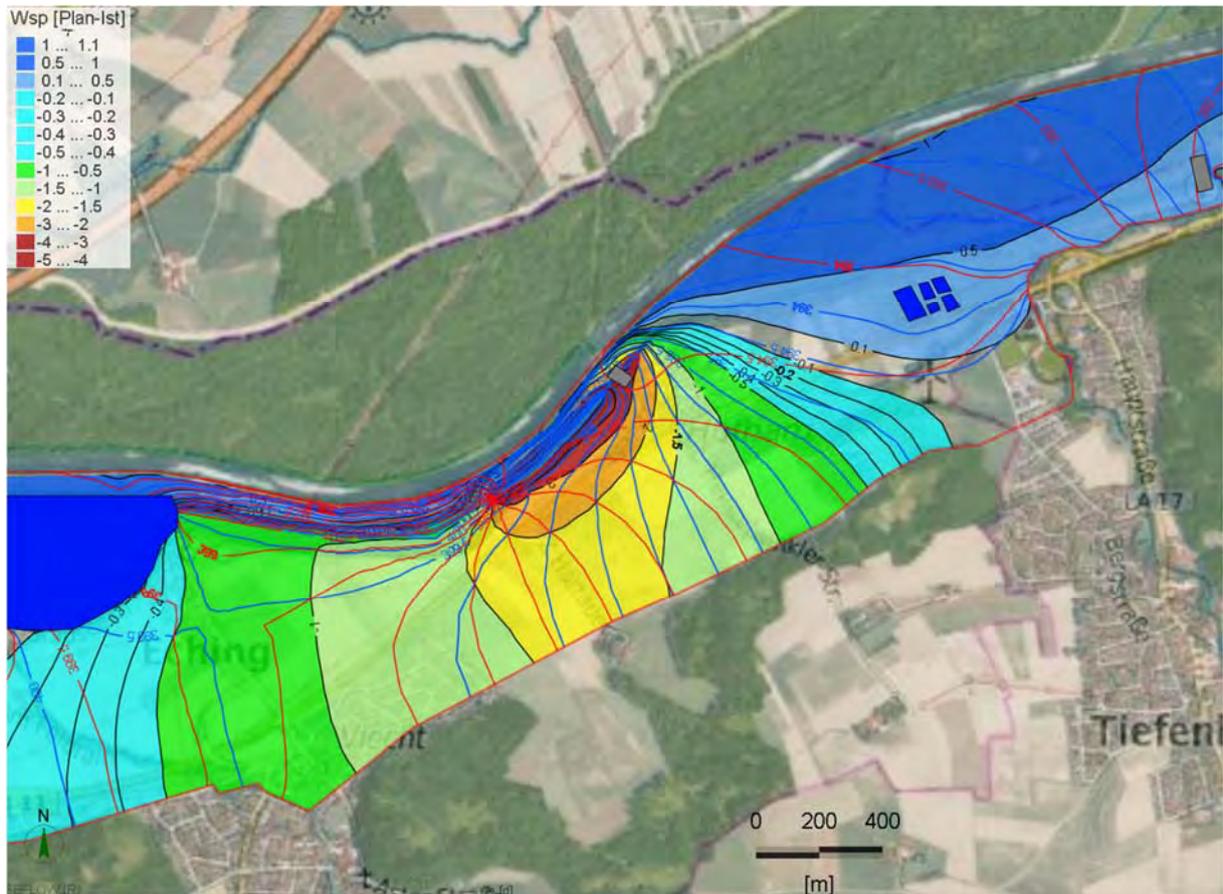


Abbildung 36: Bauphase 2 – Grundwassergleichen Bereich Ost, Differenzhöhen (ohne Druckabsenkung; Winterhalbjahre) (siehe auch Anlage 6)

- Sommerhalbjahre –

Die Variantenrechnung für die Pegelabsenkung im Kanalabschnitt während der Sommerhalbjahre auf 400,1 m ü. NHN zeigt grundsätzlich qualitativ dieselben Auswirkungen.

Die Absenkung des Pegels bis zum Fangedamm verursacht unmittelbar entlang des Kanals eine entsprechende Grundwasserabsenkung um bis zu rd. 0,4 m.

Der Absenkungsbereich aufgrund der Kanalentleerung bis Hofham breitet sich auch in Richtung Oberstrom nach Südwesten aus und überlagert die oberhalb des Fangedamms fixierte Pegelabsenkung auf 400,1 m.

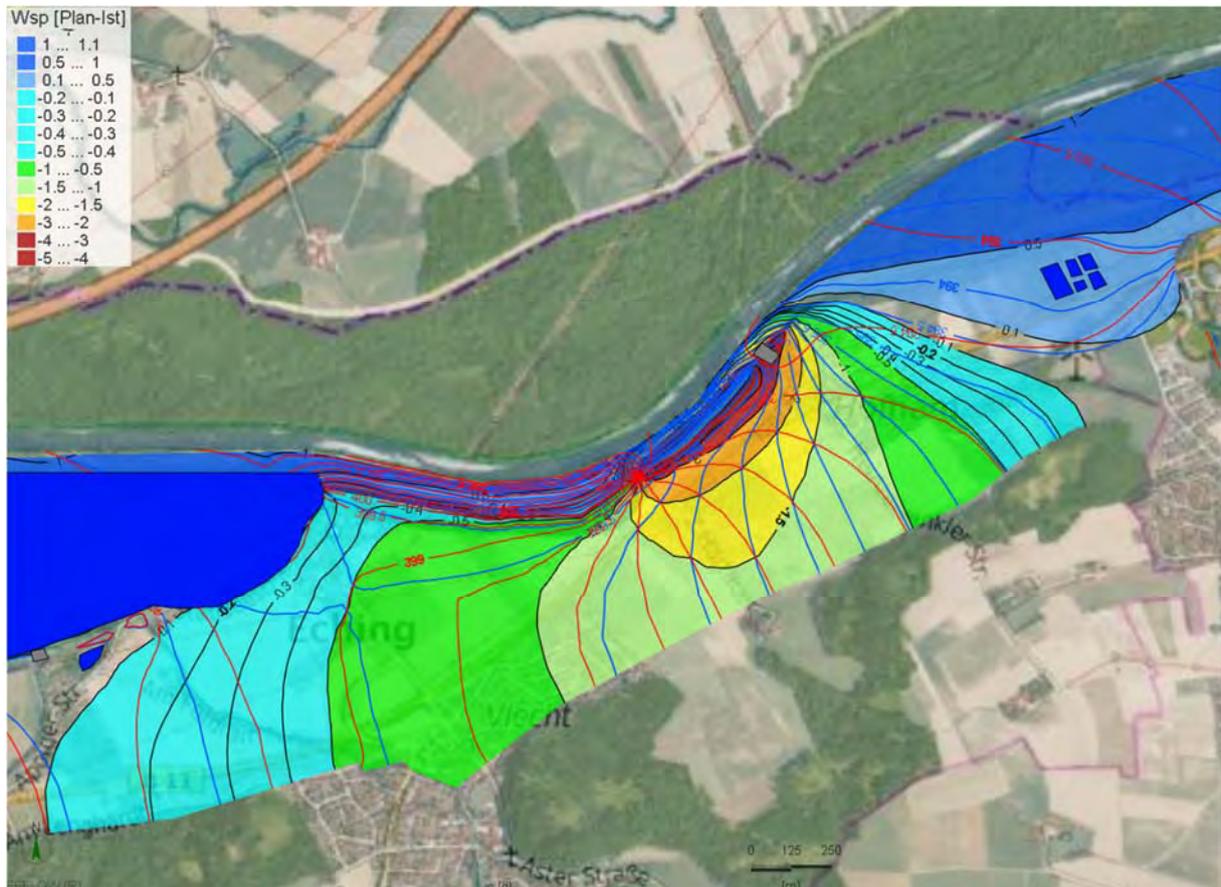


Abbildung 37: Bauphase 2 – Grundwassergleichen Bereich Ost, Differenzhöhen (ohne Druckabsenkung; Sommerhalbjahre) (siehe auch Anlage 6)

Hinweis: Der südliche Modellrand wird unter hydrogeologischen Gesichtspunkten (Auftauchen der geringer durchlässigen Sedimente der tertiären Oberen Süßwassermolasse) definiert und als sog. *No-Flow-Randbedingung* implementiert. Eine mögliche geringfügige Zuspeisung aus den Hangbereichen wird weder im Ist-Zustand noch im bauzeitlichen Zustand berücksichtigt. Die Absenkung wird damit nicht durch den Modellrand begrenzt bzw. beeinflusst und die berechneten Differenzhöhen liegen somit auf der sicheren Seite, d.h. zeigen den Maximalwert der Absenkung ohne einen möglicherweise dämpfenden Einfluss eines Zustroms aus dem Tertiär.

Druckentspannung / Auftriebssicherheit

- Haltung 6 -

Durch die Entleerung des Kanals und Anhebung des Grundwasserstands aufgrund der Anhebung des Isarpegels kann sich grundsätzlich eine Auftriebsproblematik der Kanalsohle ergeben. Exakte Berechnungen hierzu liegen nicht vor, es soll jedoch zunächst überschlägig eine Grundwasserabsenkung entlang des entleerten Kanals zwischen der Schleuse Hofham und den in Richtung Unterstrom rechtsseitig des Kanals gelegenen Fischweihern berechnet werden.

Dazu wird mit dem Grundwassermodell zwischen km 8+050 und km 9+250 eine Absenkung mittels 19 Brunnen (gelbe Punkt in der Abbildung 38 bzw. Abbildung 39) auf 392,5 m ü. NN (Höhe Kanalsohle) simuliert. Es wird eine erforderliche Gesamtförderrate von rd. 340 l/s berechnet. Das Ergebnis ist in der Abbildung 38 dargestellt.

Mit einer Variantenrechnung wurde die Anzahl der Brunnen auf 11 verringert. Für eine weitgehend durchgängige Mindestabsenkung auf 392,5 m ü. NN entlang der o.g. Strecke ist jedoch eine Absenkung an den Brunnen auf rd. 392 m ü. NN erforderlich. Die Gesamtfördermenge erhöht sich damit auf rd. 390 l/s.

Mittels eines instationären Modelllaufs wurde eine zur o.g. Absenkung über den genannten Kanalverlauf benötigte Pumpdauer von rd. 2-3 Stunden berechnet.

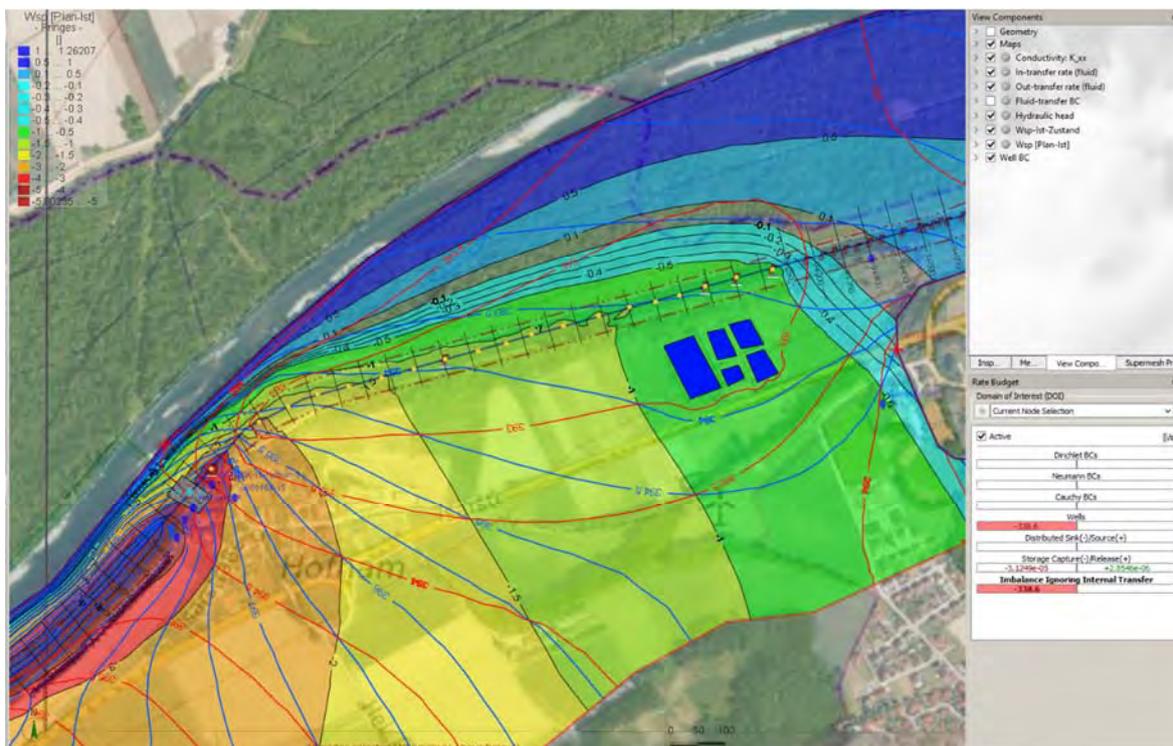


Abbildung 38: Bauphase 2 – Grundwassergleichen Bereich Ost, Differenzhöhen mit Druckabsenkung auf Kanalsohle (19 Brunnen, Absenkung auf 392,5 m ü. NN; Gesamtförderrate 340 l/s) (siehe auch Anlage 6)

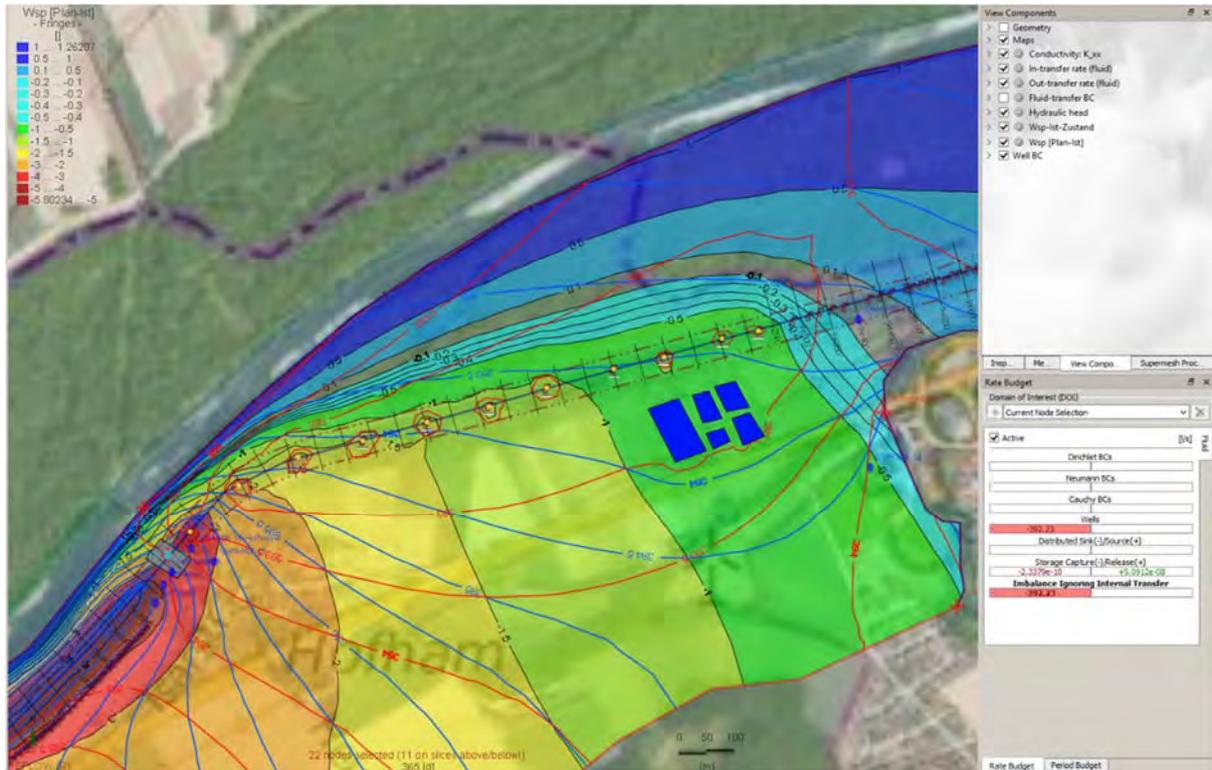


Abbildung 39: Bauphase 2 – Grundwassergleichen Bereich Ost, Differenzhöhen mit Druckabsenkung auf Kanalsohle (11 Brunnen, Absenkung auf 392,0 m ü. NN; Gesamtförderrate 390 l/s) (siehe auch Anlage 6)

- Haltung 5b -

Für die hydraulische Situation „Entleerung Haltung 5b“ (Kanalabschnitt zwischen Stichkanalinsel und Kraftwerk Up1; km 0+000 bis km 1+800) sollte eine ggfs. erforderliche Wasserhaltung zur Druckentspannung des Grundwasserspiegels unterhalb des Kanals auf eine Höhe [Kanalsohle – 0,5 m] überprüft werden.

Die Kanalsohle liegt in diesem Abschnitt auf einer Höhe zwischen rd. 404,4 m ü. NN bis rd. 404,0 m ü. NN.

Wie vorstehend (auf Seite 40 bzw. Abbildung 33 auf Seite 42) erläutert, erfolgt durch die bauzeitliche Entleerung des Kanalabschnitts eine Verringerung der Infiltration aus dem Kanal in den Grundwasserleiter und damit eine Grundwasserabsenkung.

Dieser resultierende Grundwasserstand liegt nur am Beginn der Haltung 5b geringfügig über dem o.g. Zielwert, so dass ggfs. nur auf den ersten rd. 100 m eine Wasserhaltung mit Förderraten um rd. 10 l/s erforderlich sein kann.

Dementsprechend zeigt der Differenzenplan Abbildung 40 (mit zusätzlicher Wasserhaltung) nur sehr geringfügige Abweichungen zur Abbildung 33 (ohne zusätzliche Wasserhaltung).

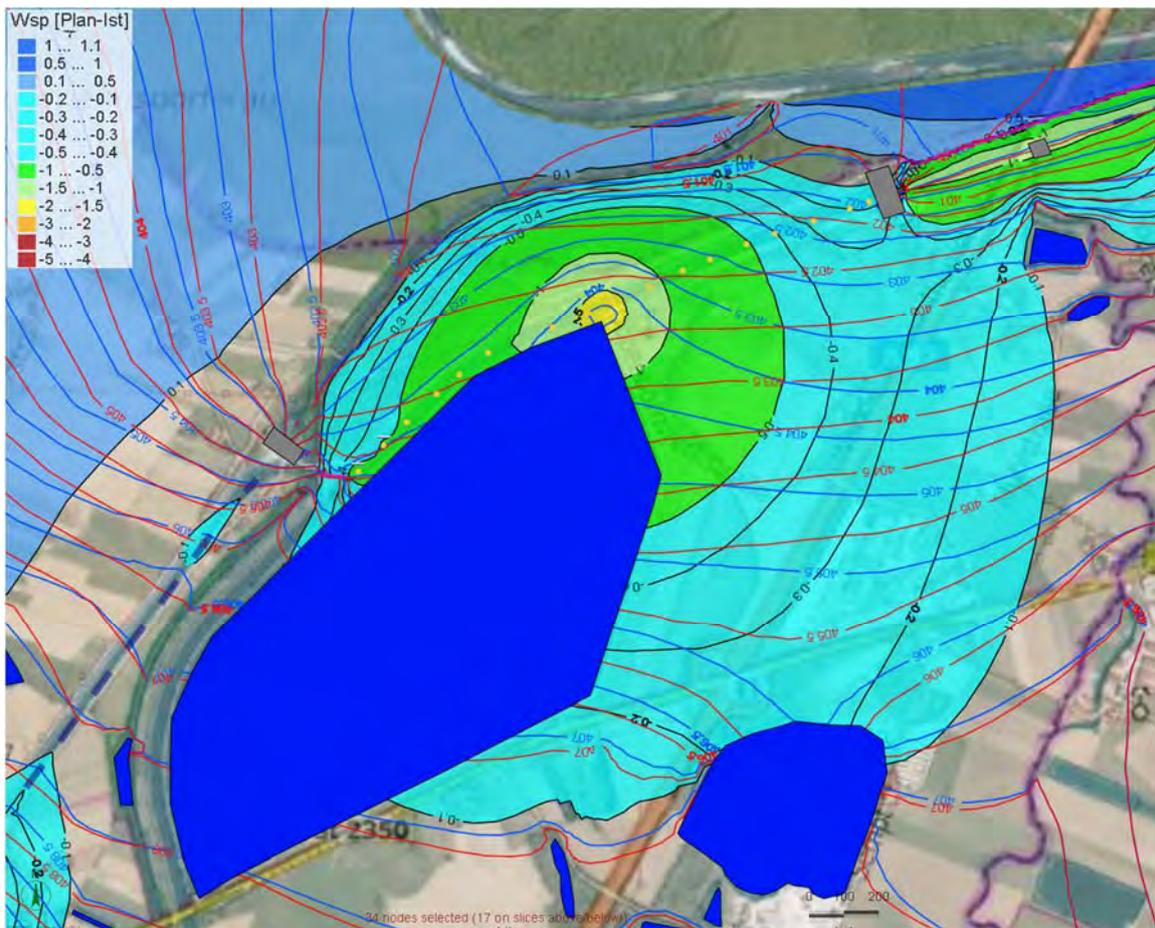


Abbildung 40: Bauphase 2 – Grundwassergleichen Abschnitt Haltung 5b, Differenzhöhen mit Druckabsenkung auf Kanalsohle – 0,5 m (= 404,0 – 0,5 = 403,5 m ü. NN)

5.3.2.2 Bilanzierung der Infiltration / Exfiltration (Bauphase 2)

In den folgenden Tabellen sind die mit dem Modell berechneten Infiltrations- und Exfiltrationsraten auf bestimmten Streckenabschnitten des Kanals für den *Istzustand* und den *Zustand Bauphase 2* (Winter- und Sommerhalbjahr) zusammengestellt.

Hinweise: Die Austauschrate zwischen Grundwasser und Oberflächengewässer ist abhängig von der Kolmation der Gewässersohle bzw. der hydraulischen Durchlässigkeit des Untergrundes sowie der örtlichen Potentialdifferenz zwischen Grundwasserstand und Pegelstand im Oberflächengewässer.

Das Modell wurde auf der Grundlage der mittels Pumpversuchen ermittelten k_f -Werte kalibriert. Die Durchlässigkeiten liegen in einem plausiblen Schwankungsbereich, welcher sich entsprechend der geologischen Genese über mehr als eine Größenordnung erstreckt. Naturgemäß ist daher nicht auszuschließen, dass im lokalen Maßstab die berechneten Austauschraten entsprechend auch deutlich über- oder unterschritten werden können, da die Durchlässigkeit des Untergrundes wie auch die Kolmation nicht flächendeckend exakt ermittelt werden kann.

Soweit für untergeordnete Gewässer (Seitenbäche, Sickergräben etc.) keine Pegelmessungen vorliegen, wurden die Wasserspiegel mit plausiblen Annahmen (Geländehöhe, Gewässersohle) geschätzt. Die resultierenden Potenzialdifferenzen zum Grundwasser sind daher mit Unsicherheiten behaftet.

Die dargestellten Austauschraten sind daher qualitativ zu bewerten.

In der Anlage 7 sind Auswertediagramme der mit dem Modell berechneten Infiltration/Exfiltration, Pegelstände im Kanal und Kanal begleitenden Grundwasserstände des MIK beigefügt. Der gesamte Kanal ab Stichkanalinsel km 0+000 bis zum Kraftwerk UP2 ist in drei Einzeldiagramme unterteilt.

- [km 0+000 – 1+800 (UP1)]
- [km 1+800 – km 4+300 (Westufer des Echingser Speichersees)] und
- [km 6+500 (Ostuf der des Echingser Speichersees) bis km 10+000 (UP2)].

Tabelle 2: Bilanzierung Infiltration / Exfiltration Ist-Zustand/Bauphase 2 (Winterhalbjahr)

Bezeichnung	Strecke	Zustand	Ist-Zustand		Bauzustand BP 2 (Winterhalbjahr)		Differenz
			[l/s] += Infiltration - = Exfiltration	[l/(s x m)] += Infiltration - = Exfiltration	[l/s] += Infiltration - = Exfiltration	[l/(s x m)] += Infiltration - = Exfiltration	
Einlaufbauwerk AWK bis Stichkanalinsel (= AWK)	2.300	abschnittsweise abgedichtet	37	0,02	-230	-0,10	267
H5b Stichkanalinsel km 0+000 bis UP1 km 1+800 (= Haltung 5b)	1.800	abschnittsweise abgedichtet (unterstromig Stichkanalinsel rd. 150 m)	140	0,08	0	0,00	140
UP1 km 1+800 bis Fangedamm km 7+500 inkl. Echinger Speichersee (= Haltung 6)	5.700	ohne Abdichtung (außer Echinger Speichersee)	650	0,11	-113	-0,02	763
Fangedamm km 7+500 bis Hofham km 8+050	550	ohne Abdichtung, Kanalsohle 394,75; rechtsseitig Sickergraben mit Sohle 398,83	397	0,72	-107	-0,19	504
Sickergraben mit Sohle 398,83	350	ohne Abdichtung	-77	-0,22	0	0	-77
Hofham km 8+050 bis UP2 km 9+950	1.900	mit Abdichtung, Kanalsohle 392,75	53	0,03	0	0	53

Zwischen dem Einlaufbauwerk AWK und dem Uppenbornwerk 1 (AWK und Haltung 5b) ergibt sich durch die bauzeitliche Entleerung des AWK (BP 2) zunächst eine Reduzierung der Infiltration in den Grundwasserleiter von rd. 175 l/s auf 0. Da die Kanalsohle unter dem Grundwasserstand liegt, wird bis ca. km 1+000 eine Zusickerung, d.h. eine Exfiltration aus dem Grundwasserleiter von bis zu rd. 230 l/s erfolgen.

Im Streckenabschnitt UP1 bis Fangedamm (ohne Speichersee) wandelt sich während der Bauphase 2 (Winterhalbjahr) die Infiltration in den Grundwasserleiter von rd. 0,65 m³/s durch die Pegelabsenkung in eine Exfiltration aus dem Grundwasserleiter von rd. 0,11 m³/s.

Ebenso wird im weiteren (nicht abgedichteten) Kanalverlauf bis zur Schleuse Hofham die Infiltration von rd. 0,4 m³/s in eine Exfiltration von rd. 0,11 m³/s überführt.

Für den begleitenden Sickergraben oberstromig der Schleuse Hofham ist die Höhenlage der Grabensohle (398,83 nach Osten abfallend bis 396,84 m ü. NHN) bekannt. Es liegen einige Pegelmessungen (August und Oktober 2022 sowie Monatsmessungen Juni 2023 bis Februar 2024) vor. Für den Istzustand wurde der Graben als Randbedingung insofern implementiert, als dass der maximale Grundwasserstand nicht wesentlich über die Grabensohle ansteigt. Dadurch ergibt sich mit der Pegelhöhe des MIK im Istzustand rechnerisch eine Exfiltration in den Graben von rd. 0,08 m³/s, die bei Pegelabsenkung während der Bauphase 2 auf 0 zurückgeht.

Im weitgehend abgedichteten Abschnitt zwischen Hofham und UP2 wird die entsprechend nur geringe Infiltration im Ist-Zustand durch die Kanalentleerung auf 0 reduziert.

Für das Sommerhalbjahr ergeben sich Änderungen im Streckenabschnitt UP1 bis Fangedamm (ohne Speichersee) dahingehend, dass sich die Infiltration in den Grundwasserleiter von rd. 0,65 m³/s durch die Pegelabsenkung auf rd. 0,17 m³/s verringert.

Im weiteren (nicht abgedichteten) Kanalverlauf bis zur Schleuse Hofham wird die Infiltration von rd. 0,4 m³/s ebenso wie im Winter in eine Exfiltration von rd. 0,12 m³/s überführt.

Tabelle 3: Bilanzierung Infiltration / Exfiltration Ist-Zustand/Bauphase 2 (Sommerhalbjahr)

Bezeichnung	Strecke	Zustand	Ist-Zustand		Bauzustand BP 2 (Sommerhalbjahr)		Differenz
			[l/s] += Infiltration -= Exfiltration	[l/(s x m)] += Infiltration -= Exfiltration	[l/s] += Infiltration -= Exfiltration	[l/(s x m)] += Infiltration -= Exfiltration	
Einlaufbauwerk AWK bis Stichkanalinsel (= AWK)	2.300	abschnittsweise abgedichtet	37	0,02	-230	0	267
H5b Stichkanalinsel km 0+000 bis UP1 km 1+800 (= Haltung 5b)	1.800	abschnittsweise abgedichtet (unterstromig Stichkanalinsel rd. 150 m)	140	0,08	0	0	140
UP1 km 1+800 bis Fangedamm km 7+500 inkl. Echinger Speichersee (= Haltung 6)	5.700	ohne Abdichtung (außer Echinger Speichersee)	650	0,11	175	0,03	475
Fangedamm km 7+500 bis Hofham km 8+050	550	ohne Abdichtung, Kanalsohle 394,75; rechtsseitig Sickergraben mit Sohle 398,83	397	0,72	-120	-0,22	517
Sickergraben mit Sohle 398,83	350	ohne Abdichtung	-77	-0,22	0	0	-77
Hofham km 8+050 bis UP2 km 9+950	1.900	mit Abdichtung, Kanalsohle 392,75	53	0,03	0	0	53

5.3.2.3 Detailauswertungen

Im Folgenden werden die lokalen Auswirkungen der geplanten Sanierungsmaßnahmen auf einzelne Fisch- oder Freizeitteiche im Einzugsgebiet des MIK erläutert.

Die beiden **Teiche im Bereich Kanal-km 0+900 bis 0+950** sind in der Abbildung 41 dargestellt.

Der Teich linksseitig des Kanals liegt im Bereich der Grundwasserstandsanhhebung um rd. 0,1 m aufgrund der bauzeitlichen Pegelanhebung der Isar.

Die Teiche rechtsseitig (Aufweitung des Rotkreuzgrabens sowie ein schmaler Gewässerstreifen nördlich der B11) sind aufgrund der Abdichtung des Moosburger Speichersees und dem Zufluss aus dem Rotkreuzgraben von den Sanierungsmaßnahmen nicht merklich betroffen. Die Grundwasserabsenkung aufgrund der Kanalentleerung AWK reicht nicht bis zu den Teichen.

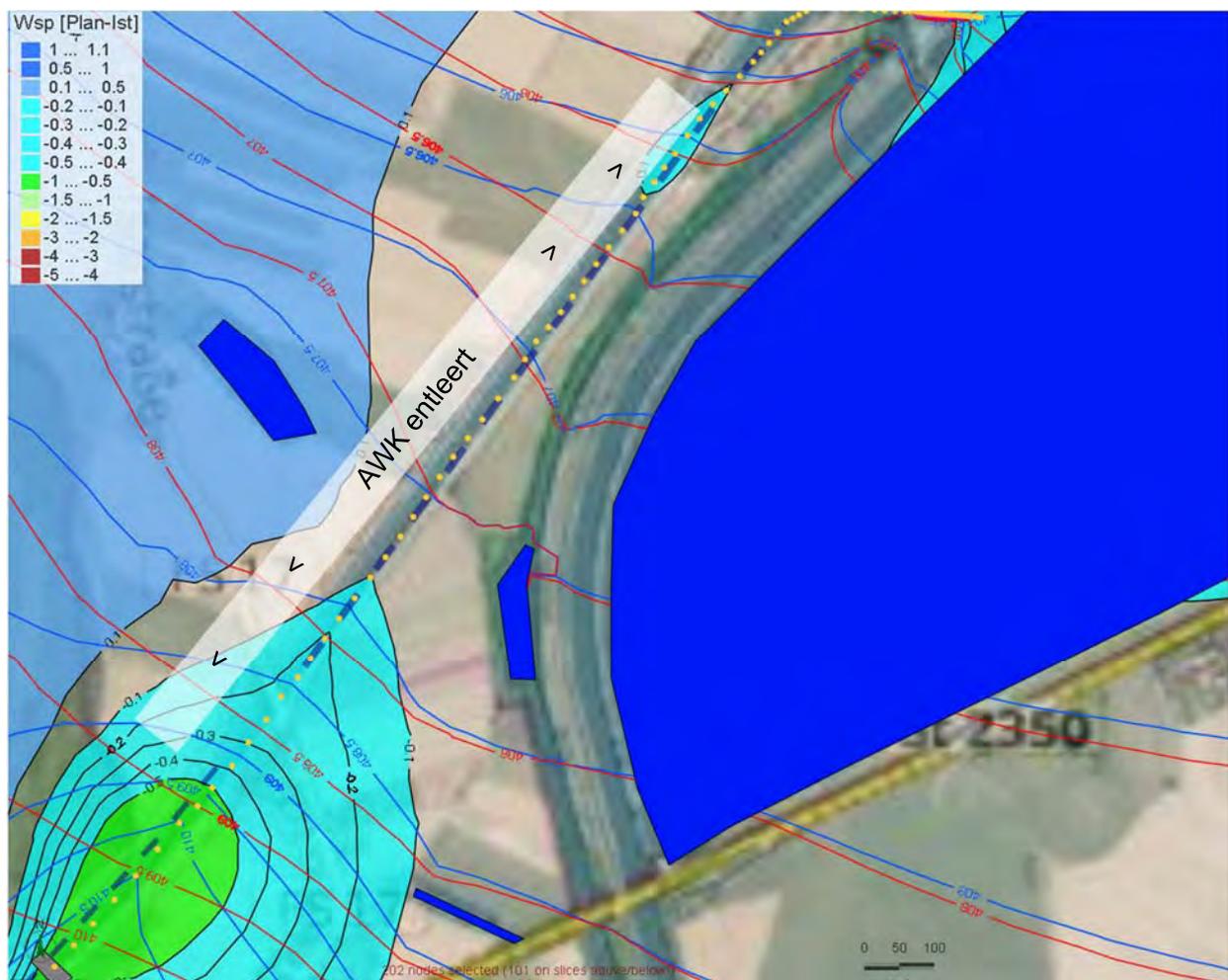


Abbildung 41: Ergebnis Bauphase 2 – Teiche WK km 0+900 bis 0+950

Die beiden **Teiche im Bereich Kanal-km 2+150 bis 2+200** sind in der Abbildung 42 dargestellt.

Beide Weiher liegen zwar grundsätzlich im Absenkungsbereich des Kanals, aufgrund der dämpfenden Wirkung der Sempt dürfte die lokale Grundwasserabsenkung $< 0,1$ m liegen. Sollte durch die Sempt keine ausreichende Infiltration erfolgen, so liegt die Grundwasserabsenkung im Bereich der Weiher bei rd. $0,2$ m (Winterhalbjahr) bzw. $< 0,1$ m während des Sommerhalbjahres.

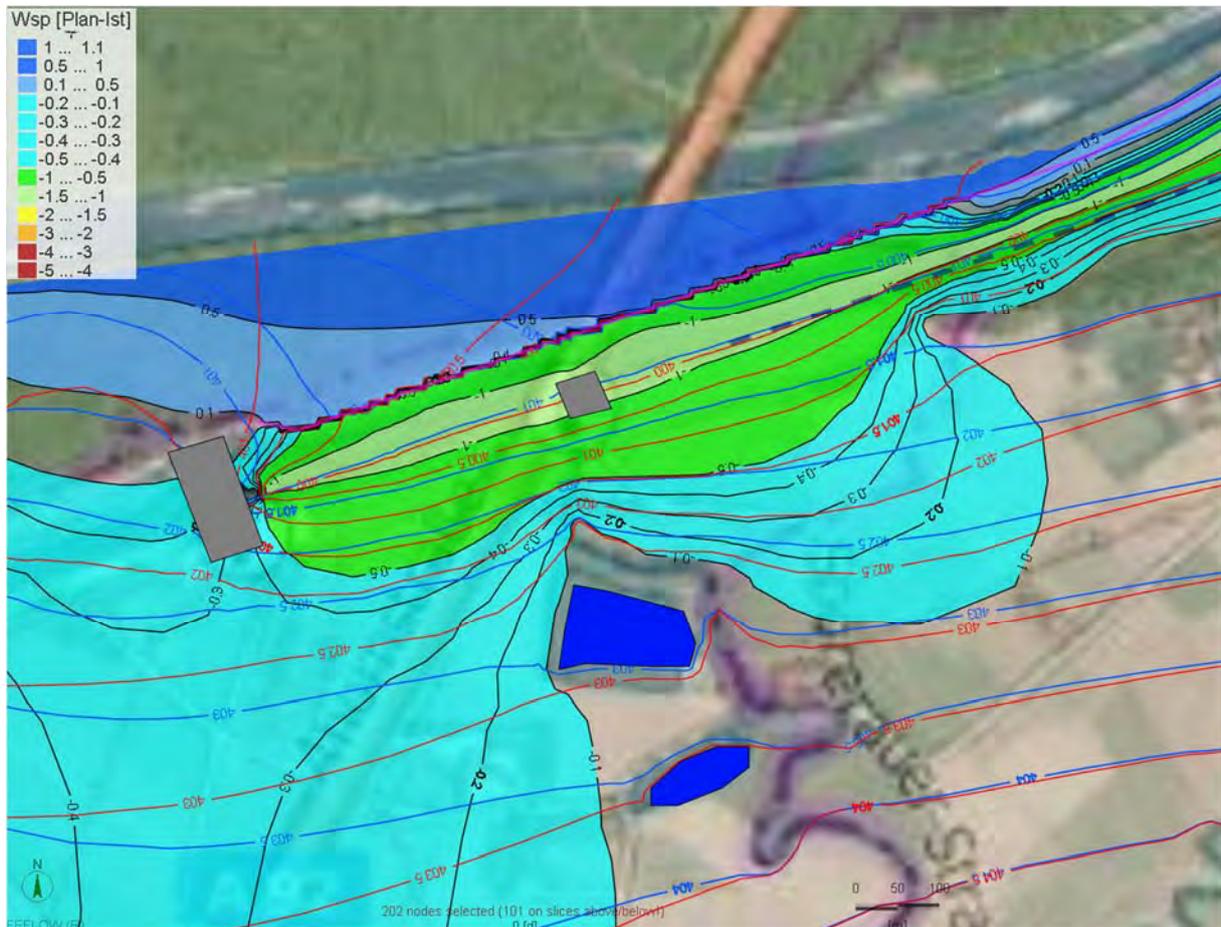


Abbildung 42: Ergebnis Bauphase 2 – Teiche MIK km 2+150 bis 2+200 (Winterhalbjahr)

Die beiden **Teiche im Bereich Kanal-km km 3+450 bis 3+500** sind in der Abbildung 43 dargestellt.

Die Teiche liegen im Bereich des Abschnitts des MIK, in dem die Absenkung durch die Spundwand westlich des Echinger Speichersees begrenzt wird. Es sind hier keine merklichen Grundwasserstandsveränderungen (sommers wie winters) zu erwarten.

Da die Spundwand nur bis zur Kanalsohle reicht, eine Einbindung in einen liegenden Stauer nicht belegt und damit die hydraulische Wirksamkeit nicht gesichert ist, kann sich die Reichweite der Absenkung ebenso wie im weiter westlichen Abschnitt etwas vergrößern (Reichweite Absenkung > 0,1 m rd. 100 m).

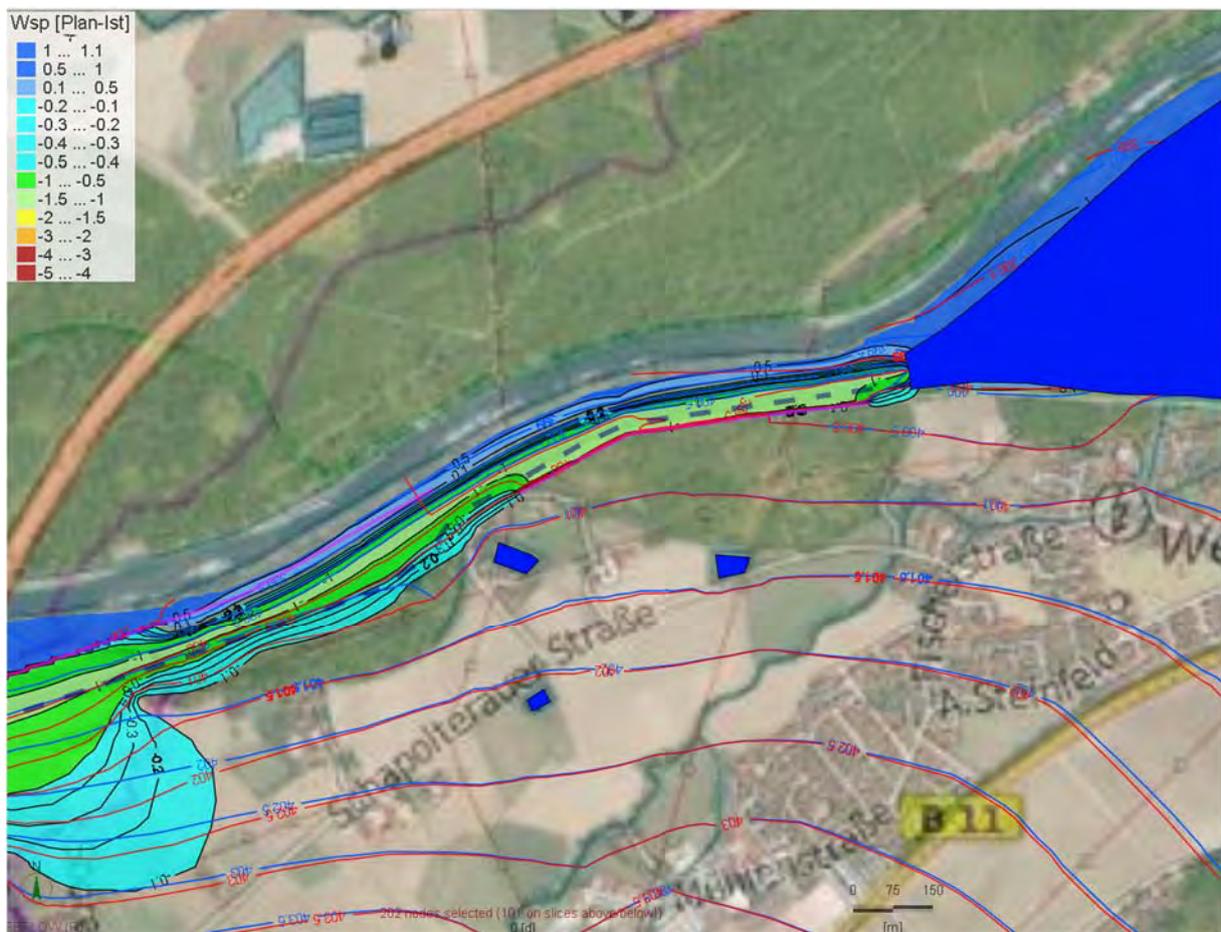


Abbildung 43: Ergebnis Bauphase 2 – Teiche MIK km 3+450 bis 3+500 (Winterhalbjahr)

Der **Teich am südlichen Ufer des Echinger Speichersees (ca. Kanal-km 5+550 bis 5+600)** ist in der Abbildung 44 dargestellt.

Unter der Annahme, dass der Gleißenbach keinen signifikanten Grundwasseranschluss hat (vgl. Kapitel 5.3.2.1), breitet sich der Absenkungsbereich $> 0,1$ m bis zum bezeichneten Weiher aus (Winterhalbjahr). Im Sommerhalbjahr liegt der Weiher deutlich außerhalb des berechneten Absenkungsbereichs $> 0,1$ m.

Für den Fall, dass der Gleißenbach in den Grundwasserleiter infiltriert, liegt die Grundwasserabsenkung im Bereich des Weihers bei $< 0,1$ m.

Derzeit erfolgt vermutlich eine Infiltration über Schadstellen aus dem in Dammlage verlaufenden Gleißenbach ins Grundwasser. Der Gleißenbach besitzt zwar eine Betonauskleidung, diese ist jedoch vielfach gebrochen und die Dämme sind bewachsen. Im Zuge der SKUP-Maßnahmen ist die Entfernung des Bewuchses und die Sanierung der Betonauskleidung vorgesehen.

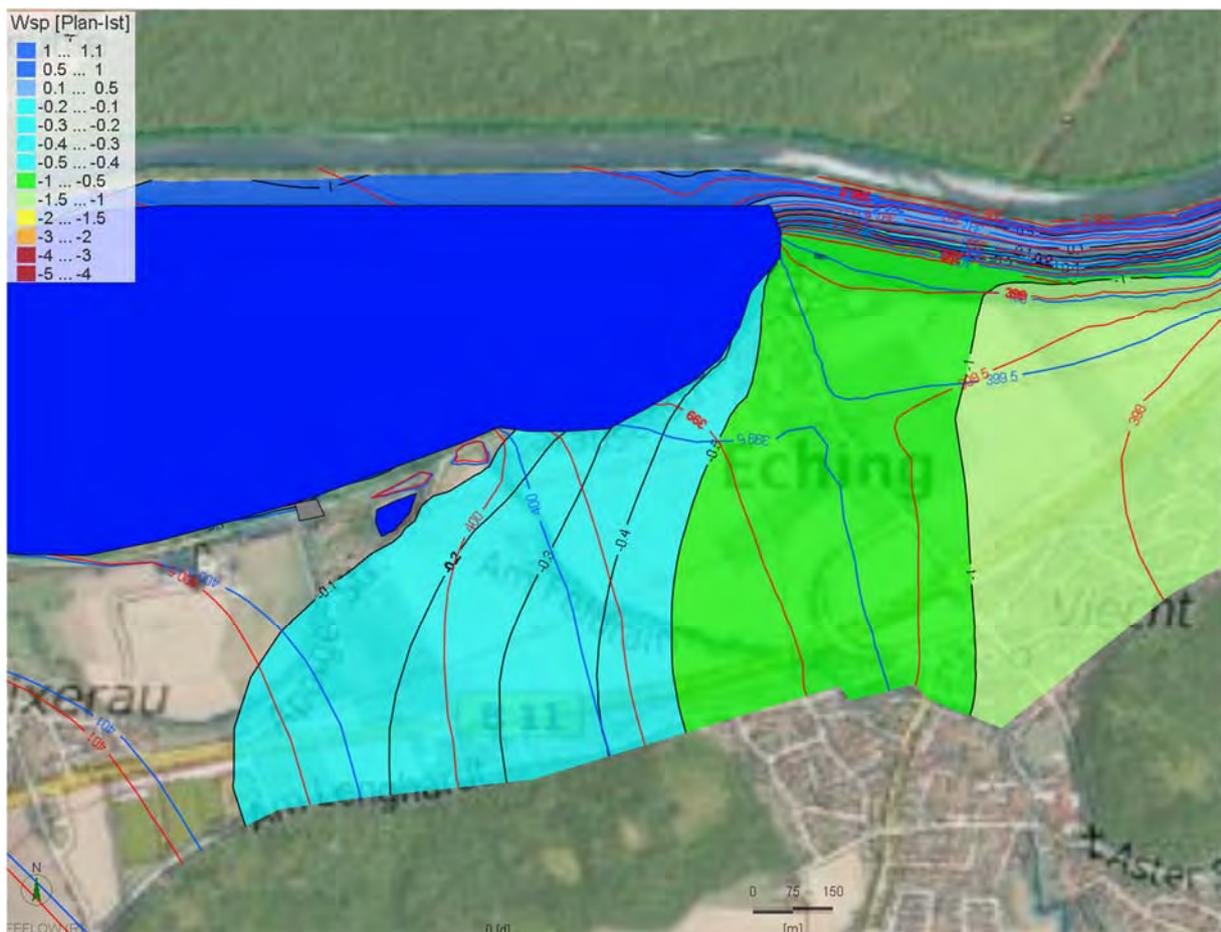


Abbildung 44: Ergebnis Bauphase 2 – Teich Echinger Speichersee km 5+550 bis 5+600 (Winterhalbjahr)

Die **Teiche im Bereich Kanal-km km 9+000 bis 9+050** sind in der Abbildung 45 dargestellt.

Aufgrund der Sohlabdichtung des MIK wird hier das Grundwasser durch die Kanalentleerung nicht abgesenkt. Die Weiher liegen (ohne Druckabsenkung zur Auftriebssicherung) hingegen im Bereich der Grundwasserstandsanhebung (rd. 0,3 bis 0,4 m), welche durch die bauzeitliche Anhebung des Isarpegels verursacht wird.

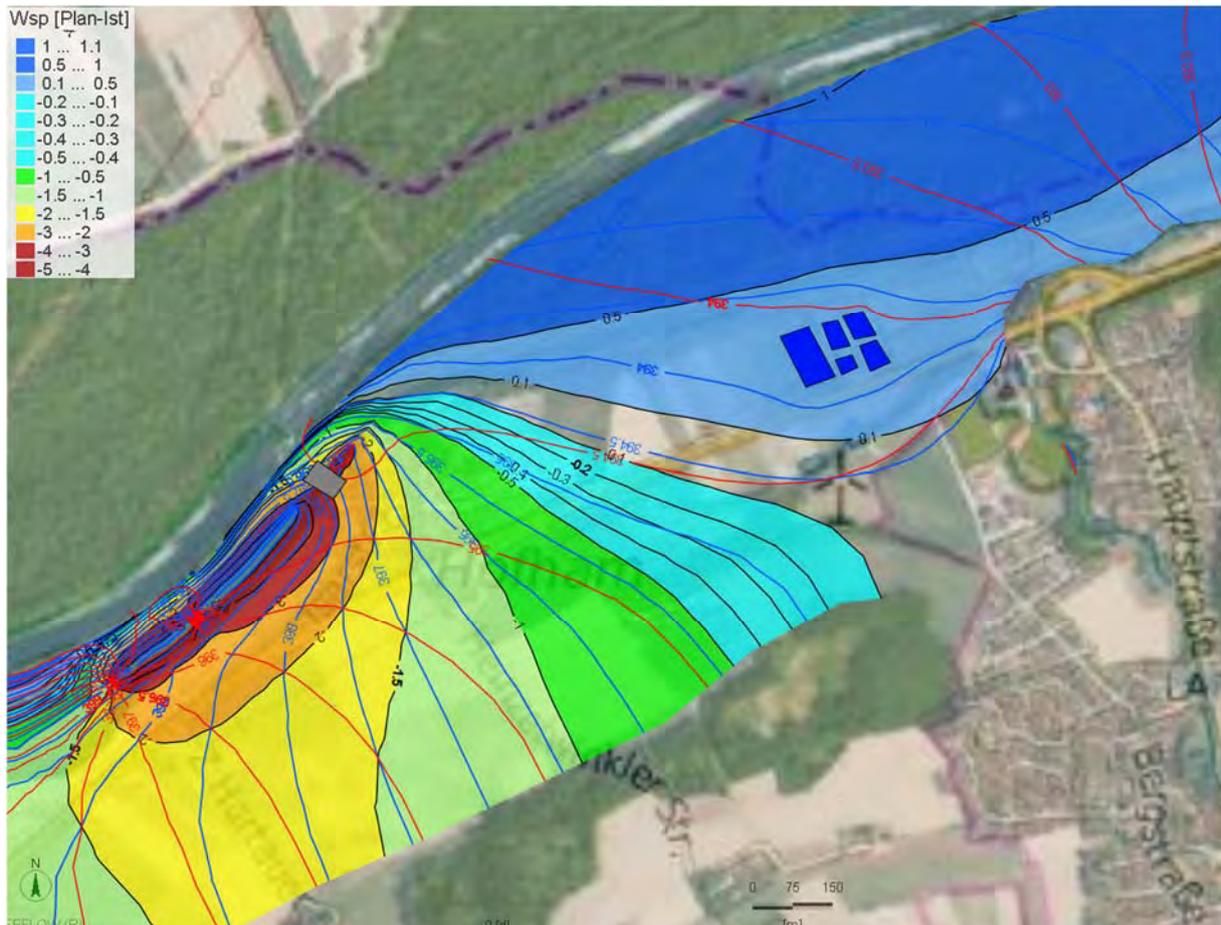


Abbildung 45: Ergebnis Bauphase 2 – Teiche MIK km 9+000 bis 9+050 (ohne Druckabsenkung)

Bei bauzeitlicher Druckabsenkung entlang des entleerten Kanals bis zur Kanalsohle (392,5 m ü. NN) wird für den Bereich der Weiher eine Absenkung um rd. 0,7 bis 0,9 m auf rd. 393 m ü. NN verursacht.

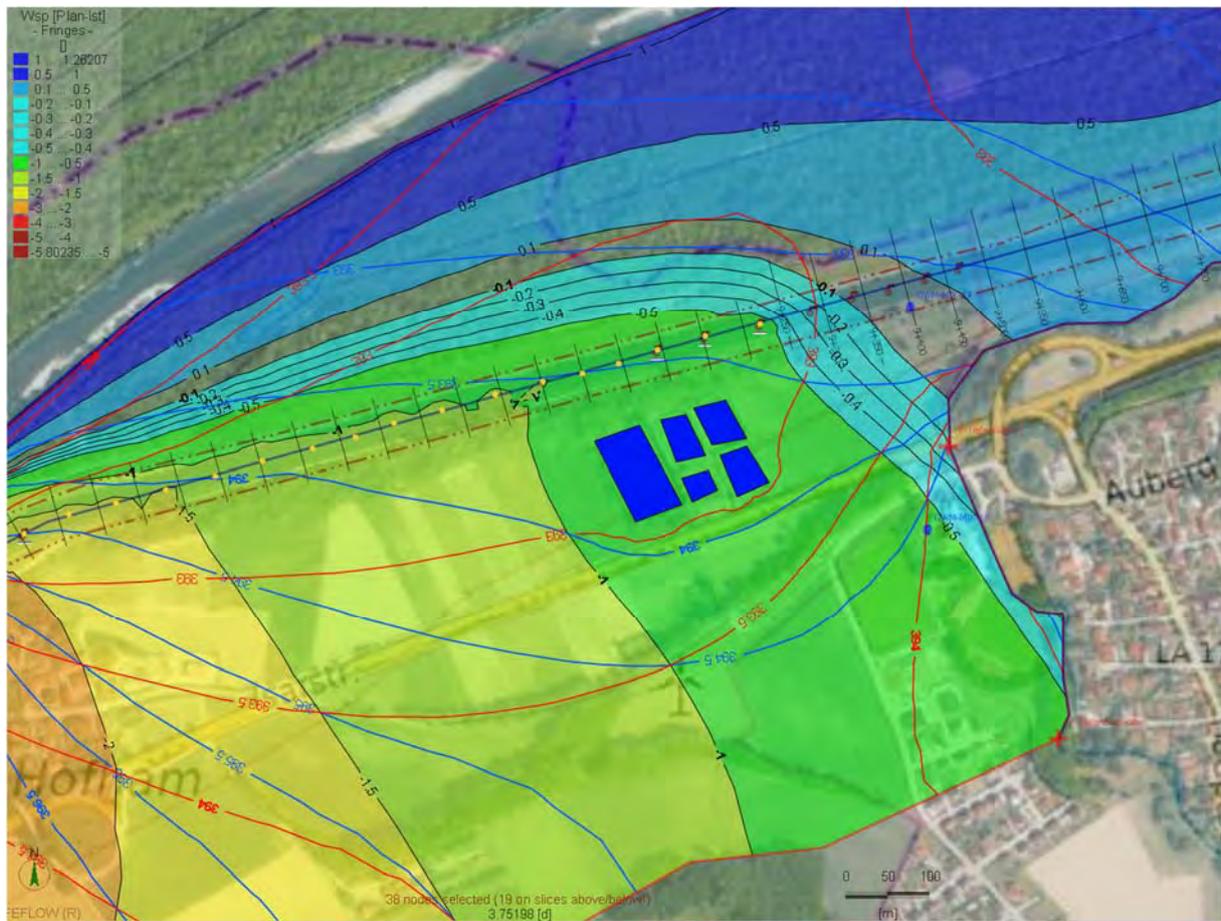


Abbildung 46: Ergebnis Bauphase 2 – Teiche MIK km 9+000 bis 9+050 (mit Druckabsenkung)

5.3.3 Bauphase 3

Während der Bauphase 3 sollen das Einlaufbauwerk sowie die Oberflächenabdichtung des Moosburger Speichersees über einen Bauzeitraum von rd. 10 Monaten saniert werden.

Hierzu wird der Pegelstand des Moosburger Speichersees von Februar bis Juni auf bis zu 409,64 m ü. NN (409,60 m ü. NHN) abgesenkt. Die Wasserführung der Kanäle (inkl. Echinger Speichersee) sowie der Isar verbleibt unverändert.

Bei der ursprünglichen Modellkalibrierung wurde der Moosburger Speichersee sowie der MIK im Bereich des Speichersees entsprechend den damaligen Kenntnissen als weitgehend abgedichtet implementiert.

Im Zusammenhang mit den geplanten Sanierungsmaßnahmen wurden zwischenzeitlich beidseits des AWK oberstromig der Stichkanalinsel sowie entlang des MIK im unterstromigen Drittel des Moosburger Speichersees Grundwassermessstellen erstellt. Die Grundwasserstandsmessungen an den Messstellen GWM-MIK-23, -24 und -25 weisen insbesondere am Nordende des Speichersees auf eine Grundwasserstandsanhhebung hin, welche dem natürlichen Grundwassergefälle SW \Rightarrow NO entgegen steht (vgl. Kapitel 3.3.3.2.3). Es ist anzunehmen, dass dies durch eine verstärkte Infiltration aus dem Oberflächengewässer (Speichersee und/oder MIK) verursacht wird.

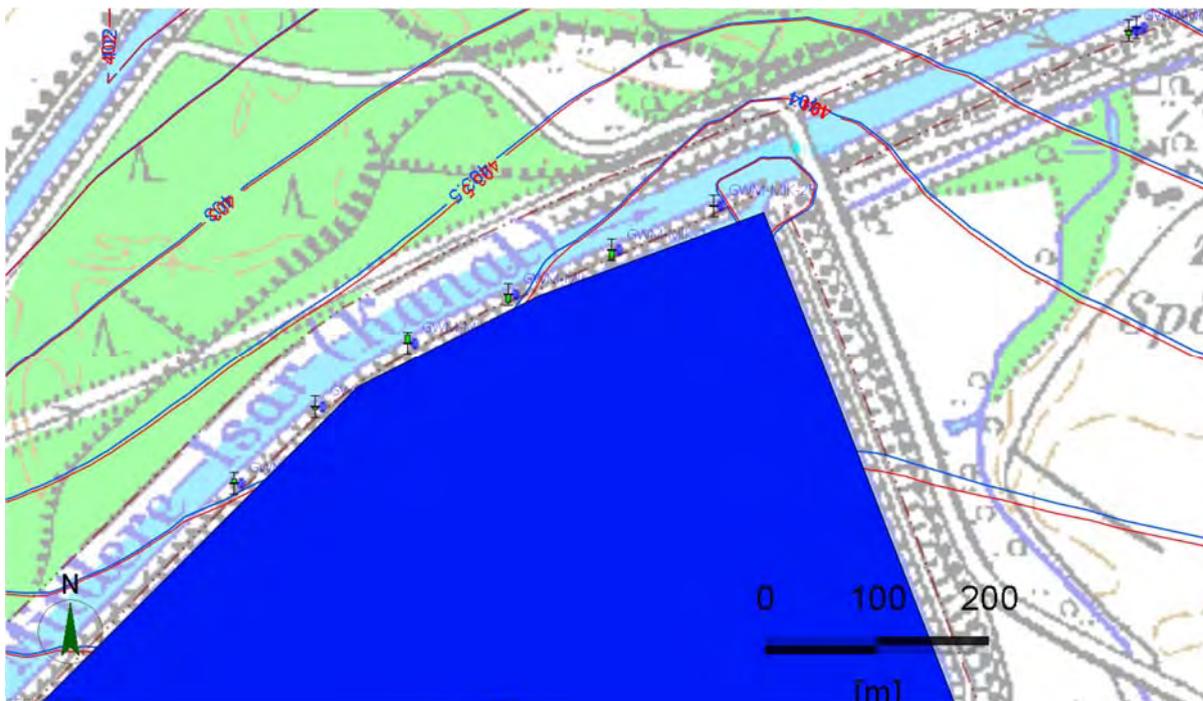


Abbildung 47: Ergebnis Bauphase 3 – Nordende Moosburger Speichersee

Nach Angaben des Vorhabensträgers wurde der MIK ab der Stichkanalinsel bis rd. 150 m unterstromig zwischenzeitlich saniert, d.h. abgedichtet. Für den weiteren Verlauf ist der Zustand der Gewässersohle im MIK unsicher.

Es ist daher nicht mit Sicherheit festzustellen, ob die durch Infiltration verursachten hohen Grundwasserstände an den o.g. Messstellen aus Undichtigkeiten der Sohle des MIK oder des Moosburger Speichersee resultieren. Die überarbeitete Modellkalibrierung mit einer guten

Anpassung der berechneten Werte an die gemessenen Grundwasserstände (Abweichungen $< 0,2$ m) basiert auf einer Anbindung des MIK an den Grundwasserleiter. Aufgrund der angenommenen Abdichtung des Speichersees (keine signifikante Wechselwirkung mit dem Grundwasser) wird durch die Seepegelabsenkung keine relevante Grundwasserabsenkung ($> 0,1$ m) verursacht (siehe Abbildung 47).

6. Zusammenfassung

Die Stadtwerke München planen die Sanierung der Kanalanlagen der Uppenbornkraftwerke (SKUP). Die Sanierung ist innerhalb von drei Bauphasen geplant, während derer Teilentleerungen von Abschnitten des Alten Werkkanals und des Mittlere-Isar-Kanals, Pegelabsenkungen in Kanalabschnitten und im Moosburger Speichersee sowie entsprechend der erforderlichen Ableitung des Kanalwassers in die Isar eine bauzeitliche Pegelanhebung der Isar umgesetzt werden müssen.

Mit den vorliegenden Berechnungen werden unter Verwendung eines numerischen Grundwasserströmungsmodells die bauzeitlichen grundwasserhydraulischen Auswirkungen der geplanten Sanierungsmaßnahmen ermittelt, erläutert und in Form von Differenzenplänen [Grundwasserstand Ist-Zustand – Bauzustand] dargestellt.

Für einzelne Kanalabschnitte werden Bilanzierungsrechnungen der Infiltration (Kanalwasser \Rightarrow Grundwasser) und Exfiltration (Grundwasser \Rightarrow Kanalwasser) sowie deren bauzeitliche Änderungen dargestellt.

Eching am Ammersee, den 05.08.2024



i.V. Knut Hanke
Dipl.-Geol.

Dr. Blasy – Dr. Øverland
Ingenieure GmbH



i.A. Dr. Stefan Hülmeier
Dipl.-Geol.