

Stadt Landshut
Bebauungsplan 02-62/1a
*Südl. Klötzmüllerstraße –
Verlängerung Sylvensteinstraße*
Deckblatt 5
Numerisches
Grundwassermodell
vom 23.05.2022

Vorhabensträger: Stadt Landshut
Amt für Stadtentwicklung und Stadtplanung
Luitpoldstraße 29
84034 Landshut

Verfasser: Dr. Blasy – Dr. Øverland
Ingenieure GmbH
Moosstraße 3
82279 Eching am Ammersee

ea-LaPla-003.01

Verzeichnis der Unterlagen

I Erläuterungsbericht

II Anlagen

- Anlage 01: Übersichtslageplan; Maßstab 1:25.000
- Anlage 02: Lagepläne Geologie; Maßstab 1:10.000 u. 1:2.500
- Anlage 03: Lageplan Grundwassergleichen; Maßstab 1:20.000
- Anlage 04: Lagepläne Flurabstand HHW und MW; Maßstab 1:2.500
- Anlage 05: Grundwassermodell; Modelldaten
- Anlage 06: Lageplan Kalibrierung; Stichtagsmessung Mai 2004 (MW) ; Maßstab 1:10.000
- Anlage 07: Lageplan Modellergebnis Ist-Zustand HHW; Maßstab 1:10.000
- Anlage 08: Lageplan Modellergebnis Planungs-Zustand HHW; Maßstab 1:1.000
- Anlage 9: Profilschnitte
- Anlage 10: Grundwasserstandsdaten (Diagramme)
- Anlage 11: Projektdaten

Erläuterungsbericht

1.	Vorhabensträger.....	1
2.	Zweck der Untersuchungen	1
3.	Durchgeführte Arbeiten – verwendete Unterlagen.....	2
4.	Hydrogeologische Verhältnisse.....	3
4.1	Morphologie.....	3
4.2	Geologie	4
4.3	Hydrogeologie	4
4.3.1	Grundwasserstände	4
4.3.2	Grundwasserfließrichtung und Grundwassergefälle.....	7
4.3.3	Grundwassermächtigkeit.....	8
4.3.4	Flurabstand	8
4.3.5	Hydraulische Durchlässigkeit	8
4.4	Oberflächengewässer	10
4.5	Klima und Grundwasserneubildung	12
5.	Beschreibung des Vorhabens.....	13
6.	Numerisches Grundwassermodell	15
6.1	Modellumgriff, Modelltyp, Diskretisierung.....	15
6.2	Randbedingungen und Materialparameter.....	15
6.2.1	Materialparameter	15
6.2.2	Randbedingungen (RB).....	16
6.3	Modellrechnungen.....	17
6.3.1	Kalibrierung	17
6.3.2	Modell Ist-Zustand HHW	19
6.4	Modellergebnisse Planungszustand.....	19
7.	Analytische Kontrollrechnung	20
8.	Abhilfemaßnahmen	21
9.	Zusammenfassung und Fazit.....	21

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersichtslageplan.....	1
Abbildung 2: Lageplan	3
Abbildung 3: Lageplan Messstellen (Grundwasser und Pegel)	5
Abbildung 4: Messwertaufzeichnungen (Grundwasser und Pegel; Diagramm großformatig in der Anlage 10).....	5
Abbildung 5: Grundwasserstandskennwerte.....	6
Abbildung 6: Ganglinienvergleich Grundwasser – Pegelstand Isar (Überblick).....	11
Abbildung 7: Ganglinienvergleich Grundwasser – Pegelstand Isar (Detail).....	11
Abbildung 8: Tagesniederschlagssummen und mittlere Tagestemperatur Station Schönbrunn.....	12
Abbildung 9: Profilschnitt (Detailausschnitt).....	13
Abbildung 10: Übersicht Plangrundlagen Geltungsbereich Bebauungsplan 02-62/1a Deckblatt 5 (Verf.: Stadt Landshut).....	14
Abbildung 11: Vertikalschnitt der geplanten Bauwerke (Verf.: Stadt Landshut).....	14
Abbildung 14: Ergebnis der Modellkalibrierung (Regressionsgerade).....	18
Abbildung 15: Ergebnis der Modellkalibrierung (Modell- und Messwerte an den Messstellen) 18	
Abbildung 16: Ergebnis der Modelle Ist-Zustand (statistische Grundwasserstände HHW, MW; für GWM15210 mit Messwerterfassung seit 2015 kein belastbarer HHW-Messwert) ...	19

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: k_f -Wert-Ermittlung aus Kornverteilungskurven.....	9
--	---

3. Durchgeführte Arbeiten – verwendete Unterlagen

Im Frühjahr 2019 wurde durch unser Büro für die Stadt Landshut ein vergleichbares Grundwassermodell für den Geltungsbereich des Bebauungsplanes 05/37 im Zentrum der Stadt zwischen der Isar und der Kleinen Isar erstellt. Dieses Modell umfasste - auch im Hinblick auf eine weitere Nutzung für andere Modellrechnungen im näheren Umfeld des o.g. Bebauungsplanes - einen großen Umgriff (Modellgröße rd. 13 km²). Dennoch war im Zuge weiterer erforderlicher Modellrechnungen für die Änderung des Bebauungsplanes 02/34 am westlichen Stadtrand von Landshut und damit in einer geringen Entfernung von nur rd. 300 m zum ursprünglichen Modellrand, die Neuerstellung eines Grundwassermodells mit ausreichendem Umgriff um den (im Dezember 2019) zu untersuchenden Geltungsbereich 02/34 erforderlich, um eine Beeinflussung des Modellergebnisses durch die implementierten Randbedingungen gesichert zu vermeiden. Die Grundlagendaten des Modells 05/37 wurden nach Aktualisierung und Vervollständigung im Wesentlichen übernommen.

Der nun zu untersuchende Geltungsbereich des Bebauungsplans 02-62/1a liegt rd. 200 m bis 250 m südöstlich des Geltungsbereiches des BP 02/34. Das hierfür Anfang 2019 erstellte und Ende 2019 modifizierte Modell konnte grundsätzlich verwendet werden.

Grundlage für ein numerisches Modell ist zunächst die Entwicklung eines hydrogeologischen Modells. Zu diesem Zweck war zunächst eine umfassende Recherche relevanter hydrogeologischer Daten im weiteren Umfeld des Vorhabensbereichs erforderlich.

Das bestehende Modell wurde hinsichtlich der zugrundeliegenden Daten (Bohraufschlüsse, Grundwasserstandsmessungen, Pegelmessungen) aktualisiert.

Die hierfür verwendeten Unterlagen sind nachfolgend aufgeführt.

- (1) Öffentlich zugängliche Wasserstandsdaten des gewässerkundlichen Dienstes des Landesamtes für Umwelt
- (2) Hydrogeologische Daten des Landesamtes für Umwelt (Internetportal: Umweltatlas Bayern)
- (3) Geologische Karte von Bayern im Maßstab 1:25.000; Kartenblätter Nr. 7938 und Nr. 7939
- (4) Landesamt für Umwelt: Unterlagen der Geowissenschaftlichen Landesaufnahme Planungsregion 13; Hydrogeologische Karte
- (5) BRANDL (1979): Die Beeinflussung der Grundwasserverhältnisse durch Tiefbauten im Grundwasser und Möglichkeiten zur Verminderung nachteiliger Veränderungen des Grundwasserabflusses – Probearbeit im Ausbildungsabschnitt IIa der Ausbildung für den höheren bautechnischen Verwaltungsdienst
- (6) SAGER (1986): Hydrologische und hydraulische Voruntersuchungen zur Bemessung von Trinkwasserschutzgebieten; Bayer. LA f. Wasserwirtschaft, Dienstbesprechung am 19.09.1985
- (7) Baugrundgutachten vom 07.06.2000 – Bohrprofile, Laboruntersuchungen (Verf.: Geotechnische Beratung Prof. Dr.-Ing. Frank Schweitzer)
- (8) Planungsunterlagen zum Bebauungsplan mit Grünordnungsplan Nr. 02-62/1a Deckblatt 5 des Baureferats der Stadt Landshut

Auf der Grundlage des hydrogeologischen Modells wurde ein numerisches Grundwasserströmungsmodell erstellt. Gemäß den Anforderungen des Vorhabensträgers wurde der *Ist-Zustand* für die Grundwasserstände MW (Mittelwasserstand) sowie HHW (höchster Hochwasserstand) berechnet und dargestellt. Anschließend wurden gemäß den vorliegenden Planungsunterlagen die geplanten Bauwerksunterkanten (Tiefgarage) im Modell implementiert und es wurden für die o.g. Wasserstände mit den Modellvarianten *Planungszustand* die Auswirkungen auf die Grundwasserverhältnisse ermittelt.

Es wurde die geplante Bebauung gemäß Deckblatt 5 zum Bebauungsplan 02-62/1a implementiert.

Zur Plausibilitätskontrolle wurden analytische Kontrollrechnungen durchgeführt.

4. Hydrogeologische Verhältnisse

4.1 Morphologie

Die Stadt Landshut liegt an der Isar, die sich in ihrem Verlauf in das tertiäre Hügelland eingeschnitten hat. Das Stadtgebiet ist weitestgehend eben auf einer Höhe von rd. 390 m ü. NN. Die nördlich und südlich anschließenden Erhebungen des tertiären Hügellandes steigen bis auf rd. 490 m ü. NN an.

Im Geltungsbereich des Bebauungsplans (Abbildung 2) liegt die Geländeoberfläche bei rd. 392 m ü. NN. Die Referenzhöhe „Kanaldeckel Klötzelmüllerstraße“ liegt bei 391,7 m ü. NN.



Abbildung 2: Lageplan

4.2 Geologie

In der Anlage 02 sind Lagepläne (Übersicht und Detail) der Geologischen Karte von Bayern im Maßstab 1:25.000 (Kartenblätter 7438 und 7439) beigelegt.

Landshut liegt großräumig im Bereich der tertiären Sedimente der Oberen Süßwassermolasse, welche gebietsweise durch die äolischen Ablagerungen von Löß- und Lößlehm überdeckt sind.

In die tertiäre Geländeoberfläche hat sich die Isar eingeschnitten und im Talverlauf würmezeitliche bis holozäne Schotter abgelagert. Der unmittelbare Flussverlauf ist durch feinkörnigere meist jungholozäne Auenablagerungen gekennzeichnet.

Das vorliegende Baugrundgutachten vom 07.06.2000 (7) beinhaltet insgesamt sechs Bohrprofile, die jedoch (bis auf B2) alle außerhalb des Geltungsbereichs Deckblatt Nr. 5 abgeteuft wurden. Aufgrund der geringen Entfernung kann jedoch mit hinreichender Sicherheit von ähnlichen Verhältnissen im Geltungsbereich ausgegangen werden.

Unter anthropogenen Auffüllungen mit mehreren Dezimetern Mächtigkeit folgen vorwiegend feinkiesige Schotter mit sandigen Einschaltungen. Der tertiäre Stauer (Ton) wird in Tiefen von rd. 10,5 bis 13,7 m (rd. 378 bis 379,5 m ü. NN) angetroffen.

4.3 Hydrogeologie

Neben untergeordneten, lokalen und kleinräumig verbreiteten Grund- bzw. Schichtwasservorkommen ist das großräumige Untersuchungsgebiet im Wesentlichen durch zwei Grundwasserstockwerke gekennzeichnet.

Das tiefer liegende tertiäre Hauptgrundwasserstockwerk südlich und nördlich der Isar entwässert nach Norden bzw. nach Südosten zur Isar hin. Im Bereich des Isartals existiert flussbegleitend in den quartären Schottern ein oberes Grundwasservorkommen mit einem Flurabstand, der i.d.R. wenige Meter beträgt.

Für die vorliegenden Untersuchungen ist das tiefere tertiäre Grundwasserstockwerk nicht von Belang. Die weiteren Ausführungen beschränken sich auf den quartären Grundwasserleiter der Isartalschotter.

4.3.1 Grundwasserstände

Im Stadtbereich von Landshut existieren Grundwassermessstellen mit langfristigen Messwertaufzeichnungen. In der Abbildung 3 ist die Lage dieser Messstellen sowie zweier Gewässerpegel (Isar und Flutmulde/Pfettrach) dargestellt. Für den westlichen Stadtbereich von Landshut ist die Messstellendichte vergleichsweise gering. Die dem Vorhabensbereich nächstgelegenen Messstellen Untersbergweg L2A und Siebensee 95 sind rd. 520 m bzw. rd. 1700 m entfernt.

Die Grundwassermessstellen führen Namens- und Nummernbezeichnungen (siehe Beschriftung).

Die Messwerte werden z.T. seit 1965, z.T. seit 1979 erfasst. Zu Beginn der Messwerterfassung wurde ein wöchentliches Messintervall umgesetzt. Seit ca. 1989 (z.T. seit 2000) wurde auf eine automatische tägliche Messwerterfassung umgestellt. Hinsichtlich einer statistischen Auswertung der Grundwasserstände liegt somit eine ausreichend lange und belastbare Datengrundlage vor.

Die Messstelle 15210 wird erst seit 2015 beobachtet und erfasst noch keine Extremwerte. Für diesen Bereich sind die nahe gelegenen Messstellen 15988 und 15990 maßgeblich.

In der Anlage 10 sind die Grundwasserstandsaufzeichnungen in großformatigen Diagrammen beigefügt. Abbildung 4 zeigt die Messwerte bis 04.05.2022 im Überblick.



Abbildung 3: Lageplan Messstellen (Grundwasser und Pegel)

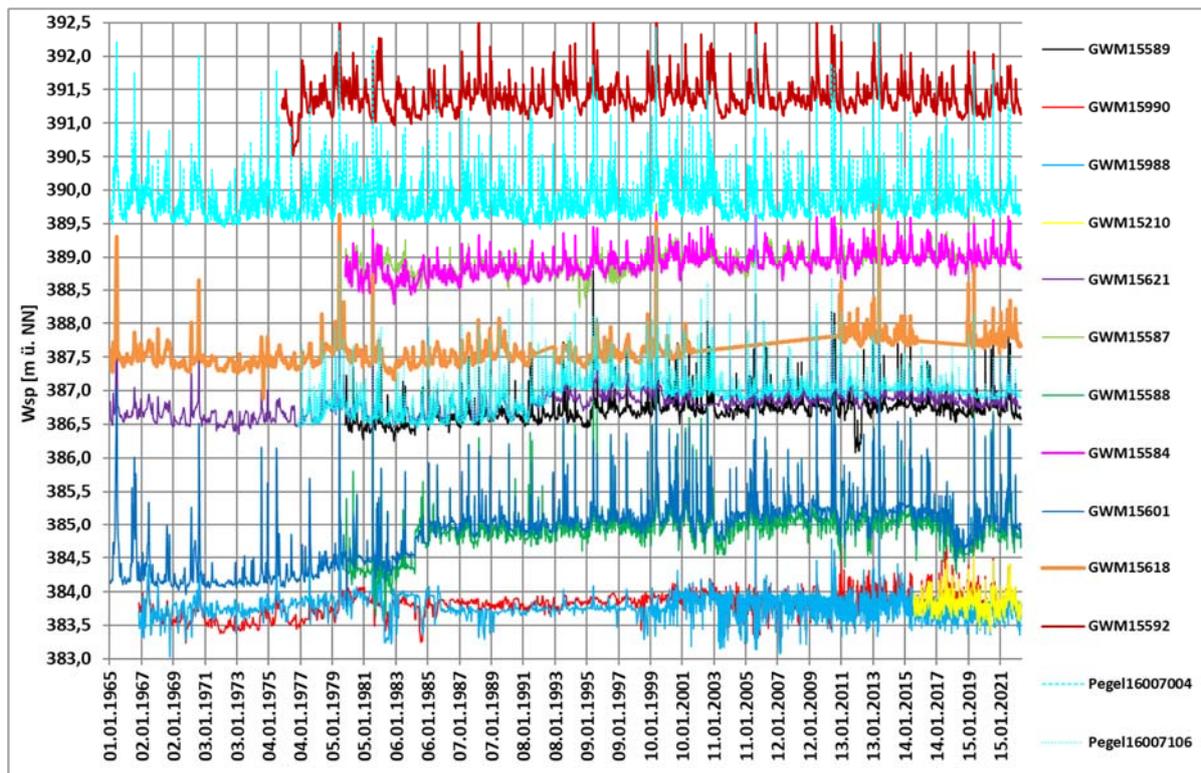


Abbildung 4: Messwertaufzeichnungen (Grundwasser und Pegel; Diagramm großformatig in der Anlage 10)

Aus den vorliegenden Messwertaufzeichnungen wurden folgende statistische Kennwerte der Grundwasserstände unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Messintervalle (zunächst wöchentlich, seit 1989, z.T. seit 2000 täglich) ermittelt:

- HHW: Höchster aufgetretener Wasserstand im Erfassungszeitraum
- MHW: Mittlerer Hochwasserstand; arithmetischer Mittelwert der Jahreshöchstwerte der Grundwasserstände
- MW: Mittelwasserstand; arithmetischer Mittelwert aller Grundwasserstandsmesswerte
- MNW: Mittlerer Niedrigwasserstand; arithmetischer Mittelwert der Jahrestiefststände des Grundwassers
- NNW: niedrigster aufgetretener Wasserstand im Erfassungszeitraum

In der Abbildung 5 sind die an den Grundwassermessstellen ermittelten Werte dargestellt. Die Kennwerte basieren auf den bis zum 04.05.2022 aktualisierten Messreihen.

4.3.1.1 Stichtagsmessung Mai 2004

Den Unterlagen zur Geowissenschaftlichen Landesaufnahme der Planungsregion 13 (Landshut) ist ein Grundwassergleichenplan des quartären Grundwasserleiters im Isartal zu entnehmen. Gemäß den zugehörigen Erläuterungen wurde dieser Gleichenplan auf der Grundlage einer umfassenden Stichtagsmessung zwischen 03. und 07. Mai 2004 erstellt (Gleichenplan siehe Anlage 03).

Aus den o.g. Unterlagen sind keine Messwerte an den für die Konstruktion der Grundwassergleichen verwendeten Stützpunkten (Grundwassermessstellen) zu entnehmen. Daher wurde aus den vorliegenden Ganglinienaufzeichnungen der Wasserstandswert vom 05. Mai 2004 entnommen. Diese Werte sind in dem folgenden Diagramm als *STM Mai 2004* ebenfalls eingetragen.

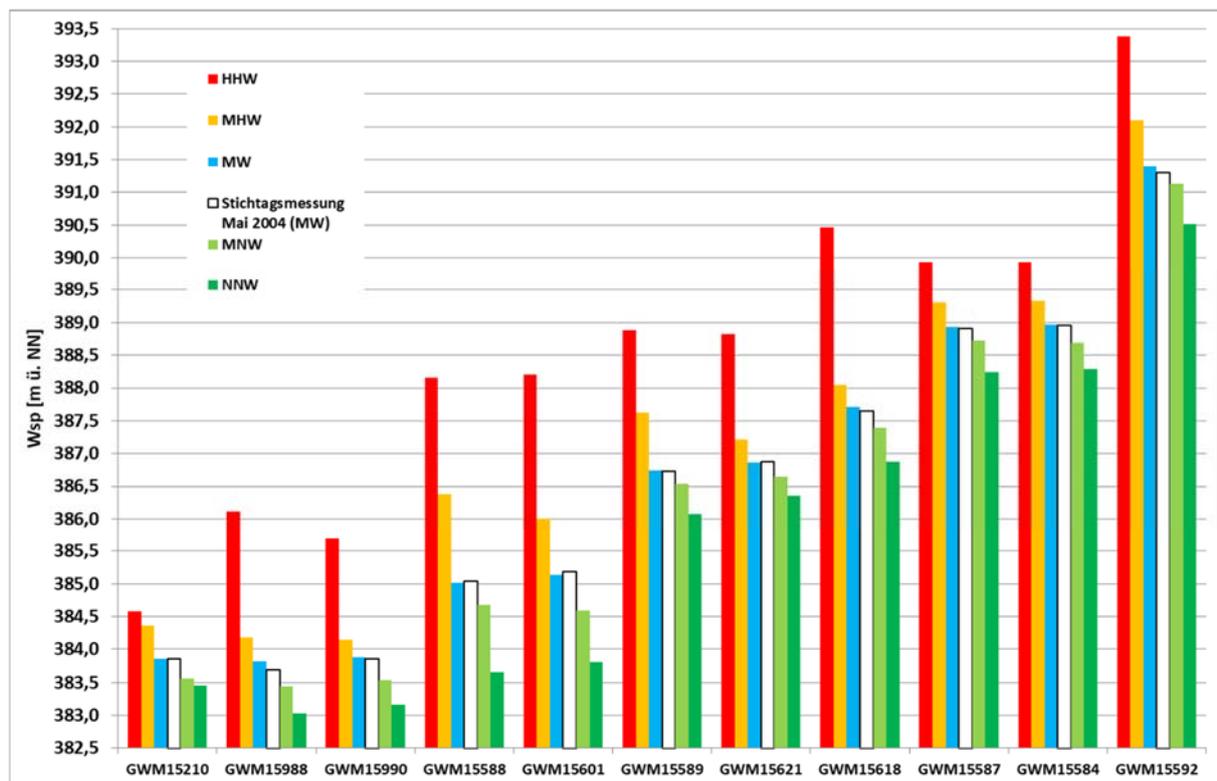


Abbildung 5: Grundwasserstandskennwerte

Es ist zu erkennen, dass die Stichtagsmessung im Mai 2004 einen mittleren Grundwasserstand darstellt. Die Wasserstände liegen nur geringfügig über oder unter den an den Messstellen statistisch ermittelten Werten für MW.

Der *Grundwassergleichenplan STM 2004* ist daher geeignet, die mittleren Grundwasserverhältnisse hinsichtlich Grundwassermächtigkeit, -fließrichtung und -gefälle darzustellen.

Weiterhin wurden auf der Grundlage der an den Messstellen ermittelten statistischen Kennwerte mittels linearer Interpolation Grundwassergleichenpläne für HHW und MW konstruiert. Diese Gleichenpläne sind ebenfalls im Lageplan der Anlage 03 dargestellt. Es ist dabei zu beachten, dass diese Konstruktionen auf einer deutlich geringeren Stützstellendichte basieren und die Vorfluter ohne Berücksichtigung von Infiltrations- und Exfiltrationseffekten schneiden.

4.3.1.2 Grundwasserschwankungsbereich

An den ausgewerteten Grundwassermessstellen liegt die mittlere Differenz zwischen MW und MNW bei rd. 0,3 m. Die mittlere Differenz zwischen MHW und MW liegt bei rd. 0,6 m.

Der HHW liegt im Mittel um rd. 1,4 m über dem MHW, wobei hier eine große Schwankungsbreite von 0,6 m (GWM 15584) bis 2,4 m (bei GWM 15618) zu erkennen ist. Die erst seit 2015 beobachtete Messstelle GWM 15210 wurde bei dieser Auswertung nicht berücksichtigt.

Der Geltungsbereich des Bebauungsplanes 02-62/1a (Deckblatt 5) liegt mit der südlichen Hälfte in einem flächenhaft ausgewiesenen *wassersensiblen Bereich* mit definitionsgemäß stark schwankenden Grundwasserständen bis nahe der Geländeoberfläche und möglichen Überschwemmungen.

4.3.2 Grundwasserfließrichtung und Grundwassergefälle

Generell stellt die Isar den Vorfluter für das quartäre Grundwasserstockwerk dar. Das Grundwasser fließt daher übergeordnet in östliche Richtungen der Isar zu. Im Stadtgebiet Landshut sind im Umfeld des Ludwigswehres bei der Teilung von *Großer* und *Kleiner Isar* und auf der Isarinsel sehr kleinräumig wechselnde Grundwasserfließrichtungen nachweisbar (siehe (4)).

Auch westlich des Stadtgebietes, vor der Mündung des Mittlere-Isar-Kanals, verursachen zwei Wehre (in der Isar sowie im Mittlere-Isar-Kanal) kleinräumige Abweichungen von der übergeordneten Fließrichtung. Eine detaillierte Darstellung ist mangels Messstellen nicht möglich. Aufgrund der großen Entfernung zum Vorhabensbereich (> 1,7 km) sind die Auswirkungen der Wehre für das Modellergebnis nicht relevant.

Oberstromig der Staustufen sind gemäß (4) die Flusssohlen über längere Strecken abgedichtet. Soweit flussparallele künstliche Abfanggräben vorhanden sind, übernehmen diese die Vorflutfunktion der Isar. Sie münden meist unmittelbar unterhalb der Staustufen. Unterstromig der Wehre besitzt die Isar bis zur folgenden Stauwurzel wiederum Vorflutfunktion.

Aus dem rückwärts einschneidenden Verlauf der *Grundwassergleichen STM 2004* ist für das Stadtzentrum eine Vorflutfunktion der *Kleinen Isar* erkennbar.

Das Grundwassergefälle bei MW beträgt rd. 1,6 ‰ und ist nach Nordosten gerichtet.

Für den Höchstwasserstand HHW ergibt sich konstruktiv eine mehr nach Osten, d.h. isarparallel verlaufende Grundwasserfließrichtung mit gleichem Gefälle von rd. 1,6 ‰.

Dies ist plausibel, da die Gewässer keine Vorflutfunktion mehr besitzen, sobald mit hohen Grundwasserständen noch höhere Pegelstände einhergehen und die Potenzialdifferenz [GWsp – Fluss-Wsp] geringer wird.

Bezogen auf die geplante Bebauung im Bereich des Bebauungsplans 02-62/1a bedeutet dies, dass bei niedrigen bis mittleren Grundwasserständen die in den Untergrund reichenden Bauwerksteile aus südwestlicher Richtung und bei höheren Grundwasserständen aus westlicher Richtung angeströmt werden. Mögliche Auswirkungen (Grundwasseraufstau) beziehen sich entsprechend auf diese Bereiche.

4.3.3 Grundwassermächtigkeit

Die Basis des quartären Grundwasserleiters bilden die tertiären Sedimente der Oberen Süßwassermolasse. Im Untersuchungsgebiet weisen diese i.d.R. einen höheren Feinkornanteil auf als die quartären Schotter und sind z.T. bindig ausgeprägt.

In der Anlage 9 sind geologische Profilschnitte im Überblick sowie im Detail (Bebauungsplan 02-62/1a) beigefügt. Der Verlauf der Profilschnitte ist im Lageplan Geologie (Anlage 02) dargestellt.

Die grundwassererfüllte Mächtigkeit der quartären Talfüllungen schwankt gemäß (4) zwischen rd. 1,5 und 7 m und liegt im Mittel bei rd. 4 m.

Die Erkundungsbohrungen südlich des Planungsbereichs mit Endteufen von rd. 11 bis 16 m (= 375,5 m ü. NN) haben die Tertiäroberkante (TOK) erreicht. Diese Bohrungen zeigen vergleichsweise hohe quartäre Schottermächtigkeiten von bis zu 15,8 m u. Gelände.

Abhängig vom Grundwasserstand liegt damit die Grundwassermächtigkeit bei bis zu rd. 13 m und somit deutlich über dem o.g. Mittelwert.

4.3.4 Flurabstand

Ein detailliertes digitales Höhenmodell liegt für den Untersuchungsbereich nicht vor. Es kann jedoch unter Verwendung der Topografischen Karte (Bayernatlas) und der eingemessenen Bohransatzpunkte der Erkundungsbohrungen eine derzeitige Geländehöhe von rd. 392 m ü. NN angenommen werden.

In der Anlage 04 sind Flurabstandspläne für die Grundwasserstände HHW und MW bezogen auf eine mittlere Referenzhöhe von 391,7 m ü. NN dargestellt.

Für einen mittleren Grundwasserstand (MW) liegt der Flurabstand im Planungsbereich weitgehend bei rd. 2,0 m. Bei HHW steigt das Grundwasser bis rd. 1 m unter die Geländeoberkante an.

4.3.5 Hydraulische Durchlässigkeit

Der Geowissenschaftlichen Landesaufnahme (4) ist ein auf der Grundlage von 101 Pumpversuchen ermittelter Medianwert der hydraulischen Durchlässigkeit der quartären Talfüllungen im Isartal von $k_f = 5 \times 10^{-03}$ m/s zu entnehmen.

Dieser Wert entspricht den von unserem Büro aus anderen Projekten (z.B. Grundwassermodell Flughafen München) gewonnenen umfangreichen Kenntnissen hinsichtlich der hydraulischen Durchlässigkeit quartärer Schotter.

Gemäß dem vorliegenden Baugrundgutachten (7) sollte für Bauwasserhaltungen ebenfalls von einem Wert von 5×10^{-03} m/s ausgegangen werden.

Die eigene Auswertung der Kornverteilungskurven des Baugrundgutachtens ergab für die analysierten quartären Schotter (fünf Proben; Bohrungen B1, B4 und B6) in Tiefen bis 3,5 m einen etwas geringeren Medianwert von 1×10^{-03} m/s.

Zur Berechnung der hydraulischen Durchlässigkeit auf der Grundlage von Kornverteilungskurven existieren mehrere Formeln (z.B. nach BEYER, BIALAS, HAZEN, oder nach SEELHEIM).

Ein Faktor dieser empirisch ermittelten Formeln basiert jeweils auf dem mittels der Sieb-Schlämmanalyse festgestellten Korndurchmesser der Probe bis zu einem charakteristischem Massenanteil der Probe. Die Bezeichnung $d_{50} = 0,008$ [mm] bedeutet beispielsweise, dass 50% der Probe einen Korndurchmesser $< 0,008$ mm aufweist.

Unterschiedliche Berechnungsverfahren basieren auf unterschiedlichen charakteristischen Massenanteilen (z.B. HAZEN d_{10} , BIALAS d_{20} , SEELHEIM d_{50}). Allen Verfahren gemeinsam ist jedoch die Vorgabe, dass ein Ungleichförmigkeitsgrad $C_u = d_{60}/d_{10}$ nicht größer als 5 sein sollte. Da bei allen vorliegenden Proben der Ungleichförmigkeitsgrad $\gg 5$ liegt, ist strenggenommen keines der Verfahren anwendbar.

Mangels alternativer Bestimmungsmöglichkeit wurden die Verfahren nach HAZEN, BIALAS und SEELHEIM dennoch angewendet. Das Verfahren nach SEELHEIM errechnet mit der Formel $k_f = 0,00357 \times d_{50}^2$ generell die vergleichsweise höchsten Durchlässigkeiten von im Mittel rd. $1,6 \times 10^{-01}$ m/s. Mit den Verfahren nach HAZEN bzw. BIALAS werden Durchlässigkeiten errechnet, welche um rd. zwei bis drei Größenordnungen geringer sind.

Tabelle 1: k_f -Wert-Ermittlung aus Kornverteilungskurven

Probe	Kornzusammensetzung	U d_{60}/d_{10}	k_f (Hazen)	k_f (Seelheim)	k_f (Bialas)	Median	Median
B4 (1,0 - 1,5 m)	fG, mg, gg, s', u'	80	1,2E-04	1,3E-01	4,4E-04	4,4E-04	1,0E-03
B1 (2,0 - 2,5 m)	fG, mg, gg, s', u'	89	9,4E-05	7,2E-02	2,3E-04	2,3E-04	
B6 (2,0 - 2,5 m)	fG, mg, gg, s, u'	55	4,6E-04	3,9E-01	1,6E-03	1,6E-03	
B4 (3,0 - 3,5 m)	G, s	42	7,3E-04	2,3E-01	9,1E-03	9,1E-03	
B4 (9,0 - 9,5 m)	fG, mg, s, u'	111	9,4E-05	1,3E-01	8,9E-05	9,4E-05	
		Median	2,9E-04	1,8E-01	1,0E-03	5,9E-04	
		Median	1,0E-03				

Anmerkungen zum Berechnungsverfahren:

Wie vorstehend erläutert, existieren mehrere Verfahren, um über die Kornverteilungskurven die Durchlässigkeit zu berechnen. Allerdings ist die Anwendbarkeit der Berechnungsmethoden bzw. die Belastbarkeit der ermittelten Werte auf gleichförmige Korngrößenverteilungen ($C \leq 5$) begrenzt. Die vorliegenden Proben halten dieses Kriterium der Gleichförmigkeit nicht ein. Gleichwohl liefern die Berechnungsformeln Werte, die in der o.g. Spannbreite der Erfahrungswerte liegen. Erfahrungsgemäß ist die hydraulische Durchlässigkeit eines Korngemisches maßgeblich vom Feinkornanteil abhängig. Ein Kies mit größeren Schluffanteilen kann somit eine geringere Durchlässigkeit aufweisen, als ein Sand mit geringen Schluffanteilen.

Da das Verfahren nach SEELHEIM lediglich die Korngröße des 50-% Siebdurchgangs des beprobten Kies-Sandes berücksichtigt ohne weitere Differenzierung der Verteilung im Feinkornbereich, wird bei den hier vorliegenden ungleichförmigen Korngemischen die Durchlässigkeit (hier: $1,8 \times 10^{-01}$ m/s) deutlich überschätzt. Der gegenteilige Effekt wird durch das Verfahren nach HAZEN bewirkt, da hier lediglich die Korngrößen des 10-% Siebdurchgangs berücksichtigt werden (hier: $2,9 \times 10^{-04}$ m/s). Bei ungleichförmigen Gemischen wird damit die Durchlässigkeit unterschätzt.

Das Verfahren nach BIALAS, bei welchem der 20-% Siebdurchgang maßgeblich ist, stellt hier einen anwendbaren Kompromiss dar und berechnet Werte von im Mittel $k_f = 1,0 \times 10^{-03}$ m/s.

Dieser lokale Wert liegt somit um rd. eine halbe Größenordnung unter dem großräumigen Mittelwert. Für die i. F. durchgeführten Berechnungen der lokalen Aufstauhöhen hat dies zunächst keinen signifikanten Einfluss. Hinsichtlich einer ggfs. erforderlichen Abhilfemaßnahme (z.B. Grundwasserüberleitung) oder Wasserhaltungsmaßnahmen ergeben sich jedoch lokal geringere Überleitungs- bzw. Förderraten.

4.4 Oberflächengewässer

Im Modellbereich des numerischen Grundwassermodells (siehe Kapitel 6) befinden sich als Fließgewässer 1. Ordnung die *Isar*, welche im Stadtbereich am Ludwigswehr in die nördlich verlaufende *Kleine Isar* und die südlich verlaufende *Große Isar* geteilt wird.

Östlich des Stadtzentrums mündet linksseitig die in der Flutmulde verlaufende *Pfettrach* in die *Kleine Isar*.

Im westlichen Stadtgebiet existieren nördlich der Isar noch die untergeordneten Bäche *Klötzlmühlbach* und *Hammerbach*.

Detaillierte Untersuchungen bzw. Kenntnisse hinsichtlich der Vorflutwirkung dieser untergeordneten Oberflächengewässer bzw. ihrer Wechselwirkungen mit dem Grundwasser liegen nicht vor.

Der *Klötzlmühlbach* verläuft rd. 200 m nördlich des Geltungsbereichs des Bebauungsplanes 02/62/1a. Der *Hammerbach* liegt rd. 280 m südlich des Vorhabensbereichs. Weitere 250 m südlich des *Hammerbachs* verläuft die Isar, die hier einen Pegelstand von rd. 388,5 m (MW) hat.

Sowohl für den *Klötzlmühlbach* als auch für den *Hammerbach* ist von einer räumlich begrenzten Vorflutwirkung entlang der Bäche auszugehen, wobei für den *Hammerbach* aufgrund seiner Entfernung Auswirkungen auf die lokalen Verhältnisse im Vorhabensbereich auszuschließen sind.

Der Geltungsbereich liegt außerhalb des Hochwasserrisikogebietes HQ₁₀₀.

Anmerkung

Wie eingangs erläutert, wurde das für den Bebauungsplan 05/37 im Stadtzentrum erstellte Grundwassermodell für die nachfolgende Bearbeitung des Baubauungsplans 02/34 erweitert und für die vorliegende Bearbeitung BP 02-62/1a hinsichtlich der Datengrundlage aktualisiert.

Auch wenn für die Bearbeitung der vorliegenden Fragestellung die Vorflutverhältnisse der Isar (*Große und Kleine Isar*) sowie die kleinräumigen Inhomogenitäten an den im Stadtbereich befindlichen Wehren nicht maßgeblich sind, so sind diese hinsichtlich einer realistischen Modellerstellung zu untersuchen und entsprechend zu implementieren.

Eine detaillierte Erläuterung der Modellimplementierung erfolgt im Kapitel 6.2.

Wie im Kapitel 4.3.2 bereits dargestellt, ist die Vorflutwirkung der *Kleinen* und der *Großen Isar* abhängig von der Potenzialdifferenz zwischen Grundwasser und Flusspegel sowie vom Ausmaß der Kolmation der Flusssohle. I. d. R. ist die Flusssohle oberstromig der Wehre durch Kolmation abgedichtet, so dass der Fluss ohne nennenswerte Anbindung über dem Grundwasser verläuft.

Am südlichen Rand des numerischen Modellgebiets befindet sich der Isarpegel *Birket* (siehe Abbildung 3). Die nächstgelegene Grundwassermessstelle GWM 15584 befindet sich rd.

450 m nordöstlich und bezogen auf die Potenzialhöhe rd. 0,65 m tiefer. In den nachfolgenden beiden Abbildungen sind im Überblick seit 1980 sowie im Detail seit 2015 die Grundwasserstandsganglinien der Messstelle sowie des Isarpegels dargestellt.

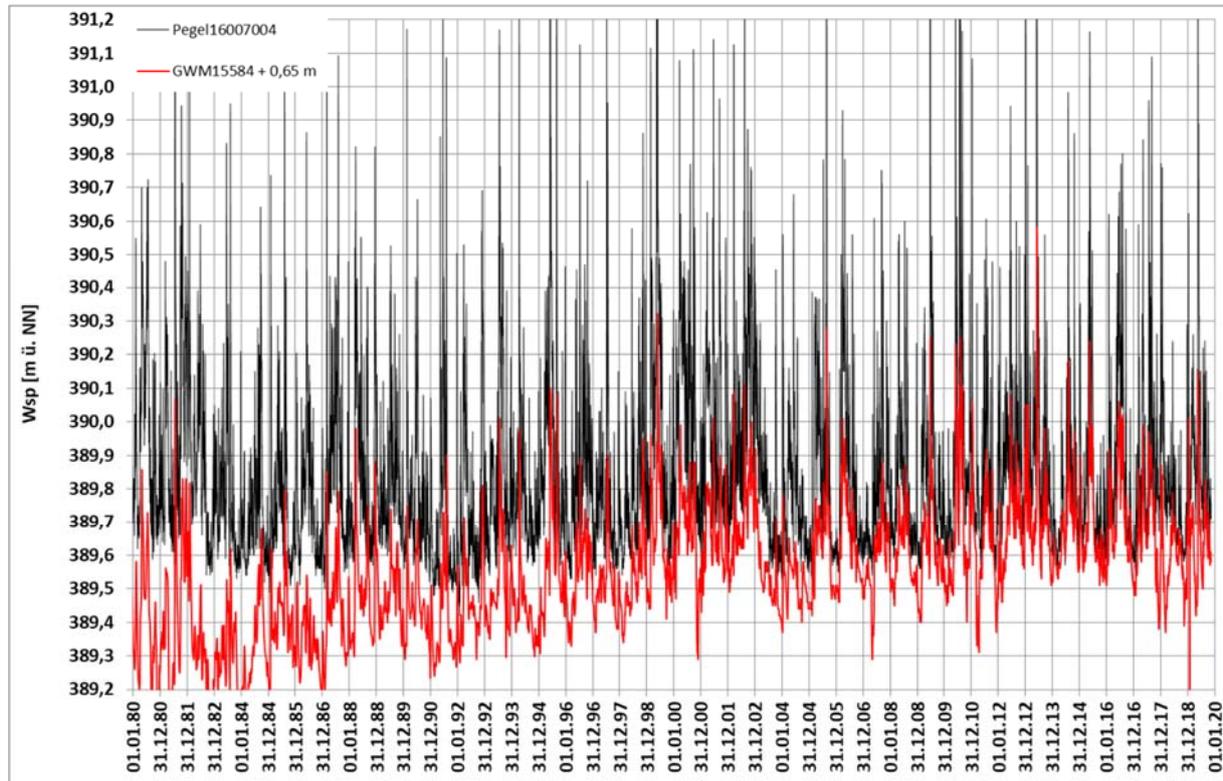


Abbildung 6: Ganglinienvergleich Grundwasser – Pegelstand Isar (Überblick)

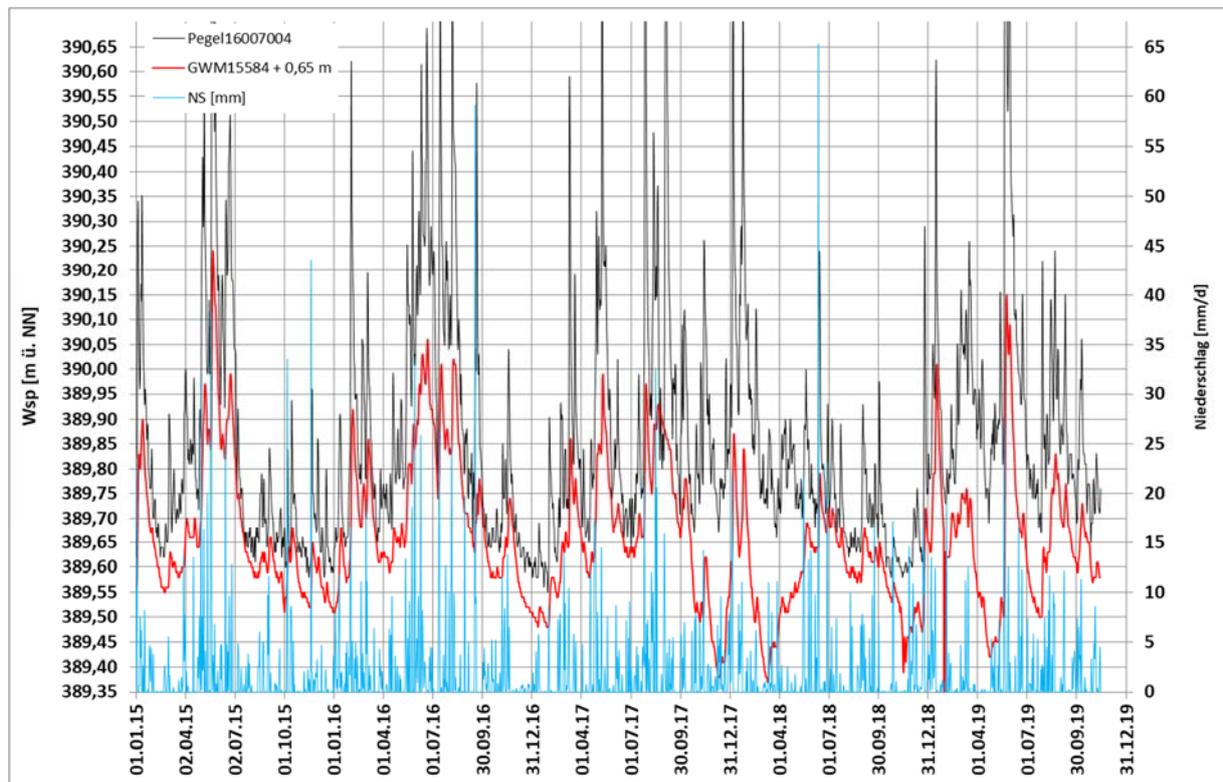


Abbildung 7: Ganglinienvergleich Grundwasser – Pegelstand Isar (Detail)

Es ist zu erkennen, dass die beiden Ganglinien bei mittleren bis hohen Grundwasserständen in hohem Maße gleichläufig verlaufen, wobei der Isarpegel einen deutlich größeren Schwankungsbereich (vor allem bei Hochwasserspitzen) aufweist. Bei niedrigen Grundwasserständen wie im Herbst 2017 und im Sommer 2018 sinkt der Grundwasserstand ab, ohne dass der Isarpegel in gleichem Maße mit absinkt.

Eine Quantifizierung der Infiltrations- und Exfiltrationsraten bei unterschiedlichen Wasserständen und in differenzierten Streckenabschnitten ist mit den vorliegenden Daten und mit einem vertretbaren Aufwand nicht möglich. Es kann jedoch auf der Grundlage dieser Ganglinienauswertung und der Erläuterungen der Hydrogeologischen Landesaufnahme (4) festgestellt werden, dass eine Anbindung der Oberflächengewässer an den Grundwasserkörper vorliegt und dass dies qualitativ im numerischen Grundwassermodell zu implementieren ist.

4.5 Klima und Grundwasserneubildung

Am nordöstlichen Rand des Untersuchungsgebietes befindet sich die Wetterstation Schönbrunn. Im nachfolgenden Diagramm sind die Tagesmitteltemperaturen und die Tagesniederschlagssummen seit 2009 dargestellt.

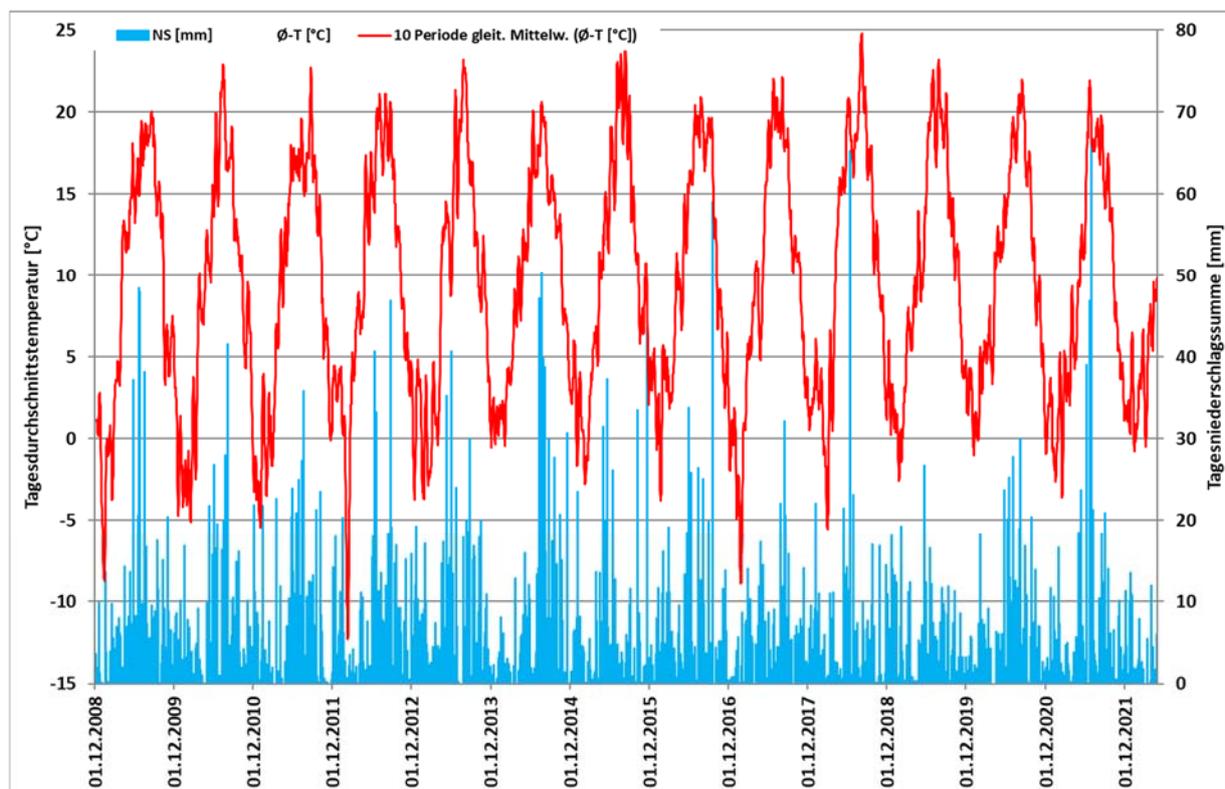


Abbildung 8: Tagesniederschlagssummen und mittlere Tagestemperatur Station Schönbrunn

Die mittlere Tagesdurchschnittstemperatur (2009-2021) beträgt 9,4 °C. Die mittlere Tagesniederschlagssumme (2009-2021) liegt bei 2,0 mm, die mittlere Jahressumme (2004-2021) der Niederschläge beträgt 766 mm.

Gemäß den Angaben des Umweltatlas Bayern (Online-Service des Landesamtes für Umwelt) beträgt die Grundwasserneubildung aus Niederschlag (1971-2000) im Untersuchungsgebiet rd. 150 – 250 mm/a.



Abbildung 10: Übersicht Plangrundlagen Geltungsbereich Bebauungsplan 02-62/1a Deckblatt 5 (Verf.: Stadt Landshut)

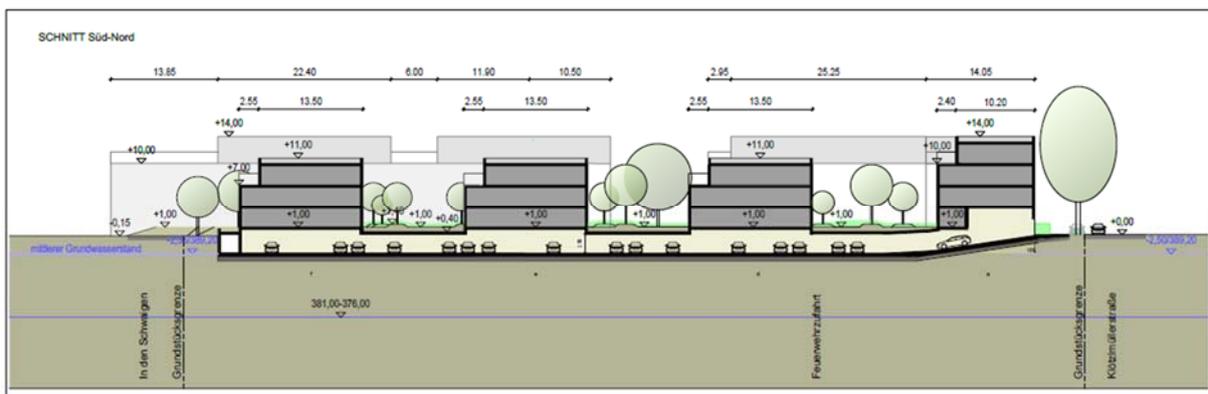


Abbildung 11: Vertikalschnitt der geplanten Bauwerke (Verf.: Stadt Landshut)

6. Numerisches Grundwassermodell

Zur Berechnung möglicher Auswirkungen der geplanten Baumaßnahmen auf die Grundwasserhältnisse wurde ein numerisches Grundwasserströmungsmodell erstellt. Hierzu wurde die Software *Feflow* in der aktuellen Version 7.5 (DHI-Wasy) verwendet.

In der Anlage 05 sind die maßgeblichen Modelldaten tabellarisch zusammengestellt. Die Anlage enthält weiterhin anschauliche Screenshots des Modellaufbaus und –umgriffs sowie der Diskretisierung. Die Modelldetails werden i. F. erläutert.

6.1 Modellumgriff, Modelltyp, Diskretisierung

Der Umgriff des numerischen Grundwassermodells ist u.a. im Lageplan der Anlage 06 dargestellt. Der nördliche und südliche Modellrand orientiert sich an den hydrogeologischen Gegebenheiten und entspricht im Wesentlichen den Grenzen zwischen den Quartärschottern des Isartales und den nördlich und südlich anschließenden tertiären Grundwasserleitern der Oberen Süßwassermolasse. Der ober- und unterstromige Modellrand wurde jeweils entlang einer Grundwassergleiche des Grundwassergleichenplans *Stichtagsmessung Mai 2004* gewählt, so dass hier als Randbedingung ein entsprechendes Fixpotenzial angesetzt werden konnte (siehe folgendes Kapitel). Das Modellgebiet umfasst rd. 19,4 km².

Das Diskretisierungsnetz der verwendeten Software basiert auf dem Prinzip der finiten Elemente (FE). Die horizontale Diskretisierung erfolgte in rd. 170.000 Elementen pro Schicht (*Layer*). Vertikal ist das 3-D-Modell in 3 *Layer* bzw. 4 *Slices* (Schichtflächen zwischen den *Layern*) diskretisiert. Die minimale Kantenlänge der Elemente beträgt unmittelbar am Bauwerk rd. 1 m.

Das Modell wurde ungespannt stationär, d.h. mit im zeitlichen Verlauf unveränderlichen Randbedingungen berechnet.

6.2 Randbedingungen und Materialparameter

6.2.1 Materialparameter

Für die hydraulische Durchlässigkeit als maßgeblichen Materialparameter wurden zunächst über das gesamte Modellgebiet pauschal die Werte 5×10^{-04} m/s für die feinkörnigeren Deckschichten (*Layer* 1 + 2) und 5×10^{-03} m/s für die Schotter des quartären Grundwasserleiters (*Layer* 3) angesetzt, da dies den großräumigen Erfahrungswerten entspricht (vgl. Kap. 4.3.5). Aufgrund der Ergebnisse der örtlichen Baugrunduntersuchungen (Korngrößenanalysen mit Ermittlung eines mittleren k_f -Werts der Schotter von rd. 1×10^{-03} m/s) wurde im Umfeld des Geltungsbereichs die Durchlässigkeit entsprechend herabgesetzt.

Im Zuge der Modellkalibrierung hat sich herausgestellt, dass ein gutes Modellergebnis vor allem durch Variation des Zustroms aus den seitlichen Modellrändern der tertiären Grundwasserleiter (BC2) sowie der angesetzten Wasserstandspegel der Fließgewässer (BC3) in Kombination mit dem Kolmationsparameter erzielt werden konnte. Eine weitere kleinräumige Variation der hydraulischen Durchlässigkeit war demnach nicht erforderlich. Der Bereich der geplanten Bebauung im Untergrund (Tiefgaragen) wird als undurchlässig ($k_f = 1 \times 10^{-10}$ m/s) definiert.

Der Porosität des Porengrundwasserleiters wurde der nach SAGER (6) ermittelte Wert für sandige Kiese von 22 % zugewiesen.

Mittels des Materialparameters Transferrate wird die Anbindung von Oberflächengewässern an den Grundwasserleiter gesteuert, d.h. es wird das Ausmaß der Infiltration in den bzw. der

Exfiltration aus dem Grundwasserleiter abhängig von der Potenzialdifferenz zwischen Pegelstand und Grundwasserstand bestimmt. Dieser Parameter definiert damit das Ausmaß der Kolmation der Gewässersohle und ist für Infiltration und Exfiltration differenziert anzugeben.

Die Kolmation eines Gewässers ist i.d.R. zeitlich und räumlich variabel und kann nur mit hohem Aufwand über detaillierte Abflussmessungen ermittelt werden. Für das vorliegende Modell wurden daher zunächst die vom Softwarehersteller auf der Grundlage von Literaturangaben hinterlegten Voreinstellungen von 1 [1/d] für Infiltration und 4 [1/d] für Exfiltration angesetzt. Die Einheit [1/d] ergibt sich aus dem Quotienten der hydraulischen Durchlässigkeit der Kolmationsschicht und ihrer Mächtigkeit, d.h. $k_f / M = [m/d] / [m] = [1/d]$.

Im Zuge der Kalibrierung wurde die Kolmation vor allem unterstromig der Wehranlagen verringert und damit eine höhere Exfiltration aus dem Grundwasserleiter in den Vorfluter simuliert. Dies steht in Übereinstimmung mit den in (4) erläuterten Beobachtungen.

6.2.2 Randbedingungen (RB)

Fixpotential (RB 1. Art)

Die ober- und unterstromigen Modellränder wurden jeweils entlang einer Grundwassergleichung mit einem Fixpotential der entsprechenden Grundwasserstandshöhe belegt. Für den Modellzustand Mittelwasser (MW) sind dies die Höhengleichen 392 m ü. NN (oberstromig) und 381 m ü. NN (unterstromig). Der Verlauf der Grundwassergleichen wurde der *Stichtagsmessung Mai 2004* (siehe (4)) entnommen. Für die weitere Modellrechnung HHW wurden die Potenzialhöhen soweit erhöht, dass im Modellgebiet die ermittelten statistischen Grundwassergleichen HHW bestmöglich abgebildet werden konnten.

Flux (Zufluss; RB 2. Art)

Im Zuge der Kalibrierung wurde festgestellt, dass ein gutes Modellergebnis über die Berücksichtigung eines seitlichen Grundwasserzustroms in das Isartal zu erzielen ist. Für die nördlich und südlich anschließenden tertiären Grundwasserleiter der Oberen Süßwassermolasse stellt die Isar ebenfalls den Vorfluter dar. Mit dieser Randbedingung wird der Zustrom aus den tertiären Grundwasserleitern in die quartären Isartalschotter simuliert. Im Zuge der Kalibrierung werden Werte von im Mittel rd. 50 l/s pro Kilometer Modellrand ermittelt. Dies entspricht im Mittel einer Abstandsgeschwindigkeit des zuströmenden Grundwassers von rd. 1 m/d.

Transfer (RB 3. Art; Gewässerpotenzial)

Die Wasserstandshöhen der Oberflächengewässer werden als RB 3. Art in das Modell implementiert. Da diese Wasserstandshöhen nicht an jedem Punkt entlang der Gewässer bekannt sind, erfolgt eine lineare Interpolation zwischen Stützstellen mit bekannten Wasserständen (Isarpegel *Birket*, Pegel *Flutmulde*) sowie mit plausiblen Annahmen hinsichtlich des Abstands der Wasseroberfläche von der Geländehöhe am Ufer. Die Wehre innerhalb des Stadtbereiches werden mit geschätzten Sprunghöhen um rd. 1 m simuliert. Eine exakte Simulation der Sprunghöhen an den Wehren für unterschiedliche Pegelstände hat auf die vorliegende Fragestellung keine signifikanten Auswirkungen.

Das Ausmaß der Anbindung wird über den Materialparameter Transfer-Rate (Kolmation) gesteuert (siehe vorstehendes Kapitel).

Well (RB 4. Art, Brunnen)

Entnahme- und Versickerungsbrunnen wurden im Modell nicht implementiert. Die Brunnen der städtischen Trinkwasserversorgung Siebensee befinden sich rd. 1,6 km südwestlich des Geltungsbereiches. Der Zustrom zu den Brunnen erfolgt von Nordwesten. Wechselseitige Auswirkungen zwischen der Wasserversorgung und den Baumaßnahmen im Geltungsbereich sind ausgeschlossen.

Weitere geringumfängliche Grundwasserentnahmen und –versickerungen, z.B. durch temporäre Bauwasserhaltungen werden in den statistischen Grundwassergleichen MW und HHW nicht abgebildet.

6.3 Modellrechnungen

Es wurden zunächst Modellrechnungen für den Ist-Zustand, d.h. ohne Bestandsbebauung im Untergrund für die Grundwasserstände MW und HHW durchgeführt und anschließend für die entsprechenden Wasserstände die Modellzustände Planungsfall, d.h. mit geplanten Eingriffen im Untergrund (Tiefgarage) berechnet. Durch Berechnung der Differenzhöhen der Grundwasserstände [Planungsfall – Ist-Zustand] wurden die Auswirkungen der geplanten Baumaßnahmen auf die Grundwasserverhältnisse ermittelt.

6.3.1 Kalibrierung

Die Kalibrierung des Modells erfolgte auf der Grundlage der Grundwassergleichen *Stichtagsmessung Mai 2004*. Wie im Kapitel 4.3.1 erläutert, ist dieser Wasserstand geeignet, die mittleren Grundwasserverhältnisse (MW) darzustellen. Das kalibrierte Modell Stichtagsmessung Mai 2004 kann somit als Modell *Ist-Zustand MW* und im weiteren als Grundlage für das Modell *Planungszustand MW* verwendet werden.

Die Kalibrierung erfolgte durch iterative Anpassung der Modellparameter und –randbedingungen Flux (RB 2. Art), Transfer (RB 3. Art) und Transferrate (Kolmation). Im Lageplan der Anlage 06 sowie als Screenshot in der Anlage 05 sind die auf Grundlage der Messungen konstruierten und die mit dem Modell berechneten Grundwassergleichen sowie die Abweichungen [Messwert – Modellwert] an den Grundwassermessstellen dargestellt.

Die Abbildung 12 auf der folgenden Seite zeigt in Form eines sog. Scatter-Diagramms mit Darstellung einer Regressionsgeraden das Modellergebnis. An der x- und der y-Achse werden jeweils Mess- und Modellwerte der Grundwassermessstellen angetragen. Je näher die Punkte an der Winkelhalbierenden (Regressionsgeraden) liegen, desto geringer ist die Abweichung des Modellwerts vom Messwert.

In der Abbildung 13 sind die Mess- und Modellwerte an den Grundwassermessstellen dargestellt. Die größte Abweichung beträgt 0,11 m (GWM15618), die mittlere Abweichung an den Messstellen liegt bei 0,06 m.

Zur Kalibrierung standen an 10 Messstellen die Messwerte der Stichtagsmessung vom Mai 2004 zur Verfügung (Die Messstelle GWM15210 existiert erst seit 2015. Hier wurde ersatzweise der statistische MW-Wert verwendet). Die Grundwassergleichen der Stichtagsmessung wurde jedoch gemäß den Ausführungen in (4) auf der Basis von deutlich mehr Stützstellen (z. B: Hausbrunnen, Bohrwasserspiegel, Rammpegel etc.) erstellt, so dass der Verlauf der konstruierten Grundwassergleichen auch in Bereichen mit größerer Entfernung zu den o.g. 10 Messstellen hinreichend genau gesichert ist und als Kalibrierungsgrundlage verwendet werden kann. Die Anpassung erfolgt hier optisch durch Vergleich des Verlaufs der

Isolinien der Grundwasserstände und kann nicht durch einen Wertevergleich [Messwert-Modellwert] quantifiziert werden.

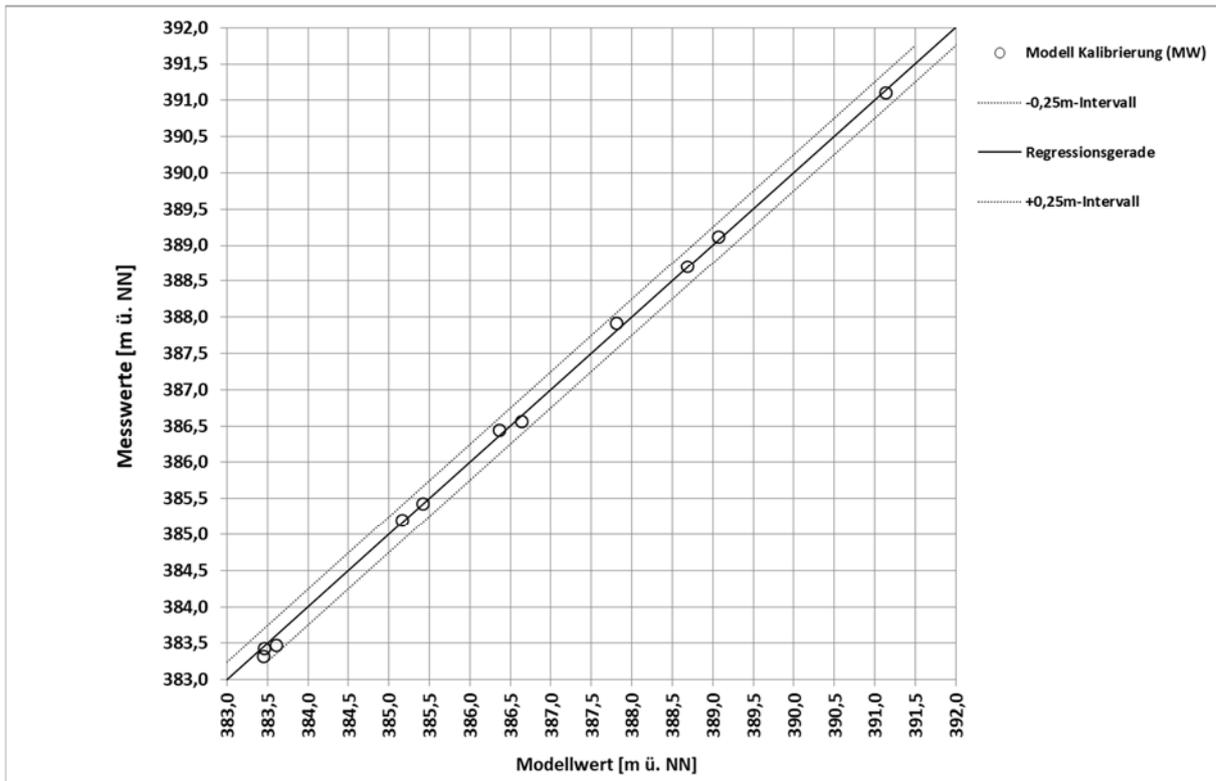


Abbildung 12: Ergebnis der Modellkalibrierung (Regressionsgerade)

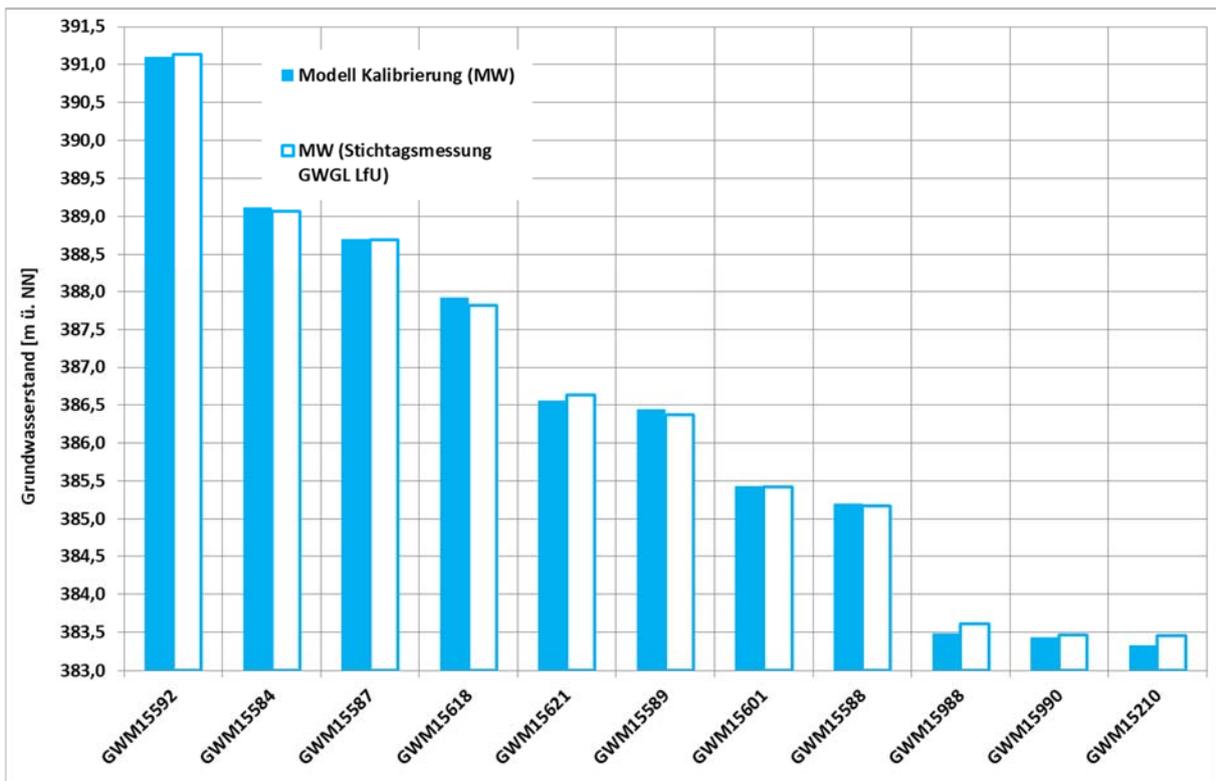


Abbildung 13: Ergebnis der Modellkalibrierung (Modell- und Messwerte an den Messstellen)

6.3.2 Modell Ist-Zustand HHW

Wie oben erläutert, ist das Kalibrierungsmodell als Modell *Ist-Zustand MW* zu verwenden.

Unter Beibehaltung der unveränderlichen Modellparameter wurden mittels iterativer Anpassung der veränderlichen Randbedingungen mit dem Modell der statistische Grundwasserstand HHW erzeugt.

Im Lageplan der Anlage 07 ist das Modellergebnis HHW im Überblick dargestellt. Die folgende Abbildung zeigt die Abweichungen der Modellrechnungen von den statistisch berechneten Kennwerten an den Grundwassermessstellen.

Detaildarstellungen sind den Anlagenplänen der *Modelle Planungszustand* (Anlage 08) zu entnehmen.

Die Abweichungen der Modellwerte von den statistischen Kennwerten an den Messstellen liegen im Mittel bei 11 cm (HHW) und 6 cm (MW).

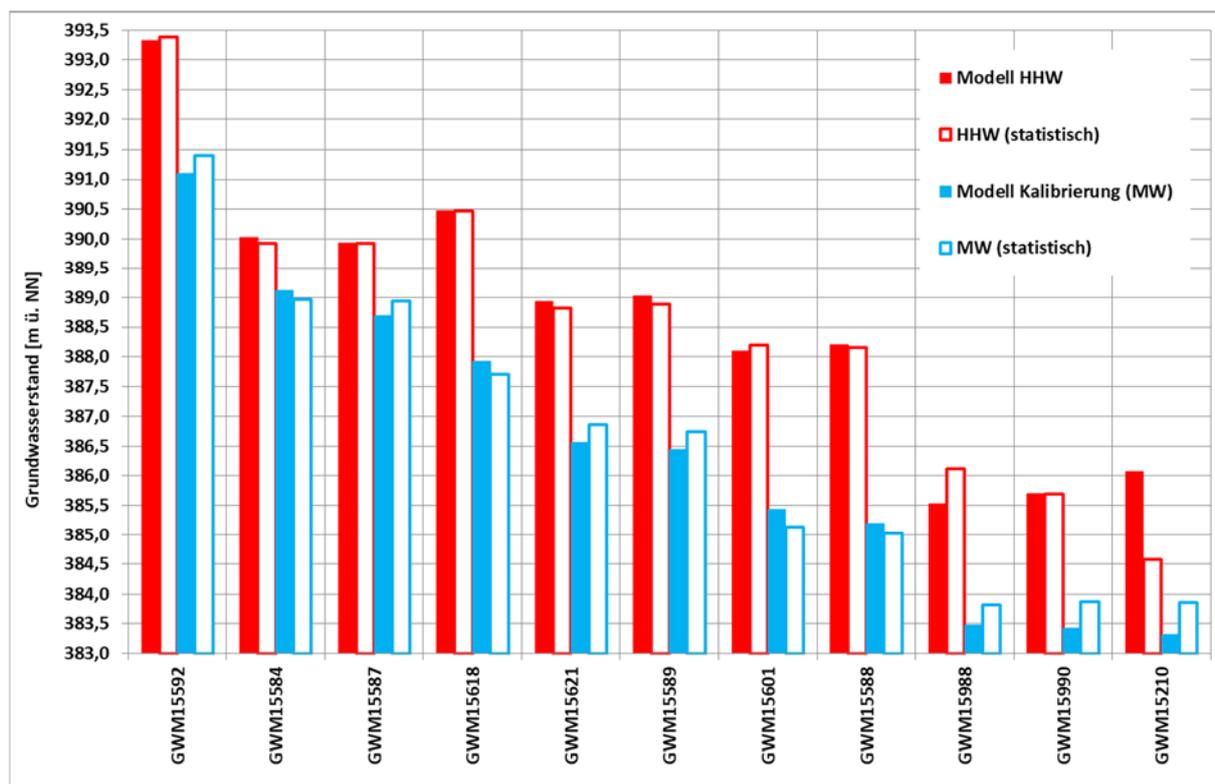


Abbildung 14: Ergebnis der Modelle Ist-Zustand (statistische Grundwasserstände HHW, MW; für GWM15210 mit Messwertaufzeichnung seit 2015 kein belastbarer HHW-Messwert)

6.4 Modellergebnisse Planungszustand

Im Kapitel 0 wurde erläutert, dass bei Mittelwasserstand die Bauwerkssohlen der Tiefgarage in das Grundwasser eingreift, jedoch eine hohe Restmächtigkeit der Grundwasserunterströmung von > 9 m verbleibt. Verglichen mit der unbeeinflussten Grundwassermächtigkeit von rd. 12 m (HHW) stellt dies eine Verminderung des Strömungsquerschnitts um rd. 25 % dar.

Die Modellrechnungen ergaben entsprechend einen rechnerischen Aufstau von < 1 cm. Dies entspricht der analytischen Kontrollrechnung (siehe folgendes Kapitel). Eine Darstellung der Auswirkungen in Höhe und Reichweite erübrigt sich damit.

Modellvariante mit Absperrung des Grundwasserstroms bis zum Stauer (Bauzustand mit Spundwandverbau)

Ergänzend zu den oben dargestellten Berechnungen mit Unterströmungsmöglichkeit des Bauwerks wurde eine weitere Modellvariante erstellt. Dabei wurde der Grundwasserstrom im Umgriff des geplanten Bauwerks im Untergrund bis zum Stauer abgesperrt, wie es im Falle einer Bauausführung mit für höhere Grundwasserstände erforderlicher Wasserhaltung im Schutze eines Spundwandverbaus der Fall wäre.

Das Modellergebnis für den Grundwasserstand HHW ist in den Lageplan der Anlage 08 dargestellt.

Für den Fall, dass keine Unterströmung möglich ist, hat die Grundwassermächtigkeit (mithin der Grundwasserstand) keine Auswirkung auf die Aufstauhöhe. Diese wird maßgeblich vom Grundwassergefälle (bzw. der hydraulischen Durchlässigkeit) und der Geometrie des Strömungshindernisses bestimmt.

Im vorliegenden Fall ändert sich mit ansteigendem Grundwasser die Strömungsrichtung von SW \Rightarrow NO bei MW bis zu W \Rightarrow O bei HHW (Erläuterungen hierzu im Kapitel 4.3.2). Damit ändern sich bei den vorliegenden Bauwerksgeometrien die Eingriffsbreiten quer zum Grundwasserstrom geringfügig. Dies führt zu den in der Anlage 08 dargestellten Aufstauhöhen und –reichweiten.

Für das Bebauungsszenario wird die maximale Aufstauhöhe von rd. 9 cm bei HHW an der Westseite des Bauwerks erzeugt. Rechnerisch liegt die Reichweite des Aufstaus (Entfernung der 0-cm-Linie) bei rd. 240 m. Eine analytische Überprüfung dieses Modellergebnisses kommt zu einem etwas geringeren Ergebnis von rd. 7 cm (siehe Kapitel 7).

Bei der Bewertung der unterschiedlichen Berechnungsergebnisse ist zu berücksichtigen, dass sich die Differenzen im Zentimeterbereich bewegen und damit im Bereich der Modellgenauigkeit liegen.

7. Analytische Kontrollrechnung

Zur Überprüfung der Plausibilität der Ergebnisse der numerischen Modellrechnungen wurden analytische Kontrollrechnungen durchgeführt.

Die hier durchgeführten Berechnungen basieren auf den von BRANDL (1979) erläuterten Berechnungsmöglichkeiten von Grundwasser-Aufstauhöhen vor Gebäuden. Es werden darin Lösungsansätze für die unterschiedlichen Fälle der Unterströmung, Umströmung und Unter- und Umströmung von Objekten im Grundwasserstrom gegeben.

Die Berechnung der Aufstauhöhe erfolgt über folgende Formeln:

$$\Delta h = 0,5 \times I (1 - a) \times B \quad \text{Gleichung 1}$$

$$\text{mit: } a = \frac{B + L}{H (fp + fu) + B} \quad \text{Gleichung 2}$$

$$fp = \frac{L}{H - T} \quad \text{Gleichung 3}$$

$$f_u = -\frac{4}{\pi} \ln \left(\sin \left(\frac{\pi}{2} x \frac{H-T}{H} \right) \right) \quad \text{Gleichung 4}$$

mit:

Δh = Aufstauhöhe

I = Grundwassergefälle (14‰)

B = Breite des Objektes im Grundwasserstrom (100 m)

L = Länge des Objektes im Grundwasserstrom (30 m)

H = Grundwassermächtigkeit M_{HHW} (12)

T = Eintauchtiefe des Objektes (rd. 2,8 m)

a = prozentualer Anteil der Unterströmung

f_p und f_u = Formparameter

Mit den o.g. Parametern ergibt sich für den Fall einer verbleibenden Unterströmung mit einer Restmächtigkeit des Grundwasserleiters von rd. 9,2 m rechnerisch ein oberstromiger Aufstau und eine korrespondierende Absenkung **von 1 cm**.

Bei einer Vergleichsrechnung ohne Unterströmungsmöglichkeit, d.h. einer angenommenen vollständigen Absperrung des Grundwasserstroms bis zum Stauer erhöht sich der Aufstau / die Absenkung auf 7 cm. Bei einer Tiefenlage des Stauers von über 10 bis 14 m u. GOK ist diese Berechnung jedoch nur theoretischer Natur.

Bei beiden Berechnungen wird i.S. eines *worst-case*-Ansatzes angenommen, dass die Grundwasserströmungsrichtung senkrecht zur maximalen Längserstreckung des Bauwerks verläuft.

8. Abhilfemaßnahmen

Die berechneten Auswirkungen liegen auch unter *worst-case*-Annahmen (Umspundung während der Bauphase bis zum Stauer, keine Unterströmung) unmittelbar am Bauwerk in jedem Fall bei wenigen Zentimetern ($\pm 0,1$ m). Aus wasserwirtschaftlicher Sicht sind in diesem Falle i.d.R. keine Abhilfemaßnahmen zur weiteren Verminderung der Auswirkungen erforderlich.

Ergänzend zu der unmittelbar am Bauwerk zu messenden wasserrechtlich tolerierbaren Aufstauhöhe von 0,1 m ist noch die Reichweite des Aufstaus zu bewerten. Befinden sich Bestandsgebäude oberstromig des geplanten Bauvorhabens, so ist ein dauerhafter Aufstau vollständig zu vermeiden (Aufstau: 0 cm). Wie vorstehend erläutert, wird im Endzustand aufgrund der Unterströmungsmöglichkeit kein messbarer Aufstau erzeugt. Während der Bauphase würde im Falle einer Umspundung bis zum Stauer die 0-cm-Linie in einer Entfernung von rd. 240 m westlich der Tiefgarage verlaufen. Inwieweit gegen diesen temporären Aufstau Abhilfemaßnahmen zu treffen sind, ist im Zuge der Beantragung der Bauwasserhaltung mit dem Wasserwirtschaftsamt abzustimmen.

9. Zusammenfassung und Fazit

Die Stadt Landshut beabsichtigt im Geltungsbereich des Bebauungsplanes Nr. 02-62/1a „Südlich Klötzlmüllerstraße – Verlängerung Sylvensteinstraße“, Deckblatt Nr. 5 im Stadtgebiet Landshut eine Änderung des Bebauungsplans. Der Entwurf sieht eine großflächige Unterbauung mit einer Tiefgarage auf einer Fläche von rd. 2.700 m² vor. Gemäß den vorliegenden Unterlagen greift die Unterkante der geplanten Unterbauung flächenhaft in das Grundwasser ein. Es wird dadurch Grundwasser-oberstromig ein Aufstau und Grundwasser-unterstromig eine korrespondierende Grundwasserabsenkung erzeugt. Bei Überschreitung

eines wasserrechtlich genehmigungsfähigen Maßes von i.d.R. $\pm 0,1$ m sind ggfs. Abhilfemaßnahmen in Form von Grundwasserüberleitungen erforderlich.

Unter Verwendung eines numerischen Grundwasserströmungsmodells wurden die Auswirkungen auf die Grundwasserverhältnisse für die Grundwasserstandssituationen Mittelwasser (MW) und höchstes Hochwasser (HHW) berechnet.

Das numerische Modell kommt übereinstimmend mit den entsprechenden analytischen Kontrollrechnungen zu dem Ergebnis, dass der Eingriff in das Grundwasser aufgrund der hohen verbleibenden Restmächtigkeit der Grundwasserunterströmung keine messbaren Auswirkungen (rd. 1 cm) zur Folge hat.

Ergänzende Modellrechnungen für mögliche Bauzustände mit Umspundung bis zum Stauer und damit fehlender Unterströmungsmöglichkeit kommen für den ungünstigsten Fall zu einem berechneten Aufstau von rd. 9 cm.

In der Regel sind für diese geringen Auswirkungen aus wasserwirtschaftlicher Sicht keine Abhilfemaßnahmen erforderlich.

Eching am Ammersee, den 23.05.2022

Dr. Blasy – Dr. Øverland
Ingenieure GmbH



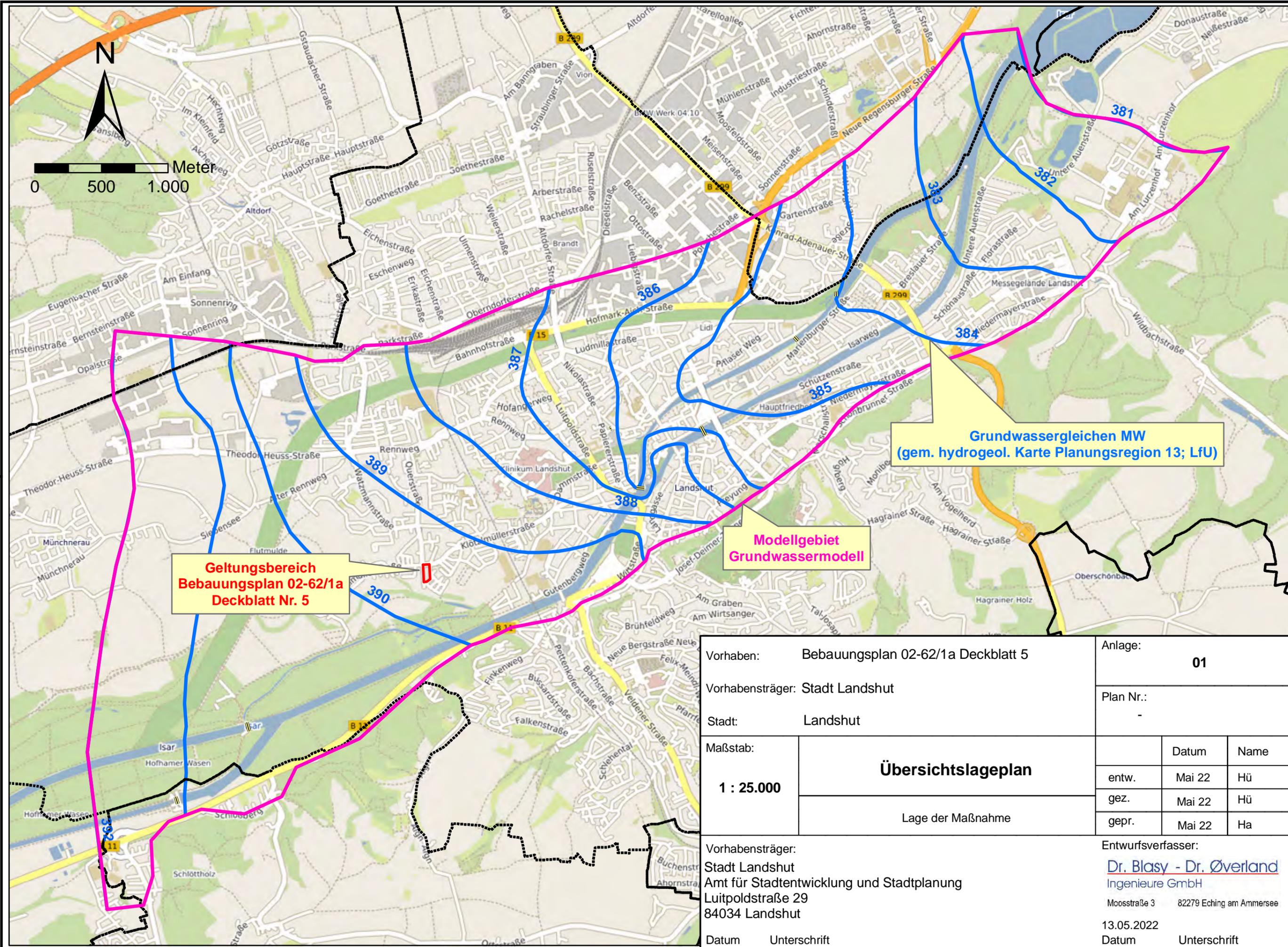
i.V. Knut Hanke
Dipl.-Geol.



i.A. Dr. Stefan Hülmeyer
Dipl.-Geol.

Anlage 01

Übersichtslageplan
Maßstab 1:25.000



**Geltungsbereich
Bebauungsplan 02-62/1a
Deckblatt Nr. 5**

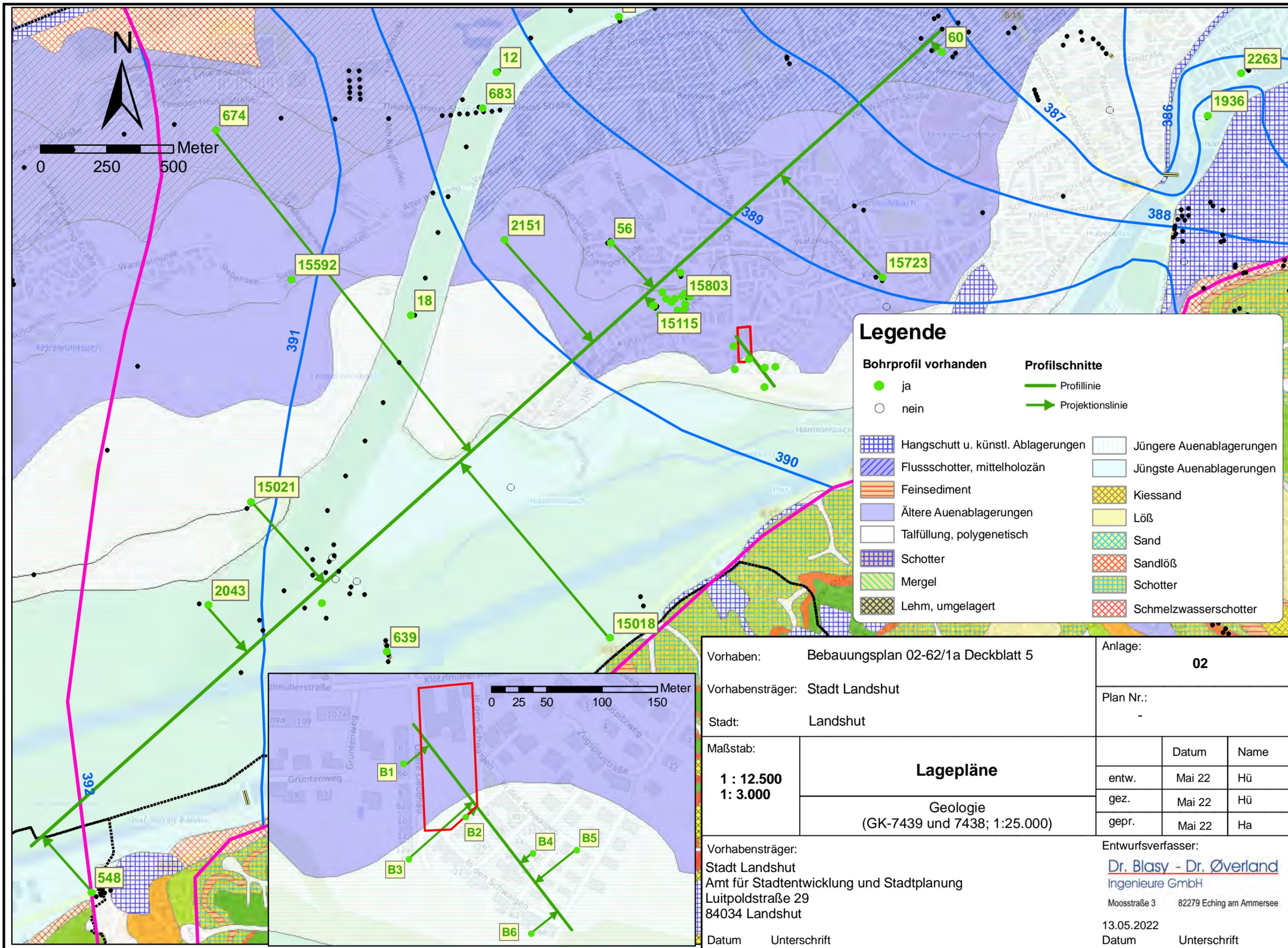
**Grundwassergleichen MW
(gem. hydrogeol. Karte Planungsregion 13; LfU)**

**Modellgebiet
Grundwassermodell**

Vorhaben: Bebauungsplan 02-62/1a Deckblatt 5		Anlage: 01	
Vorhabensträger: Stadt Landshut		Plan Nr.: -	
Stadt: Landshut			
Maßstab:	Übersichtslageplan		
1 : 25.000			
Lage der Maßnahme		Datum	Name
		entw.	Mai 22 Hü
		gez.	Mai 22 Hü
		gepr.	Mai 22 Ha
		Entwurfsverfasser: Dr. Blasy - Dr. Øverland Ingenieure GmbH Moosstraße 3 82279 Eching am Ammersee	
Vorhabensträger: Stadt Landshut Amt für Stadtentwicklung und Stadtplanung Luitpoldstraße 29 84034 Landshut		13.05.2022 Datum	
Datum		Unterschrift	

Anlage 02

**Lagepläne Geologie
Maßstab 1:10.000 und 1:2.500**



Legende

Bohrprofil vorhanden	Profilschnitte
● ja	— Profillinie
○ nein	→ Projektionslinie

Hangschutt u. künstl. Ablagerungen	Jüngere Auenablagerungen
Flussschotter, mittelholozän	Jüngste Auenablagerungen
Feinsediment	Kiessand
Ältere Auenablagerungen	Löß
Talfüllung, polygenetisch	Sand
Schotter	Sandlöß
Mergel	Schotter
Lehm, umgelagert	Schmelzwasserschotter

Vorhaben:	Bebauungsplan 02-62/1a Deckblatt 5
Vorhabensträger:	Stadt Landshut
Stadt:	Landshut
Maßstab:	1 : 12.500 1 : 3.000
Lagepläne	
Geologie (GK-7439 und 7438; 1:25.000)	

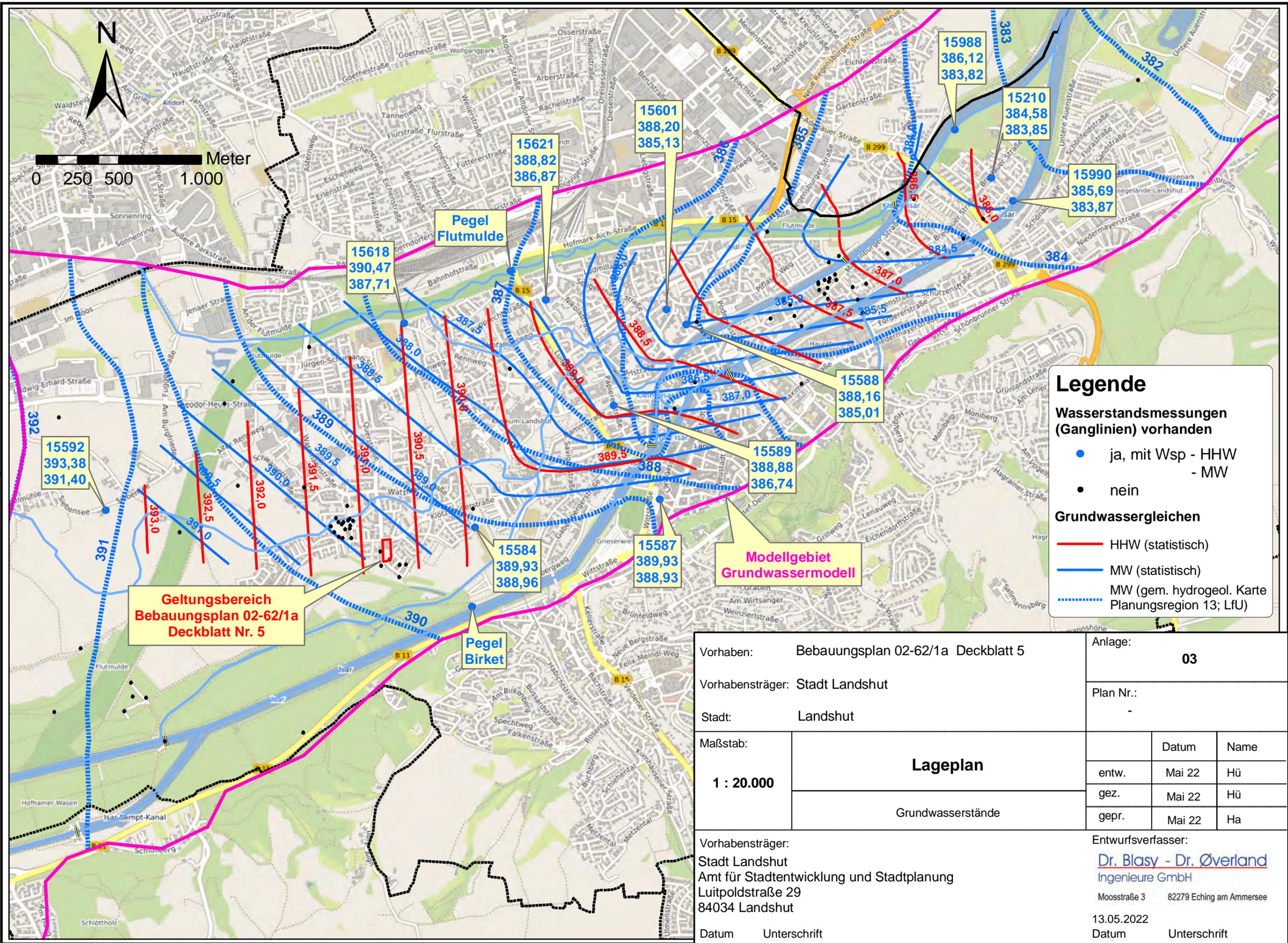
Anlage:	02	
Plan Nr.:	-	
	Datum	Name
entw.	Mai 22	Hü
gez.	Mai 22	Hü
gepr.	Mai 22	Ha

Vorhabensträger:
 Stadt Landshut
 Amt für Stadtentwicklung und Stadtplanung
 Luitpoldstraße 29
 84034 Landshut

Entwurfsverfasser:
Dr. Blasy - Dr. Øverland
 Ingenieure GmbH
 Moosstraße 3 82279 Eching am Ammersee
 13.05.2022
 Datum Unterschrift

Anlage 03

**Lageplan Grundwassergleichen
Maßstab 1:20.000**



Legende

Wasserstandsmessungen (Ganglinien) vorhanden

- ja, mit Wsp - HHW - MW
- nein

Grundwassergleichen

- HHW (statistisch)
- MW (statistisch)
- ⋯ MW (gem. hydrogeol. Karte Planungsregion 13; LfU)

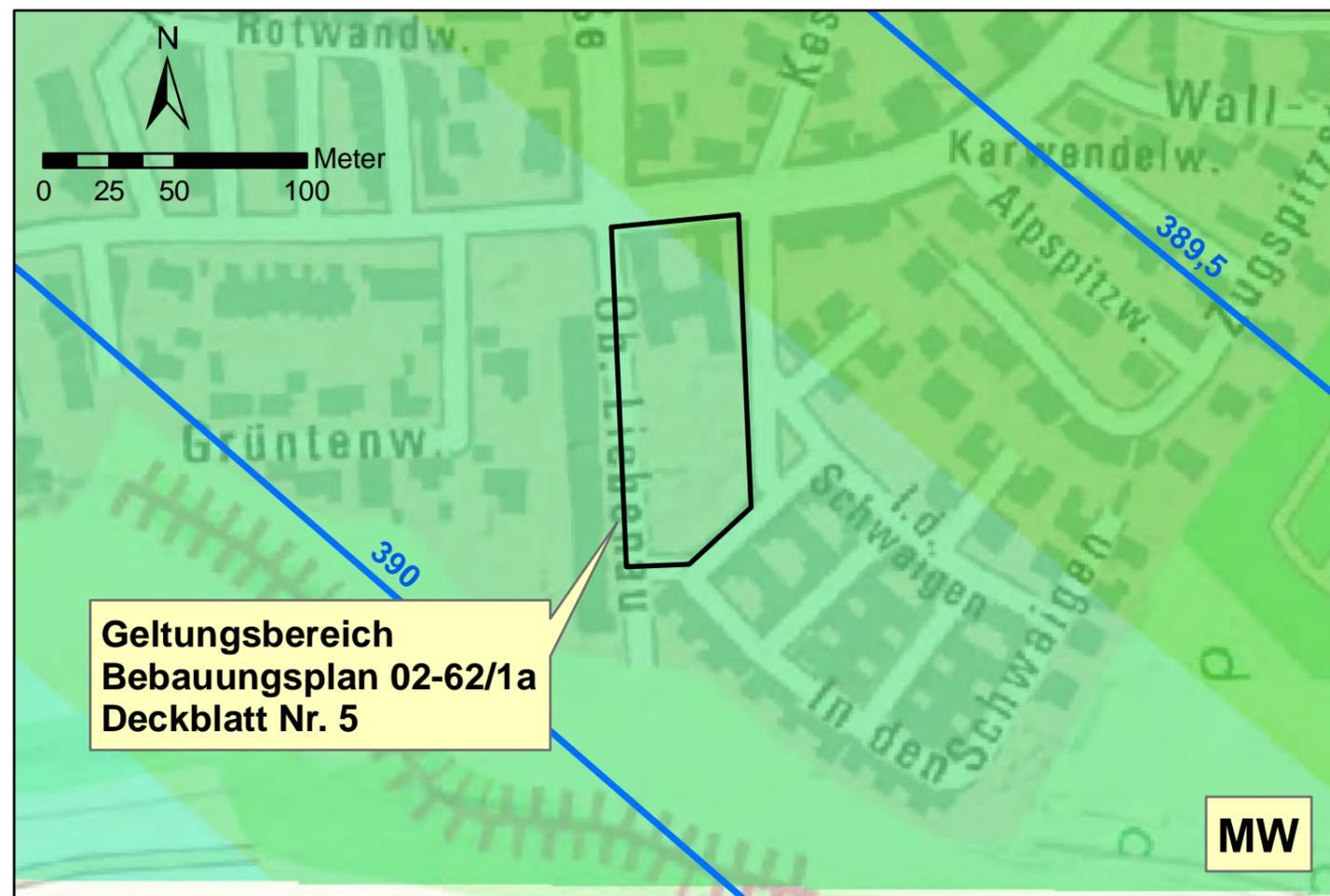
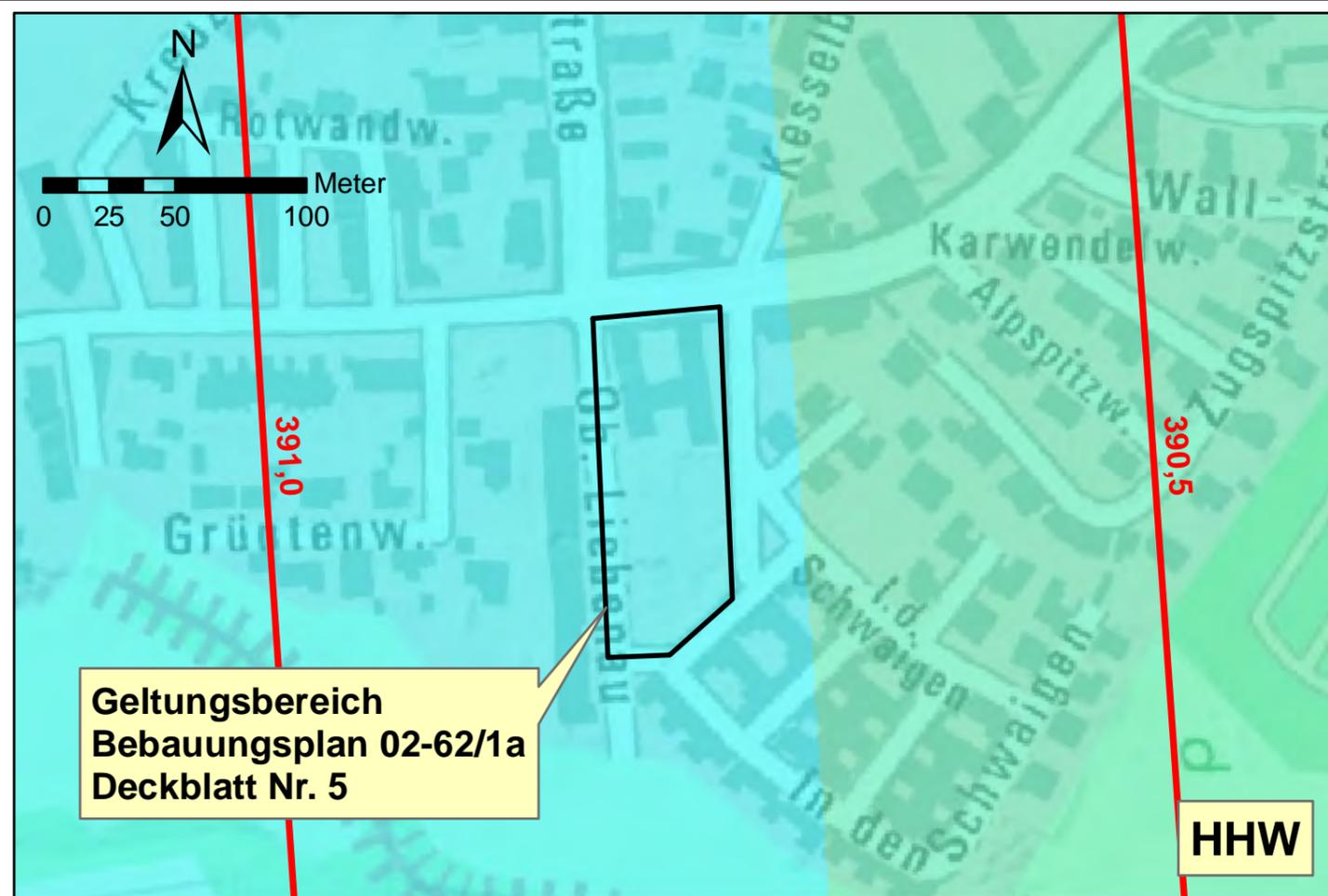
**Geltungsbereich
Bebauungsplan 02-62/1a
Deckblatt Nr. 5**

**Modellgebiet
Grundwassermodell**

Vorhaben: Bebauungsplan 02-62/1a Deckblatt 5		Anlage: 03	
Vorhabensträger: Stadt Landshut		Plan Nr.: -	
Stadt: Landshut			
Maßstab: 1 : 20.000	Lageplan		
	Grundwasserstände		
Vorhabensträger: Stadt Landshut Amt für Stadtentwicklung und Stadtplanung Luitpoldstraße 29 84034 Landshut		Entwurfsverfasser: <u>Dr. Blasy - Dr. Øverland</u> Ingenieure GmbH Moosstraße 3 82279 Eching am Ammersee	
Datum	Unterschrift	13.05.2022	Unterschrift

Anlage 04

**Lagepläne Geländeoberkante und
Flurabstand HHW und MW
Maßstab 1:2.500**



Legende

Grundwassergleichen (statistisch)

- HHW
- MW

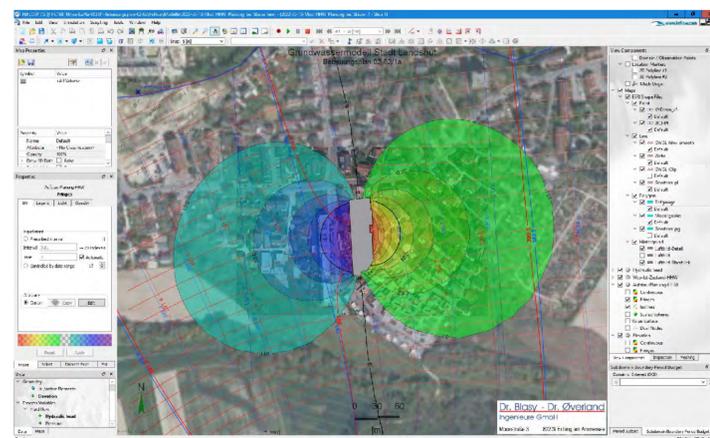
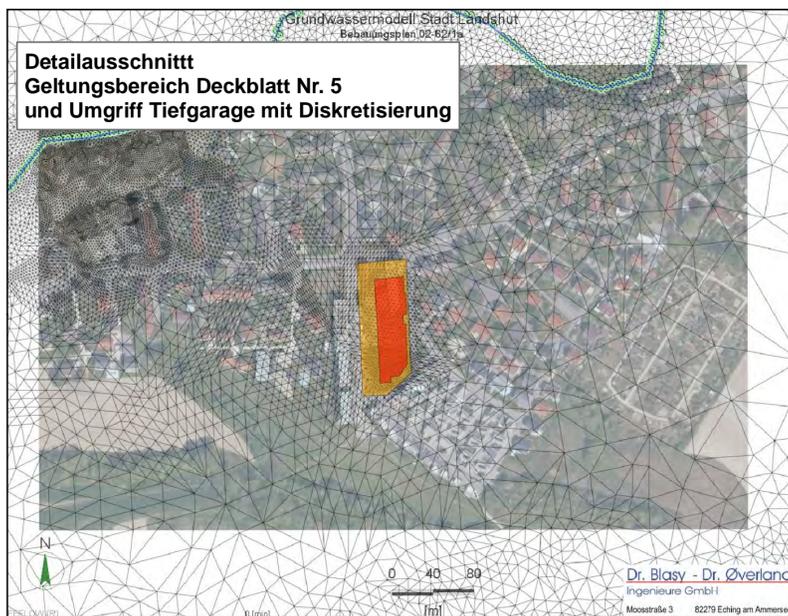
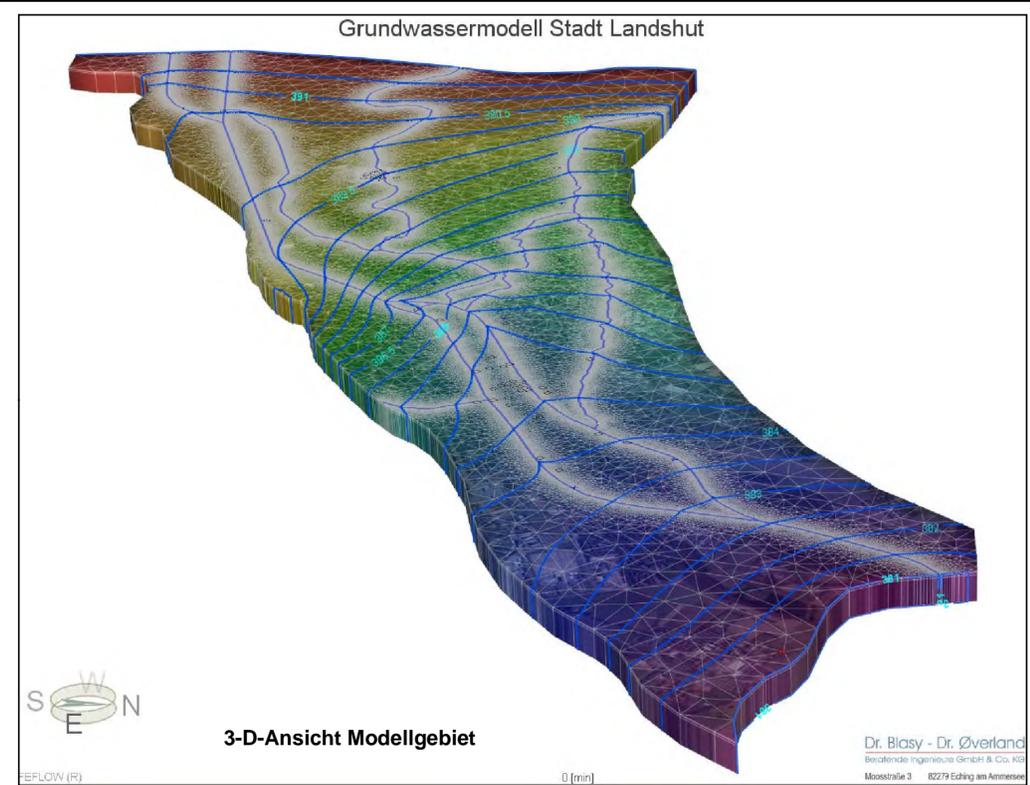
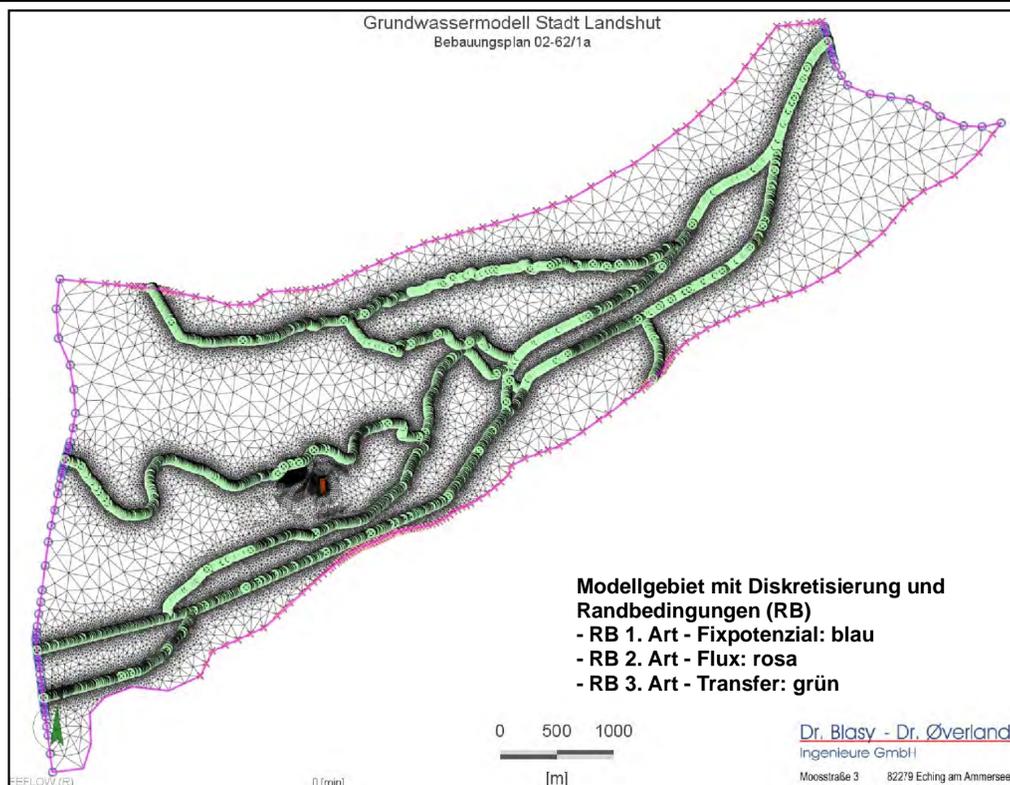
Flurabstand [m u. 391,7 m ü. NN]

- 0,51 - 1,00
- 1,01 - 1,50
- 1,51 - 2,00
- 2,01 - 2,50

Vorhaben: Bebauungsplan 02-62/1a Deckblatt 5		Anlage: 04		
Vorhabensträger: Stadt Landshut		Plan Nr.: -		
Stadt: Landshut				
Maßstab:	Lagepläne		Datum	Name
1 : 2.500		entw.	Mai 22	Hü
Flurabstände bezogen auf Referenzhöhe von 391,7 m ü. NN		gez.	Mai 22	Hü
		gepr.	Mai 22	Ha
Vorhabensträger: Stadt Landshut Amt für Stadtentwicklung und Stadtplanung Luitpoldstraße 29 84034 Landshut		Entwurfsverfasser: <u>Dr. Blasy - Dr. Øverland</u> Ingenieure GmbH Moosstraße 3 82279 Eching am Ammersee		
Datum	Unterschrift	13.05.2022	Datum Unterschrift	

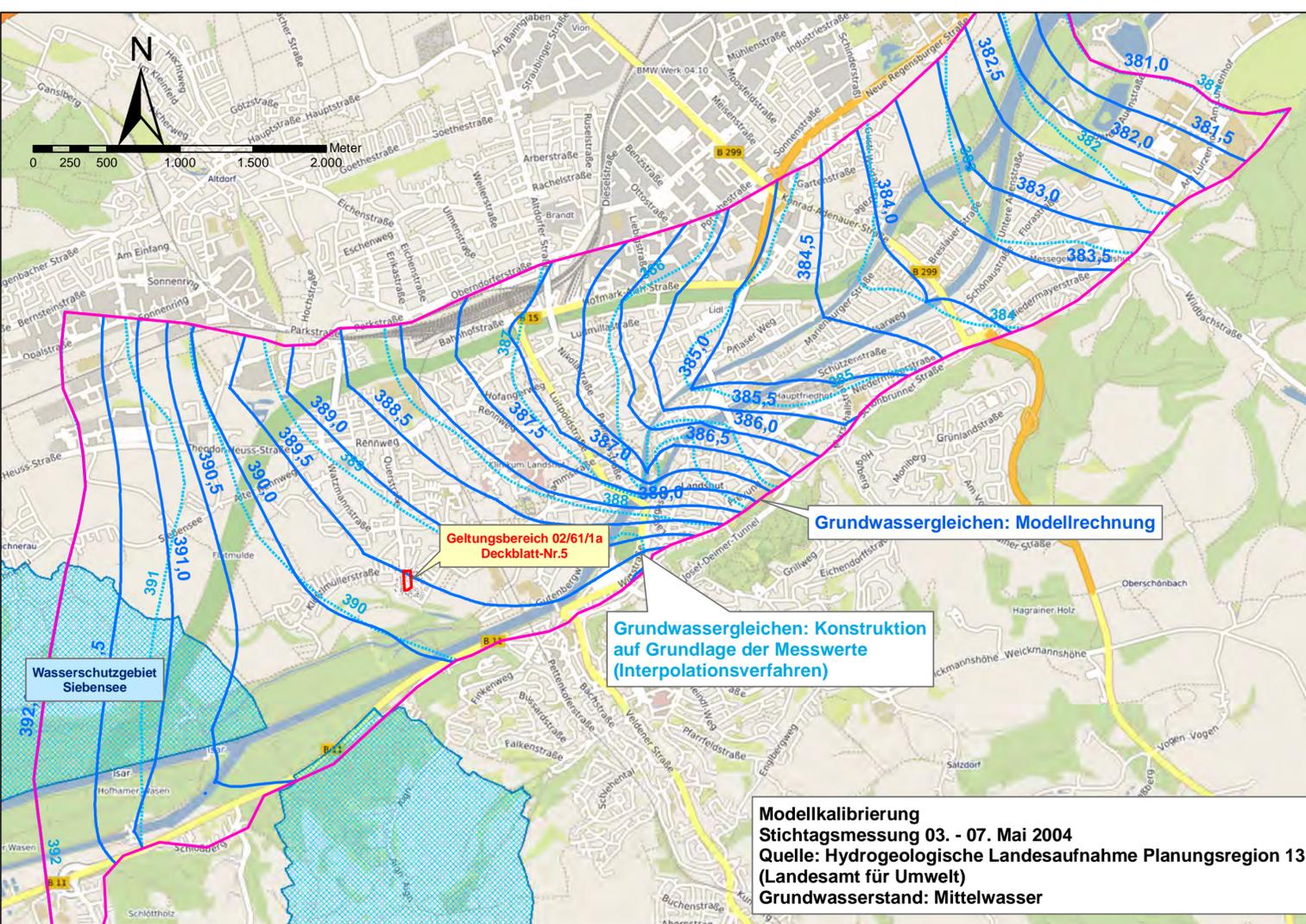
Anlage 05

Grundwassermodell und Modelldaten



Zusammenstellung der Modelldaten

Sofware	Febw 7.5 (DHI - Wasy)		
Modelltyp	finite elemente 3 dimensional, ungespannt, stationär		
Horizontale Diskretisierung	rd. 340.000 Knoten		
Vertikale Diskretisierung	4 Schichten (Slices)		
Modellfläche	rd. 19,4 km²		
minimale Element-Kantenlänge	rd. 1 m (unmittelbar am Bauwerk)		
Randbedingungen Strömungsmodell	oberstromiger Modellrand	Fixpotenzial (BC 1) = 392 m ü NN (NW)	unterschiedliche Höhen je nach Wsp.-Variante
	unterstromiger Modellrand	Fixpotenzial (BC 2) = 381 m ü NN (NW)	
	Isar, Große Isar, Kleine Isar, Flutmulde/Pfetrach, Hammerbach, Klötzmühlbach	Flussrandbedingung (BC 3) lineare Interpolation zwischen Stützstellen; Berücksichtigung von Wasserstandsprüngen an Wehren	
seitliche Modellränder / Isartalränder	Zuflussrandbedingungen (BC 4) im Zuge der Kalibrierung ermittelt; Mittelwertstrom (S x k)		
Brunnen	Randbedingung Brunnen (BC 4) nicht implementiert		
Materialparameter	hydraulische Durchlässigkeit	Layer 1: Deckschichten Auensedimente $k_f = 5 \times 10^{-04}$ m/s Bauwerk (Tiefgarage) $k_f = 1 \times 10^{-10}$ m/s	unterschiedliche Höhen je nach Wsp.-Variante
		Layer 2: Deckschichten Auensedimente $k_f = 5 \times 10^{-04}$ m/s Bauwerk (Tiefgarage) $k_f = 1 \times 10^{-10}$ m/s	
		Layer 3: Quartäre Schotter $k_f = 5 \times 10^{-04}$ bis 5×10^{-03} m/s Bauwerk (Tiefgarage) $k_f = 1 \times 10^{-10}$ m/s	
Porosität	22 % Poren-GWL		
Kolmatonsparameter entlang der Fließgewässer	Transferrate (bzgl. BC 3) Variationsbereich Kalibrierungsergebnis	Transfer IN: 1 [1/d] Transfer OUT: 4 [1/d]	
Slice-Höhen (= Grenzflächen zwischen den Modellschichten bzw. Layern)	Slice 1	Modelloberkante = Geländeoberkante = rd. 391 m ü. NN	
	Slice 2	Zwischenschicht: GOK - 0,5 m	
	Slice 3	Oberkante Quartäre Schotter = GOK - 1 m	
	Slice 4	Modellunterkante = Stauerobekante Tertiär = 378 - 380 m ü NN	



Vorhaben:	Bebauungsplan 02-62/1a Deckblatt 5	Anlage:	05	
Vorhabensträger:	Stadt Landshut	Plan Nr.:		
Stadt:	Landshut			
Maßstab: 1 : 25.000	Numerisches Grundwassermodell		Datum	Name
		entw.	Mai 22	Hü
		gez.	Mai 22	Hü
	Lagepläne und Modelldaten	gepr.	Mai 22	Ha
Vorhabensträger:	Stadt Landshut Amt für Stadtentwicklung und Stadtplanung Luitpoldstraße 29 84034 Landshut	Entwurfsverfasser:	Dr. Blasy - Dr. Øverland Ingenieure GmbH Moosstraße 3 82279 Eching am Ammersee	
Datum	Unterschrift	13.05.2022	Datum Unterschrift	

Anlage 06

**Lageplan Modellkalibrierung
Stichtagsmessung Mai 2004 (MW)
Maßstab 1:20.000**



Legende

- Grundwassermessstelle
- Bohrung
- ▲ Gewässerpegel mit Messwertaufzeichnung
- ★ Stützpunkt zur linearen Interpolation RB 3. Art (Oberflächengewässer)

== Wehr

Grundwassergleichen

- Modellrechnung (Kalibrierung)
- ⋯ gem. Hydrogeologischer Karte, ca. MW

- ▭ Geltungsbereich
- ▭ Modellgebiet

Bezeichnung
Differenz [Messwert-Modellwert] [m]

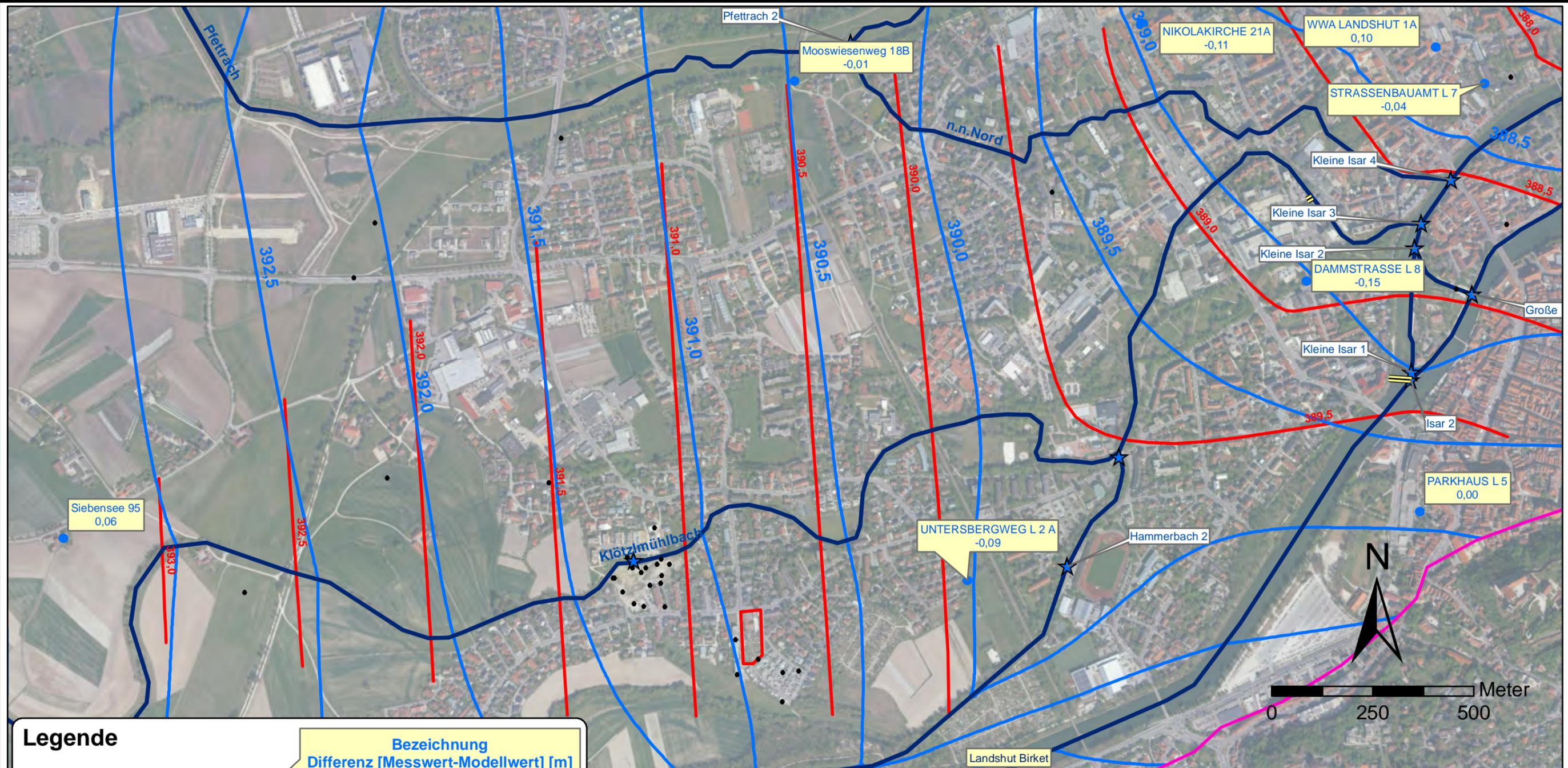
Vorhaben: Bebauungsplan 02-62/1a Deckblatt 5		Anlage: 06		
Vorhabensträger: Stadt Landshut		Plan Nr.: -		
Stadt: Landshut				
Maßstab:	Lageplan		Datum	Name
1 : 10.000		entw.	Mai 22	Hü
	Kalibrierung - Grundwassermodell	gez.	Mai 22	Hü
		gepr.	Mai 22	Ha
Vorhabensträger: Stadt Landshut Amt für Stadtentwicklung und Stadtplanung Luitpoldstraße 29 84034 Landshut		Entwurfsverfasser:		
Datum	Unterschrift	13.05.2022	Datum	Unterschrift

Anlage 07

Lageplan Modellergebnis

Ist-Zustand HHW

Maßstab 1:20.000



Legende

- Grundwassermessstelle
- Bohrung
- ▲ Gewässerpegel mit Messwertaufzeichnung
- ★ Stützpunkt zur linearen Interpolation
RB 3. Art (Oberflächengewässer)
- ══ Wehr

Grundwassergleichen

- Modellrechnung (HHW)
- HHW gemäß statistischer Auswertung

- ▭ Geltungsbereich
- ▭ Modellgebiet

Bezeichnung
Differenz [Messwert-Modellwert] [m]

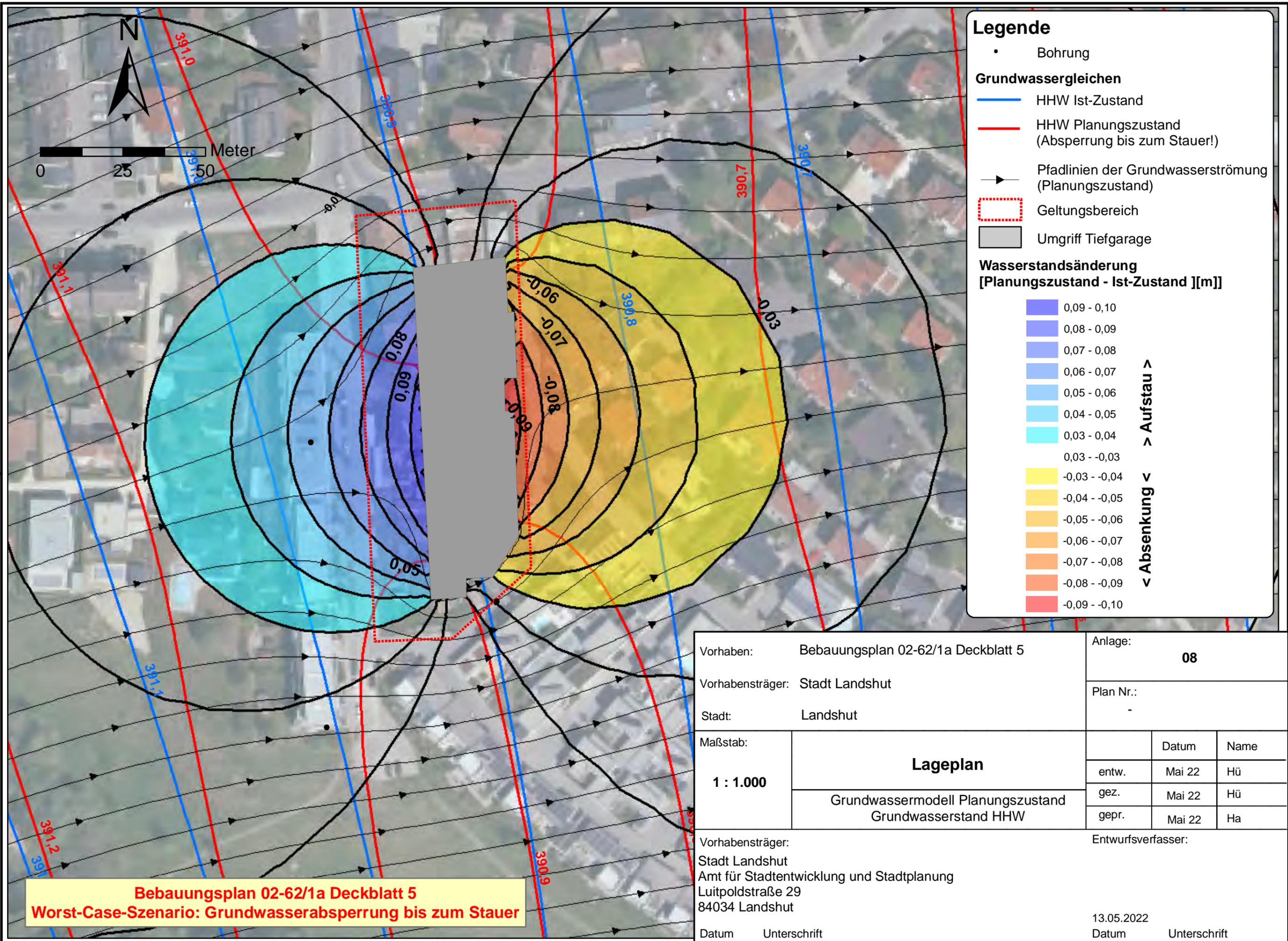
Vorhaben: Bebauungsplan 02-62/1a Deckblatt 5		Anlage: 07		
Vorhabensträger: Stadt Landshut		Plan Nr.: -		
Stadt: Landshut				
Maßstab:	Lageplan		Datum	Name
1 : 10.000				
Vorhabensträger: Stadt Landshut Amt für Stadtentwicklung und Stadtplanung Luitpoldstraße 29 84034 Landshut		Entwurfsverfasser:		
		entw.	Mai 22	Hü
		gez.	Mai 22	Hü
Datum		13.05.2022		
Unterschrift		Datum		Unterschrift

Anlage 08

Lageplan Modellergebnis

Planungs-Zustand HHW

Maßstab 1:1.000



Legende

- Bohrung
- Grundwassergleichen**
 - HHW Ist-Zustand
 - HHW Planungszustand (Abspernung bis zum Stauer!)
- ➔ Pfadlinien der Grundwasserströmung (Planungszustand)
- ▭ Geltungsbereich
- ▭ Umgriff Tiefgarage

Wasserstandsänderung [Planungszustand - Ist-Zustand] [m]

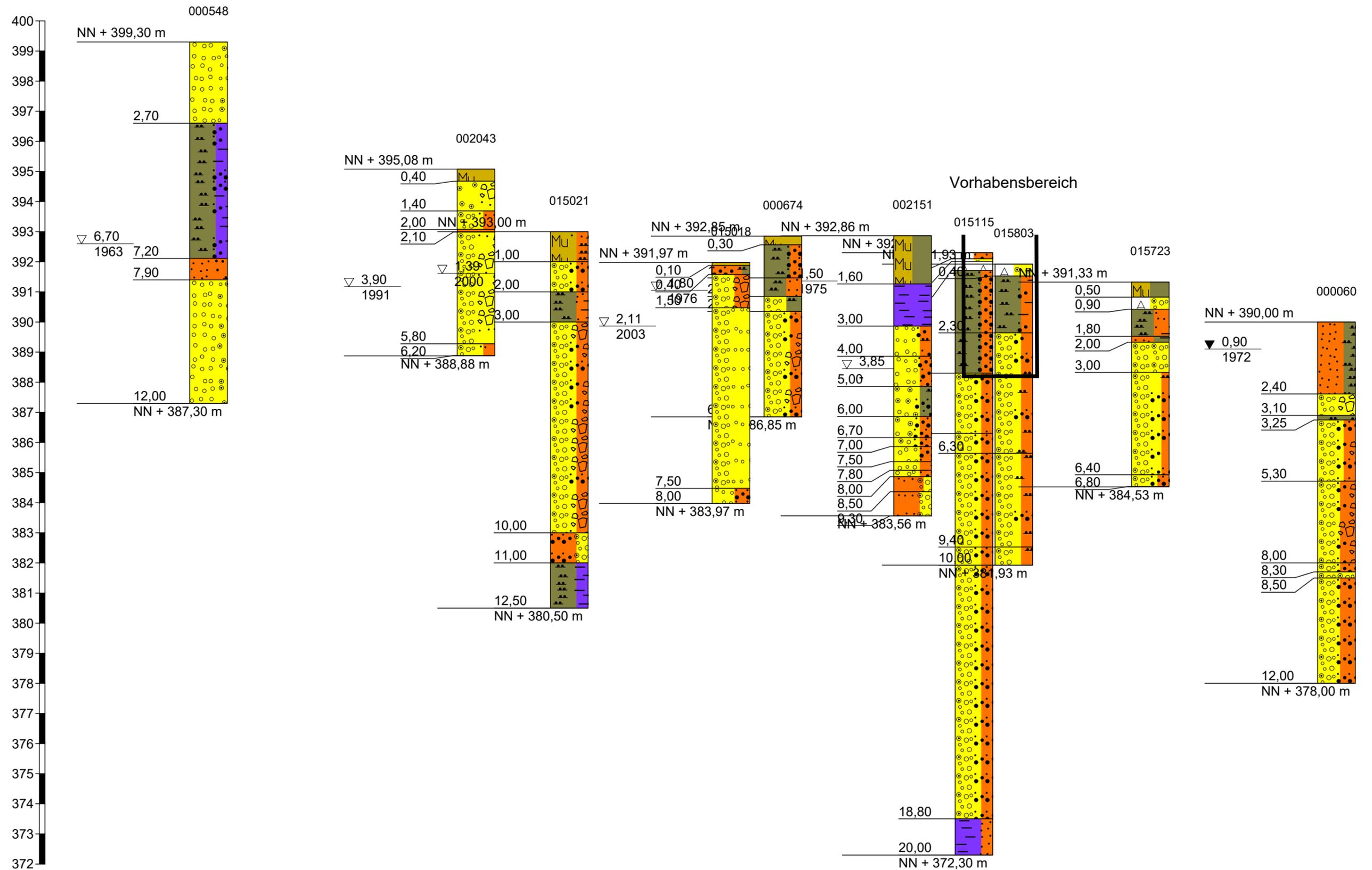
0,09 - 0,10	> Aufstau >	
0,08 - 0,09		
0,07 - 0,08		
0,06 - 0,07		
0,05 - 0,06		
0,04 - 0,05		
0,03 - 0,04		
0,03 - -0,03		
-0,03 - -0,04		< Absenkung <
-0,04 - -0,05		
-0,05 - -0,06		
-0,06 - -0,07		
-0,07 - -0,08		
-0,08 - -0,09		
-0,09 - -0,10		

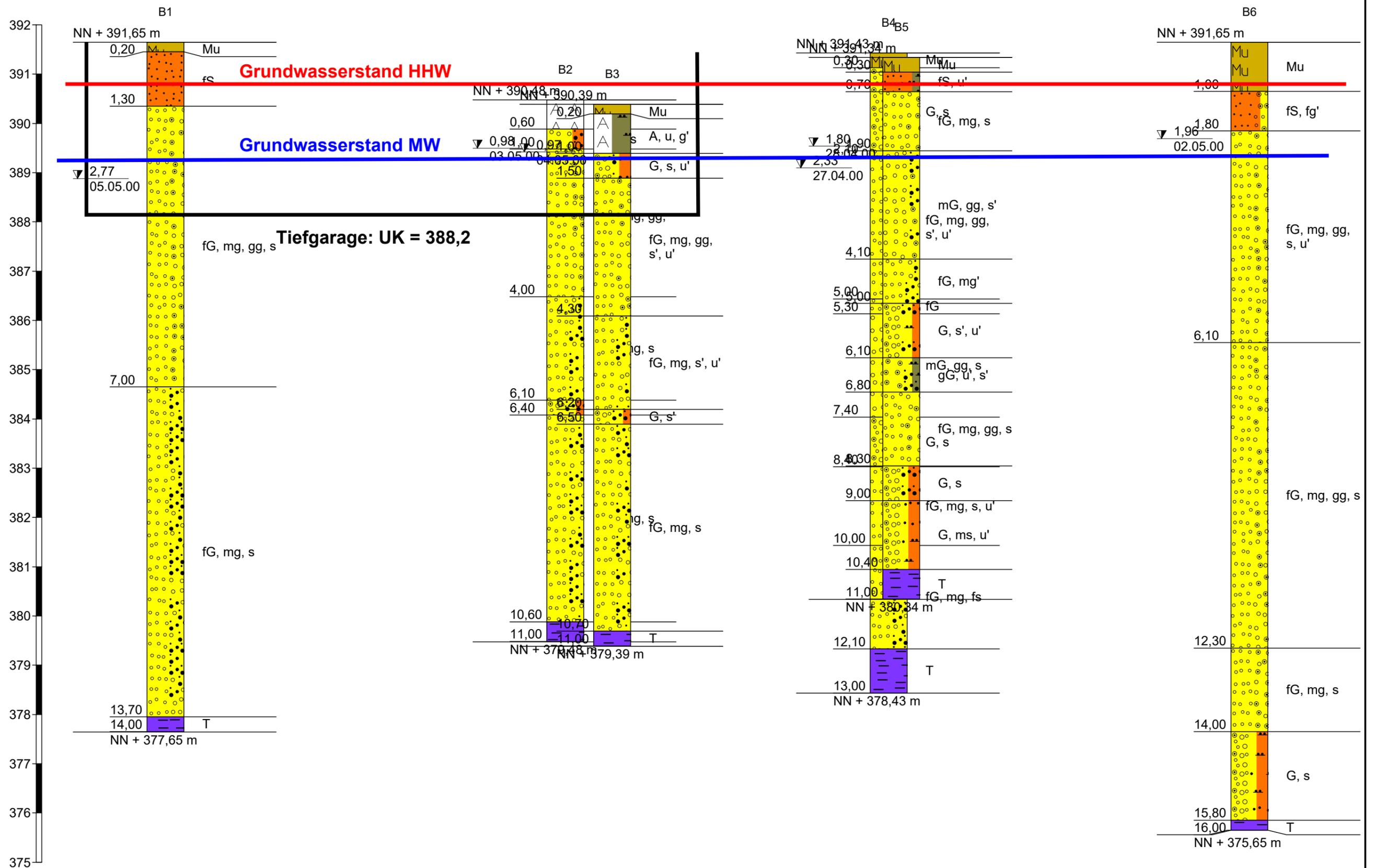
Vorhaben: Bebauungsplan 02-62/1a Deckblatt 5		Anlage: 08		
Vorhabensträger: Stadt Landshut		Plan Nr.: -		
Stadt: Landshut				
Maßstab:	Lageplan		Datum	Name
1 : 1.000		Grundwassermodell Planungszustand	entw.	Mai 22
	Grundwasserstand HHW	gez.	Mai 22	Hü
		gepr.	Mai 22	Ha
Vorhabensträger: Stadt Landshut Amt für Stadtentwicklung und Stadtplanung Luitpoldstraße 29 84034 Landshut		Entwurfsverfasser:		
Datum	Unterschrift	13.05.2022	Datum	Unterschrift

Bebauungsplan 02-62/1a Deckblatt 5
Worst-Case-Szenario: Grundwasserabspernung bis zum Stauer

Anlage 09

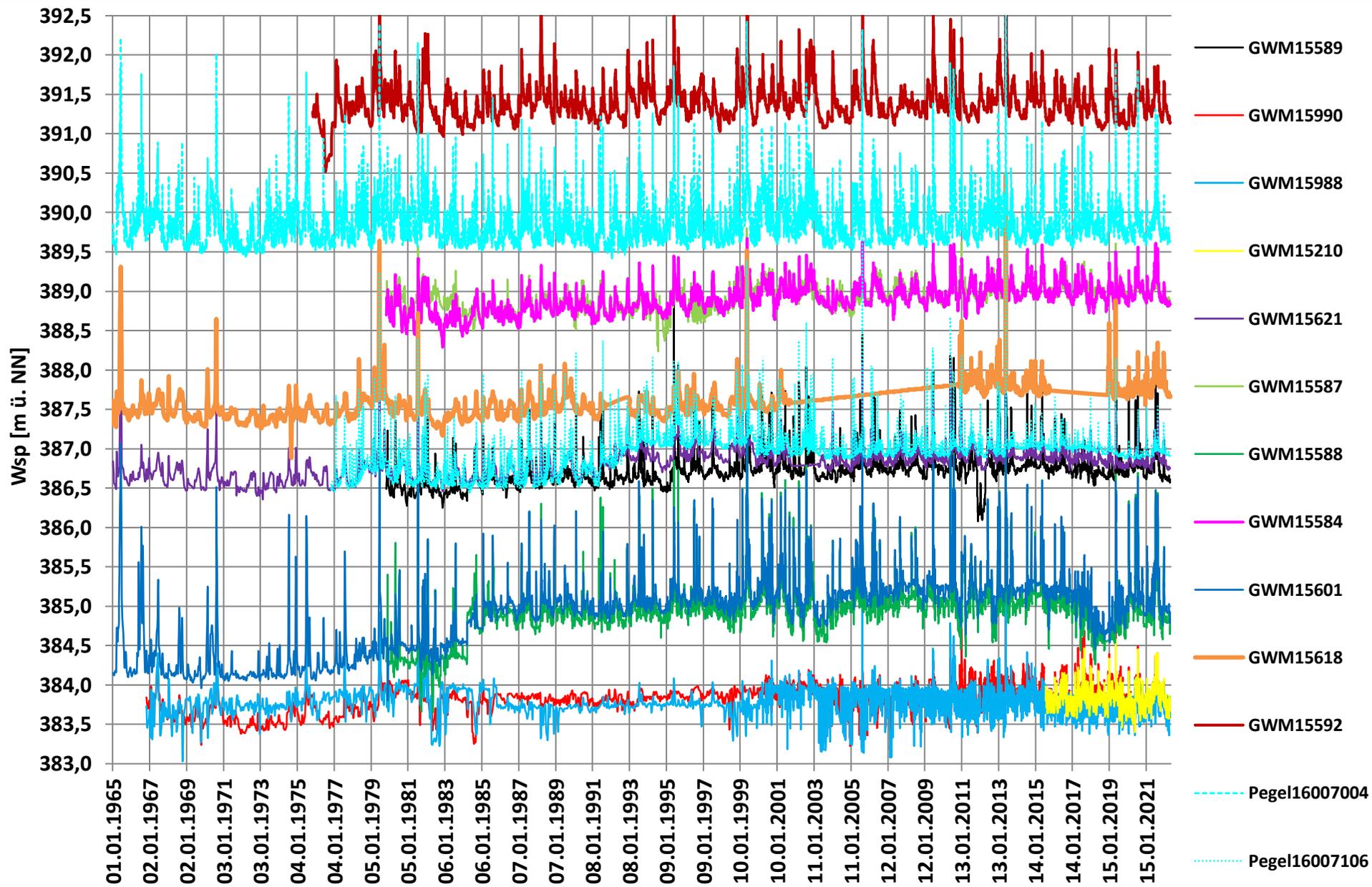
Bohrprofile und Profilschnitte

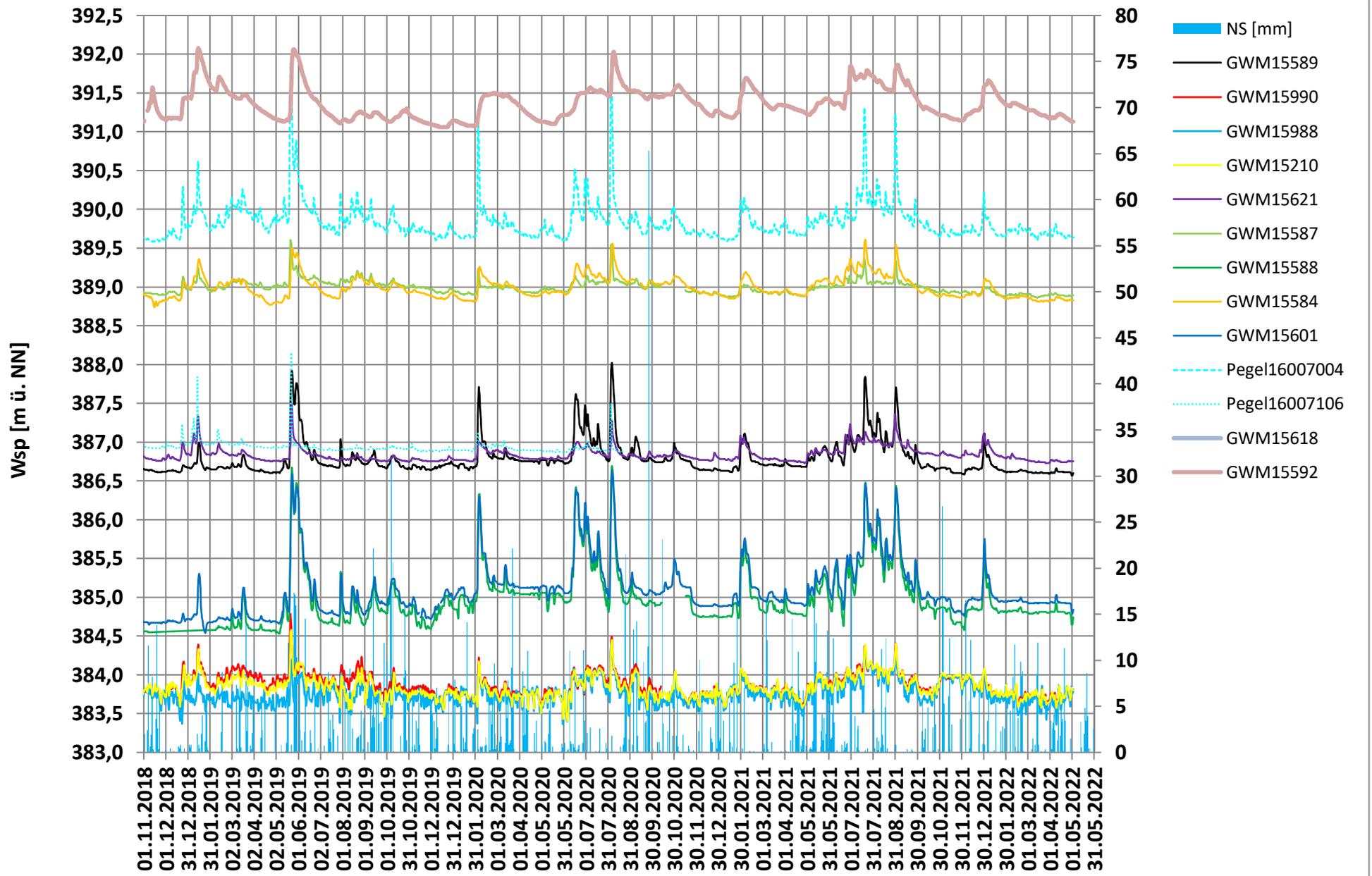


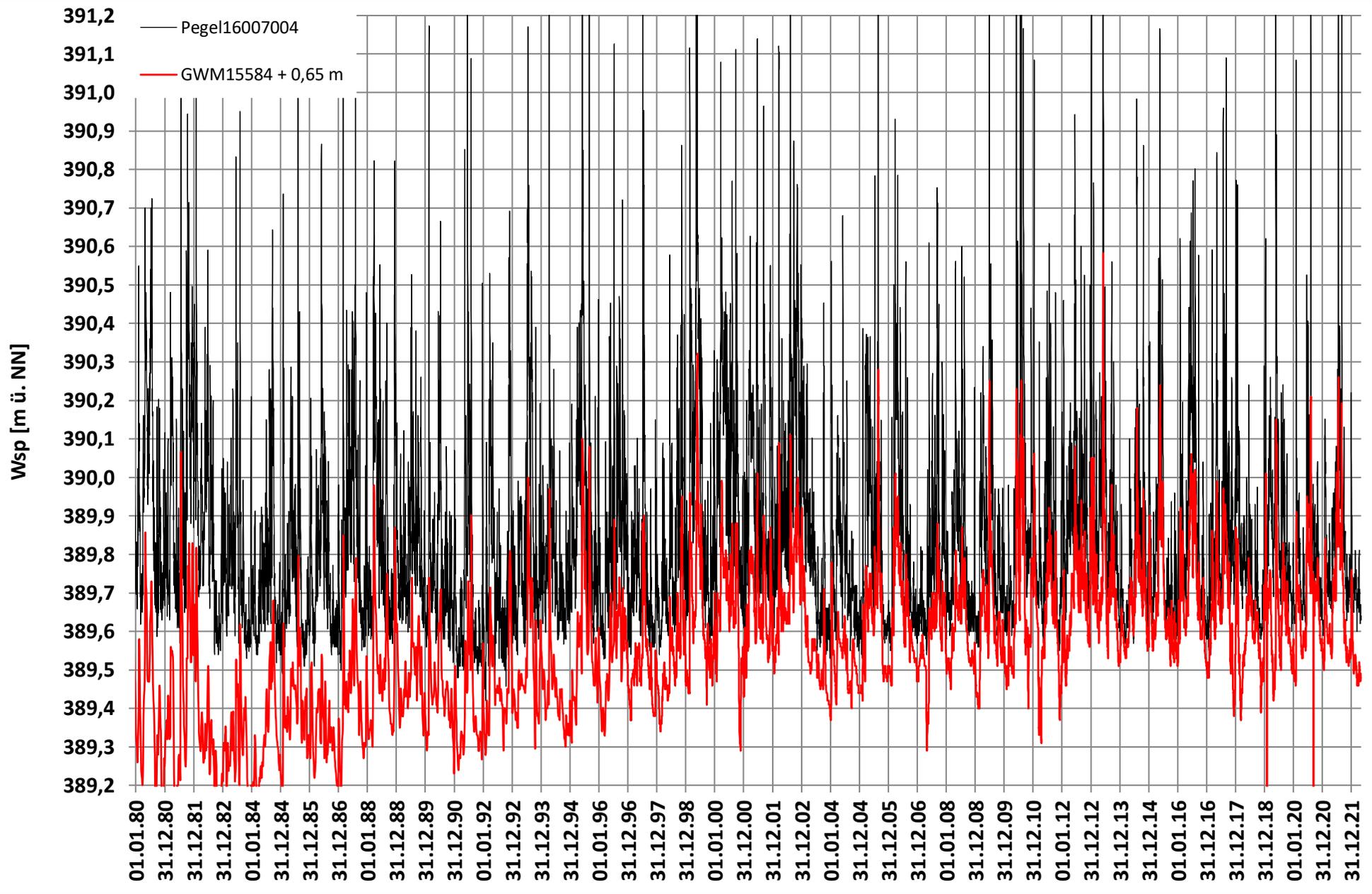


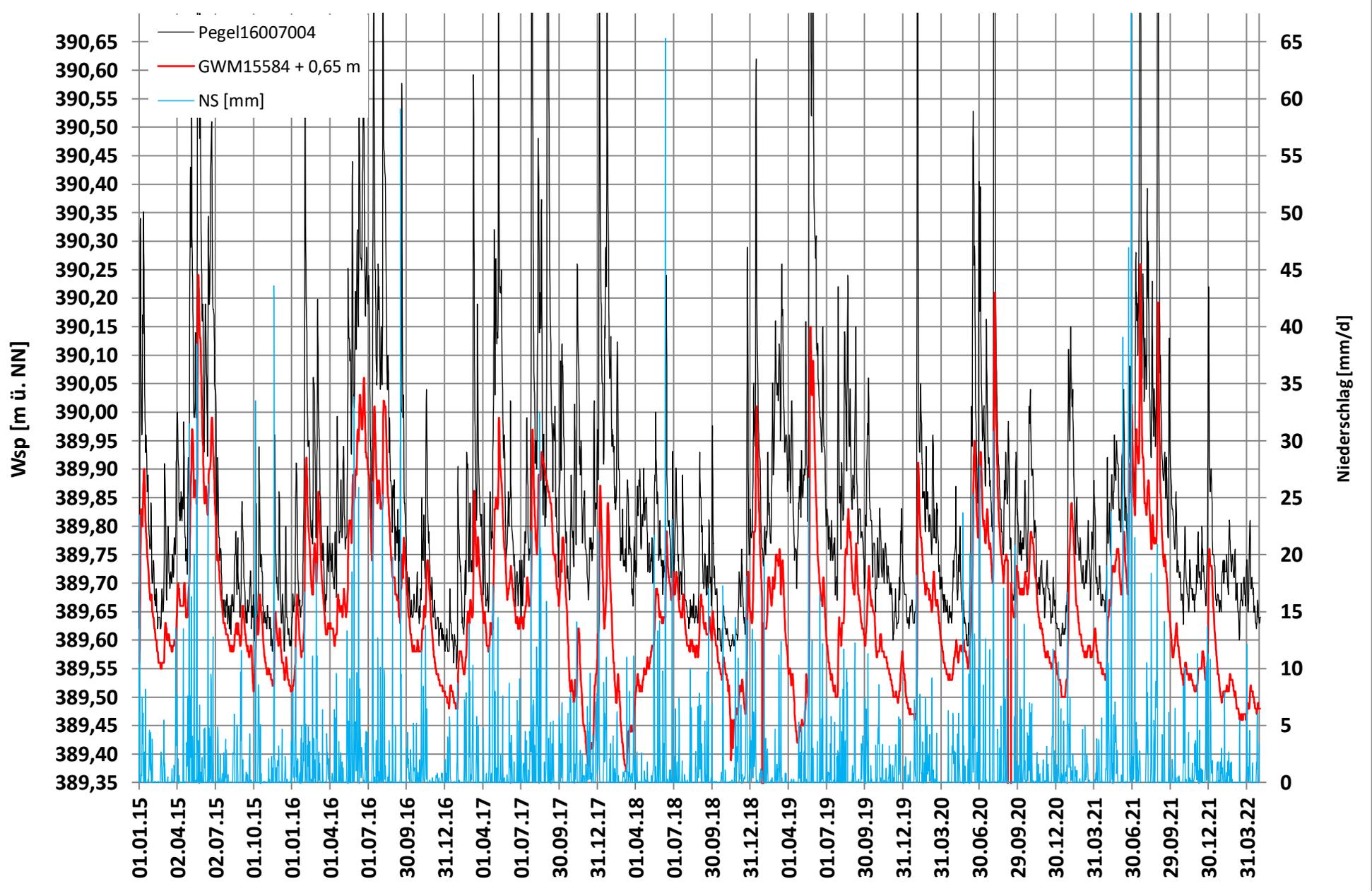
Anlage 10

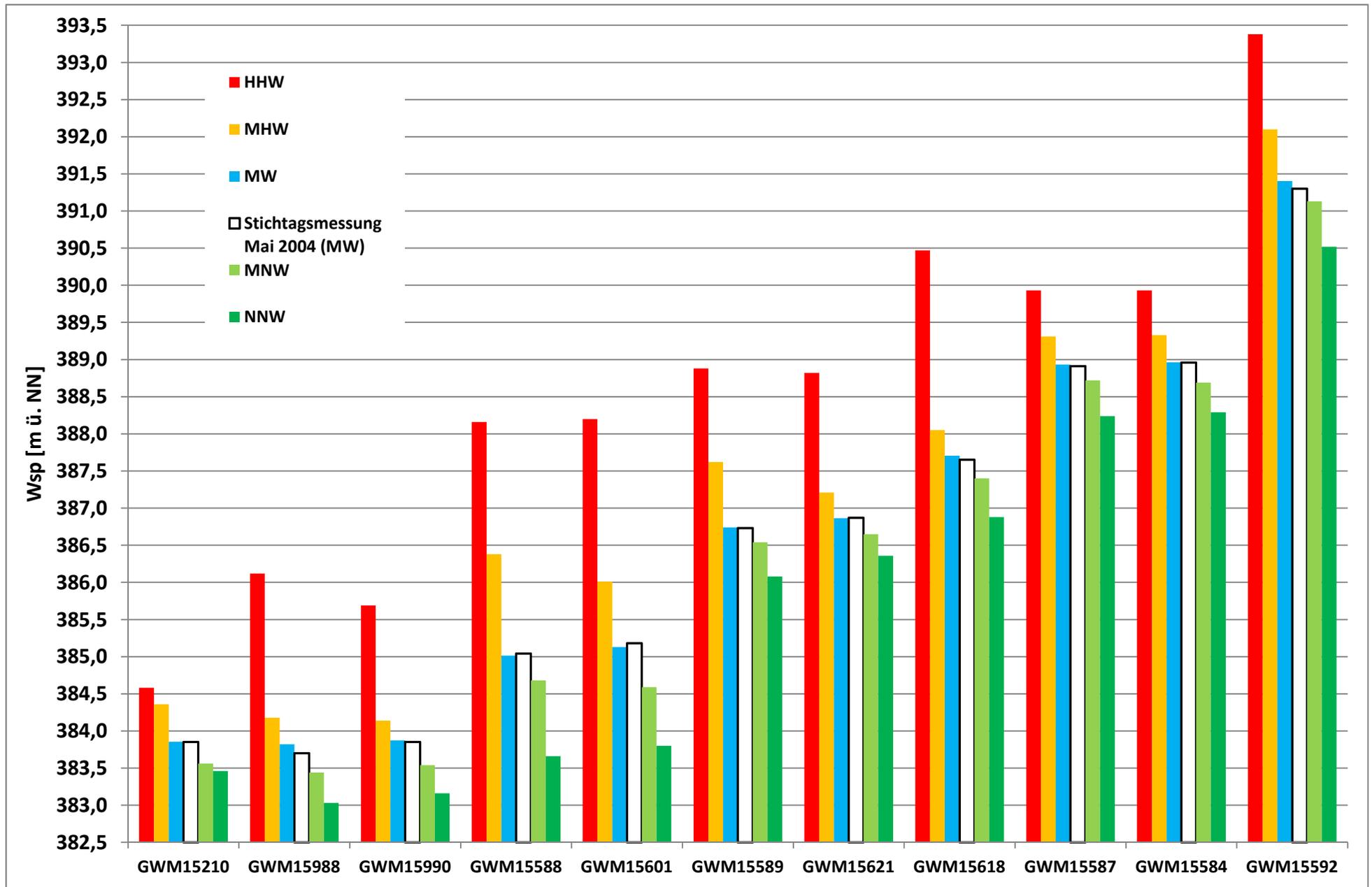
Grundwasserstandsdaten (Diagramme)











Anlage 11

Projektdaten

Name	Nummer	HHW	MHW	MW	MNW	NNW	2004(Messv	interpolier	Kalibrierung (MW)	Differenz [Messung - Modell] (MW)	Modellwert HHW	Differenz [Messung - Modell] (HHW)	beobachtet seit	Endteufe	Bohrwasser-spiegel	Profil	Ganglinien
[-]	[-]	[m ü. NN]	[m ü. NN]	[m ü. NN]	[m]	[m ü. NN]	[m]	[Jahr]	[m u. GOK]	[m u. GOK]	[-]	[-]					
Siebensee 95	15592	393,38	392,10	391,40	391,13	390,52	391,30	391,14	391,10	-0,04	393,32	-0,06	1975	9,3	1,46	j	j
UNTERSBERGWEG L 2 A	15584	389,93	389,33	388,96	388,69	388,29	388,96	389,07	389,12	0,05	390,02	0,09	1979			n	j
PARKHAUS L 5	15587	389,93	389,31	388,93	388,72	388,24	388,91	388,69	388,70	0,01	389,93		1979			n	j
Mooswiesenweg 18b	15618	390,47	388,05	387,71	387,40	386,88	387,65	387,81	387,92	0,11	390,48	0,01	1964	8,0		n	j
NIKOLAKIRCHE 21A	15621	388,82	387,21	386,87	386,65	386,36	386,87	386,64	386,56	-0,08	388,93	0,11	1964			n	j
DAMMSTRASSE L 8	15589	388,88	387,62	386,74	386,54	386,08	386,73	386,37	386,45	0,08	389,03	0,15	1979			n	j
WWA LANDSHUT 1A	15601	388,20	386,01	385,13	384,59	383,80	385,18	385,42	385,43	0,01	388,10	-0,10	1964			n	j
STRASSENBAUAMT L 7	15588	388,16	386,38	385,01	384,68	383,66	385,04	385,17	385,20	0,03	388,20	0,04	1979			n	j
MITTERWÖHR GR.ISAR 70/63	15990	385,69	384,14	383,87	383,54	383,16	383,85	383,46	383,43	-0,03	385,52	-0,17	1966			n	j
MITTERWÖHR LIEGNITZER STRASSE	15210	384,58	384,36	383,85	383,56	383,46	383,85	383,45	383,32	-0,14	385,70	1,12	2015			n	j
MITTERWÖHR KL.ISAR 70/59	15988	386,12	384,18	383,82	383,44	383,03	383,70	383,61	383,48	-0,14	386,07	-0,05	1966			n	j
7438BG	9												0	3,2	1,64	j	n
7438BG	12												0	4,3	1,46	j	n
7438BG	18												0	4,1	1,37	j	n
7438BG	56												0		2,10	j	n
7438BG	60												0	12,0	0,90	j	n
7438BG	548												0	12,0	6,70	j	n
7438BG	612												1980	8,0		j	n
7438BG	639												0	20,0		j	n
7438BG	674												0	6,0	1,80	j	n
7438BG	683												0	16,0	1,10	j	n
7438BG	1609												0	8,0	2,40	j	n
7438BG	1702												2000	8,0		j	n
7438BG	1899												0		3,30	j	n
7438BG	1901												0		2,61	j	n
7438BG	1936												1983	9,8	5,60	j	n
7438BG	1960												0		3,50	j	n
7438BG	2043												0	6,2	3,90	j	n
7438BG	2139												1980	7,2	4,70	n	n
7438BG	2140												1980	6,4	4,26	n	n
7438BG	2141												1980	6,1	4,32	n	n
7438BG	2142												1980	5,3	2,96	n	n
7438BG	2151												0	9,3	1,50	j	n
7438BG	2165												1964	4,6	2,52	n	n
7438BG	2199												1964	6,0	4,21	n	n
7438BG	2200												1964	6,5	4,03	n	n
7438BG	2201												1964	6,5	4,03	n	n
7438BG	2263												1990	14,0	4,90	j	n
7438BG	15018												0	8,0	2,11	j	n
7438BG	15021												0	12,5	1,39	j	n
7438BG	15073												1900	15,0	1,32	j	n
7438BG	15115												0		3,85	j	n
7438BG	15117												1900	9,0	4,29	j	n
7438BG	15118												1900	9,0	4,31	j	n
7438BG	15125												1900	13,5	4,99	j	n
7438BG	15636												0			n	n
7438BG	15723												0	6,8		j	n
7438BG	15756												2017	3,0		j	n
7438BG	15765												0	6,0		j	n
7438BG	15803												0			j	n

