



Wasserwirtschaftsamt
Ingolstadt



FLUTPOLDER GROßMEHRING GRUNDWASSERMODELL

Teil 2: Aufbau Grundwassermodell Stationäre und instationäre Kalibrierung

- Datenstand: Mai 2017 -

Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt
Ingolstadt, den2017

.....
Christian Leeb

aufgestellt:
Björnsen Beratende Ingenieure GmbH
Augsburg, im August 2017

.....
Dr. Ing. Michael Probst



BJÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE

Björnsen Beratende Ingenieure GmbH
Niederlassung Augsburg
Morellstraße 33 · 86159 Augsburg
Telefon 0821 3194908-0 · Telefax 0821 3194908-17

August 2017
Knö/PH/fgr1604936

Inhaltsverzeichnis

Erläuterungsbericht		Seite
1	Aufbau des numerischen Grundwassermodells	1
1.1	Modellgeometrie	1
1.2	Randbedingungen	4
2	Modellkalibrierung	8
2.1	Stationäre Kalibrierung Stichtag 19. April 2016	8
2.1.1	Stationärer Ausgangsfall	8
2.1.2	Stationärer Endzustand	13
2.1.3	Gesamtbewertung	27
2.2	Sensitivitätsanalyse stationär	28
2.2.1	Auswahl der Parameter und Festlegung der Spannweite	29
2.2.2	Ergebnisse der Sensitivitätsuntersuchungen	29
2.2.3	Gesamtbewertung der Sensitivitätsuntersuchungen	37
2.3	Kovarianzanalyse	38
2.4	Instationäre Kalibrierung Hochwasser Juni 2013	47
2.4.1	Verfügbare Messdaten	47
2.4.2	Randbedingungen für das Grundwassermodell	59
2.4.3	Ergebnisse Anpassung Grundwasserstände	69
2.4.4	Endverteilung Modellparameter	76
2.4.5	Sensitivitätsanalyse instationär	77
2.4.6	Gesamtbewertung der instationären Modellkalibrierung	80

Abbildungsverzeichnis	Seite
Abbildung 1: Hydrogeologischer Prinzipschnitt durch den Untersuchungsraum	3
Abbildung 2: Modellaufbau	3
Abbildung 3: Niederschlagssummen für den Zeitraum WWJ 2005/15	5
Abbildung 4: Räumliche Verteilung der Abweichungen zwischen berechneten und gemessenen Grundwasserständen im Ausgangsfall	9
Abbildung 5: Räumliche Verteilung der Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Grundwasserständen im Endzustand	17
Abbildung 6: Punktwolken der berechneten Abweichungen bei 5-fach erhöhter Untergrunddurchlässigkeit und 5-fach höherer (links) bzw. niedrigerer (rechts) Austauschrate der Gewässersohlen	42
Abbildung 7: Tagessummen der Niederschläge beim HW 2013, Station Ingolstadt (LfU) und Baumannshof (LfL)	47
Abbildung 8: Pegel Ingolstadt/Luitpoldstraße, Wasserstände/Abflüsse beim HW 2013	49
Abbildung 9: Pegel Ingolstadt/Luitpoldstr. und Pegel Vohburg, Gemessene Wasserstände beim HW 2013	49
Abbildung 10: Rohrdurchlass am R. Binnenentwässerungsgraben – 09.03.2017	50
Abbildung 11: Einleitung R. Binnenentwässerungsgraben (paarseitig) und zwei benachbarte, nicht regulierbare Rohrdurchlässe	51
Abbildung 12: Zulaufmenge Zentrale Kläranlage Ingolstadt (ZKA) beim HW 2013, abgeleiteter Zulauf Fremdwasser + Schmutzwasser	55
Abbildung 13: Zulaufmenge ZKA Ingolstadt und gemessene Grundwasserstände an der GWM KOTHAU 134A beim HW2013	56
Abbildung 14: AW-Kanalnetz Markt Manching (Auszug)	58
Abbildung 15: Zulauf KA Manching (Tagesdurchschnitt), Tagessummen Niederschlag Station Baumannshof, GWM Manching HWS B3	58
Abbildung 16: Befliegung HW 2013 - Manching Kläranlage (von Süden)	61
Abbildung 17: Randbedingung für die Alte Donau	62
Abbildung 18: Detailausschnitt aus 2D-WSP-Modell (berücksichtigte Gewässerabschnitte an Irschinger Ach und Wellenbach)	63
Abbildung 19: Berechnete WSP im Mündungsbereich Irschinger Ach/Wellenbach	64
Abbildung 20: Randbedingung Wasserspiegel Westenhausener Ach (1. Ansatz) und berechnete Grundwasserstände	65
Abbildung 21: Modifizierte Randbedingung Wasserspiegel Westenhausener Ach (2. Ansatz) und berechnete Grundwasserstände	65

Abbildung 22: Grundwasserneubildung im Modellraum Mai/Juni 2013	66
Abbildung 23: Berechnete Grundwasserneubildung im Modellraum und klimatische Wasserbilanz an der Wetterstation Baumannshof	67
Abbildung 24: Ableitung der instationären Grundwasserneubildung bei HW 2013 aus der Klimatischen Wasserbilanz	67

Tabellenverzeichnis	Seite
Tabelle 1: Fließgewässer mit Unterteilung in ex- bzw. infiltrierende Gewässerabschnitte	6
Tabelle 2: Auswertungsbereiche der stationären Kalibrierung	9
Tabelle 3: Vergleich Endzustand/Ausgangsfall - stationäre Kalibrierung	17
Tabelle 4: Bilanzgrößen für den Modellraum	22
Tabelle 5: Gemessene und berechnete Fremdwasseranteile	23
Tabelle 6: Abflussmessung Stichtag April 2016 und Nachmessung März 2017	24
Tabelle 7: Abgestimmte Faktoren für die Sensitivitätsberechnungen	29
Tabelle 8: Sensitivität k_f -Werte im quartären Grundwasserleiter - Abweichungen berechneter Grundwasserstand / Messwerte	31
Tabelle 9: Sensitivität k_f -Werte im quartären GWL, Austausch Oberflächengewässer mit dem Grundwasserleiter	33
Tabelle 10: Sensitivität Austauschrate der Gewässer - Abweichungen berechneter Grundwasserstand / Messwerte	35
Tabelle 11: Sensitivität Austauschrate der Gewässer, Austausch Oberflächengewässer mit dem Grundwasserleiter	36
Tabelle 12: Ergebnisse der Kovarianzanalyse für den gesamten Modellraum	40
Tabelle 13: Kovarianzanalyse - Auswertungsbereich 1: Nahbereich Polder	41
Tabelle 14: Kovarianzanalyse - Auswertungsbereich 2: Ehem. Gelände BAYERNOIL Ingolstadt	43
Tabelle 15: Kovarianzanalyse - Auswertungsbereich 3: Westliches Stadtgebiet Ingolstadt	44
Tabelle 16: Kovarianzanalyse - Auswertungsbereich 6: Südöstlicher Modellraum (Flughafen Manching/Feilenmoos)	45
Tabelle 17: Kovarianzanalyse - Auswertungsbereich 7: Östlicher Modellraum (Vohburg)	45
Tabelle 18: Kanalnetz Manching – gemessene Fremdwassermengen (Mittelwerte)	57

Anlagen

Stationäres Grundwassermodell

- 1 Modellraum
- 2 Gegenüberstellung gemessener und berechneter Grundwasserstände; Stationäre Kalibrierung Stichtag 19.04.2016 - Ausgangsfall
 - 2.1 Auswertungsbereiche und zugeordnete Grundwassermessstellen
 - 2.2 Tabellarische Darstellung - Ausgangsfall
 - 2.3 Grafische Darstellung - Ausgangsfall
- 3 Gegenüberstellung gemessener und berechneter Grundwasserstände; Stationäre Kalibrierung Stichtag 19.04.2016 - Endzustand
 - 3.1 Tabellarische Darstellung - Endzustand
 - 3.2 Grafische Darstellung - Endzustand
 - 3.3 Gemessene und berechnete Grundwassergleichen
- 4 Endverteilung Modellparameter
 - 4.1 Untergrunddurchlässigkeiten im quartären Grundwasserleiter
 - 4.2 Gewässeraustauschraten - Endverteilung
 - 4.3 Gegenüberstellung gemessener und berechneter Gewässeraustauschraten
- 5 Sensitivitätsanalyse
 - 5.1 Sensitivitätsanalyse kf-Werte, Berechnete Grundwasserspiegeldifferenzen
 - 5.1.1 Faktor 1/10
 - 5.1.2 Faktor 1/5
 - 5.1.3 Faktor 5
 - 5.1.4 Faktor 10
 - 5.2 Sensitivitätsanalyse Durchlässigkeit Gewässersohlen, Berechnete Grundwasserspiegeldifferenzen
 - 5.2.1 Faktor 1/10
 - 5.2.2 Faktor 1/5
 - 5.2.3 Faktor 5
 - 5.2.4 Faktor 10
 - 5.3 Lageplan der bilanzierten Gewässerabschnitte
 - 5.4 Kovarianzanalyse - Kovarianzmatrix und Korrelationskoeffizienten

Instationäres Grundwassermodell

- 6 Lageplan instationäre Kalibrierung Hochwasser 2013 (HW2013)
- 7 Hochwasser 2013 - Gemessene Wasserstände an Oberflächengewässern
 - 7.1 Donau, Pegel Ingolstadt/ Pegel Vohburg, Gemessene Wasserstände (1/4-Stunden-Werte)
 - 7.2 Pegel an Brautlach, Sandrach und Paar, Gemessene Wasserstände (Stunden-Werte/Tageswerte)
 - 7.3 Pegel UNIPER, Gewässer Nahbereich geplanter Polder, Gemessene Wasserstände (3 Stunden-Werte)

- 8 Hochwasser 2013 - Gemessene Grundwasserstände
 - 8.1 Grundwassermessstellen westlicher und südwestlicher Modellraum
 - 8.2 Grundwassermessstellen nördlicher Modellraum
 - 8.3 Grundwassermessstellen östlicher Modellraum

- 9 Instationäre Kalibrierung für das HW 2013
Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände
 - 9.1 Hydrologische Schnittachse I - Stadtgebiet Ingolstadt (West)
 - 9.2 Hydrologische Schnittachse II - Stadtgebiet Ingolstadt (Ost)
 - 9.3 Hydrologische Schnittachse III - Westlicher Polderumgriff
 - 9.4 Hydrologische Schnittachse IV - Nahbereich Polder
 - 9.5 Hydrologische Schnittachse V - Östlicher Polderumgriff
 - 9.6 Hydrologische Schnittachse VI - Vohburg

- 10 Instationäre Kalibrierung HW 2013 - Grundwasserbilanz
 - 10.1 Bilanzierte Gewässerabschnitte - Lageplan
 - 10.2 Berechneter Austausch mit Oberflächengewässern
 - 10.3 Berechneter Austausch zwischen Grundwasser und AW-Kanalnetz in Ingolstadt

- 11 Endverteilung Modellparameter
 - 11.1 Nutzbarer Porenanteil
 - 11.2 Spezifischer Speicherkoeffizient

- 12 Instationäre Kalibrierung HW 2013 – Sensitivitätsanalyse spezifischer Speicherkoeffizient (specific storage), Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände
 - 12.1 Messstelle 01 05 0347
 - 12.2 Messstelle 01 05 0241
 - 12.3 Messstelle 3608_GWM82 (INKB)
 - 12.4 Messstelle 01 05 0227
 - 12.5 Messstelle Manching HWS B7
 - 12.6 Messstelle Manching HWS B6
 - 12.7 Messstelle Manching HWS B3
 - 12.8 Messstelle 01 05 0259
 - 12.9 Messstelle WESTENHAUSEN 135

Verwendete Unterlagen

- [1] Björnsen Beratende Ingenieure GmbH, Koblenz (Niederlassung Augsburg)
Flutpolder Großmehring - Grundwassermodell
Teil 1: Hydrogeologisches Modell (Datenstand: Mai 2017)
August 2017
(Auftraggeber: Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt)
- [2] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW)
Technische Regel - Arbeitsblatt: DVGW W 107 (A)
Aufbau und Anwendung numerischer Grundwassermodelle in Wassergewinnungs-
gebieten
2016
- [3] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München
Grundwassermodell Ingolstadt - Erläuterungsbericht
2007
Verfasser: ISAR CONSULT – Ingenieurbüro für Wasserwirtschaft GmbH
- [4] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München
Grundwassermodell Malm Ingolstadt – Erläuterungsbericht
1997
Verfasser: ISAR CONSULT – Ingenieurbüro für Wasserwirtschaft GmbH
- [5] Protokolle nachfolgender Besprechungen
 - 27.10.2016
 - 22.02.2017
 - 16.05.2017

Abkürzungsverzeichnis

2d-Berechnung	Zweidimensionale hydrotechnische Berechnung
‰	Promille
%	Prozent
Δh	Höhendifferenz-/unterschied
Abw.	Abwasser
AG	Auftraggeber
BCE	Björnsen Beratende Ingenieure GmbH
BHQ	Bemessungshochwasser
Bgm.	Bürgermeister
BY	Bayern
EZG	Einzugsgebiet
FFH	Fauna-Flora-Habitat
Fl.km	Flusskilometer
FNP	Flächennutzungsplan
Gode.	Gemeinde
GEP	Gewässerentwicklungsplan
ggf.	gegebenenfalls
GW	Grundwasser
GWL	Grundwasserleiter
HW	Hochwasser
HWS	Hochwasserschutz
INKB	Ingolstädter Kommunalbetriebe AöR
KA	Kläranlage
km	Kilometer
Klar.	Landkreis
m	Meter
M	Maßstab
min	Minute
mm	Millimeter
mNN	Meter über Normal Null
Q	Abfluss
rd.	rund
TEG	Teileinzugsgebiet
WKA	Wasserkraftanlage
WSG	Wasserschutzgebiet
WSP	Wasserspiegel
WWA	Wasserwirtschaftsamt

1 Aufbau des numerischen Grundwassermodells

Das numerische Modell wurde entsprechend den Vorgaben des Hydrogeologischen Modells (HGM [1]) aufgebaut. Die Ausdehnung des Modellraumes (rd. 132 km²) ist aus Anlage 1 ersichtlich. Entsprechend den Vorgaben des WWA Ingolstadt wurde das Grundwassermodell in der Modellumgebung FEFLOW (Version 6.2) aufgebaut.

Die stationäre und instationäre Kalibrierung des Grundwassermodells wurde in folgenden Schritten durchgeführt:

- Stationäre Anpassung an die Stichtagsmessung vom 19. April 2016 (Kap. 2.1)
- Sensitivitätsanalyse (Kap.2.2)
- Kovarianzanalyse (Kap. 2.3)
- Instationäre Anpassung an das Hochwasserereignis im Juni 2013 (Kap. 2.4)

1.1 Modellgeometrie

Das numerische Grundwassermodell wurde für den in [1] abgeleiteten Modellraum aufgebaut (Anlage 1).

Modellränder

Die äußeren Modellränder wurden gemäß den Festlegungen im HGM [1] und unter Berücksichtigung der in FEFLOW definierbaren Randbedingungen wie folgt festgelegt:

- Modellgrenze im Norden: auf Höhe der Staustufe Vohburg (zwischen ca. Fl.km 2459+200 bis Fl.km 2442+800) und im Unterwasser der Staustufe Vohburg (Fl.km 2459+000 bis 2451+200) bildet über eine Länge von rd. 16 km die Donau den nördlichen Modellrand. Dieser wird dort als Transfer-Randbedingung (Randbedingung 3. Art/ Cauchy Randbedingung) definiert.

Entlang der Schmalwand im rechten Rückstaudamm der Staustufe Vohburg (Fl.km 2444+100 bis ca. Fl.km 2451+150), welche den Austausch zwischen Donau und Grundwasser weitgehend unterbindet, es wurde dort daher eine Noflow-Randbedingung gewählt.

- Modellgrenze im Nordwesten: Ausgangsfall stationäre Kalibrierung: Kein Zufluss entlang der Grundwasser-Trennstromlinie (Noflow-Randbedingung).

- Modellgrenze im Westen bei IN-Zuchering:
Zufluss-Randbedingung/Grundwassergleiche (Randbedingung 2. Art/ Neumann-Bedingung). Grundwasserzufluss abgeleitet aus geohydraulischen Parametern (Aquifermächtigkeit, Grundwassergefälle und Untergrunddurchlässigkeit): 70 l/s
- Modellgrenze im Südwesten südlich IN-Zuchering: Noflow. Kein Grundwasseraustausch über die Grundwasser-Trennstromlinie hinweg.
- Modellgrenze im Süden (Zufluss im Quartär)
Zufluss-Randbedingung. Grundwasserzufluss im Quartär abgeleitet aus geohydraulischen Parametern (Paartal) bzw. abgeleitet aus Grundwasserneubildung im jeweils zugehörigen orohydrografischen EZG.
 - Westlich Paar (EZG Brautlach): 480 l/s
 - Paartal: 48 l/s
 - Östlich Paar (EZG Riedelmoosgraben/Kühpicklgraben): 42 l/s
- Modellgrenze im Südosten:
Zufluss-Randbedingung. Grundwasserzufluss im Quartär abgeleitet aus Grundwasserneubildung im zugehörigen orohydrografischen EZG: 6 l/s
- Modellgrenze im Osten: Ilm/Kleine Donau als Transferrandbedingung (3. Art/Cauchy Randbedingung) mit den am Stichtag am 19. April 2016 gemessenen Wasserspiegeln als Referenzpotential.
- Modellgrenze im Nordosten (Vohburg): Grundwasserabstrom.
Abgeleitet aus geohydraulischen Parametern: -2 l/s

Vertikale Gliederung

Die Abbildung der im HGM ermittelten Stratigraphie erfolgt mit einem Grundwasserleiter (s. Abbildung 2). Die vertikale Gliederung des Modellraumes erfolgt entsprechend dem HGM [1] wie folgt:

- Modelloberkante: Unterkante der Deckschichten entsprechend Anlage 3.5 in [1]. Dort wo infolge der flächigen Interpolation Höhen der Deckschichtunterkanten [mNN] größer als die GOK [mNN] auftreten, erfolgte lokal eine Korrektur auf Grundlage des Höhenmodells DGM1 und den im Umfeld abgeleiteten Deckschichtmächtigkeiten.
- Modellunterkante: Basis des quartären GWL (Schichtgrenze Quartär/Tertiär) entsprechend Anlage 3.3 im HGM [1]. Die daraus resultierende Verteilung der grundwasserfüllten Aquifermächtigkeit im Quartär ist im HGM in Anlage 3.4 dargestellt.

Die Modellunterkante wird durch die Schichtgrenze zwischen Quartär und Tertiär gebildet (siehe auch schematische hydrogeologische Schnitte in Anlage 3.2.1 bis 3.2.3 in [1]).

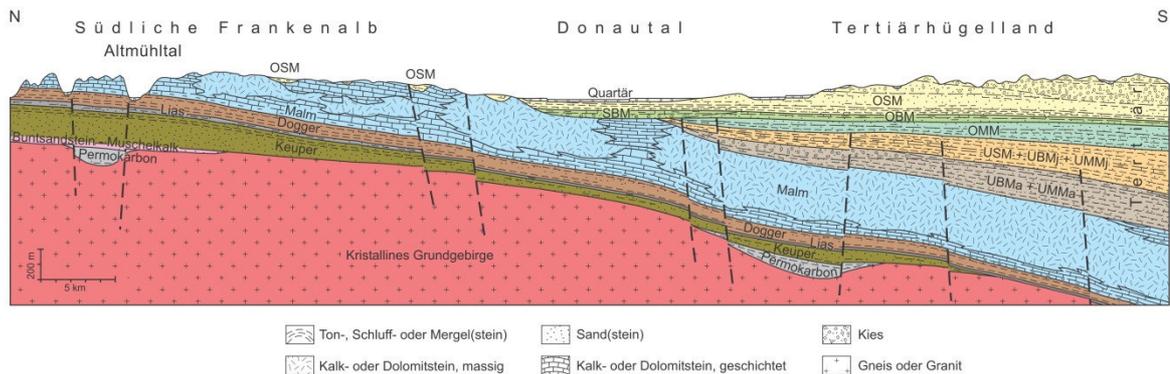


Abbildung 1: Hydrogeologischer Prinzipschnitt durch den Untersuchungsraum

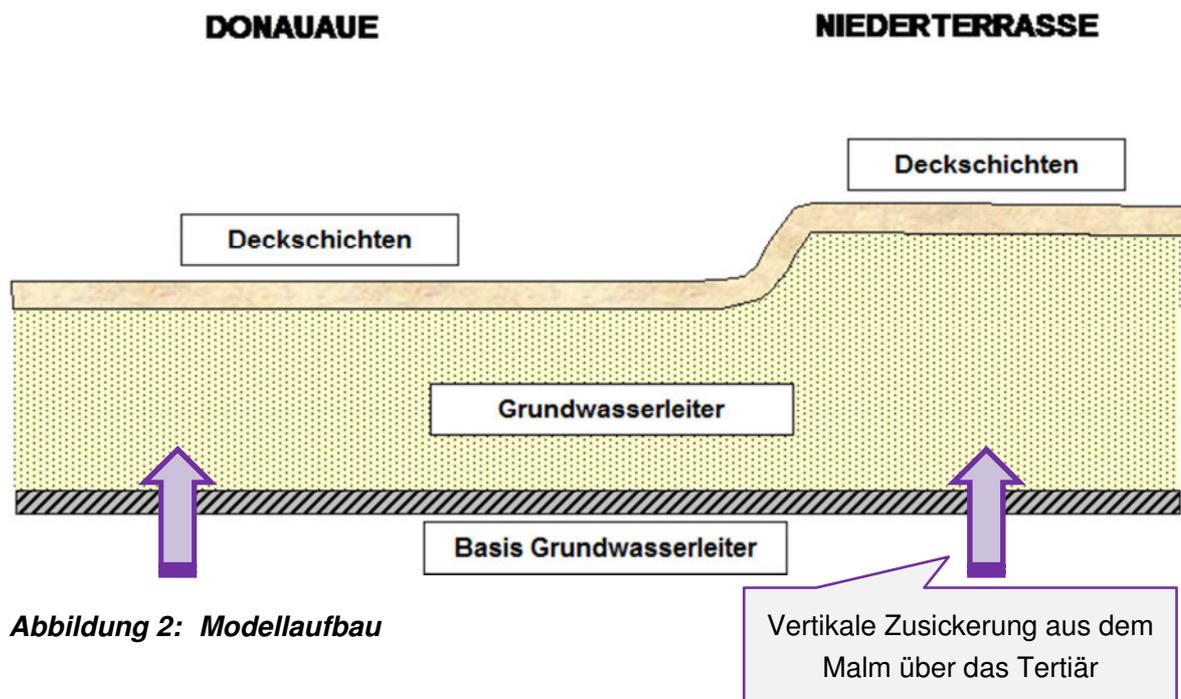


Abbildung 2: Modellaufbau

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wird das Tertiär als Grundwasserhemmer betrachtet. Der mögliche Grundwasseraustausch zwischen dem Quartär und dem tieferen Grundwasserstockwerk des Malms, der vertikal über das Tertiär erfolgt, wird durch eine im HGM abgeleitete räumlich differenzierte Zusickerung berücksichtigt.

Räumliche Auflösung des Modellraumes

Das Modellsystem FEFLOW ermöglicht durch die Finite-Elemente Methode (variable Verma- schung: Dreiecke, Vierecke) eine flexible Anpassung des Berechnungsnetzes an die aus grundwasserhydraulischer Sicht relevanten Strukturen und Geometrien innerhalb des Modell- raumes.

Die Netzgenerierung erfolgte mit dem Netzgenerator *Triangle*. Die Netzauflösung, beziehungsweise die Kantenlänge der finiten Elemente des Netzes, wird hauptsächlich durch den Richtwert für die angestrebte Gesamtanzahl der Elemente gesteuert, welcher vom Nutzer bestimmt wird. Zusätzlich lässt sich die Netzauflösung durch Polygonzüge im Modellraum variieren, um in Bereichen von großen Gradienten numerische Stabilität zu gewährleisten und um eine größere Auflösung der berechneten Grundwasserstände in relevanten Gebieten zu erreichen.

- Im Polder selbst und in einer Entfernung von bis zu ca. 100 m zur maximal geplanten Polderausdehnung beträgt die gewählte mittlere Kantenlänge der Elemente 2 m bis 10 m. Es liegt dort somit eine sehr hohe räumliche Auflösung vor.
- Im Radius von 100 bis 300 m um den geplanten Polderstandort wurde eine Netzauflösung zwischen 15 und 20 m gewählt.
- Am Rand des Modellraumes wurde ist eine Kantenlänge der Berechnungselemente von bis 50 m zugrunde gelegt.

Mit dieser Netzauflösung ergibt sich eine Gesamtanzahl von rd. 480.000 Modell-Elementen.

1.2 Randbedingungen

Für die stationäre Modellkalibrierung wurden die bei der Stichtagsmessung vom 19. April 2016 an den verfügbaren GWM gemessenen Grundwasserstände und der hieraus abgeleitete Grundwassergleichenplan (siehe [1], Anlage 5.1) heran gezogen.

Vor Beginn der Kalibrierung wurden, auf Basis der im HGM abgeleiteten Vorgaben, folgende Parameter für den Ausgangsfall festgelegt:

- Untergurnddurchlässigkeiten: Regionalisierte Verteilung im quartären GWL entsprechend Anlage 3.6 in [1]: Bandbreite: $1 \cdot 10^{-04}$ m/s bis $5 \cdot 10^{-02}$ m/s.
- Grundwasserneubildung (GWNB): Für das Jahr 2016 lagen keine geprüften Daten zur GWNB im Modellraum vor. Aus den Auswertungen zu den Halbjahressummen der Niederschläge geht hervor, dass in dem für die Stichtagsmessung vom 19. April 2016 maßgebenden Winterhalbjahr 2015/16 eine ähnliche Niederschlagssumme gemessen wurde, wie im Winterhalbjahr 2010/11 (rd. 300 mm).

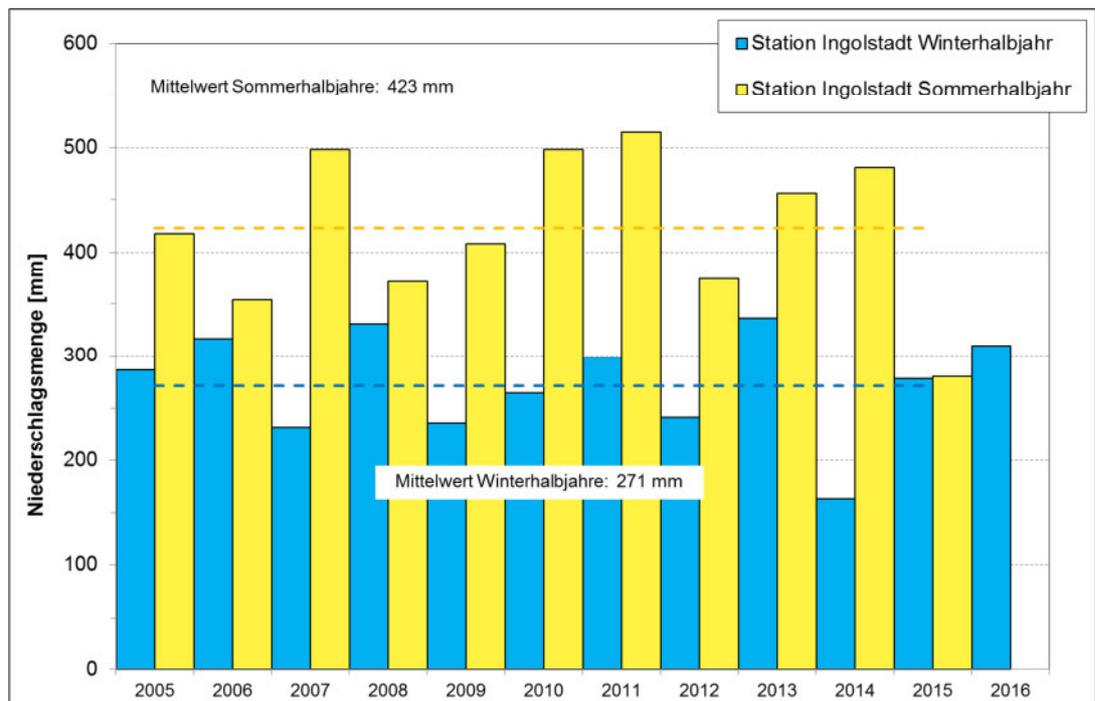


Abbildung 3: Niederschlagssummen für den Zeitraum WWJ 2005/15

Vor diesem Hintergrund wurde für die stationäre Kalibrierung am Stichtag 19. April 2016 - als näherungsweise Ansatz- die vom LfU berechnete mittlere Sickerwasserrate für die Monate März/April 2011 herangezogen. Für den Modellraum ergibt sich hiermit eine GWNB aus Niederschlag von 273 l/s. Dieser Wert liegt rd. 24% über der für das langjährige Mittel 2005/15 berechneten GWNB für den Modellraum (220 l/s). Der höhere Wert für das WHJ ist grundsätzlich plausibel, da am Ende des WHJ der Bodenspeicher aufgefüllt ist.

- Vertikale Zusickerung aus dem Malmaquifer: Räumliche Verteilung der Zusickerung aus dem tieferen gespannten Malmaquifer, entsprechend der Abschätzung im HGM ([1], Kap. 3.7.9): Gesamtzufluss: 12 l/s
- Gewässer: Umsetzung als Randbedingung 3. Art (Cauchy-Bedingung). Die Linienführung wurde ausgehend von den seitens WWA bereitgestellten shapes festgelegt. In Teilabschnitten erfolgten Detailanpassungen unter Verwendung weiterer Datenquellen (Nutzung aus ALKIS, DGM1, Orthofotos). Die Festlegung der Wasserspiegel erfolgte auf Grundlage der beim Stichtag 19. April 2016 gemessenen Wasserspiegellagen in den jeweiligen Gewässern, dargestellt in Anlage 5.1 in [1].

Der Austausch zwischen den linienhaften Oberflächengewässern und dem Grundwasser wird hierbei durch sogenannte Transferraten [1/s] definiert. Die Festlegung erfolgt differenziert in Abhängigkeit von der jeweiligen Austauschrichtung (In-/Exfiltration) auf

Grundlage der in Kap. 3.7.2.2 in [1] vorgenommenen Abschätzung der Leakage-Faktoren ($L = kf/d$, Durchlässigkeit der Gewässersohle).

Tabelle 1: Fließgewässer mit Unterteilung in ex- bzw. infiltrierende Gewässerabschnitte

Exfiltrierende Gewässer → $L = 1 \cdot 10^{-04}$ [1/s]	Infiltrierende Gewässer → $L = 1 \cdot 10^{-05}$ [1/s]
Donau im Unterwasser der Staustufe Ingolstadt und im UW der Staustufe Vohburg	Restliche Donau
Sandrach	Paar/ Paarkanal nördlich von Manching
Brautlach, inkl. Südliches Kanalsystem (Militärkanal, Hauptkanal, etc.)	Sandrach (linienhafter Ausbau parallel Bahndamm)
Paar südl. von Manching	Rechter Vorlandgraben
Westenhauser bzw. Irschinger Ach	
Wellenbach, inkl. südl. Gewässersystem	
Ilm/ Kleine Donau	
Lohgraben/ Franziskanergraben/ Alte Donau	
Rechter (R.) Binnenentwässerungsgraben	

- Austausch mit Kanalnetz Ingolstadt: Umsetzung als linienhafte Randbedingung 3. Art (Cauchy-Bedingung), Damit kann der Austausch zwischen dem AW-Kanalnetz und dem Grundwasser grundsätzlich sowohl effluent als auch influent definiert werden. Im vorliegenden Fall wurden die seitens Ingolstädter Kommunalbetriebe AöR (INKB) bereit gestellten Höhen der Kanalsohlen an den Schächten als mögliches Austrittsniveau für das Grundwasser (Potenzial) festgelegt. Zwischen den Schächten erfolgte eine lineare Interpolation der Höhen. Die Randbedingung wurde dabei mit der Beschränkung versehen, dass das Grundwasser nur in das Kanalnetz exfiltrieren kann, aber kein Wasser aus dem Kanalnetz in das Grundwasser infiltriert (d.h. nur effluente Beziehung zugelassen). Die Transferrate wurde als erste Annahme mit $1 \cdot 10^{-06}$ 1/s gewählt.

Der für den Stichtag 19.04.2016 ermittelte, räumlich differenzierte Fremdwasseranfall ist im HGM [1] in Anlage 6.5 dargestellt. Nach Mitteilung INKB wurde der Fremdwasseranfall auf Grundlage von Messdaten ermittelt, die bei Durchflussmessungen gewonnen wurden. Die Messdaten geben die tatsächlichen Infiltrationsraten in das Kanalnetz unter Berücksichtigung des Faktor q (Q_s in den Nachtstunden) und den im Einzugsgebiet angeschlossenen Einwohnern wieder. Seitens INKB wurde auch darauf hingewiesen, dass die Durchflussmessungen aufgrund einer vor dem Stichtag durchgeführten Neukalibrierung der Messgeräte mit Unsicherheiten behaftet sind (Abweichungen im Literbereich).

Für die innerhalb des hier betrachtenden Modellraumes gelegenen südlichen Stadtgebiete von Ingolstadt wurde von INKB am Stichtag 19.04.2016 ein Fremdwasseranfall von insgesamt ca. 90 l/s ermittelt.

Die für den Stichtag ermittelte Aussickerung aus dem Grundwasser in das AW-Kanalnetz wird im Rahmen der stationären Kalibrierung als Kalibrierungsgröße (Bilanz) mit berücksichtigt.

➤ Entnahmen aus Brunnen:

Förderung aus gewerblichen Brunnen (Betriebswasserbrunnen, Sanierungsbrunnen) als punktuelle Entnahmen entsprechend dem HGM mit einer Gesamtentnahme von rd. 90 l/s ([1], Kap. 3.7.5, Anlage 6.3.1). FEFLOW-Randbedingung: Senken-Term (Randbedingung 4. Art).

Entnahmen aus den landwirtschaftlichen Brunnen: im Modell vorerst nicht berücksichtigt. Die tatsächlichen Entnahmen sind nicht bekannt, mit einer wasserrechtlich genehmigten Gesamtentnahme von rd. 287.000 m³/a (rd. 10 l/s) im Modellraum stellen diese eine relativ geringe Größe in der Gesamtbilanz dar (S. Kap. 2.1.2.).

➤ Dauerhafte Grundwasserhaltungen in Kombination mit Untergrundabdichtungen

1. Hochwasserschutz Monikaviertel:

Für den Horizontalfilterbrunnen innerhalb der Schlitzwandumschließung im Siedlungsgebiet Monikaviertel (Preiserstraße) lagen für den Zeitpunkt der stationären Kalibrierung keine Entnahmedaten des Absenkungsbrunnens vor. Am 19. April 2016 wurden innerhalb der Umschließung Grundwasserstände zwischen 361,05 mNN und 361,25 mNN ermittelt.

Der Durchlässigkeitsbeiwert der Schlitzwand wurde entsprechend der Zusammenstellung im HGM [1] zunächst mit $k_f = 5 \cdot 10^{-07}$ m/s gewählt.

2. Schmalwand BAYERNOIL Vohburg

Entsprechend den mit WWA Ingolstadt und LfU Bayern getroffenen Abstimmungen [5] wurden

- die Dichtwandumschließung um das Gelände von Bayernoil Vohburg als hydraulisch dicht angenommen ($k_f = 1 \cdot 10^{-8}$ m/s),
- die Entnahmen aus den Brunnen BAYERNOIL innerhalb des Caissons selbst nicht berücksichtigt,
- der Grundwasserstand innerhalb des Caissons auf Grundlage der verfügbaren Grundwasserstände, an den innerhalb des Caissons gelegenen geeigneten GWM (DP 1i bis DPI 3i, 01 05 0293) mit rd. 354 mNN angesetzt (siehe auch HGM, Anlage 5.1).

Die innerhalb des Caissons wirksame vertikale Zusickerung aus dem Malm Karst (über das Tertiär) ergibt sich aus dem im HGM ([1], Kap. 3.7.8) abgeleiteten vertikalen Zufluss. Aufgrund der für den gesamten Modellraum mit 12 l/s als gering ermittelten Gesamt-Zusickerung aus dem Malm Karst, ist diese Zuflusskomponente innerhalb des Caissons voraussichtlich vernachlässigbar gering.

- Bauwerke und Anlagen (relevante Wechselwirkungen mit dem Grundwasser):
Dichtwände (Spundwände, Schmalwände) mit Einbindung in den Grundwasserhemmer (Basis Quartär) wurden als „dichte Wände“ ($k_f = 1 \cdot 10^{-8}$ m/s) berücksichtigt.

2 Modellkalibrierung

2.1 Stationäre Kalibrierung Stichtag 19. April 2016

Für die stationäre Modellkalibrierung wurden in Abstimmung mit LfU/WWA die Grundwasserstände der Stichtagsmessung vom 19. April 2016 verwendet. Alternativ wurde auch eine Kalibrierung an die mittleren Verhältnisse im Zeitraum WWJ2005/2015 diskutiert [5].

Entsprechend den Auswertungen im HGM [1] weichen die mittleren Grundwasserstände im Zeitraum WWJ 2005/15, an verfügbaren GWM mit langzeitigen Messreihen, um maximal $\pm 0,2$ m von den Messwerten der Stichtagsmessung im April 2016 ab. Die mittlere Differenz über alle 113 Messorte liegt bei $< 0,02$ m (Standardabweichung 0,07 m).

Die Messwerte der Stichtagsmessung (Grundwasserstände, an amtlichen Pegeln gemessene Abflüsse) spiegeln annähernd mittlere Verhältnisse wieder. Der am o.a. Stichtag erfasste Datenbestand (Grundwasserstände, Wasserspiegel Gewässer, Abflüsse an Gewässern) ist jedoch deutlich umfangreicher als der für die mittleren Verhältnisse im Zeitraum 2005/15 verfügbare Datenbestand.

2.1.1 Stationärer Ausgangsfall

Einen Gesamtüberblick über die im Rahmen der stationären Kalibrierung berücksichtigten Grundwassermessstellen (GWM) gibt Anlage 2.1, es wurden insgesamt 196 GWM erfasst. Zur übersichtlicheren Auswertung und Beurteilung der Kalibrierungsergebnisse wurde der Modellraum in 7 Auswertungsbereiche aufgeteilt. Die Anzahl der in den jeweiligen Auswertungsbereichen erfassten GWM ist aus Tabelle 2 ersichtlich.

Tabelle 2: Auswertungsbereiche der stationären Kalibrierung

Auswertungsbereiche	Anzahl GWM
Nahbereich Polder	25
Ehem. Gelände BAYERNOIL Ingolstadt	20
Westliches Stadtgebiet Ingolstadt	43
Westlicher Randzustrom	9
Südwestlicher Modellraum (Manching/Donaumoos)	52
Südöstlicher Modellraum (Flughafen Manching/Feilenmoos)	24
Östlicher Modellraum (Vohburg)	23
Gesamt	196

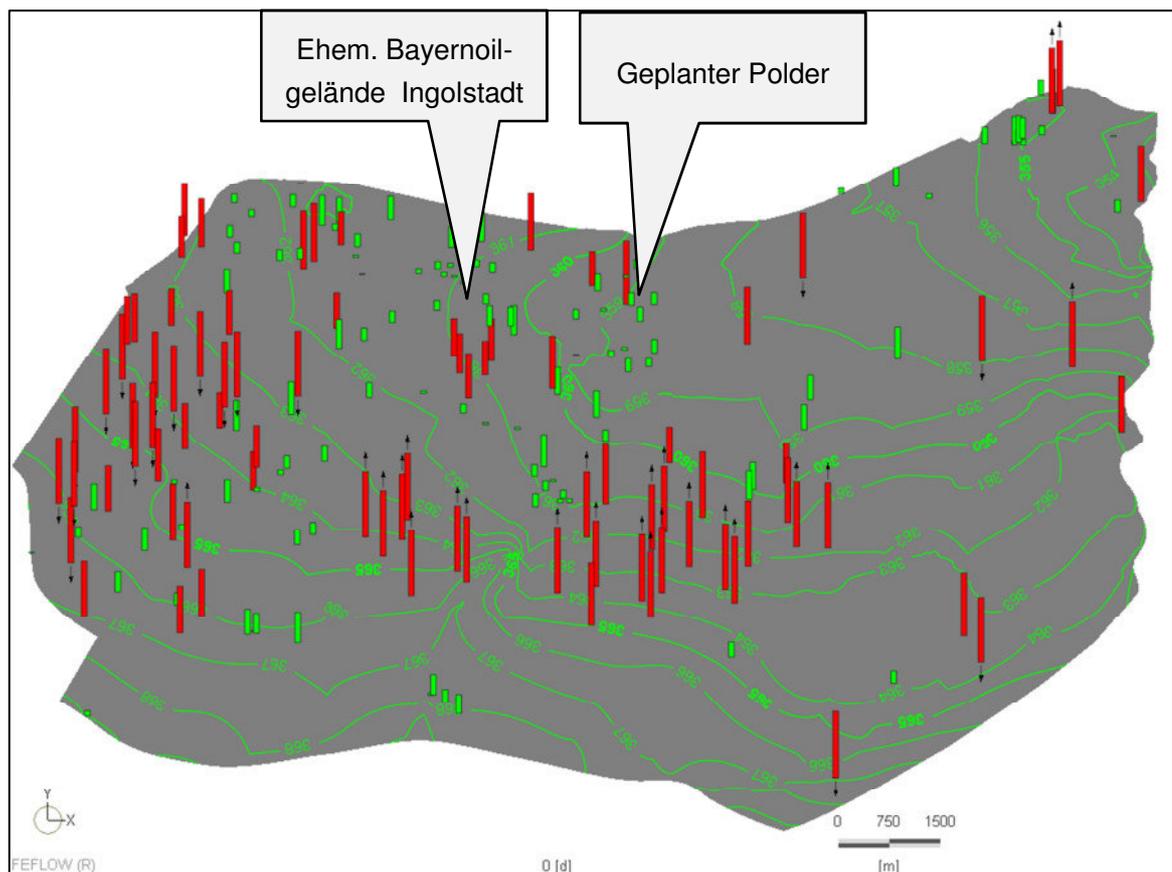


Abbildung 4: Räumliche Verteilung der Abweichungen zwischen berechneten und gemessenen Grundwasserständen im Ausgangsfall

Einen ersten orientierenden Überblick über das Ergebnis der stationären Anpassung im Ausgangsfall (Vorgaben HGM) gibt die direkt aus dem Grundwassermodell entnommene Grafik in Abbildung 4. Dort sind die an den einzelnen GWM ermittelten Abweichungen, zwischen berechnetem und gemessenem Grundwasserstand (Stichtag den 19. April 2016), als Balken dargestellt. Betragsmäßige Differenzen von $< 0,2$ m wurden als grüne Balken dargestellt, Differenzen $> 0,2$ m als rote Balken, wobei die Balkengröße (linear) proportional zur ermittelten Abweichung ist.

Zusammenhängende Bereiche mit Abweichungen $> \pm 0,2$ m sind vor allem am westlichen Modellrand, im Bereich des ehem. BAYERNOIL-Geländes in Ingolstadt (derzeit AUDI AG), westlich der Paar bei Manching und im Gebiet des Flughafens Manching festzustellen.

Die detaillierten zahlenmäßigen Ergebnisse für den Ausgangsfall sind in Anlage 2.2 und Anlage 2.3 zusammengestellt:

- Anlage 2.2 enthält eine tabellarische Auswertung der Kalibrierungsergebnisse für die einzelnen berücksichtigten GWM, untergliedert in 7 Gruppen, entsprechend den gewählten Auswertungsbereichen (Anlage 2.1). Dort wo die Differenz zwischen gemessenem und berechnetem Grundwasserstand mehr als $\pm 0,2$ m beträgt, wurde die ermittelte Differenz rot hinterlegt.
- In Anlage 2.3 sind die entsprechenden Ergebnisse grafisch veranschaulicht. Dargestellt ist für jede berücksichtigte GWM die Abweichung zwischen dem am o.a. Stichtag gemessenen Grundwasserstand und dem berechnetem Grundwasserstand (Residuum = Rest). Die dort erkennbare Beschriftung der einzelnen GWM entspricht der jeweiligen Lfd. Nr. der Auflistung in Anlage 2.2.

Insgesamt ergibt sich hieraus, dass bereits im Ausgangsfall an einer großen Anzahl von Messstellen (111 GWM, d.h. 57% der betrachteten GWM), die Abweichung bei $\leq \pm 0,2$ m liegt. Abweichungen größer $\pm 0,5$ m werden an 36 GWM (rd. 18% der betrachteten GWM) ermittelt.

Die nachfolgende detaillierte Beschreibung der Ergebnisse orientiert sich an der aus Anlage 2.1 ersichtlichen Gruppierung der insgesamt 196 betrachteten GWM zu 7 Auswertungsbereichen. Insgesamt ist für die Ergebnisse des Ausgangsfall festzustellen:

- Innerhalb des Polders und im Poldernahbereich besteht mit den im HGM abgeleiteten Vorgaben für das numerische Grundwassermodell bereits eine gute Übereinstimmung zwischen den berechneten Grundwasserständen und den Messwerten. Die Abweichungen liegen überwiegend bei $\leq \pm 0,1$ m, insgesamt ergibt sich eine mittlere absolute Differenz von 0,13 m. Größere Abweichungen von über 0,25 m bis 0,4 m werden nur

an einige wenigen Standorten, z.B. an GWM 01 05 0229, 01 05 0255, und 4023_WMP7 (INKB) ermittelt.

- Im Bereich des ehem. Geländes der BAYERNOIL in Ingolstadt ergeben sich zwischen Berechnung und Messung überwiegend Abweichungen $\leq \pm 0,15$ m, die mittlere absolute Abweichung liegt bei 0,12 m. Größere Abweichungen von 0,21 m bis 0,27 m wurden an 5 im südlichen Zustrom zum ehem. Raffineriegelände gelegenen GWM ermittelt (2726_GWM1, 3070_GWM4, 3071_GWM5, 3608_GWM82, 4029_GWM80a).
- Im westlichen Stadtgebiet von Ingolstadt liegt die Abweichung an ca. der Hälfte der dort 43 berücksichtigten GWM bei $\leq 0,2$ m. An den anderen GWM bewegen sich die Abweichungen zwischen -0,32 m und 0,64 m, die mittlere absolute Abweichung liegt bei 0,22 m. Dies ist vermutlich auf die räumlich sehr differenzierte Ausgangsverteilung der Untergrundkennwerte (k_f -Werte) in diesem Bereich zurück zu führen.
- Größere Abweichungen wurden für den am westlichen Modellrand, auf Höhe des Stadtteiles IN-Zuchering, gelegenen Auswertungsbereich „Westlicher Zustrom“ ermittelt. Dieser Bereich umfasst nur 9 GWM, er wurde aufgrund der festgestellten Auffälligkeit als gesonderte Gruppe festgelegt. Bis auf die GWM 1992_B19 liegt an allen dort betrachteten GWM die Abweichung bei $\geq 0,25$ m, die mittlere absolute Abweichung beträgt 0,8 m. Diese weist darauf hin, dass in diesem Bereich möglicherweise zusätzliche Einflüsse zum Tragen kommen, die über den Modellrand hinausreichen. Die in diesem Bereich gewählten Randbedingungen sind im Rahmen der Kalibrierung zu überprüfen (Noflow-Randbedingung, Austausch mit dem AW-Kanalnetz).
- Im südwestlichen Auswertungsbereich (Donaumoos/Manching), der mit 52 erfassten GWM die größte Gruppe bildet, wurden an ca. 2/3 der GWM Abweichungen zwischen Berechnung und Messung von $\leq \pm 0,2$ m ermittelt. Insgesamt liegt dort somit schon eine gute Kalibrierung vor. Auffallend große absolute Abweichungen sind jedoch mit rd. 2,8 m – 3,0 m im Gebiet des Wasserschutzgebietes bei Manching (828_P4, 3800_B22GWM, Lage siehe 2.1) festzustellen. Größere Abweichungen von rd. 0,8 m - 1,2 m ergeben sich auch noch an den westlich davon gelegenen GWM: PICHL 126B, 3798_B16, 1310_P7 und 4027_Nr.9 bei Niederstimm und Pichl. An diesen 6 Standorten fallen die berechneten Grundwasserstände alle höher aus als die Messwerte. Die mittlere absolute Abweichung für alle 52 GWM wurde zu 0,32 m ermittelt.
- Im südöstlichen Modellraum (Flughafen Manching/Feilenmoos) wurden nur an 4 (4024_Nr.2, BAUMANNSHOF 138, BGW 1_Kiesabbau_Braun) der 24 berücksichtigten GWM Abweichungen $< 0,2$ m ermittelt. An fast allen anderen GWM liegen die berechneten Grundwasserstände um rd. 0,25 m bis zu rd. 1,5 m höher als die Messwerte. An den beiden am östlichen Rand des Feilenmooses gelegenen GWM der Fa. Reisinger liegen die berechneten Grundwasserstände um rd. 0,4 m bis 0,9 m tiefer als die Messwerte. Die mittlere absolute Abweichung beträgt 0,68 m.

- Im östlichen Modellraum (Vohburg) wurden die Ergebnisse für 25 GWM ausgewertet. An rd. 2/3 dieser GWM liegt die Abweichung berechnet/gemessen bei $\leq 0,2$ m. Die mittlere absolute Abweichung beträgt dort 0,25 m. Somit liegt für dieses Gebiet insgesamt bereits eine relativ gute Kalibrierung vor.

Die größten Differenzen wurden an den nahe zum Caisson von BAYERNOIL Vohburg gelegenen GWM *VOB GWM DP 5a* mit rd. 1,5 m und an *VOB GWM DP 4a* mit rd. 0,6 m, ermittelt. Nach den vorliegenden Angaben befinden sich beide GWM außerhalb des Caissons, nahe zur Paar. An der GWM *VOB DP GWM 4i*, die sich innerhalb des Caissons befinden soll, beträgt die Abweichung rd. 0,3 m. An allen drei GWM liegen die berechneten Grundwasserstände zu hoch.

Insgesamt ist festzustellen, dass - mit Ausnahme der o.a. zusammenhängenden Regionen mit Abweichungen $> \pm 0,2$ m - für den Ausgangsfall bereits eine relativ gute Modellkalibrierung vorliegt. Aus den Ergebnissen für den Ausgangsfall ergeben sich folgende Schlussfolgerungen für das weitere Vorgehen:

- Innerhalb des Polders und im Poldernahbereich: Bereits gute Kalibrierung, Klärung möglicher Ursachen für die an wenigen GWM festgestellten Abweichungen $> 0,2$ m (ggf. Kalibrierung Untergrundkennwerte in wiederverfüllten Auskiesungsflächen, Überprüfung Vorflutsituation: Austauschraten der Gewässer).
- Die auf dem ehem. Gelände Bayernoil Ingolstadt festgestellten Abweichungen stehen womöglich im Zusammenhang mit den dort seit April 2015 bestehenden hydraulischen Sanierungsmaßnahmen. Die geplante Entnahme aus den 4 Sanierungsbrunnen wurde seitens WWA Ingolstadt mit 100 m³/h angegeben. Die dort während der Stichtagsmessung vom April 2016 tatsächlich getätigten Entnahmen lagen jedoch nicht vor.
- Im westlichen Stadtgebiet von Ingolstadt: Anpassung der Untergrunddurchlässigkeiten unter Berücksichtigung der hydrogeologischen Gegebenheiten und differenzierte Betrachtung der Fremdwassereinflüsse, um so die Abweichungen zu verringern.
- Im „Westlichen Zustrom“ bei IN-Zuchering: Überprüfung der dort angenommen Randzuflüsse und der Wechselwirkung zwischen Grundwasser und Kanalnetz. Beide Einflussgrößen werden im Laufe der stationären Kalibrierung innerhalb plausibler Bandbreiten angepasst.
- Im südwestlichen Auswertungsbereich (Donaumoos/Manching): Überprüfung der Ursachen für die relativ kleinräumigen Auffälligkeiten im Nahbereich des WSG Manching und bei Pichl und Niederstimm. Schrittweises Vorgehen: Erhöhung der Untergrundkennwerte, ggf. Kalibrierung der Austauschraten an der benachbarten Paar (aus dem Grundwassergleichenplan der Stichtagsmessung vom April 2016 in Anlage 5.1 in [1] ergeben sich deutliche Hinweise auf eine Infiltration von Paarwasser in das Grundwasser).

- Im südöstlichen Modellraum (Flughafen Manching/Feilenmoos): schrittweise Kalibrierung der Untergrunddurchlässigkeiten im Auswertungsbereich und Überprüfung und ggf. Kalibrierung der Vorflut Austauschraten zum Riedelmoosgraben und zum Kühpicklgraben incl. zulaufende Gräben).

2.1.2 Stationärer Endzustand

Entsprechend den in Kap. 2.1 beschriebenen Abweichungen, wurden im Prozess der stationären Kalibrierung die nachstehend erläuterten Bearbeitungsschritte zur Verbesserung der Berechnungsergebnisse durchgeführt. Diese untergliederten sich teilweise in weitere Teilschritte mit systematischer Annäherung an den Endzustand.

Die im Rahmen der stationären Kalibrierung gegenüber der Ausgangsverteilung vorgenommenen Anpassungen der Modellparameter und Randbedingungen in den 7 Auswertungsbereichen sind nachstehend im Einzelnen erläutert.

A) Regionale Anpassung

Untergrunddurchlässigkeiten

Die differenzierte Ausgangsverteilung im Stadtgebiet Ingolstadt wurde unter Berücksichtigung der hydrogeologischen Gegebenheiten angepasst. Entsprechend der Zugehörigkeit zu den quartären Sedimenten im Ingolstädter Becken wurde auch dort zunächst eine pauschale Durchlässigkeit von $k_f = 5 \cdot 10^{-03}$ m/s angenommen (Anlage 4.1).

B) Bereichsweise Anpassungen

Innerhalb des Polders und im Poldernahbereich:

- *Gewässeraustauschraten:*
 - Erhöhung der Austauschrate am Franziskanergraben von $1 \cdot 10^{-4}$ 1/s auf rd. $2,5 \cdot 10^{-4}$ 1/s
 - Erhöhung der Austauschrate am Rechten Vorlandgraben von $1 \cdot 10^{-5}$ 1/s auf $5 \cdot 10^{-4}$ 1/s
- *Untergrunddurchlässigkeiten (k_f -Werte):*
 - Erhöhung der Untergrunddurchlässigkeit der wiederverfüllten Fläche bei GWM 4023_WMP7 von $k_f = 1 \cdot 10^{-4}$ m/s auf den Umgebungswert von $k_f = 5 \cdot 10^{-3}$ m/s

Westliches Stadtgebiet von Ingolstadt:

- Verringerung der Austauschraten entlang der Donau in folgenden Abschnitten mit dominierender Infiltration aus dem Gewässer in das Grundwasser (Sohle teildurchlässig):
 - Donauabschnitt unterhalb der Staustufe Ingolstadt bis zur Konrad-Adenauer-Brücke (Fl.km 2459+200 bis Fl.km 2458+000): $5 \cdot 10^{-4}$ 1/s \rightarrow $1 \cdot 10^{-5}$ 1/s

- Abschnitt „Donauknie“ bis zur Schillerbrücke (Fl.km 2458+000 bis Fl.km 2456+700):
 $5 \cdot 10^{-3} \text{ 1/s} \rightarrow 1 \cdot 10^{-4} \text{ 1/s}$
- Verringerung der Austauschrate des Lohgrabens auf $1 \cdot 10^{-5} \text{ 1/s}$, da auf Grund seines kanalartigen Ausbaus mit Betonsohlschalen nur wenig Austausch mit dem umliegenden Grundwassers stattfindet.
- *Hochwasserschutz Monikaviertel*
Die innerhalb der Umschließung gemessenen Grundwasserstände von rd. 361,1 mNN bis 361,3 mNN konnten mit einer Entnahme von rd. 0,3 l/s abgebildet werden. Im Rahmen der Bemessung des Hori-Brunnens (siehe [1], Kap. 3.7.4) wurde die Bandbreite der erforderlichen Förderraten zu rd. 1 l/s bis rd. 32 l/s ermittelt. Es wird die Verifizierung der ermittelten Förderrate empfohlen.

„Westlicher Zustrom“ bei IN-Zuchering:

- Veränderung der Randbedingung am westlichen Modellrand: Zusätzliche Festlegung eines Randzustroms in den Modellraum von 40 l/s (siehe Anlage 1).
- Reduzierung der Austauschraten im AW-Kanalnetz bei Zuchering von $1 \cdot 10^{-6} \text{ 1/s}$ auf $5 \cdot 10^{-7} \text{ 1/s}$, um die seitens INKB in diesem hydraulischen Teil-Einzugsgebiet (S-A3) am Stichtag gemessene Aussickerung nicht zu überschreiten.

Ehem. Gelände BAYERNOIL Ingolstadt:

- *Gewässeraustauschraten:*
 - Erhöhung der Gewässer-Austauschraten am Franziskanerwasser von $1 \cdot 10^{-4} \text{ 1/s}$ auf rd. $2,5 \cdot 10^{-4} \text{ 1/s}$
- *Untergrunddurchlässigkeiten (k_f -Werte):*
 - Erhöhung der Untergrunddurchlässigkeiten von $5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ auf $1 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$.

Im südwestlichen Auswertungsbereich (Donaumoos/Manching):

- *Untergrunddurchlässigkeiten (k_f -Werte):*

Erhöhung der Untergrunddurchlässigkeiten:

- im Gebiet des Flughafens Manching sowie westlich davon bis Oberstimm von $5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ auf sehr hohe Leitfähigkeiten zwischen $1 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$ bis $3 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$.

Dort werden verbreitet sehr durchlässige alt- bis mittelholozäne Flussschotter angetroffen, die oberflächennah bereichsweise von Flussschottern der Nieder- bis Spätglazialterrasse überlagert werden (siehe HGM [1], Anlage 2.2).

Verringerung der Untergrunddurchlässigkeiten:

- im südlichen Schwemmfächer bei Baar-Ebenhausen (siehe Anlage 4.1 und [1] Anlage 2.2) von $9 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ auf $6 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$

- im Donaumoos von $5 \cdot 10^{-3}$ m/s auf Werte von $3 \cdot 10^{-3}$ m/s bzw. $1 \cdot 10^{-3}$ m/s, da nach Süden die Anteile der tertiären Sedimente innerhalb des Quartärs zunehmen wodurch die hydraulische Leitfähigkeit im quartären Aquifer abnimmt.

Anpassung der Untergrunddurchlässigkeiten an mehreren Seen von $k_f = 1$ m/s (\cong offene Grundwasserblenke) auf niedrigere Werte von $k_f = 3 \cdot 10^{-3}$ m/s bis $1 \cdot 10^{-2}$ m/s. Hierdurch werden Hinweise auf teildurchlässige Seesohlen bzw. einer nicht vollständigen Auskiesung bis zur Basis des Quartärs berücksichtigt.

➤ *Gewässeraustauschraten:*

Abschnittsweise Anpassung an Paar und Paarkanal:

- Verringerung der Austauschrate im südlichen Abschnitt des Paarkanals (Ebenhausen-Werk) von $7,5 \cdot 10^{-5}$ 1/s auf $1 \cdot 10^{-6}$ 1/s.
- Erhöhung der Austauschrate im Bereich des Zusammenflusses von Paarkanal und Paar auf Höhe der Ortslage Pichl von $7,5 \cdot 10^{-5}$ 1/s auf $1 \cdot 10^{-4}$ 1/s (die Abflussmessungen am Stichtag weisen dort auf starke Infiltrationen aus dem Gewässer in das Grundwasser hin)
- Verringerung der Austauschrate im Oberwasser der Stauhaltung an der WKA in Manching (Kraus Walter Wasserkraftwerk, Mahlst.) von $7,5 \cdot 10^{-5}$ 1/s auf $1 \cdot 10^{-7}$ 1/s.
- Erhöhung der Austauschrate an der Paar nördlich Manching von $7,5 \cdot 10^{-5}$ 1/s auf $5 \cdot 10^{-4}$ 1/s (Paar ist dort Vorfluter für das Grundwasser)

Abschnittsweise Anpassung der Gewässeraustauschraten an weiteren Oberflächengewässern:

- Erhöhung der Austauschrate an der Paar nördlich Manching von $7,5 \cdot 10^{-5}$ 1/s auf $5 \cdot 10^{-4}$ 1/s (Paar ist dort Vorfluter für das Grundwasser)
- Brautlach ab der Einmündung des Militärkanals: Erhöhung von $2,5 \cdot 10^{-4}$ 1/s \rightarrow $5 \cdot 10^{-4}$ 1/s
- Von Oberstrom zufließende Gräben und Kanäle im Oberstimmer Moos: Verringerung von $2,5 \cdot 10^{-4}$ 1/s \rightarrow $1 \cdot 10^{-6}$ 1/s

Südöstlicher Modellraum (Flughafen Manching/Feilenmoos):

➤ *Untergrunddurchlässigkeiten (k_f -Werte):*

- Regionale geringe Reduzierung der Untergrunddurchlässigkeit (k_f -Werte) von $5 \cdot 10^{-3}$ m/s auf $4 \cdot 10^{-3}$ m/s (oberflächennah werden Ablagerungen von Flusssand angetroffen).
- Erhöhung der Untergrunddurchlässigkeit im Bereich des Flughafens Manching und östlich davon bis Knodorf/ Ernsgaden und weiter bis Rockolding von $5 \cdot 10^{-3}$ m/s auf sehr hohe Leitfähigkeiten zwischen $1 \cdot 10^{-2}$ m/s bis $3 \cdot 10^{-2}$ m/s (siehe Anlage 4.1).

➤ *Gewässeraustauschraten/ Randbedingung Gewässer:*

Abschnittsweise Anpassung der Gewässeraustauschraten an Riedelmoos- und Kühpicklgraben:

- Verringern der Austauschraten an den entwässernden Abschnitte von $1,25 \cdot 10^{-4}$ 1/s auf $2 \cdot 10^{-5}$ 1/s. Hierdurch wird erreicht, dass die Austauschmengen in den jeweiligen Gewässerabschnitten annähernd den aus den Abflussmessungen der Stichtagsmessung abgeleiteten Abflussänderungen entsprechen (rd. 120 l/s)
- Herabsetzen der Austauschraten in den im Flughafenbereich verrohrten Grabenabschnitte von $1,25 \cdot 10^{-4}$ 1/s auf $5 \cdot 10^{-6}$ 1/s.

Korrektur der im Ausgangsfall gewählten linearen Interpolation der Wasserspiegel (WSP) am Riedelmoos- und Kühpicklgraben im Gebiet des Flughafens Manching.

- Die Anpassung erfolgte mit den bei der Stichtagsmessung im April 2016 eingemessenen Sohlpunkten und WSP bei zusätzlicher Berücksichtigung der aus dem DGM vorliegenden Höhen auf der Grabentrasse, sowie den seitens AIRBUS im März 2017 zusätzlich bereitgestellten Vermessungsdaten für Teilabschnitte der Grabentrasse.

Östlicher Modellraum (Vohburg):

➤ *Untergrunddurchlässigkeiten (k_f -Werte):*

- Bereichsweise Erhöhung der Untergrunddurchlässigkeiten (k_f -Werte) von $5 \cdot 10^{-3}$ m/s auf Werte zwischen $1 \cdot 10^{-2}$ m/s bis $3 \cdot 10^{-2}$ m/s, begründet in den sehr durchlässigen alt- bis mittelholozänen Flussschottern, welche aus Anlage 2.2 in [1] ersichtlich sind.

➤ *Gewässeraustauschraten:*

- Erhöhung der Austauschraten am Rechten Vorlandgraben von $1 \cdot 10^{-5}$ 1/s auf $1 \cdot 10^{-4}$ 1/s
- Verringerung der Austauschraten an der Ilm von $8,5 \cdot 10^{-4}$ 1/s auf $2 \cdot 10^{-4}$ 1/s

Einen Überblick über das im Modellraum erreichte Kalibrierungsergebnis für den Endzustand gibt Abbildung 5. Insgesamt ist bereits hieraus eine gute und gegenüber dem Ausgangsfall weiter verbesserte stationäre Kalibrierung zu erkennen. An 165 GWM, d.h. 84% der betrachteten GWM beträgt die Abweichung berechnet/gemessen weniger als $\pm 0,2$ m. Abweichungen größer $\pm 0,5$ m werden nur noch an 4 GWM ermittelt (rd. 2% der betrachteten GWM).

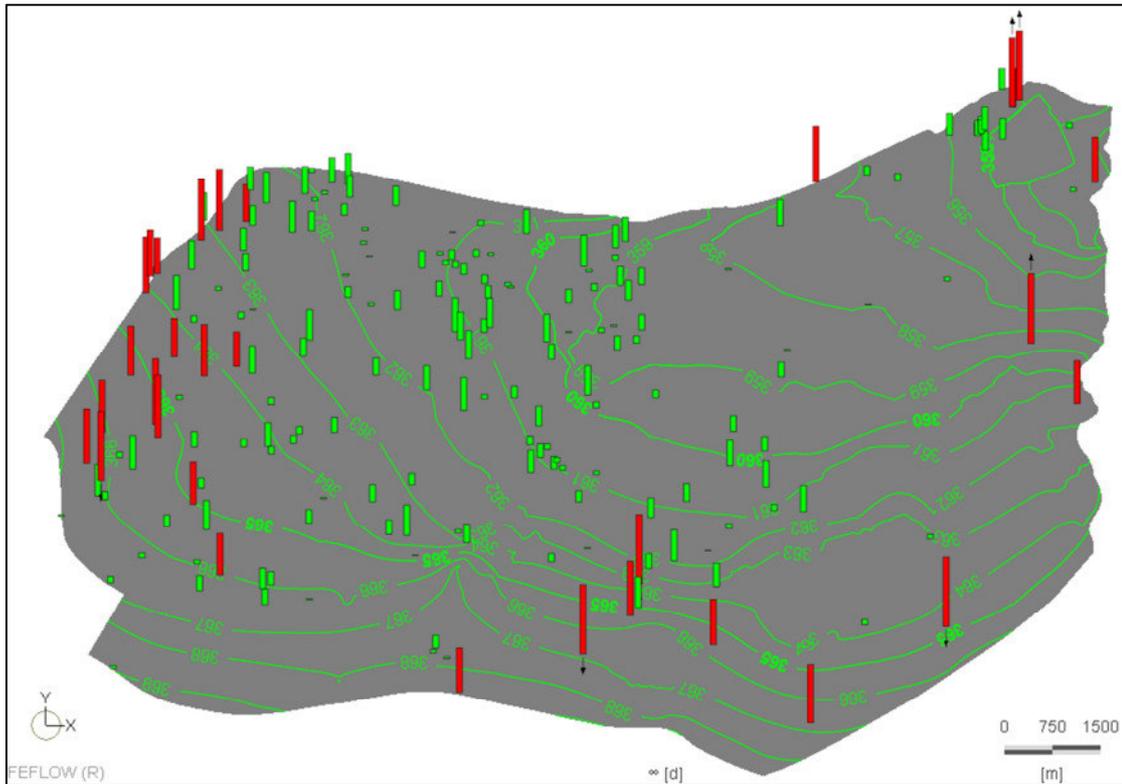


Abbildung 5: Räumliche Verteilung der Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Grundwasserständen im Endzustand

Die gegenüber dem Ausgangsfall erreichte Verbesserung ist auch aus dem Vergleich maßgebender Kalibrierungsergebnisse in Tabelle 3 ersichtlich.

Tabelle 3: Vergleich Endzustand/Ausgangsfall - stationäre Kalibrierung

Kriterium	Ausgangsfall	Endzustand
Minimale Differenz [m]	-2,97	-0,61
Maximale Differenz [m]	1,16	0,57
Anzahl GWM > 0,2 m	85	31
Prozent GWM > 0,2 m	43 %	16 %
Mittlere Absolute Abweichung	0,31	0,12
Standardabweichung	0,42	0,11

Die detaillierten Ergebnisse der Kalibrierung für den Endzustand sind wie folgt dokumentiert:

- in Anlage 3.1 als tabellarische Gegenüberstellung von gemessenen und berechneten Grundwasserständen für jede einzelne berücksichtigte GWM, untergliedert entsprechend den in 7 Auswertungsbereichen erfassten Gruppen.

- in Anlage 3.2 als entsprechende grafische Veranschaulichung. Dargestellt ist für jede berücksichtigte GWM die Abweichung zwischen dem am o.a. Stichtag gemessenen Grundwasserstand und dem berechnetem Grundwasserstand (Residuum = Rest).
- in Anlage 3.3 in einer Gegenüberstellung von gemessenen und berechneten Grundwassergleichen für den quartären GWL.

Die auf Grundlage der durchgeführten Anpassungen für den Endzustand ermittelten Parameterverteilungen sind wie folgt dokumentiert:

- Anlage 4.1: Untergrunddurchlässigkeiten (k_f -Werte) - Endverteilung
- Anlage 4.2: Gewässeraustauschraten - Endverteilung

Die Ergebnisse der stationären Anpassung werden nachstehend, differenziert nach den 7 betrachteten Auswertungsbereichen, erläutert:

Nahbereich Polder:

- Innerhalb und im Nahbereich des geplanten Polders wurde die mittlere absolute Abweichung zu 0,08 m ermittelt. Im Zentrum des geplanten Polders liegen die Abweichungen überwiegend unter 0,10 m (Anlage 3.1).
- Die größten Abweichungen werden dort mit 0,14 m bis 0,18 m an den drei UNIPER GWM 01 05 0243, 01 05 0351 und 01 05 0425 festgestellt, welche sich zwischen dem Rechten (R.) Vorlandgraben und dem Rechten (R.) Binnenentwässerungsgraben bzw. nahe zur Donau befinden (Lageplan in Anlage 2.1). Die Grundwasserstände an diesen GWM werden durch die Interaktion mit dem Wasserspiegel am R. Binnenentwässerungsgraben und dem R. Vorlandgraben beeinflusst.

Die Wasserspiegel an diesen Gewässern wurden auf Grundlage der Einmessungen am Stichtag 19.04.2016 (Sohlpunkte/Wasserspiegel) und der vorliegenden WSP-Messungen an den Pegeln festgelegt. Zwischen den Messpunkten/-stationen wurde der WSP linear interpoliert. Ggf. vorhandene abschnittsweise Veränderungen im Fließgefälle der Gräben werden hierdurch nicht erfasst. Diese können eine mögliche Ursache für die festgestellten, relativ geringen Abweichungen zwischen berechnetem Grundwasserstand und gemessenen Wert sein.

- Die GWM 4023_WMP7 mit einer Abweichung berechnet/gemessen von 0,16 m liegt am Rande einer wiederverfüllten Auskiesungsfläche. Vermutlich bestehen lokale Einflüsse durch das wiederverfüllte Material, dessen Durchlässigkeit nicht bekannt ist (Annahme $k_f = 5 \cdot 10^{-04}$ m/s, siehe Anlage 4.1).
- Die GWM P1 liegt direkt neben dem zur Kieswäsche betriebenen Brunnen, dessen Förderbetrieb nicht bekannt ist. Dort liegt die ermittelte Abweichung berechnet/ gemessen bei 0,17 m.

Ehem. Gelände BAYERNOIL Ingolstadt:

- Die Abweichungen zwischen berechnetem Grundwasserstand und den am Stichtag ermittelten Messwerten liegen im nordwestlichen Teil des ehem. Werksgeländes überwiegend unter 0,10 m, die mittlere absolute Abweichung wurde zu 0,06 m ermittelt (Anlage 3.1). Die Grundwasserstände im donauseitigen Zustrom und im westlichen Zustrom aus dem Stadtgebiet Ingolstadt werden somit gut abgebildet.
- Südlich der dort seit 2015 in Betrieb befindlichen hydraulischen Sanierungsmaßnahme liegen die berechneten Grundwasserstände rd. 0,16 m bis 0,19 m niedriger als die jeweiligen Messwerte der Stichtagsmessung.

Auf Grundlage der seitens AUDI im Februar 2017 ergänzend bereit gestellten Daten ergibt sich für den Zeitraum der Stichtagsmessung 2016 aus den 4 Sanierungsbrunnen eine Gesamtentnahme von 75 m³/h, diese wurde entsprechend im Modell angesetzt. Die seitens INKB gemessene Aussickerung von Grundwasser in diesem Teil-Einzugsgebiet (S-A1 Ost, siehe Anlage 4.3) wurde am Stichtag zu 52 l/s ermittelt. Die dort berechnete Exfiltration liegt mit rd. 48 l/s in gleicher Größenordnung.

Westliches Stadtgebiet von Ingolstadt:

- An den rd. 40 GWM im westlichen Stadtgebiet beträgt die Abweichung berechnet/ gemessen überwiegend weniger als 0,1 – 0,2 m, die mittlere absolute Abweichung wurde zu 0,13 m ermittelt (Anlage 3.1).
- Lediglich an den 6 GWM der Ingolstädter Kommunalbetriebe (INKB) 631_In24, 3430_GWM3, 2378_Haun-D, 2379_Haun-E und 870_B3 sowie der GWM 01 04 0021 von UNIPER, die sich nahe zur Donau, im Unterwasser der Ingolstädter Staustufe befinden, liegen die berechneten Werte um 0,21 m bis 0,36 m zu hoch.

Diesbezüglich erfolgte auch ein Abgleich mit den seitens INKB im März 2017 zur Verfügung gestellten Ergebnissen aus dem Grundwassermodell von INKB, welches über den westlichen Modellrand der vorliegenden Untersuchung hinausreicht. Am Modellrand bei Ingolstadt-Haunwöhr ist bereichsweise ein steileres Grundwassergefälle erkennbar (Anlage 3.3), dies konnte seitens BCE auf Grundlage der für dieses Gebiet verfügbaren Daten (Hydrogeologie, AW-Kanalnetz,...) nicht nachvollzogen werden.

Die dort festgestellten Abweichungen sind aufgrund der weiten Entfernung zum betrachteten Standort des geplanten Polders für die vorliegende Untersuchung von untergeordneter Bedeutung. Dies auch vor dem Hintergrund, dass die Güte der Kalibrierung im Stadtgebiet nach Osten deutlich zunimmt sowie der im zentralen Stadtgebiet von Ingolstadt richtigen Wiedergabe der Grundwasserströmung (Gefälle und Richtung, siehe Anlage 3.3) und der guten Nachbildung der Austauschmengen zwischen dem Grundwasser und dem AW-Kanalnetz von INKB (siehe Tabelle 5, Seite 23).

- An der GWM 1036 (INKB) beträgt die Abweichung berechnet/gemessen -0,3 m. An der südlich davon gelegenen GWM 638_In31 jedoch nur 0,03 m. Wie auch die GWM 2718_RKS8/GWP1 (Abweichung -0,22 m) liegt die GWM 1036 im Stadtgebiet in unmittelbarer Nähe zu einem AW-Kanal. Die im Stadtgebiet kleinräumig stark variierenden Abweichungen im Kalibrierungsergebnis weisen darauf hin, dass dort nicht genauer erfassbare Einflüsse aus der lokalen Interaktion AW-Kanal/Grundwasser vorliegen. Insgesamt ist auch dort eine in der Größenordnung gute Nachbildung der gemessenen Grundwasserstände durch die stationäre Kalibrierung festzustellen.

„Westlicher Zustrom“ bei IN-Zuchering:

- Im Bereich des westlichen Zustroms wurde die gemessene Aussickerung von Grundwasser in das Kanalnetz mit 8,7 l/s in der Größenordnung gut abgebildet (Messung Stichtag im Teileinzugsgebiet S-B3: 9,8 l/s). An acht der dort ausgewählten neun GWM liegen die gemessenen Grundwasserstände um rd. 0,2 m bis 0,5 m niedriger als die Messwerte.
- Im Rahmen der Kalibrierung wurde daher dort statt der ursprünglich gewählten Noflow-Randbedingung eine Zuflussrandbedingung mit schrittweiser Anpassung eines Zuflusses von bis zu 40 l/s definiert. Trotzdem konnte die Abweichung berechnet/gemessenen nicht auf weniger als 0,2 m reduziert werden.

Möglicherweise tragen dort über den Modellrand hinausreichende Einflüsse aus dem westlich angrenzenden Einzugsgebiet der Trinkwassergewinnung Buschletten (außerhalb Modellraum), mit den dort auch im Quartär verfilterten Förderbrunnen, zu diesen Abweichungen bei. Aufgrund der Lage dieser GWM am westlichen Modellrand und der weiten Entfernung von > 6 km zum Untersuchungsschwerpunkt (geplanter Flutpolder Großmehring) werden diese Abweichungen als hinnehmbar angesehen.

Südwestlicher Modellraum (Donaumoos/Manching):

- Die gemessenen Grundwasserstände in diesem Bereich konnten gut nachgebildet werden. Die mittlere Abweichung liegt bei 0,08 m, die größten berechneten Abweichungen gemessen/berechnet liegen bei rd. $\pm 0,25$ m. Die berechneten Grundwassergleichen geben die aus den Messwerten abgeleiteten Grundwassergleichen gut wieder (Anlage 3.3).
- An der GWM 2422 liegt der berechnete Grundwasserstand 0,14 m niedriger als der Messwert am Stichtag. Diese GWM liegt neben einem ehemaligen Altwasser (Lohe), sowie einem Strang des AW-Kanalnetzes. Entsprechendes trifft auf die nahe zur Sandrach und ebenfalls im Einflussbereich eines Kanalstranges gelegene GWM 140_PB2 zu (berechneter GW-Stand um 0,24 m höher als Messwert). Diese Abweichungen sind vermutlich auf die genannten lokalen Einflüsse zurückzuführen.

- An den beiden INKB-Messstellen GWM 3994_B16 (Ebenhausen) und 4006_GWM9 (Oberstimm/Markt Manching) werden Abweichungen von 0,24 m bis 0,26 m ermittelt. Beide Standorte befinden sich nahe zum Modellrand und damit in einer Entfernung von ca. 4 – 6 km vom geplanten Polderstandort. Vor diesem Hintergrund sind die festgestellten Abweichungen von untergeordneter Bedeutung. Die gemessenen Grundwassergleichen in diesen Gebieten werden hinsichtlich Gefälle und Strömungsrichtung richtig wieder gegeben (s. Anlage 3.3).

Südöstlicher Modellraum (Flughafen Manching/Feilenmoos):

- Die mittlere absolute Differenz zwischen berechneten und gemessenen Grundwasserständen liegt in diesem Auswertungsbereich bei 0,17 m (s. Anlage 3.1). Die berechneten Grundwassergleichen werden hinsichtlich Höhenlage und Gefälle in der Größenordnung richtig wieder gegeben (s. Gleichenplan in Anlage 3.3).
- An einigen wenigen GWM werden größere Abweichungen zwischen Berechnung und Messwert der Stichtagsmessung von rd. 0,3 m bis rd. 0,6 m ermittelt (BwDLZ-GWP-04, EADS-GWP-01, EADS-GWP-02), wobei der berechnete Grundwasserstand zu niedrig ausfällt. Kleinräumig im Dezimeterbereich abweichende Grundwasserstände können in einem Grundwassermodell nicht plausibel abgebildet werden. Die kleinräumig stark variierenden Messwerte weisen auf lokale Einflüsse im Umfeld dieser GWM hin (z.B. Entwässerung Flughafen Manching mit lokalen Einleitungen in den Riedelmoosgraben sowie Versickerung über Rigolen Systeme). Angaben über Einleitungsmengen an diesen Einleitungsstellen lagen nicht vor. Die berechneten Grundwassergleichen geben die wesentlichen Strömungsmerkmale (Gefälle, Richtung) im Bereich des Flughafens Manching richtig wieder (Anlage 3.3).
- An der südöstlichen Grenze des Modellraumes ergeben sich an den drei vorhandenen GWM (BGW 1 und BGW 2 Kiesabbau Braun, P 9 Reisinger) Abweichungen zwischen 0,04 m und 0,47 m. Dort überlagern sich Einflüsse der großflächigen Baggerseen (Feilenmoos), des verzweigten Grabensystems und der südöstlichen Randzuflüsse. Der Verlauf der aus den Messwerten abgeleiteten Grundwassergleichen für den Stichtag wird durch die Berechnung in den wesentlichen Charakteristiken richtig wieder gegeben (Anlage 3.3). Aufgrund der Lage dieser GWM am südöstlichen Modellrand sind die vereinzelt festgestellten größeren Abweichungen für die vorliegende Untersuchung von untergeordneter Bedeutung.

Östlicher Modellraum (Vohburg):

- Die mittlere absolute Abweichung in diesem Bereich liegt bei 0,16 m. Die berechneten Grundwassergleichen geben die aus den Messwerten abgeleiteten Grundwassergleichen gut wieder (Anlage 3.3). Die am nördlichen Rand des Werksgeländes von BAYERNOIL Vohburg gelegene Messstelle DP 5a wurde bei der abschließenden

Auswertung nicht berücksichtigt, da sich diese Messstelle innerhalb des Caissons zwischen 2 Schmalwänden befindet (siehe [1] HGM, Kap. 3.7.4).

- An 6 der 22 berücksichtigten GWM im östlichen Modellraum wird eine Abweichung zwischen berechnetem Grundwasserstand und Messwert von mehr als 0,20 m ermittelt. Entlang des östlichen Modellrandes werden Abweichungen von 0,25 m bis 0,57 m ermittelt (GWM ILMENDORF 140A, MITTL.DONAU NEU, Vohburg-Rockolding, Bahnhof, B.2 (1989)). Angesichts der Lage dieser GWM am Modellrand und damit in größerer Entfernung zum geplanten Polderstandort (> 5 km), sowie der guten Anpassung an den nordwestlich davon gelegenen und damit näher am geplanten Polderstandort befindlichen GWM, sind diese Abweichungen von untergeordneter Bedeutung.
- Die GWM 01 05 0415 wird durch den Wasserspiegel am benachbarten R. Vorlandgraben beeinflusst. Der Wasserspiegel im R. Vorlandgraben wurde auf Grundlage vorliegenden Einmessungen am Stichtag (Sohlpunkte/Wasserspiegel) und der WSP-Messungen am Pegel 01 05 0123 und 01 05 0129 festgelegt. Zwischen den Messpunkten/-stationen wurde der WSP linear interpoliert. Abschnittsweise Veränderungen im Fließgefälle können eine mögliche Ursache für die festgestellte Abweichung von rd. 0,3 m sein.

Die Grundwasserbilanz für die stationäre Kalibrierung ist aus Tabelle 4 ersichtlich.

Tabelle 4: Bilanzgrößen für den Modellraum

Bilanzgrößen quartärer Grundwasserleiter	Zufluss [l/s]	Abfluss [l/s]	Summe [l/s]
Grundwasserneubildung aus Niederschlag (Zusickerung /Verdunstung)	349	-76	273
Vertikale Zusickerung aus dem Malm Karst (über das Tertiär)	12	0	12
Westlicher Randzustrom	110	0	110
Randzustrom aus den südlichen orohydro- grafischen EZG	624	0	630
Südlicher Randzustrom aus dem Paartal im Quartär	43	0	43
Nordöstlicher Randabstrom	0	-1	-1
Gewässer	2329	-3.262	-933
Gewerbliche Entnahmen	0	-16	-16
Entnahmen Sanierung ehem. BAYERNOIL (Ingolstadt)	0	-21	-21
Aussickerung in das Kanalnetz	0	-91	-91
Summe	3.467	-3.467	0

Hinsichtlich der Gesamtbilanz, die im Bericht zum HGM [1] aufgestellt wurde, ergeben sich folgenden Veränderungen:

- Höhere Grundwasserneubildung (rd. +50 l/s) gegenüber dem Mittelwert im Zeitraum 2005/15 (220 l/s), da die stationäre Kalibrierung für einen Zeitpunkt am Ende des WHJ 2016 mit gesättigtem Bodenspeicher stattfindet.
- Höherer Zufluss am westlichen Modellrand, da dort abschnittsweise statt einer Noflow-Randbedingung eine Zuflussrandbedingung hinzugefügt wurde (+ 40 l/s).
- Insgesamt ergeben sich deutlich geringere Austauschmengen zwischen dem Grundwasser und den Oberflächengewässern (Infiltration/Exfiltration) als im HGM [1] abgeschätzt. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die im Rahmen der Erstellung des HGM ermittelten Austauschmengen auf Grundlage der bei der Stichtagsmessung durchgeführten Abflussmessungen für verschiedene Gewässerabschnitte abgeleitet wurden. In der Bilanz des Modells wird jedoch der gesamte Austausch entlang aller Gewässer im Modellraum berechnet.

Die stationäre Kalibrierung ergibt sowohl eine geringere Infiltration aus den Gewässern in das Grundwasser, als auch eine geringere Exfiltration aus dem Grundwasser, als im HGM abgeschätzt. Allerdings entspricht die Nettobilanz der stationären Kalibrierung (Infiltration abzüglich Exfiltration) mit rd. -930 l/s in der Größenordnung der Abschätzung im Rahmen des HGM (rd. -780 l/s).

- Die mit dem Modell berechnete Aussickerung von Grundwasser in das Ingolstädter Kanalnetz bildet mit insgesamt 91,3 l/s den am Stichtag gemessenen Austausch von 91,5 l/s sehr gut ab. Die Abweichung zwischen dem beim Stichtag 19.04.2016 gemessenem gesamten Fremdwasseranfall und der berechneten Aussickerung in das AW-Kanalnetz innerhalb des Modellraumes liegt mit -0,2 l/s bei weniger als 1%.

Tabelle 5: Gemessene und berechnete Fremdwasseranteile

Hydraulische (Teil-) Einzugsgebiete	Fremdwasseranteil		Differenz berechnet zu gemessen [l/s]
	von INKB gemessen [l/s]	berechnet [l/s]	
S-B1	1,2	0,5	-0,7
S-A3	4	5,6	1,6
S-A2	4,8	4,6	-0,2
S-B2	7,2	11,8	4,6
S-B3	9,8	8,7	-1,1
S-A1 West	12,5	11,9	-0,6
S-A1 Ost	52	48,2	-3,8
Gesamtes Kanalnetz im Modellraum	91,5	91,3	-0,2

Die für die einzelnen Teil-Einzugsgebiete jeweils gemessenen und berechneten Aussickerungsraten sind in Tabelle 5 gegenüber gestellt. Die Differenzen zwischen den gemessenen bzw. berechneten Werten fallen überwiegend gering aus (< 2 l/s). In den hydraulische Einzugsgebieten mit dem größtem Fremdwasseranteil (S-A1 West, S-A1 Ost) liegt die prozentuale Abweichung zwischen berechnetem Wert und gemessener Aussickerung bei $< 8\%$.

Grundwasser/Oberflächengewässer- Differenzierung nach Gewässer

Zur Beurteilung der Austauschmengen und der Austauschrichtung (Infiltration/Exfiltration) zwischen dem Grundwasser und den Oberflächengewässern wurden im Rahmen der am 19.04.2016 durchgeführten Stichtagsmessung auch Abflussmessungen an ausgewählten Messstationen durchgeführt ([1], Kap. 3.7.2). Bei der Auswertung ergaben sich Fragen zur Plausibilität einzelner Messwerte. Vor diesem Hintergrund wurde vom WWA Ingolstadt am 15.03.2017 an 11 ausgewählten Standorten eine Wiederholung der Abflussmessung durchgeführt. Die Ergebnisse wurden im HGM ([1], Anlage 5.2) ergänzt, einen Überblick über die Ergebnisse der beiden Messungen gibt Tabelle 6.

Tabelle 6: Abflussmessung Stichtag April 2016 und Nachmessung März 2017

Abfluss- messstation	Gewässer	Gemessener Abfluss ca. [m ³ /s]		Differenz [m ³ /s]
		Stichtagsmes- sung 19.04.2016	Nachmessung 15.03.2017	
PAAR3	Paar, Paar- werkskanal	9,64	6,619	-3,021
PAAR, Manching/ Ort	Paar	7,19	7,371	0,181
PAAR, Manching/ Bahnbrücke	Paar	9,5	9,735	0,235
PAAR9, bei Groß- mehringener Brücke	Paar	11,638	10,703	-0,935
FRANZ	Franziskaner- graben	0,112	0,083	-0,029
AD1	Alte Donau	0,380	0,073	-0,307
AD3	Alte Donau	0,229	0,205	-0,024
BINN1	R. Binnenent- wässerungs- graben	0,084	0,119	0,035

- An der Paar (Pegel Manching Ort und Manching/Bahnbrücke) liegt die Differenz der ermittelten Abflüsse zwischen den beiden Messungen von 2016/17 bei $< 3\%$, die Abflüsse liegen damit in gleicher Größenordnung und geben an der Paar im betrachteten Abschnitt zu beiden Zeitpunkten annähernd mittlere Abflüsse wieder. Vor diesem Hintergrund erscheint an der Station PAAR3 die Messung vom März 2017 plausibler, als der über 45% höhere Wert von 2016.

An der Station PAAR9 (Paar auf Höhe der Großmehringer Brücke) beträgt die Differenz zwischen beiden Messungen $< 9\%$, mit einem um rd. $0,94 \text{ m}^3/\text{s}$ geringeren Abfluss bei der Messung in 2017. Insgesamt erscheint der Zunahme der Abflüsse an der PAAR vom Pegel Manching /Bahnbrücke bis PAAR9 um rd. $0,97 \text{ m}^3/\text{s}$ bei der Messung im März 2017 immer noch hoch, zumal die Gesamt-Zuflüsse aus R. Binnenentwässerungsgraben und der Alten Donau im März 2017 ähnlich hoch ausfallen (gesamt $0,324 \text{ m}^3/\text{s}$) wie bei der Stichtagsmessung in 2016 (gesamt $0,313 \text{ m}^3/\text{s}$).

- Bei der Beurteilung der Abflüsse und Abflussänderungen an der Alten Donau wurden die Messwerte am Franziskanergraben und an der Mündung der Alten Donau in die Paar berücksichtigt (AD3). Die Messwerte an der Station AD1 (Pegel P2, Fa. Radmer) wurden aufgrund der örtlichen Verhältnisse (Rohrdurchlass, geringe Fließgeschwindigkeiten: $v = 0,08 - 0,22 \text{ m/s}$) abstimmungsgemäß als nicht vertrauenswürdig eingestuft.

Bei der Bewertung der Messergebnisse ist zu berücksichtigen, dass - wie alle Messverfahren - auch Abflussmessungen mit einer Messabweichung behaftet sind. Für die eingesetzten Geräte werden von den Herstellern entsprechende Angaben zur Messgenauigkeit gemacht (Genauigkeit: $\pm 1 - 2 \%$ vom Messwert, $v: \pm 0,5 \text{ cm/s}$). Darüber hinaus können sich die am Messprofil bestehenden natürlichen Verhältnisse auf die Ergebnisse auswirken und zu einer weiteren Erhöhung der Messabweichung gegenüber dem tatsächlichen Abfluss beitragen. (z.B.: stark variierende hydraulische Bedingungen infolge Bewuchs, Auflandungen, etc.).

Bei den teilweise hohen Abflüssen wie z.B. an der Paar, von rd. $7 \text{ m}^3/\text{s}$ bis zu $15 \text{ m}^3/\text{s}$, ist somit allein von messungsbedingten Abweichungen von rd. $\pm 70 \text{ l/s}$ bis rd. $\pm 300 \text{ l/s}$ auszugehen. Durch die Abflussmessungen wird somit im Wesentlichen die Größenordnung der zu erwartenden Austauschmengen wieder gegeben.

Eine Gegenüberstellung der aus den Abflussmessungen für verschiedene Gewässerabschnitte abgeleiteten Austauschmengen zwischen Grundwasser und Gewässer, sowie den im stationären Modell entsprechend berechneten Austauschmengen, befindet sich in Anlage 4.3. Für die nahe zum geplanten Polderstandort gelegenen Gewässer ergeben sich folgende Feststellungen und Empfehlungen:

- Alte Donau: In der westlichen Schleife der Alten Donau, zwischen Franziskanergraben und der Abflussmessung an der Station AD3 (Mündung in die Paar), weisen sowohl

die Abflussmessungen am Stichtag, als auch die Ergebnisse der Modellberechnung, erwartungsgemäß auf eine Exfiltration von Grundwasser in die Alte Donau hin. Bei den Messungen vom April 2016 und März 2016 wurde an der Station AD3 ein Gesamtabfluss von rd. 230 l/s bzw. 205 l/s ermittelt.

Mit dem Grundwassermodell wird eine Gesamt-Exfiltration in die Alte Donau (zwischen Station Franziskanergraben und AD3) von rd. 320 l/s ermittelt. Die berechnete Austauschmenge fällt somit höher aus, als die aus den Abflussmessungen abgeleitete Austauschrate, liegt aber in der gleichen Größenordnung. Der Vorflutwirkung der Alten Donau kommt im Hinblick auf die mit dem Grundwassermodell geplanten Prognoseberechnungen (Planung Flutpolder) eine besondere Bedeutung zu.

- Rechter (R.) Binnenentwässerungsgraben: Der R. Binnenentwässerungsgraben wird vollständig aus Grundwasser gespeist. Die Abflussverhältnisse am R. Binnenentwässerungsgraben sind durch geringe Fließgeschwindigkeiten ($v = 0,04 - 0,14$ m/s) und verkrautete Abflussprofile gekennzeichnet. Bei den beiden Abflussmessungen von 2016/17 wurden an der Einmündung in die Paar (Siel) Abflüsse zwischen rd. 80 l/s und rd. 120 l/s ermittelt. Bei der stationären Kalibrierung wurde eine Aussickerung von rd. 160 l/s berechnet. Vor diesem Hintergrund kann von einer ähnlichen Größenordnung der gemessenen und berechneten Austauschmengen ausgegangen werden.
- Rechter Vorlandgraben: Am R. Vorlandgraben ergibt sich aus dem Abflussmessungen am Stichtag 19.04.2016 zwischen den Messstationen VORE1 und VORE6 eine Zusi-ckerung in das Grundwasser von rd. 220 l/s. Bei den Berechnungen mit dem Grundwassermodell wurden für den gleichen Abschnitt rd. 450 l/s bilanziert. Bei der Bewertung ist zu berücksichtigen, dass die gemessenen Abflüsse in einer Größenordnung von $3,5 \text{ m}^3/\text{s} - 3,8 \text{ m}^3/\text{s}$ liegen. Eine Messabweichung von 5% entspricht einem Wert von 175 l/s – 190 l/s. Die berechneten Austauschraten stimmen somit sowohl hinsichtlich der Austauschrichtung, als auch hinsichtlich der Größenordnung überein.
- Paar: An der Paar lag der Abfluss im Modellraum am Stichtag 19.04.2016 bei rd. $9,7 \text{ m}^3/\text{s}$ auf Höhe von Baar-Ebenhausen und bei rd. $14,7 \text{ m}^3/\text{s}$ auf Höhe der Staustufe Vohburg (siehe [1], Anlage 5.2). Zwischen den einzelnen Abflussmessstationen wurden abschnittsweise auffällig hohe Austauschmengen ermittelt. Dies betrifft insbesondere den Abschnitt zwischen der Messstation PAAR3 (am Zusammenfluss von Paar und Paarkanal südlich von Manching) und dem amtlichen Pegel *Manching Ort* in Manching/Ortsmitte. Bei der Stichtagsmessung nimmt der Abfluss auf dieser ca. 2,5 km langen Strecke um rd. $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ab (von rd. $9,7 \text{ m}^3/\text{s}$ auf rd. $7,2 \text{ m}^3/\text{s}$). Hieraus ergibt sich eine entsprechend hohe Infiltration aus dem Oberflächengewässer in das Grundwasser. Aus der Nachmessung vom März 2017 ergab sich zwischen den beiden Standorten eine Zunahme des Abflusses in der Paar um rd. $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$ (von rd. $6,6 \text{ m}^3/\text{s}$ auf rd. $7,4 \text{ m}^3/\text{s}$) bis zum Pegel Manching/Bahnbrücke und damit eine Aussickerung aus dem Grundwasser in das Oberflächengewässer. Zwischen PAAR3 und Man-

ching/Bahnbrücke wird eine Gesamtaussickerung aus dem Grundwasser in die Paar von rd. 1,2 m³/s ermittelt. Auch dieser Wert erscheint vor der Gesamtbilanz im Modellraum (rd. 3,5 m³/s) und den zu erwartenden Auswirkungen auf die Grundwasserstände weiterhin deutlich zu hoch. Die sehr hohe Austauschrate kann im Grundwassermodell zudem nicht plausibel abgebildet werden.

Zwischen *PAAR3* und *PAAR9* ergibt sich aus der stationären Kalibrierung eine Aussickerung aus dem Grundwasser in die Paar von rd. 130 l/s. Dieser Wert fällt somit deutlich geringer aus als die aus den Abflussmessungen abgeleiteten Austauschraten.

Die Abflüsse und die daraus resultierenden Austauschraten zwischen Oberflächengewässer und Grundwasser sollten im Rahmen der weiteren Planungen durch zusätzliche Naturmessungen verifiziert werden (systematische und kontinuierliche Wasserspiegelmessungen, ergänzende Abflussmessungen bei unterschiedlichen hydrologischen Verhältnissen). Dies betrifft insbesondere die Alte Donau, sowie die Paar zwischen Manching/Ort und der Abflussmessstation PAAR9.

2.1.3 Gesamtbewertung

Insgesamt ergibt sich eine gute stationäre Anpassung des Grundwassermodells an die gemessenen Grundwasserstände der Stichtagsmessung vom 19. April 2016 (Anlage 3.1 bis 3.3). Dies betrifft insbesondere den für die vorliegende Untersuchung relevanten Auswertungsbereich im Nahbereich des geplanten Polders (Lage siehe 2.1), sowie die westlich und südlich angrenzenden Auswertungsbereiche (Ehem. Gelände Bayernoil Ingolstadt, Westliches Stadtgebiet Ingolstadt) und den südwestlichen und südöstlichen Modellraum (Donaumoos/Manching/Flughafen Manching/Feilenmoos).

Entsprechend dem DVGW Arbeitsblatt W 107 [2] ist der mittlere relative Fehler ein mögliches Qualitätskriterium für die Genauigkeit eines stationären Grundwassermodells. Der mittlere relative Fehler entspricht dem Quotienten aus der mittleren absoluten Abweichung zwischen berechneten und gemessenen Werten und der Differenz der maximalen und minimalen Grundwasserstände im Gesamtmodell. Bei einem mittleren relativen Fehler von unter 5% von einer guten, unter 1% von einer sehr guten stationären Modellanpassung gesprochen.

- Die mittlere absolute Abweichung für den Endzustand wurde an den im Rahmen der stationären Anpassung berücksichtigten 196 GWM zu 0,13 m ermittelt (Anlage 3.1).
- Die maximale Differenz der im Modellraum gemessenen Grundwasserstände beträgt 15,8 m (DEUBLING Q 1: 368,86 mNN; MITTL.DONAU NEU: 352,76 mNN).

Im ermittelten Endzustand der stationären Kalibrierung beträgt der mittlere relative Fehler 0,75 %, die vorliegende stationäre Kalibrierung wird gemäß dieser Bewertung als sehr gut eingestuft.

Wesentliche Bilanzgrößen werden in der Größenordnung richtig wieder gegeben. Dies betrifft den Austausch mit dem AW-Kanalnetz im Stadtgebiet Ingolstadt und im Wesentlichen auch den Austausch zwischen dem Grundwasser und den Oberflächengewässern.

Die aus den Abflussmessungen abgeleiteten Austauschraten werden durch die stationäre Kalibrierung überwiegend in der Größenordnung richtig wieder gegeben (u.a. Alte Donau, R. Binnenentwässerungsgraben). Für die Paar auf Höhe des geplanten Polders ergeben sich – auch unter Berücksichtigung von Messabweichungen von bis zu 5% (gerätebedingt und durch örtliche Abflussverhältnisse bedingt) aus der stationären Kalibrierung deutlich geringere Austauschmengen aus dem Grundwasser in den Vorfluter, als aus den Abflussmessungen abgeleitet wurde. Diese Diskrepanz sollte im Rahmen der weiteren Planungen durch zusätzliche Abflussmessungen überprüft werden.

2.2 Sensitivitätsanalyse stationär

Bei der Anwendung von Grundwassermodellen ist die „Aussageschärfe“ von wesentlicher Bedeutung. Für Aufbau und Anpassung des Grundwassermodells sind verschiedene Annahmen erforderlich, welche die Ergebnisse beeinflussen. Deshalb werden die wesentlichen Parameter und Annahmen im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse systematisch variiert. Hierbei wird untersucht, wie empfindlich die Modellergebnisse auf die Veränderung von Eingangsparametern reagieren.

Die Sensitivitätsberechnungen wurden für den quartären Grundwasserleiter im gesamten Modellraum durchgeführt. Die Auswertung erfolgte jeweils im Vergleich zu den Ergebnissen im Bezugsfall (Ergebnisse der stationären Modellkalibrierung zum Stichtag am 19.04.2016 in 2.1.2).

Die Sensitivität der Parametervariation hängt von den Startwerten der Parameter ab. Die Parametervariation wird daher mit Kombinationen extremer Startwerte aus dem hydrogeologisch begründeten Wertebereich durchgeführt. Anhand von mehreren Rechenläufen mit unterschiedlichen Parameteransätzen wird die Sensitivität der Modellkalibrierung bzw. deren Ergebnisse ermittelt.

Die tabellarischen und grafischen Ergebnisdarstellungen (Anlage 5.1.1 bis Anlage 5.2.4) wurden mit dem Schwerpunkt auf dem Standort des geplanten Flutpolders und der angrenzenden Bebauung vorgenommen.

2.2.1 Auswahl der Parameter und Festlegung der Spannbreite

Die Sensitivitätsanalyse der stationären Modellkalibrierung erfolgte für die abgestimmten Parameter und Bandbreite der Parametervariation (Email BCE/WWA vom 09./13.02.2017). Betrachtet werden folgende Parameter (stationär):

- Untergrunddurchlässigkeiten (k_f -Werte) im quartären GWL
- Durchlässigkeit Gewässersohlen Oberflächengewässer (Transferraten)

Die Parametervariation erfolgte mit den in Tabelle 7 dargestellten Faktoren. Als Vergleichszustand (Bezugsfall) wurden die Ergebnisse der stationären Modellkalibrierung (Endzustand) herangezogen (Kap. 2.1.2).

Tabelle 7: Abgestimmte Faktoren für die Sensitivitätsberechnungen

Variation Parameter	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
k_f -Werte Quartär	1/10	1/5	5	10
Transferrate Gewässer	1/10	1/5	5	10

2.2.2 Ergebnisse der Sensitivitätsuntersuchungen

Sensitivitätsuntersuchung „ k_f -Werte im quartären Grundwasserleiter“:

Für die Sensitivitätsbetrachtungen mit reduzierten Durchlässigkeitsbeiwerten (Faktor 1/10 = 10% bzw. Faktor 1/5 = 20% der Werte im Bezugsfall), ergibt sich von den geringer durchlässigen Bereichen der wiederverfüllten Auskiesungsflächen bis zum zentralen Rinnenbereich im quartären GWL die nachstehende Parameterbandbreite:

- Faktor 1/10: $k_f = 1 \cdot 10^{-5}$ m/s bis $k_f = 3 \cdot 10^{-3}$ m/s
- Faktor 1/5: $k_f = 2 \cdot 10^{-5}$ m/s bis $k_f = 6 \cdot 10^{-3}$ m/s

Für die Rechenfälle mit 5-fach bzw. 10-fach erhöhten k_f -Werten ergeben sich folgende Bandbreiten der k_f -Werte:

- Faktor 5: $k_f = 5 \cdot 10^{-4}$ m/s bis $k_f = 1,5 \cdot 10^{-1}$ m/s
- Faktor 10: $k_f = 1 \cdot 10^{-3}$ m/s bis $k_f = 3 \cdot 10^{-1}$ m/s

Die Berechnungsergebnisse für den quartären GWL wurden wie folgt ausgewertet:

- Differenzen der berechneten Grundwasserstände gegenüber dem Bezugsfall in Anlage 5.1.1 bis 5.1.4
- Berechnete Abweichungen gegenüber den gemessenen Werten, Gegenüberstellung zum Bezugsfall in Tabelle 8.

- Berechnete Austauschmengen zwischen Oberflächengewässern und dem Grundwasser, Gegenüberstellung zum Bezugsfall in Tabelle 9. Die Abgrenzung der jeweiligen bilanzierten Gewässerabschnitte ist in Anlage 5.3 dargestellt.

Aus den berechneten Grundwasserspiegeldifferenzen in Anlage 5.1.1 bis Anlage 5.1.4 ist ersichtlich:

- Die gegenüber dem Bezugsfall mit 5-fach und 10-fach verringerten Untergrunddurchlässigkeiten berechneten Grundwasserstände liegen am südlichen und westlichen Modellrand um mehrere Meter (ca. 4 m bis 8 m) höher als im Bezugsfall (Anlage 5.1.1 und 5.1.2).
- Im Stadtgebiet Ingolstadt werden dort, wo ein Austausch zwischen Grundwasser und dem AW-Kanalnetz besteht, um bis zu 0,25 m geringere Grundwasserstände ermittelt. Im Nahbereich von Entnahmebrunnen im nordöstlichen Modellgebiet (E.ON) werden kleinräumig um 0,25 m geringere Grundwasserstände als im Bezugsfall berechnet. Im Nahbereich der Entnahmebrunnen der hydraulischen Sanierungsmaßnahme auf dem IN-Campus Gelände von AUDI sind um bis über 1 m niedrigere Grundwasserstände erkennbar.

Am Grabensystem im Bereich des Flughafens Manching sind bis zu 0,5 m niedrigere Grundwasserstände als im Bezugsfall festzustellen. Diese Veränderung korrespondiert mit einer Zunahme der Aussickerung in das Grabensystem um ca. 40% (s. Tabelle 9).

- Die mit 5-fach und 10-fach erhöhten Parameterwerten berechneten Grundwasserstände liegen am südlichen und westlichen Modellrand mehrere Meter (ca. 3 m bis 5 m) tiefer als im Bezugsfall (Anlagen 5.1.3 und 5.1.4).

Auf dem IN-Campus Gelände von AUDI im Bereich der hydraulischen Sanierungsmaßnahme sowie in Westenhausen bis zum nordöstlichen Modellrand führen die höheren Untergrunddurchlässigkeiten zu leicht höher liegenden Grundwasserständen (ca. 0,25 bis 0,75 m) als im Bezugsfall. Entlang der Bahntrasse im Stadtgebiet Ingolstadt und dem linienhaften Ausbau des Sandrach folgend, bis hin zum östlichen Modellrand bei Ilmendorf, werden keine Abweichungen zu den Ergebnissen im Bezugsfall berechnet. Im Bereich des geplanten Flutpolders Großmehring werden die Grundwasserstände mit weniger als 0,25 m Abweichung leicht höher berechnet.

Die für die betrachteten Sensitivitätsvarianten ermittelten Abweichungen gegenüber dem beim Stichtag gemessenen Werten sind in Tabelle 8 im Vergleich zum Ergebnis der stationären Modellkalibrierung (Kap. 2.1.2) zusammengestellt.

Tabelle 8: Sensitivität k_f -Werte im quartären Grundwasserleiter - Abweichungen berechneter Grundwasserstand / Messwerte

Abweichung gegenüber den Messwerten in [m]	Bezugsfall (Kalibrierung)	Sensitivität Ausgangsverteilung			
		Faktor $1/10$	Faktor $1/5$	Faktor 5	Faktor 10
Mittelwert)* Berechnung	0,12	0,46	0,34	0,31	0,42
Standardabweichung Berechnung	0,11	0,76	0,50	0,43	0,57

)* Mittlere absolute Abweichung

Bei den vier betrachteten Sensitivitätsbetrachtungen ergeben sich mittlere absolute Abweichungen von rd. 0,3 bis 0,5 m. Das Modell reproduziert bei diesen Ansätzen die Messwerte nicht mehr. Die Ergebnisse der stationären Kalibrierung (Bezugsfall) ergeben das beste Ergebnis. **Dies bedeutet, dass bei den aus der stationären Anpassung abgeleiteten k_f -Werten die Unsicherheit bei < Faktor 5 liegt.**

Die berechneten Austauschmengen zwischen den Oberflächengewässern und dem Grundwasserbereich sind für die vier betrachteten Sensitivitätsvarianten, zusammen mit den entsprechenden Ergebnissen für den Bezugsfall (stationäre Kalibrierung) in Tabelle 9 gegenüber gestellt. Hieraus ist ersichtlich, dass es bei der betrachteten Parameterbandbreite an einigen Gewässerabschnitten zu sehr starken Veränderungen in den Austauschmengen mit dem Grundwasser kommt. Hieraus lässt sich feststellen:

- Entlang der Donau ändern sich die Netto-Austauschmengen am stärksten im Unterwasser der Staustufe Ingolstadt. Mit 10-fach bzw. 5-fach verringerten Untergunddurchlässigkeiten infiltrieren nur noch 15 % bzw. 27 % der bei der stationären Kalibrierung (Endzustand) bilanzierten Austauschrate. Eine Erhöhung der k_f -Werte um den Faktor 5 bzw. 10 erhöht die Infiltration auf rd. das 2,5 bis 3,5-fache.
- Am R. Binnenentwässerungsgraben führt die Verringerung der k_f -Werte zu einer Reduzierung der Aussickerung auf rd. 25 – 45 l/s. Eine Erhöhung der o.a. Parameter führt zu einer Erhöhung der Aussickerung auf rd. 390 – 480 l/s. Bei den beiden in 2016 und 2017 durchgeführten Abflussmessungen wurden am R. Binnenentwässerungsgraben ein Gesamtabfluss von 84 bzw. 112 l/s gemessen (Mündung Paar). Hiervon weichen die im Rahmen der Sensitivitätsbetrachtungen ermittelten Gesamtaussickerungsmengen deutlich ab.
- In den beiden bilanzierten Abschnitten des Rechten Vorlandgrabens werden mit geringeren k_f -Werten ebenfalls nur ca. 10-30% der im Bezugsfall bilanzierten Netto-

Infiltration berechnet. Eine Erhöhung der k_f -Werte steigert die Infiltration in das Grundwasser auf das 2 bis 5-fache.

- Im südlichen Abschnitt der Paar bis Manching ändert sich bei geringeren Untergrunddurchlässigkeiten die die Austauschrichtung von infiltrierenden zu exfiltrierenden Verhältnissen. Die Erhöhung der Untergrunddurchlässigkeiten um den Faktor 5 bzw. Faktor 10 lassen die Infiltrationsrate auf das 5 bis 8-fache ansteigen.
- An der Paar nördlich von Manching geht bei den Faktoren 1/10 und 1/5 die Austauschrate auf rd. 20 - 30 % im Vergleich zum Bezugsfall der stationären Kalibrierung zurück. Eine Erhöhung der k_f -Werte in der gleichen Bandbreite erhöht die berechneten Netto-Austauschmengen auf das 3 bis 4-fache.
- Innerhalb des Polders verändert sich die Exfiltrationsrate im Rechten Binnenentwässerungsgraben bei geringen k_f -Werten (Faktor $1/10$ und Faktor $1/5$) auf 16 % und 28 % der berechneten Austauschrate im Bezugsfall. Mit einer Erhöhung der k_f -Werte um Faktor 5 und Faktor 10 werden um das 2,5 bis 3-fache Exfiltrationsraten ermittelt.
- Östlich des Polders werden auf dem bilanzierten Gewässerabschnitt mit der Bezeichnung Franziskanergraben, der den Lohgraben, das Franziskanerwasser und den Franziskanergraben selbst beinhaltet, ebenfalls mit geringeren k_f -Werten (Faktor $1/10$ und Faktor $1/5$) verringerte Netto-Infiltrationsraten mit 2 % bzw. 12 % im Vergleich zum Bezugsfall berechnet.
- Die Gesamt-Exfiltration (netto) aus dem Grundwasser in die Oberflächengewässer, nimmt bei einer Verringerung um den Faktor 10 bzw. Faktor 5 um weniger als 3 % im Vergleich zum Endzustand der stationären Kalibrierung zu. Bei einer Erhöhung um den Faktor 5 bzw. 10 nimmt die Gesamt-Exfiltration (netto) um rd. 30 % bzw. 40% ab. Der Austausch mit dem AW-Kanalnetz variiert in den vier betrachteten Varianten zwischen +14%/+7% bei kleineren k_f -Werten und -3%/-9% bei größeren k_f -Werten

Tabelle 9: Sensitivität k_f -Werte im quartären GWL, Austausch Oberflächengewässer mit dem Grundwasserleiter

Gewässer, -abschnitt (Bilanzabschnitt) Netto Infiltration (+) in [l/s] Netto Exfiltration (-) in [l/s]	Bezugsfall (Kalibrierung)	Sensitivität			
		Faktor 1/10	Faktor 1/5	Faktor 5	Faktor 10
Donau Stauhaltung Vohburg	255	39	70	662	870
Donau Unterwasser Ingolstadt	-5	0	-1	-21	-34
Donau Unterwasser Vohburg	-114	-30	-50	-159	-173
Rechter Vorlandgraben bis Durchlass Großmehringer Brücke	185	16	36	669	1.013
Rechter Vorlandgraben ab Durchlass Großmehringer Brücke	318	52	96	618	653
Paarkanal bis Manching	76	-14	-4	389	635
Paar nördlich Manching	-406	-69	-113	-1.167	-1.694
R. Binnenentwässerungsgraben	-160	-26	-45	-388	-475
Franziskanergraben	-144	-3	-17	-431	-567
Alte Donau	-165	-22	-33	-872	-1.669
Sandrach natürlicher Verlauf	-72	-67	-83	137	370
Sandrach (linienhafter Ausbau)	-39	-11	-13	-115	-137
Brautlach und Kanäle	18	-80	-64	299	622
Irschinger Ach	-204	-52	-72	-494	-650
Riedelmoos-/ Kühpicklgraben	-106	-149	-145	73	159
Wellenbach	-442	-534	-522	-50	325
Ilm	71	-11	1	201	197
Gesamtaustausch Gewässer im Modellraum (netto)	-933	-960	-957	-648	-555
AW-Kanalnetz INKB	Bezugsfall (Kalibrierung)	Faktor 1/10	Faktor 1/5	Faktor 5	Faktor 10
Berechneter Fremdwasseranfall im Modellraum [l/s]	-93	-106	-99	-90	-84

Sensitivitätsuntersuchung „Austauschrate der Gewässersohlen“:

Für die Rechenfälle mit reduzierter Sohldurchlässigkeit (Faktor 1/10 = 10% der Werte im Bezugsfall bzw. Faktor 1/5 = 20% der Verteilung bei der stationären Kalibrierung), umfasst die Parameterbandbreite von den dichten Kanalsohlen der Entwässerungsgräben bis zu den gut durchlässigen Gewässersohlen der natürlichen Fließgewässer Werte zwischen:

- Faktor 1/10: Austauschrate = $1 \cdot 10^{-7}$ 1/s bis $5 \cdot 10^{-5}$ 1/s
- Faktor 1/5: Austauschrate = $2 \cdot 10^{-7}$ 1/s bis $1 \cdot 10^{-4}$ 1/s

Für die Rechenfälle mit 5-fach bzw. 10-fach erhöhter Sohldurchlässigkeit ergeben sich folgende Bandbreiten der Austauschraten:

- Faktor 5: Austauschrate = $5 \cdot 10^{-6}$ 1/s bis $2,5 \cdot 10^{-3}$ 1/s
- Faktor 10: Austauschrate = $1 \cdot 10^{-5}$ 1/s bis $5 \cdot 10^{-3}$ 1/s

Die Transferrate des AW-Kanalnetzes im Stadtgebiet von Ingolstadt wurde gegenüber der stationären Kalibrierung unverändert beibehalten.

Die Berechnungsergebnisse für den quartären GWL wurden wie folgt ausgewertet:

- Differenzen der berechneten Grundwasserstände gegenüber dem Bezugsfall in Anlage 5.2.1 bis Anlage 5.2.4.
- Berechnete Abweichungen gegenüber den gemessenen Werten, Gegenüberstellung zum Bezugsfall in Tabelle 10 .
- Berechnete Austauschmengen zwischen Oberflächengewässern und dem Grundwasser, Gegenüberstellung zum Bezugsfall in Tabelle 11. Die der Bilanzierung zugrunde liegende Abgrenzung der jeweiligen Gewässerabschnitte ist in Anlage 5.3 dargestellt.

Aus den berechneten Grundwasserspiegeldifferenzen in Anlage 5.2.1 bis Anlage 5.2.4 ist ersichtlich:

- Beim Faktor 1/10 bzw. 1/5 werden am westlichen Modellrand um bis 0,5 m höhere Grundwasserstände als im Bezugsfall berechnet. In der gesamten östlichen Modellhälfte, östlich der Paar, werden um ca. 0,25 m bis 0,75 m höhere Grundwasserstände als im Bezugsfall ermittelt. Die größten Aufspiegelungen von bis zu 0,75 m ergeben sich entlang von Riedelmoosgraben und Kühpicklgraben im Bereich des Flughafens Manching, abschnittsweise an der Westenhausener Ach, an der Kleinen Donau und an den Grabensystemen am südöstlichen Modellrand (Anlagen 5.2.1 und 5.2.2).

Im Oberwasser der Staustufe Manching und an der Ilm am südöstlichen Modellrand (jeweils Infiltrationsbereich) werden um bis zu 0,75 m geringere Grundwasserstände als im Bezugsfall ermittelt.

- In den Varianten mit 10-fach bzw. 5-fach höherer Durchlässigkeit der Gewässersohlen (gegenüber dem Bezugsfall), werden im Bereich des an die Brautlach angebundenen Kanalsystems, entlang des Grabensystems im Bereich des Flughafen Manching und um 0,25 m bis zu 0,5 m niedrigere Grundwasserstände als im Bezugsfall berechnet (Anlagen 5.2.3 und 5.2.4).

Im Oberwasser der Staustufe Manching (Infiltrationsbereich) ergeben sich um bis zu 0,75 m höhere Grundwasserstände als im Bezugsfall.

Die für die vier vorstehend betrachteten Sensitivitätsvarianten gegenüber den gemessenen Werten ermittelten Abweichungen sind in Tabelle 10 im Vergleich zum Ergebnis der stationären Modellkalibrierung (Kap. 2.1.2) zusammengestellt. Es ergeben sich jeweils größere Abweichungen als bei den Ergebnissen der stationären Kalibrierung.

Tabelle 10: Sensitivität Austauschrate der Gewässer - Abweichungen berechneter Grundwasserstand / Messwerte

Abweichung gegenüber den Messwerten in [m]	Bezugsfall (Kalibrierung)	Sensitivität Ausgangsverteilung			
		Faktor $\frac{1}{10}$	Faktor $\frac{1}{5}$	Faktor 5	Faktor 10
Mittelwert)* Berechnung	0,12	0,28	0,20	0,16	0,17
Standardabweichung Berechnung	0,11	0,22	0,17	0,18	0,19

)* Mittlere absolute Abweichung

Die Ergebnisse der stationären Kalibrierung (Bezugsfall) ergeben somit das beste Ergebnis. **Dies bedeutet, dass bei den aus der stationären Anpassung abgeleiteten Transferraten die Unsicherheit bei < Faktor 5 liegt und die zugrunde gelegten Parameterverteilung tendenziell in Richtung der größeren Transferraten einzuordnen ist.**

Die berechneten Austauschmengen, zwischen den Oberflächengewässern und dem Grundwasserbereich, sind für die vier betrachteten Sensitivitätsvarianten, zusammen mit den entsprechenden Ergebnissen für den Bezugsfall (stationäre Kalibrierung), in Tabelle 11 gegenüber gestellt.

Tabelle 11: Sensitivität Austauschrate der Gewässer, Austausch Oberflächengewässer mit dem Grundwasserleiter

Gewässer, -abschnitt (Bilanzabschnitt) Netto Infiltration (+) in [l/s] Netto Exfiltration (-) in [l/s]	Bezugsfall (Kalibrierung)	Sensitivität			
		Faktor 1/10	Faktor 1/5	Faktor 5	Faktor 10
Donau Stauhaltung Vohburg	255	129	152	321	350
Donau Unterwasser Ingolstadt	-5	-5	-5	-3	-2
Donau Unterwasser Vohburg	-114	-18	-32	-249	-297
Rechter Vorlandgraben bis Durchlass Großmehring Brücke	185	75	122	207	195
Rechter Vorlandgraben ab Durchlass Großmehring Brücke	318	60	120	485	525
Paarkanal bis Manching	76	32	46	113	137
Paar nördlich. Manching	-406	-280	-318	-453	-465
R. Binnenentwässerungsgraben	-160	-55	-82	-203	-210
Franziskanergraben	-144	-36	-63	-202	-215
Alte Donau	-165	-190	-182	-159	-159
Sandrach natürlicher Verlauf	-72	-46	-58	-75	-75
Sandrach (linienhafter Ausbau)	-39	-25	-29	-49	-53
Brautlach und Kanäle	18	-8	1	29	32
Irschinger Ach	-204	-89	-122	-242	-250
Riedelmoos-/ Kühpicklgraben	-106	-30	-47	-147	-150
Wellenbach	-442	-421	-440	-433	-436
Ilm	71	-19	8	119	134
Gesamtaustausch Gewässer im Modellraum (netto)	-933	-928	-931	-940	-940
AW-Kanalnetz INKB	Bezugsfall (Kalibrierung)	Faktor 1/10	Faktor 1/5	Faktor 5	Faktor 10
Berechneter Fremdwasseranfall im Modellraum [l/s]	-93	-102	-97	-88	-86

Die Gesamt-Exfiltration (netto) aus dem Grundwasser in die Oberflächengewässer, bleibt, bei einer Erhöhung oder Verringerung der Leakage-Faktoren um den Faktor 5 oder 10, gegenüber dem Bezugsfall nahezu unverändert (Bandbreite rd. 930 l/s bis 940 l/s). Der Austausch mit dem AW-Kanalnetz variiert in den vier betrachteten Varianten zwischen +4%/+10% bei kleineren Transferraten und -6%/-7% bei größeren Transferraten an den Oberflächengewässern.

2.2.3 Gesamtbewertung der Sensitivitätsuntersuchungen

➤ K_f-Werte im quartären Grundwasserleiter (1. GWL):

- Hohe Sensitivität hinsichtlich der berechneten Grundwasserstände insbesondere an den westlichen und südlichen Modellrändern, die durch Randzuflüsse definiert sind
- Bereichsweise hohe Sensitivität im Bereich des Flughafens Manching und dem dort als Vorfluter für das Grundwasser wirksamen Grabensystem (Riedelmoosgraben und Kühpicklgraben)
- Bereichsweise hohe Sensitivität im Bereich der Sanierungsmaßnahmen auf dem ehem. Bayernoil-Gelände in Ingolstadt (AUDI IN-Campus) und dem westlich angrenzenden Stadtgebiet von Ingolstadt.

➤ Durchlässigkeit Gewässersohlen (Transferraten):

- Hohe Sensitivität im Bereich des Flughafens Manching und am Paarwerkkanal im Staubereich (Stauwasserspiegel > Grundwasserspiegel) bei allen betrachteten Varianten. Relativ hohe Sensitivität des Grabensystems am südöstlichen Modellrand bei Geisenfeld.
- Relativ geringe Sensitivität des Grabensystems am Wellenbach. Dort führt erst eine Verringerung der Transferrate um den Faktor 1/10 zu einer wesentlichen Veränderung der Grundwasserstände. Dies ist darauf zurück zu führen, dass am Wellenbach eine bereits sehr hohe Transferrate ($> 1 \cdot 10^{-04}$ 1/s) zugrunde gelegt wurde.

Insgesamt ergibt sich aus den insgesamt 8 durchgeführten Sensitivitätsberechnungen

- **Die stationäre Kalibrierung wird durch die Sensitivitätsanalyse bestätigt.** Die hierbei ermittelte Parameterverteilung liegt im mittleren Bereich der bei der Sensitivitätsanalyse betrachteten Spannbreite.
- Im Bereich des Flughafens Manching und im Nahbereich des Paarwerkkanals besteht eine hohe Sensitivität der berechneten Grundwasserstände gegenüber den beiden betrachteten Parametern. Dies bedeutet, dass durch die im Rahmen der stationären Kalibrierung ermittelte Parameterverteilung die natürlichen Verhältnisse gut abgebildet werden.
- Im Bereich des geplanten Polders (Franziskanergraben, Alte Donau, Paar) besteht eine relativ geringe Sensitivität der berechneten Grundwasserstände gegenüber Veränderungen der betrachteten Parameter. Dies ist auch dadurch bedingt, dass die Grundwasserstände in diesem Gebiet, maßgeblich durch die Wasserstände an den dort befindlichen Gewässern bestimmt werden. Dies bedeutet, dass die Parameter der stationären Kalibrierung dort einen gewissen Interpretationsspielraum zulassen. Diese Parameter sollten daher im Rahmen der weiteren Planungen durch zusätzliche Naturmessungen verifiziert werden (systematische und kontinuierliche Wasserspiegelmessungen, ergänzende Abflussmessungen bei unterschiedlichen hydrologischen Verhältnissen).

Eine Sensitivitätsanalyse zur Durchlässigkeit der Deckschichten in den überfluteten Flächen kann im Rahmen der instationären Planungsberechnungen erfolgen. Hiermit kann untersucht werden, wie empfindlich die Modellergebnisse (Auswirkungen der Planungen) auf die Veränderung dieses Eingangsparameters reagieren.

2.3 Kovarianzanalyse

Für die im Rahmen der Sensitivitätsanalyse (Kap. 2.2) abgeleiteten Parametersätze ist die Abhängigkeit der Parameter zueinander darzulegen, zu bewerten und eine Empfehlung für das weitere Vorgehen abzugeben.

Anhand der Kovarianzanalyse können mögliche statistische Abhängigkeiten zwischen zwei Variablen (Untergrunddurchlässigkeit und Austauschrate der Gewässersohle) identifiziert werden. Um die Abhängigkeiten zwischen den beiden Parametern zu bewerten, wurden die Abweichungen der bei den jeweiligen Sensitivitätsbetrachtungen jeweils berechneten Grundwasserstände zum Endzustand der stationären Kalibrierung verwendet. Es ergeben sich somit 4 Ergebnisdatensätze je Parameter. Die Auswertung der Kovarianzanalyse erfolgt in zwei Schritten, die Ergebnisse sind in Anlage 5.4:

- Schritt 1: Auswertung der Kovarianzanalyse für den gesamten Modellraum
- Schritt 2: Differenzierte Auswertung der Kovarianzanalyse für jeden der 7 Auswertungsbereiche der stationären Kalibrierung

Im Rahmen der Kovarianzanalyse werden zusätzlich zu den Kovarianzen auch die Korrelationskoeffizienten berechnet und bewertet, da diese neben der Richtung auch eine Aussage über die Stärke des Zusammenhangs ermöglichen. Die verwendeten Ansätze und Formeln sind nachstehend kurz erläutert.

Kovarianz

Die ermittelten Kovarianzen haben die Einheit Meter, da die Einheit der Eingangsdatensätze erhalten bleibt. Anhand der Kovarianz lässt sich nur eine Aussage über die Tendenz zweier Ergebnisdatensätze machen, nicht aber über die Stärke des Zusammenhangs.

Die Kovarianz wird anhand folgender Formel berechnet:

$$Cov(a, b) = \frac{\sum_i^N (a_i - \bar{a})(b_i - \bar{b})}{N}$$

, wobei $i = 1, 2, \dots, N$; mit N = Anzahl an betrachteten GWM

Die Datensätze **a** und **b** stellen jeweils einen Datensatz an Abweichungen von in der Sensitivitätsvariante zu der im stationären Endzustand berechneten Grundwasserstände dar. Eine positive Kovarianz deutet somit darauf hin, dass die zwei jeweils betrachteten Varianten eine ähnliche tendenzielle Auswirkung auf die berechneten Grundwasserstände haben. Eine negative Kovarianz bedeutet somit einen entgegen gerichteten Effekt auf das Ergebnis.

Korrelationskoeffizient

Die Streuung der Eingangsdaten innerhalb eines Datensatzes wirkt sich auch auf die Kovarianz aus. Um die Streuung der Werte innerhalb eines Datensatzes zu eliminieren, lässt sich die Kovarianz anhand der beiden einzelnen Stichprobenvarianzen standardisieren, sodass man den Korrelationskoeffizienten erhält. Durch diese Standardisierung wird der Korrelationskoeffizient dimensionslos und kann somit besser für alle Rechenläufe in Relation gesetzt werden. Der Korrelationskoeffizient kann Werte zwischen -1 und +1 annehmen.

Ein Wert von +1 deutet auf eine positiv lineare Abhängigkeit der beiden Parameter hin, wohin gegen ein Wert von -1 eine negative lineare Abhängigkeit der beiden Parameter indiziert. Geht der Wert des Korrelationskoeffizienten gegen 0, so besteht keine Abhängigkeit der beiden Parameter. Bei Korrelationskoeffizienten von weniger als +/- 0,5 wird von einer geringen Abhängigkeit ausgegangen, bei Korrelationskoeffizienten, zwischen +/- 0,5 und +/- 0,7 wird von einer mittleren Korrelation gesprochen, bei Werten zwischen 0,7 und 0,9 von einer starken Korrelation und zwischen +/- 0,9 und +/- 1,0 von einer sehr starken Korrelation.

Der Korrelationskoeffizient berechnet sich mit folgender Formel:

$$\varphi_{x,y} = \frac{Cov(a,b)}{\sqrt{Var(a)Var(b)}}$$

wobei $Var(a) / Var(b)$ die jeweilige Stichprobenvarianz eines Datensatzes darstellt.

Auswertung der Kovarianzanalyse für den gesamten Modellraum

Im ersten Schritt werden die Kovarianzen und Korrelationskoeffizienten für den gesamten Modellraum ausgewertet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 12 abgebildet (siehe auch Anlage 5.4).

Die linke Tabelle zeigt die berechneten Kovarianzen in Matrixform für die jeweilige Kombination an Sensitivitätsbetrachtungen. Zu jeder Kovarianz finden sich die betrachteten Varianten der Sensitivitätsbetrachtungen zur Austauschrate der Gewässersohle auf der vertikalen Achse und die jeweils zugehörige betrachteten Varianten der Sensitivitätsbetrachtungen zur Untergrunddurchlässigkeit auf der horizontalen Achse.

Tabelle 12: Ergebnisse der Kovarianzanalyse für den gesamten Modellraum

Kovarianz		Untergrunddurchlässigkeit				Korrelationskoeffizient	Untergrunddurchlässigkeit				
		x 1/10	x 1/5	x 5	x 10		x 1/10	x 1/5	x 5	x 10	
Austauschrate	x 1/10	0,00	0,00	-0,02	-0,03	Austauschrate	x 1/10	0,02	0,03	-0,22	-0,24
	x 1/5	0,00	0,00	-0,01	-0,02		x 1/5	0,02	0,04	-0,22	-0,25
	x 5	0,01	0,01	0,01	0,01		x 5	0,14	0,17	0,17	0,19
	x 10	0,01	0,01	0,01	0,01		x 10	0,15	0,17	0,13	0,15

Die resultierenden Kovarianzen (linke Tabellen- bzw. Matrixhälfte) haben die Einheit Meter, entsprechend der Einheit der betrachteten Abweichungen zwischen den berechneten Grundwasserständen und den gemessenen Werten. Auf Grund der geringen absoluten Abweichungen von weniger als 1 m ergeben sich geringe berechnete Kovarianzen. Die Vorzeichen der Kovarianzen geben die Richtung der Abhängigkeit der beiden Parameter an.

Die berechneten Kovarianzen geben nur Aufschluss über die Richtung der Abhängigkeiten, jedoch nicht über die Stärke des Zusammenhangs. Anhand der standardisierten Korrelationskoeffizienten lässt sich zusätzlich zur Richtung auch die Stärke des Zusammenhangs quantifizieren. In der rechten Hälfte von Tabelle 12 sind die Korrelationskoeffizienten für die gleiche Zuordnung der jeweils betrachteten stationären Sensitivitätsvarianten, analog zur linken Tabellenhälfte abgebildet. Die Vorzeichen stimmen erwartungsgemäß in beiden Tabellen überein.

Die sehr kleinen Korrelationskoeffizienten von weniger als +/- 0,3 belegen, dass bezogen auf den gesamten Modellraum keine eindeutigen Abhängigkeiten vorhanden sind. Dies lässt sich auf die heterogene Verteilung der Untergrunddurchlässigkeiten und die komplexe Gewässerstruktur zurückführen. Bei einer Erhöhung der Untergrunddurchlässigkeiten resultieren auch höhere Korrelationskoeffizienten mit der Austauschrate der Gewässersohlen. Die berechneten Korrelationskoeffizienten weisen aber nach wie vor sehr geringe Werte auf, so dass auf Grundlage der Ergebnisse für den gesamten Modellraum keine Abhängigkeit zwischen den beiden betrachteten Parametern ermittelt wurde.

Auswertung der Kovarianzanalyse - Differenziert nach Teilbereichen

Da die Auswertung über den gesamten Modellraum keine eindeutigen Schlüsse zulässt, wurde die Kovarianzanalyse in einem 2. Schritt für die einzelnen Auswertungsbereiche durchgeführt. Die Teilbereiche wurden analog zu der Einteilung bei der stationären Kalibrierung ausgewertet. Die vollständigen Ergebnisse der jeweils berechneten Kovarianzen und Korrelati-

onskoeffizienten sind in Anlage 5.4 dargestellt. Nachstehend erfolgt eine Erläuterung der jeweils ermittelten Korrelationskoeffizienten.

Korrelationskoeffizienten, die größer als + 0,5 sind, werden blau hervorgehoben. Werden Werte kleiner als - 0,5 berechnet, so sind diese rot hervorgehoben.

Auswertungsbereich 1: Nahbereich Polder

Aus Tabelle 13 ist ersichtlich, dass die Korrelationskoeffizienten zwischen den Sensitivitätsvarianten mit einer hohen Untergrunddurchlässigkeit und einer geringen Austauschrate der Gewässer mit positiven Werten > 0,5 berechnet werden. Die Korrelationskoeffizienten für die Varianten, bei denen für beide Parameter höhere Faktoren angesetzt werden, weisen negative Wert von < - 0,5 auf. Somit ergibt sich eine mittlere negative lineare Abhängigkeit der beiden Parameter für den *Auswertungsbereich 1: Nahbereich Polder*.

Tabelle 13: Kovarianzanalyse - Auswertungsbereich 1: Nahbereich Polder

Kovarianz		Untergrunddurchlässigkeit				Korrelationskoeffizient		Untergrunddurchlässigkeit			
		x 1/10	x 1/5	x 5	x 10			x 1/10	x 1/5	x 5	x 10
Austauschrate	x 1/10	-0,01	-0,01	0,01	0,01	Austauschrate	x 1/10	-0,42	-0,58	0,70	0,54
	x 1/5	0,00	0,00	0,00	0,01		x 1/5	-0,48	-0,64	0,78	0,62
	x 5	0,00	0,00	0,00	0,00		x 5	0,65	0,79	-0,79	-0,56
	x 10	0,00	0,00	0,00	0,00		x 10	0,67	0,80	-0,79	-0,57

In Abbildung 6 sind auf der X-Achse die berechneten Abweichungen für die Sensitivitätsvariante mit 5-fach höherer Untergrunddurchlässigkeit aufgetragen. In der Vertikalen sind auf der Y-Achse die berechneten Abweichungen für die Sensitivitätsvariante mit 5-fach höherer/niedrigerer Austauschrate der Gewässersohlen aufgezeichnet. Die Streuung der Punktwolke zeigt den linearen Zusammenhang der Datensätze.

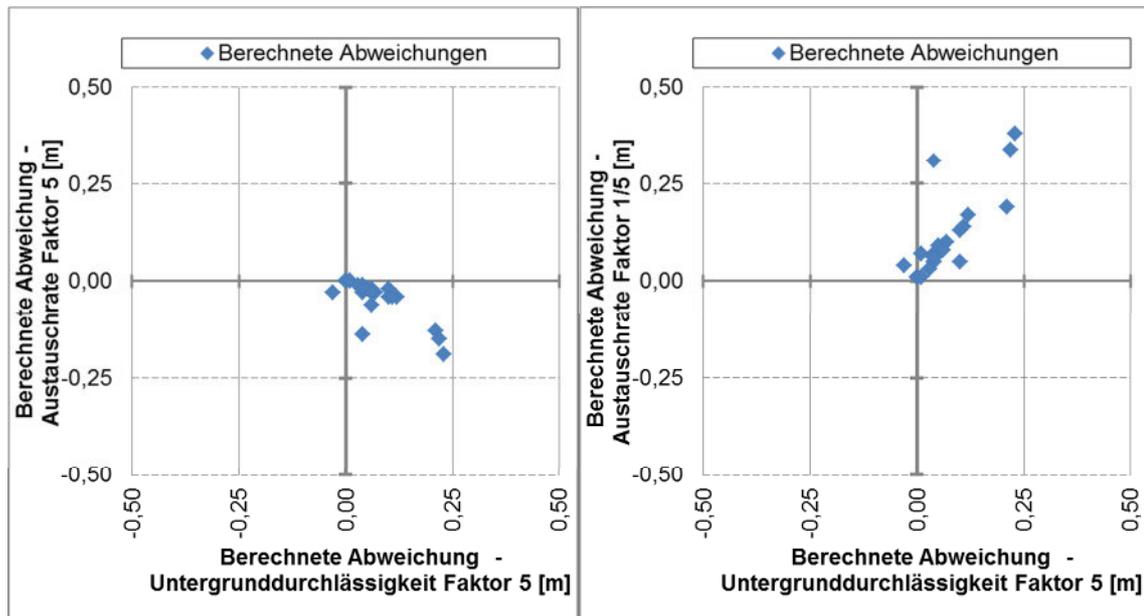


Abbildung 6: Punktwolken der berechneten Abweichungen bei 5-fach erhöhter Untergrunddurchlässigkeit und 5-fach höherer (links) bzw. niedrigerer (rechts) Austauschrate der Gewässersohlen

Die mittlere negative lineare Abhängigkeit der Parameter Untergrunddurchlässigkeit und Austauschrate der Gewässersohlen für den *Auswertungsbereich 1: Nahbereich Polder* folgt aus der Vorflutwirkung der Gewässer und der Lage des Polders innerhalb des Modellraums.

Eine Erhöhung der Untergrunddurchlässigkeiten im gesamten Modellraum resultiert in niedrigeren Grundwasserständen am südlichen und südwestlichen Modellrand und in höheren Grundwasserständen in der nördlichen Modellhälfte (siehe Anlage 5.1.4), an dem auch dem der geplante Polderstandort gelegen ist. Die Gewässer im Nahbereich des Polders (Paar, Alte Donau, R. Binnenentwässerungsgraben) haben überwiegend eine Vorflutfunktion für das Grundwasser, sodass eine Verringerung der Austauschraten der Gewässersohlen zu höher berechneten Grundwasserständen führt (siehe Anlage 5.2.1). Somit haben höhere Untergrunddurchlässigkeiten einen gleich gerichteten Effekt auf die im Modell berechneten Grundwasserstände wie niedrige Austauschraten der Gewässersohlen.

Auswertungsbereich 2: Ehem. Gelände BAYERNOIL Ingolstadt

Die berechneten Korrelationskoeffizienten für den 2. Auswertungsbereich in Tabelle 14 weisen ebenfalls eine negative lineare Abhängigkeit auf. Allerdings werden für die Sensitivitätsbetrachtungen bei 10-fach geringerer Austauschrate der Gewässersohlen deutlich stärkere Abhängigkeiten berechnet als bei 10-fach erhöhter Austauschrate der Gewässersohlen. Der Grundwasserzustrom in diesem Bereich ist stärker durch die Infiltration der Donau geprägt. Da die Austauschrate der Donau mit $5 \cdot 10^{-4}$ 1/s in diesem Bereich bereits sehr hoch ist, hat eine

Erhöhung der Austauschrate in diesem Abschnitt der Donau nahezu keinen Einfluss mehr auf die berechneten Grundwasserstände (siehe Anlage 5.2.3 und 5.2.4).

Eine verringerte Austauschrate der Donau zwischen Fl.km 2454+000 und 2452+000, zusätzlich zu den Effekten, die auch im *Auswertungsbereich 1: Nahbereich Polder* auftreten, hat dabei einen größeren Effekt auf die berechneten Grundwasserstände. Die größeren Korrelationskoeffizienten spiegeln somit die Sensitivität des Grundwassermodells auf geringere Austauschraten der Donau in diesem Auswertungsbereich wieder.

Tabelle 14: Kovarianzanalyse - Auswertungsbereich 2: Ehem. Gelände BAYERNOIL Ingolstadt

Kovarianz		Untergrunddurchlässigkeit				Korrelationskoeffizient	Untergrunddurchlässigkeit				
		x 1/10	x 1/5	x 5	x 10		x 1/10	x 1/5	x 5	x 10	
Austauschrate	x 1/10	0,00	0,00	0,00	0,00	Austauschrate	x 1/10	-0,54	-0,71	0,77	0,78
	x 1/5	0,00	0,00	0,00	0,00		x 1/5	-0,27	-0,38	0,47	0,46
	x 5	0,00	0,00	0,00	0,00		x 5	0,17	0,30	-0,34	-0,30
	x 10	0,00	0,00	0,00	0,00		x 10	0,19	0,33	-0,38	-0,34

Somit besteht eine starke negative lineare Abhängigkeit nur bei gegenüber der stationären Kalibrierung geringeren Austauschraten der Gewässersohle. Da die Donau hier infiltriert und der Franziskanergraben sowie die Alte Donau exfiltrieren, haben geringere Austauschraten der Gewässersohle einen gleich gerichteten Effekt auf die berechneten Grundwasserstände wie höhere Untergrunddurchlässigkeiten.

Auswertungsbereich 3: Westliches Stadtgebiet Ingolstadt

Der dritte Auswertungsbereich befindet sich am westlichen Modellrand. In Tabelle 15 sind die für diesen Bereich ermittelten Korrelationskoeffizienten abgebildet. Aus der Verteilung der Werte ist ersichtlich, dass sich die relativ hohen Korrelationskoeffizienten (> +/- 0,5) nur bei einer Variation der Untergrunddurchlässigkeiten signifikant ändern.

Tabelle 15: Kovarianzanalyse - Auswertungsbereich 3: Westliches Stadtgebiet Ingolstadt

Kovarianz		Untergrunddurchlässigkeit				Korrelationskoeffizient	Untergrunddurchlässigkeit				
		x 1/10	x 1/5	x 5	x 10		x 1/10	x 1/5	x 5	x 10	
Austauschrate	x 1/10	0,01	0,01	0,00	-0,01	Austauschrate	x 1/10	0,42	0,58	-0,46	-0,66
	x 1/5	0,01	0,01	0,00	-0,01		x 1/5	0,38	0,55	-0,41	-0,62
	x 5	0,01	0,01	0,00	-0,01		x 5	0,53	0,62	-0,60	-0,65
	x 10	0,01	0,01	0,00	-0,01		x 10	0,48	0,53	-0,54	-0,53

Das einzige Gewässer in diesem Auswertungsbereich ist die Sandrach, deren Wasserspiegel bei mittleren Verhältnissen annähernd auf gleichem Niveau wie der Grundwasserspiegel liegt (siehe Anlage 4.4.3 in [1]). Somit hat eine Erhöhung oder Verringerung der Austauschraten in diesem Bereich nur einen untergeordneten Einfluss auf die berechneten Grundwasserstände.

Die hier am Modellrand definierte Zuflussrandbedingung bewirkt eine sehr starke Sensitivität der berechneten Grundwasserstände auf eine Veränderung der Untergrunddurchlässigkeiten, sodass diese den Einfluss der Gewässer überwiegt. Somit liegt für diesen Auswertungsbereich keine lineare Abhängigkeit der beiden Parameter vor.

Auswertungsbereich 4: Westlicher Randzustrom

Die Beträge der Korrelationskoeffizienten im Auswertungsbereich 4 sind für jede Kombination kleiner als 0,4 (Anlage 5.4). Da nur am Rand dieses Teilgebiets ein kurzer Abschnitt der Sandrach verläuft, besteht kein Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der betrachteten Sensitivitätsvarianten (Untergrunddurchlässigkeit und Austauschrate der Gewässersohlen).

Auswertungsbereich 5: Südwestlicher Modellraum (Manching/Donaumoos)

Im südwestlichen Modellraum sind als Oberflächengewässer nur die Brautlach und die oberstrom anschließenden Entwässerungskanälen zu verzeichnen. Bereits aus der Auswertung der Abflussmessungen am Stichtag am 19.04.2016 (s. a. Anlage 4.3) wird die geringe Interaktion des Grundwassers mit diesem Gewässersystem deutlich. Die für diesen Bereich berechneten Korrelationskoeffizienten weisen alle Werte $< +/- 0,5$ auf, sodass dort keine lineare Abhängigkeit zwischen den Ergebnissen der betrachteten Sensitivitätsvarianten besteht.

Auswertungsbereich 6: Südöstlicher Modellraum (Flughafen Manching/Feilenmoos)

Die deutlich höheren Korrelationskoeffizienten bei niedrigeren Untergrunddurchlässigkeiten werden durch den Einfluss der Aufspiegelung der Grundwasserspiegel am Modellrand verursacht. Die Verteilung der Korrelationskoeffizienten deutet wie im Auswertungsbereich 1 auf

eine negative lineare Abhängigkeit der beiden betrachteten Parameter hin. Eine Verringerung der Untergrunddurchlässigkeiten führt durch die resultierende Aufspiegelung der Grundwasserstände am Modellrand zu höher berechneten Grundwasserständen in diesem Bereich. Da das Grabensystem am Flughafen Manching eine starke Vorflutfunktion für das Grundwasser besitzt, bewirken verminderte Transferraten den gleichen Effekt auf die berechneten Grundwasserstände.

Tabelle 16: Kovarianzanalyse - Auswertungsbereich 6: Südöstlicher Modellraum (Flughafen Manching/Feilenmoos)

Kovarianz		Untergrunddurchlässigkeit				Korrelationskoeffizient		Untergrunddurchlässigkeit			
		x 1/10	x 1/5	x 5	x 10			x 1/10	x 1/5	x 5	x 10
Austauschrate	x 1/10	-0,03	-0,02	0,01	0,02	Austauschrate	x 1/10	-0,78	-0,71	0,32	0,29
	x 1/5	-0,02	-0,02	0,01	0,02		x 1/5	-0,80	-0,75	0,38	0,36
	x 5	0,03	0,02	-0,02	-0,03		x 5	0,74	0,71	-0,46	-0,45
	x 10	0,04	0,03	-0,03	-0,04		x 10	0,70	0,67	-0,44	-0,43

Auswertungsbereich 7: Östlicher Modellraum (Vohburg)

Die Ergebnisse der Kovarianzanalyse für den Auswertungsbereich 7 weisen mit den sehr hohen Korrelationskoeffizienten von meist > +/- 0,7 auf eine sehr starke negative lineare Abhängigkeit hin. Bei einer Erhöhung der Untergrunddurchlässigkeiten werden bei Vohburg deutlich höhere Grundwasserstände berechnet. Eine Verringerung der Austauschraten der Gewässersohle vermindert die exfiltrierende Funktion des Gewässersystems bei Vohburg. Somit führen die gleichen Effekte wie im *Auswertungsbereich 1: Nahbereich Polder* zu einer hohen negativen linearen Abhängigkeit.

Tabelle 17: Kovarianzanalyse - Auswertungsbereich 7: Östlicher Modellraum (Vohburg)

Kovarianz		Untergrunddurchlässigkeit				Korrelationskoeffizient		Untergrunddurchlässigkeit			
		x 1/10	x 1/5	x 5	x 10			x 1/10	x 1/5	x 5	x 10
Austauschrate	x 1/10	-0,01	-0,01	0,02	0,04	Austauschrate	x 1/10	-0,44	-0,68	0,98	0,97
	x 1/5	0,00	0,00	0,01	0,02		x 1/5	-0,48	-0,73	0,99	0,96
	x 5	0,00	0,00	-0,01	-0,01		x 5	0,57	0,81	-0,94	-0,87
	x 10	0,00	0,00	-0,01	-0,01		x 10	0,56	0,80	-0,93	-0,86

Gesamtbewertung Kovarianzanalyse

Die in den Auswertungsbereichen 3, 6 und 7 berechneten mittleren bis sehr starken linearen Abhängigkeiten zwischen den Ergebnissen der betrachteten Sensitivitätsberechnungen sind hauptsächlich in den Rand-Effekten der Sensitivitätsberechnungen an den Modellrändern begründet (Anstieg Druckwasserspiegel weit über Geländeniveau).

Aufgrund der festgestellten Abhängigkeit der beiden Parameter innerhalb des *Auswertungsbereich 1: Nahbereich Polder* werden folgende weitere Maßnahmen empfohlen:

- Die dort zugrunde gelegten Untergrunddurchlässigkeiten sollten im Rahmen der weiteren Planungen verifiziert werden (siehe auch gesonderte Auswertung: Vorschlag zum Sondermessnetz mit empfohlenen ergänzenden Erkundungsmaßnahmen (Teil 4).
- Ebenso sollten die dort im Rahmen der Kalibrierung ermittelten Austauschraten der Gewässer (Alte Donau, Paar auf Höhe des Polders, R. Binnenentwässerungsgraben) anhand von weiteren Abflussmengen und kontinuierlichen Wasserspiegelmessungen verifiziert werden.

2.4 Instationäre Kalibrierung Hochwasser Juni 2013

Die instationäre Kalibrierung des Grundwassermodells erfolgte entsprechend den im HGM abgeleiteten Vorgaben [1] und den mit dem WWA Ingolstadt und dem LfU Bayern getroffenen Abstimmungen [5] für das Hochwasserereignis an der Donau im Mai/Juni 2013 (HW 2013), das durch starke Niederschläge im Einzugsgebiet der Donau und in den EZG ihrer Zuflüsse verursacht wurde. Betrachtet wird der Zeitraum vom 26.05.2013 bis zum 25.06.2013.

2.4.1 Verfügbare Messdaten

Niederschlag

Im Modellraum befinden sich 2 Stationen an denen Niederschlagsdaten erfasst werden (siehe auch HGM [1], Kap. 3.7.1). Es handelt sich um die Station Ingolstadt (LfU) und die Station Baumannshof (LfL). Die dort gemessenen Tagessummen der Niederschläge für den o.a. Betrachtungszeitraum sind aus Abbildung 7 ersichtlich.

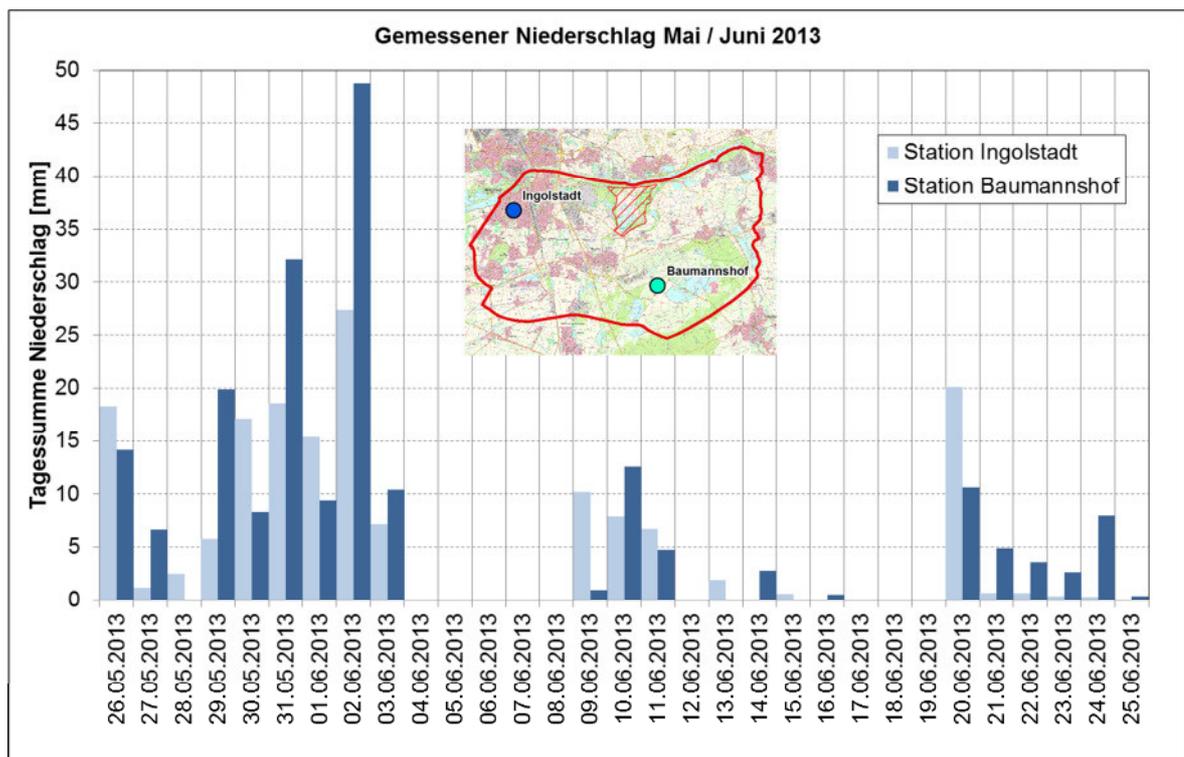


Abbildung 7: Tagessummen der Niederschläge beim HW 2013, Station Ingolstadt (LfU) und Baumannshof (LfL)

Hieraus ist ersichtlich:

- Ende Mai 2013 und Anfang Juni 2013 waren an beiden Stationen hohe Niederschlagsmengen zu verzeichnen. An der Station Ingolstadt wird im 30-Tages-Zeitraum

26.05.2013 bis 25.06.2013 eine Niederschlagssumme von 163 mm ermittelt. An der Station Baumannshof ergibt sich für den gleichen Zeitraum eine Summe von rd. 201 mm, die damit um rd. 39 mm (entsprechend rd. 24%) höher ausfällt.

- *Auf die 5-tägige Phase vom 29.05.2013 bis 03.06.2013 entfällt an der Station Ingolstadt eine Niederschlagssumme von rd. 84 mm, dies entspricht ca. 52% der Niederschläge im o.a. Zeitraum, bzw. an der Station Baumannshof von rd. 119 mm (entsprechend ca. 59% im o.a. Zeitraum).*
- Der höchste Tagesniederschlag wird jeweils am 02.06.2013 ermittelt, mit rd. 27,4 mm an der Station Ingolstadt und 48,8 mm an der Station Baumannshof.
- Entsprechend den Auswertungen in [1] betragen die REGNIE-Niederschläge des DWD im Modellraum für die 11-Jahresperiode 2005-2015 rd. 709 mm/a, davon entfallen auf das Sommerhalbjahr (SHJ) 437 mm (62% des mittleren Jahresniederschlaages). Hieraus resultiert im SHJ ein mittlerer Monatsniederschlag von rd. 73 mm. Die Niederschläge im o.a. 30-Tages-Zeitraum während des HW 2013 fallen somit rd. 2,2 bis 2,8 Mal so hoch aus, wie im Mittel des Zeitraumes 2005-2015.

Donau (Wasserstände/Abflüsse)

Für das HW 2013 lagen gemessene Wasserstände und Abflüsse an der Donau (Pegel Ingolstadt Luitpoldstraße) und gemessene Wasserstände am Pegel Vohburg vor. Der Pegel Ingolstadt Luitpoldstraße/Donau befindet sich rd. 1,4 km unterstrom der Staustufe Ingolstadt, zwischen der Glacisbrücke und der Konrad-Adenauer-Brücke, auf Höhe Donau Fl.km 2457+850. Der rd. 1,4 km unterstrom der Staustufe Vohburg gelegene Pegel Vohburg befindet sich bei Donau Fl.km 2442+600 auf Höhe der Donaubrücke Vohburg (B16a).

Aus dem zeitlichen Verlauf der beim HW 2013 gemessenen Wasserstände und Abflüsse (Abbildung 8 und Abbildung 9; Anlage 7.1) im Zeitraum 25.05.2013 bis 30.06.2013 ist für beide Pegel folgende Abflusscharakteristik erkennbar:

- eine 1. Welle mit dem Scheitel am 04. Juni 2013
- eine darauf folgende, niedrigere 2. Welle, mit dem Scheitel am 12. Juni 2013.

Die Schwankungsbreite der Wasserstände an den beiden Pegeln der Donau beträgt im Betrachtungszeitraum rd. 3,4 m (Pegel Ingolstadt) bzw. rd. 3,5 m (Pegel Vohburg). Mit einem Scheitelabfluss von rd. 1.530 m³/s am Pegel Ingolstadt Luitpoldstraße am 04.06.2013 entspricht das Hochwasserereignis im Juni 2013 annähernd einem Ereignis mit einer Jährlichkeit HQ₁₀ (http://www.hnd.bayern.de/pegel/donau_bis_kelheim/ingolstadt-luitpoldstrasse-10046105/statistik, HQ₁₀ = 1.520 m³/s).

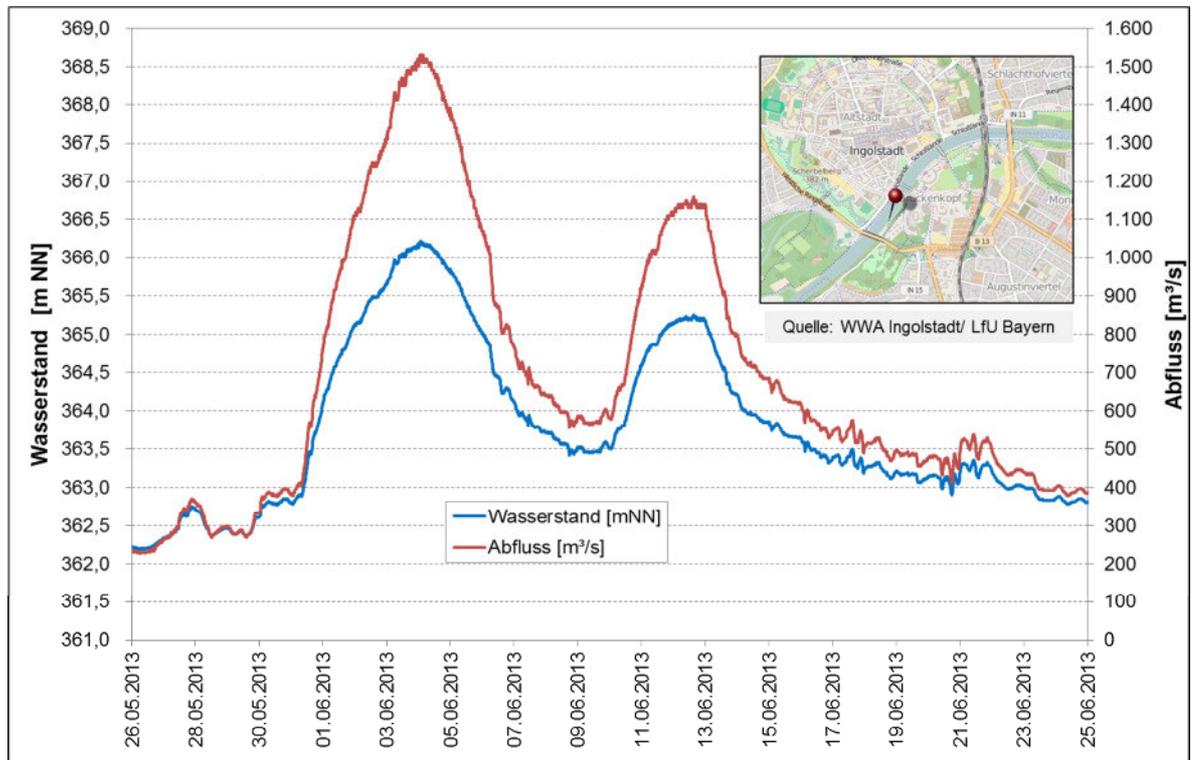


Abbildung 8: Pegel Ingolstadt/Luitpoldstraße, Wasserstände/Abflüsse beim HW 2013

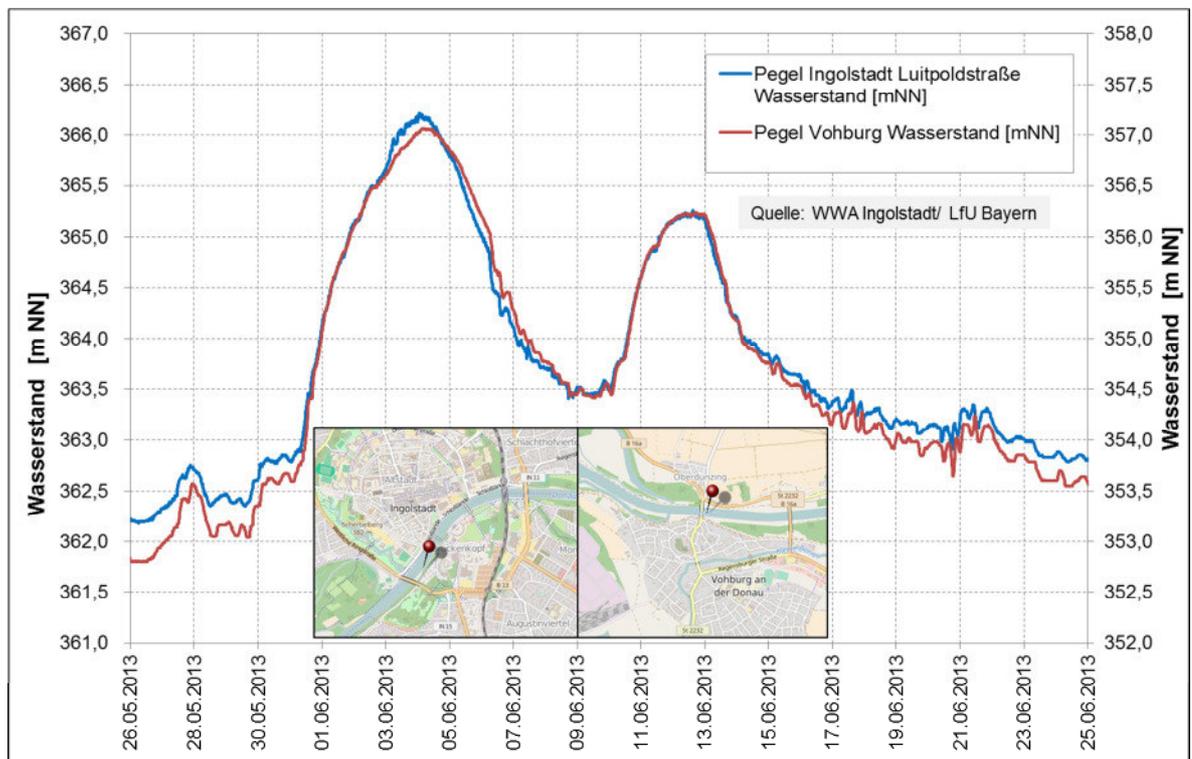


Abbildung 9: Pegel Ingolstadt/Luitpoldstr. und Pegel Vohburg, Gemessene Wasserstände beim HW 2013

Paar und weitere Nebengewässer

An den südlich der Donau im Modellraum bestehenden Nebengewässern der Donau lagen kontinuierliche Messwerte für folgende Gewässer vor:

- Paar
- Sandrach
- Brautlach
- R. Vorlandgraben
- R. Binnenentwässerungsgraben
- Franziskanergraben

Es handelt sich dabei um 6 amtliche Gewässerpegel (Paar, Sandrach, Brautlach) und um 10 Pegel von UNIPER (Paar, Franziskanergraben, R. Vorlandgraben, R. Binnenentwässerungsgraben), sowie einen Pegel der Fa. Radmer an der Alten Donau (Lage siehe Anlage 6). In Anlage 7.2 und Anlage 7.3 sind die gemessenen Wasserspiegel ausgewählter Pegel zusammen mit den Tagessummen der Niederschläge an der Station Ingolstadt (LfU) dargestellt. Hieraus ist ersichtlich, dass auch an den Nebengewässern die maximalen Wasserstände überwiegend am 04.06.2013 auftreten.

Am Pegel 01 05 0139 am R. Binnenentwässerungsgraben (Anlage 7.3) tritt der maximale Wasserstand beim HW 2013 erst am 06.06.2013 auf. An der Einleitungsstelle des R. Binnenentwässerungsgrabens in die Paar (Anlage 7.3, Pegel 01 05 0043) ist der Paar-Wasserstand am 06.06.2013 bereits rückläufig. Der verzögerte Rückgang der Wasserstände am Pegel 01 05 0139 ist voraussichtlich auf die entsprechend verzögerte Entwässerung des beim HW 2013 gefluteten Polderbereiches zurück zu führen.



Abbildung 10: Rohrdurchlass am R. Binnenentwässerungsgraben – 09.03.2017

Am 09.03.2017 wurde seitens WWA eine Bestandaufnahme der Rohrdurchlässe am R. Binnenentwässerungsgraben durchgeführt (DN1000). Hierbei zeigt sich, dass die Durchlässe bereits bei den zu diesem Zeitpunkt angetroffenen Wasserständen nahezu vollständig eingestaut sind (Abbildung 10).

Außerdem wurde auch die Höhenlage nicht regulierbarer Rohrdurchlässe am linken Paardeich eingemessen, die sich nahe zur Einleitung des R. Binnenentwässerungsgrabens befinden (Abbildung 11). Die paarseitige Rohrunterkante (DN1000) wurde zu rd. 358,23 mNN ermittelt, die polderseitige zu rd. 358,44 mNN. Unter Berücksichtigung der Entwicklung der Wasserstände am Pegel 01 05 0043 (Paar) beim HW 2013 ergibt sich hieraus, dass zwischen dem 31.05.2013, 21:00:00 und dem 13.06.2013, 15:00:00 der Paarwasserstand höher war als die Polderseitige Rohrunterkante und somit in diesem Zeitraum eine Wasserspiegelinteraktion zwischen Paar und Polderraum möglich war.



Abbildung 11: Einleitung R. Binnenentwässerungsgraben (paarseitig) und zwei benachbarte, nicht regulierbare Rohrdurchlässe

Vor diesem Hintergrund ist davon auszugehen, dass beim HW 2013 eine verzögerte Entwässerung der gefluteten Flächen im Bereich des geplanten Polders erfolgte, da die Ableitung durch die Leistungsfähigkeit der Durchlässe im Polder und auch am Durchlass zur Paar (mit Rückschlagklappe) begrenzt war.

Grundwasserstände

Zur Beurteilung der Entwicklung der Grundwasserstände beim HW 2013 lagen an 87 GWM innerhalb des Modellraumes Messdaten vor. In Anlage 8.1 bis Anlage 8.3 ist der zeitliche Verlauf im o.a. Zeitraum beispielhaft für 17 ausgewählte GWM zusammen mit der Entwicklung der Wasserstände an der Donau (Pegel Ingolstadt/Luitpoldstraße) und an der Paar (Pegel Manching/Ort) dargestellt. Dort zudem mit eingetragen sind die Tagessummen der Niederschläge an der Station Baumannshof (s.a. Kap. 2.4.2.2). Die Lage der Messstellen ist aus Anlage 6 ersichtlich.

In Anlage 8.1 sind Ganglinien gemessener Grundwasserstände an ausgewählten GWM aus dem westlichen und südwestlichen Modellraum dargestellt. Hieraus ist ersichtlich:

- Die Grundwasserstände im westlichen Modellgebiet werden beim HW 2013 durch die Schwankungen der Donauwasserstände im UW der Staustufe Ingolstadt, die im betrachtungszeitraum aufgetretenen Niederschläge und insbesondere auch durch die Interaktion zwischen dem Grundwasser und AW-Kanalnetz der Stadt Ingolstadt geprägt.
- An der nahe zur Donau gelegenen GWM 01 05 0319 (bei Donau Fl.km 2456) sind die Schwankungen des Donauwasserspiegels im Grundwasser mit einem Anstieg der Grundwasserstände um über 2,2 m in gedämpfter Form noch gut erkennbar. An den weiter südlich, im Stadtgebiet von Ingolstadt gelegenen GWM (01 04 0035, 01 05 0435, KOTHAU 134A, PICHL 126B) sind Auswirkungen der Hochwasserwelle in der Donau nur noch stark gedämpft und mit deutlicher zeitlicher Verzögerung von mehreren Tagen erkennbar. Dort ist ein Anstieg der Grundwasserstände um wenige Dezimeter feststellbar (ca. 0,4 m bis ca. 0,6 m).
- An der nördlich vom Markt Manching gelegenen GWM 01 05 227 steigen die Grundwasserstände beim HW 2013 um rd. 1,3 m an, der zeitliche Verlauf ist durch einen langgestreckten Scheitel gekennzeichnet. Dort machen sich die ausgedehnten Überflutungen an Paar, Sandrach und Urfer beim HW 2013 bemerkbar (s. Anlage 6). An der GWM 01 05 227 steigen die maximalen Grundwasserstände nahezu bis auf Geländeniveau (GOK) an, vermutlich ist es dort in nahe gelegenen Geländesenken beim HW 2013 auch zu Grundwasseraustritten über Gelände gekommen.
- An der südlich des Flughafens Manching befindlichen GWM Baumannshof 138 steigen die Grundwasserstände beim HW 2013 um rd. 1,3 m an. Dies ist voraussichtlich durch die beim HW 2013 erhöhten Abflüsse bzw. höheren Wasserstände im benachbarten Kühpicklgraben und die im Betrachtungszeitraum aufgetretenen Niederschläge bedingt. **Gemessene Wasserstände lagen für dieses Grabensystem beim HW 2013 nicht vor.**
- An GWM Baumannshof 138 und GWM 01 05 227 sind die Einflüsse infolge der im Zeitraum 09.06.- 12.06.2013 erneut auftretenden Niederschläge durch einen geringen Zwischenanstieg der Grundwasserstände (< 0,15 m) erkennbar.

Anlage 8.2 beinhaltet Ganglinien der gemessenen Grundwasserstände an ausgewählten GWM im nördlichen Modellraum, dies betrifft insbesondere den Nahbereich des geplanten Polders bis zum Markt Manching.

- Die Grundwasserstände im donaanahen Bereich geben in gedämpfter Form die Schwankungen des Donauwasserspiegels wieder (GWM 01 05 0351 bei Donau Fl.km 2451; Schwankungsbreite beim HW 2013 rd. 2,4 m). Der maximale Grundwasserstand

tritt zeitlich im Bereich des Wasserstandscheitels der Donau auf (04.06.2013, 3:00 Uhr).

- Die Grundwasserstände innerhalb des geplanten Polders (hier beispielhaft GWM 01 05 0425) werden maßgeblich durch den zeitlichen Verlauf der Wasserstände am binnenseitigen Gewässersystem beeinflusst (Alte Donau, R. Binnenentwässerungsgraben). Der Verlauf der Wasserstände am R. Binnenentwässerungsgraben ist wiederum u.a. auch durch Rückstaueffekte am Einmündungsbereich in die Paar beeinflusst (Siel mit Rückschlagklappe, s. HGM [1] Kap. 3.4.3.5).

Insgesamt resultiert hieraus an der GWM 01 05 0425 beim HW 2013 eine Schwan-
kungsbreite der Grundwasserstände von rd. 1,4 m, der Scheitelwert von rd. 360,6
mNN tritt am 05.06.2013, 03:00 Uhr auf und somit mehr als einen Tag nach dem
Scheitelwert der Hochwasserwelle in der Donau, zudem bleibt der maximale Grund-
wasserstand über ca. 1,5 Tage auf annähernd gleichem Niveau. Dies ist bedingt durch
die zu diesem Zeitpunkt noch hohen Wasserstände an der Paar (s. Anlage 7.2) und
die hierdurch vorübergehend unterbundene Vorflut des R. Binnenentwässerungsgra-
bens über das Siel zur Paar.

- Nördlich vom Markt Manching wird die Entwicklung der Grundwasserstände durch den zeitlichen Verlauf der Wasserstände an der Paar beeinflusst (beispielhaft GWM HWS B7). Beim HW 2013 waren zudem zusätzliche Einflüsse infolge der ausgedehnten Überschwemmungen südlich der Bahnlinie zu verzeichnen. Diese wirken sich sowohl in einem stärkeren Anstieg der Grundwasserstände (Anstieg beim HW 2013 rd. 1,4 m), als auch in einem zeitlich verzögerten Rückgang der Grundwasserstände in und im Nahbereich der Überschwemmungsgebiete aus.

In Anlage 8.3 sind Ganglinien der gemessenen Grundwasserstände an ausgewählten GWM im östlichen Modellraum dargestellt, diese befinden sich bei Westenhausen (Ortsteil von Markt Manching), sowie im Bereich des Wellenbach-Grabensystems bei Knodorf und westlich von Vohburg, nahe zur Paar. Hieraus ist ersichtlich:

- Die Grundwasserstände an nahe zur Paar gelegenen GWM geben in gedämpfter Form die Schwankungen des Wasserspiegels an der Paar wieder (z.B.: 01 05 0277 bei ca. Paar Fl.km 2+000, Lage siehe Anlage 6).
- Bereits an der GWM 01 05 0281, bei Irsching, ist jedoch schon eine starke Dämpfung der paarseitigen Auswirkungen und eine Überlagerung der Auswirkungen weiterer Einflussgrößen erkennbar (Niederschlag, Wasserstände Irschinger bzw. Westenhausener Ach und Wellenbach).
- An der bei Knodorf gelegenen GWM 01 05 0275 und der ca. 1,5 km weiter westlich, im nördlichen bebauten Bereich von Westenhausen befindlichen GWM 01 05 0259, ist - bei unterschiedlichem Absolutniveau der Grundwasserstände – auch ein sehr ähnli-

cher Verlauf der Grundwasserstände erkennbar. Auffällig ist an der GWM 01 05 0259 der Anstieg der Grundwasserstände vom 01.06.2013, auf den 02.06.2013 von ca. 0,5 m der damit um rd. 0,15 m stärker ausfällt als an der nur ca. 500 m weiter südlich gelegenen GWM Westenhausen 135, deren Grundwasserstands Verlauf ansonsten weitgehend mit dem an der 01 05 0259 übereinstimmt. Zudem ist an GWM 01 05 0259 ein schnellerer Rückgang der Grundwasserstände erkennbar, als an GWM Westenhausen 135 und GWM 01 05 0257. Mögliche Ursachen für die kleinräumig unterschiedlichen Charakteristiken im Verlauf der Grundwasserstände sind vermutlich zusätzliche, bisher nicht erfasste Einflüsse, z.B. infolge von Überschwemmungen in dem nördlich von Westenhausen befindlichen Grabensystemen (Gewanne Hirschgrube, Äußere Au), infolge von Abflussverzögerungen durch Biberbauten an den zur Westenhauser Ach entwässernden Grabensystemen, sowie ggf. anthropogene Einflüsse (AW-Kanalnetz, Pumpmaßnahmen in Kellern beim HW 2013).

Die östlich von Knodorf und damit nahe zum Wellenbach gelegenen GWM 01 05 0283 weist gegenüber den vorstehend beschriebenen GWM einen deutlich flacheren Verlauf auf. Mögliche Ursachen hierfür sind Unterschiede in der räumlichen Niederschlagsverteilung beim HW 2013 sowie Unterschiede in den örtlichen Entwässerungsmöglichkeiten zum Vorfluter.

- An den im südlichen Bebauungsbereich von Westenhausen befindlichen GWM Westenhausen 135 und der am westlichen Altarmbogen der Westenhausener Ach liegenden GWM 01 050 257 ist ein in den wesentliche Charakteristiken weitgehend übereinstimmender Verlauf der Grundwasserstände zu erkennen. Dies weist darauf hin, dass die Grundwasserstände an diesen beiden GWM voraussichtlich im Wesentlichen durch die Wasserstände in der Westenhausener Ach beeinflusst werden. Die Abflüsse/Wasserstände an der Westenhausener Ach bei Westenhausen werden wiederum durch die Zuflüsse aus dem südlich angrenzenden EZG mit beeinflusst (Riedelmoosgraben, Kühpicklgraben). **Gemessene Wasserstände lagen beim HW 2013 jedoch weder für die Westenhausener Ach noch für die Gräben im südlichen EZG vor.**

Fremdwasseranteil - Kanalnetz Ingolstadt

Für die stationäre Kalibrierung (Stichtag 19.04.2016) wurden seitens INKB Abflussmessungen im AW-Kanalnetz der Stadt Ingolstadt zur Verfügung gestellt (siehe Kap. 1.2), für das HW 2013 lagen keine entsprechenden Messungen vor.

Zur Abschätzung der beim HW 2013 voraussichtlich aufgetretenen Fremdwassermengen erfolgten im Dezember 2016 Abstimmungen mit INKB und WWA Ingolstadt. Hieraus ergaben sich seitens INKB folgende wesentliche Feststellungen und Einschätzungen:

- Von INKB wurden die Tageswerte der Zulaufmengen im Hauptsammler zur Zentralen Kläranlage (ZKA) für den Zeitraum 01.01.2004 bis 31.08.2016 zur Verfügung gestellt.

Diese Werte beinhalten den Zufluss aus dem gesamten Stadtgebiet, aus den nördlich der Donau und damit außerhalb des Modellraumes gelegenen Stadtteilen. Die Zulaufmengen zur Zentralen Kläranlage (ZKA) werden auf einen maximalen Zulauf von ca. 1.100 – 1.200 l/s gedrosselt, darüber hinausgehende Zuflüsse wurden beim HW 2013 über die Regenentlastung abgeschlagen.

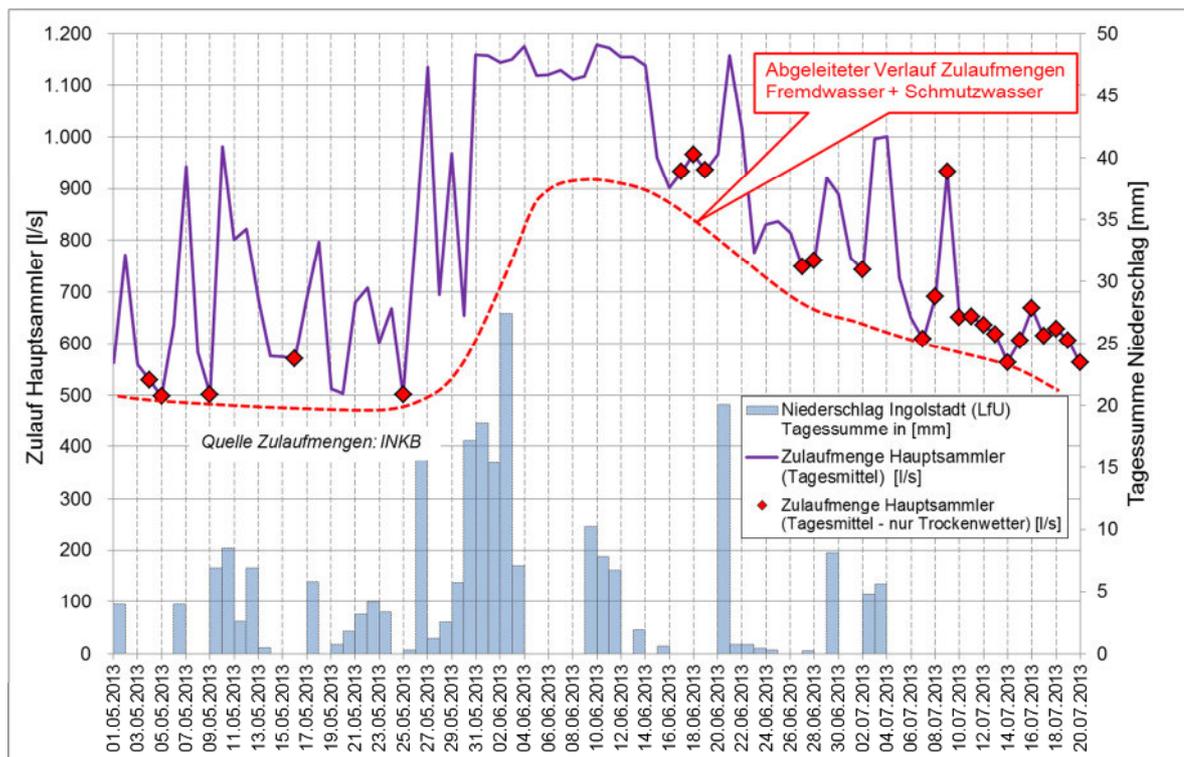


Abbildung 12: Zulaufmenge Zentrale Kläranlage Ingolstadt (ZKA) beim HW 2013, abgeleiteter Zulauf Fremdwasser + Schmutzwasser

- Beim HW 2013 lagen die maximalen Grundwasserstände im südlichen Stadtgebiet um ca. 0,4 m – 0,6 m höher als bei der Stichtagsmessung im April 2016 (Abbildung 13), infolgedessen ist gegenüber der Stichtagsmessung von einem Anstieg des Fremdwasseranfalls in das Kanalnetz von INKB auf ca. 50 – 60% auszugehen (Stichtag April 2016: ca. 90 l/s; Grobe Abschätzung HW2013: 135 – 145 l/s).

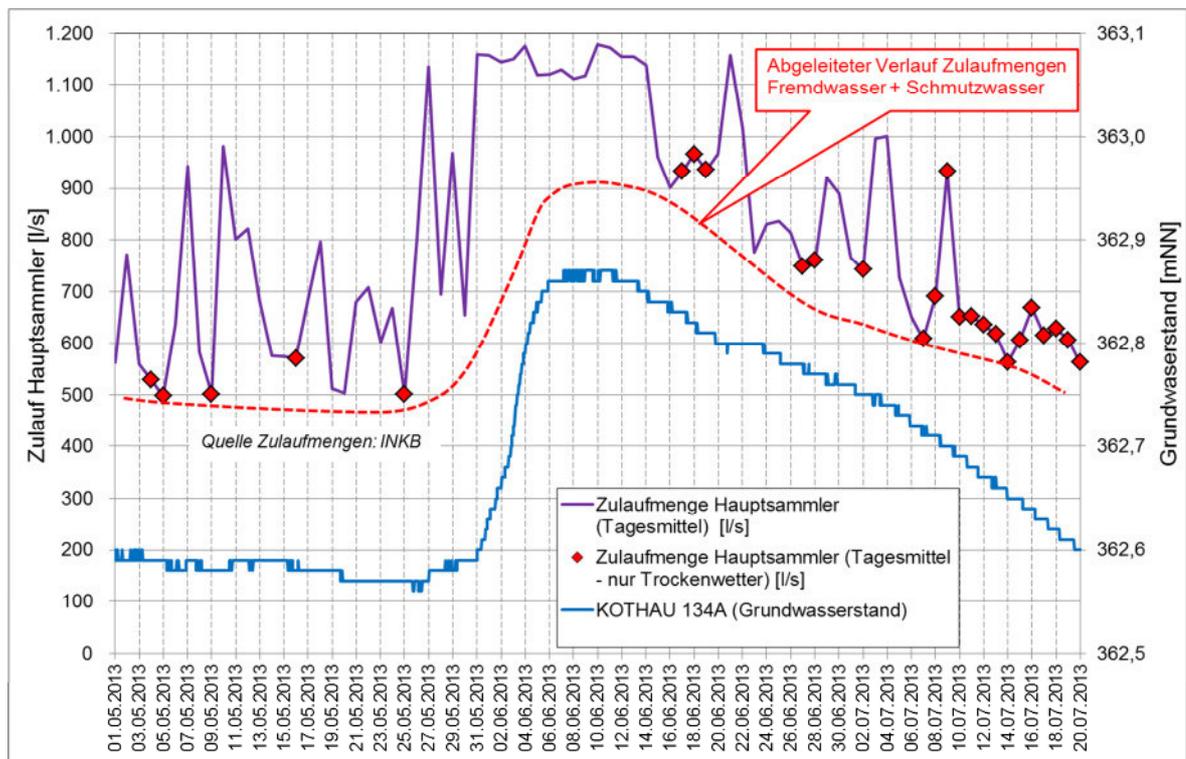


Abbildung 13: Zulaufmenge ZKA Ingolstadt und gemessene Grundwasserstände an der GWM KOTHAU 134A beim HW2013

- Auf Grundlage der durchgeführten Auswertungen und den getroffenen Abstimmungen (INKB, WWA Ingolstadt) ist beim HW 2013 voraussichtlich von einer maximalen Zulaufmenge aus Fremdwasser und Schmutzwasser in der Größenordnung von 900 - 1.000 l/s auszugehen. Entsprechende Anhaltspunkte geben die gemessenen Zulaufmengen in der niederschlagsfreien Phase vom 17.06. – 19.06.2013.
- Der zeitliche Verlauf der Zulaufmengen aus Fremdwasser und Schmutzwasser beim HW 2013 wurde entsprechend dem in der Grafik eingetragenen Verlauf ab (rot gestrichelten Linie). Im Scheitel ergibt sich ca. ein Faktor 1,8 gegenüber dem Ausgangsniveau vor dem HW 2013.

Bei den dargestellten gemessenen Zulaufmengen handelt es sich um die Zuflüsse aus dem gesamten Stadtgebiet von Ingolstadt. Der anteilige Fremdwasseranfall im südlichen Stadtgebiet (Modellraum) wird mit dem Grundwassermodell ermittelt und anhand der verfügbaren Messdaten und den getroffenen Abstimmungen auf Plausibilität überprüft. Mit dem o.a. Faktor 1,8 ergibt sich für das AW-Kanalnetz im Stadtgebiet Ingolstadt innerhalb des Modellraumes beim HW 2013 ein Fremdwasseranfall von ca. 150 - 160 l/s.

Fremdwasseranteil - Kanalnetz Manching

Vom Markt Manching wurden Mittelwerte der vorgeschriebenen jeweils zwölf Fremdwassermessungen (pro Jahr) für die Jahre 2014 bis 2016 zur Verfügung gestellt.

Table 18: Kanalnetz Manching – gemessene Fremdwassermengen (Mittelwerte)

Jahr	Fremdwassermengen im Zulauf zur KA Manching (Jahresmittelwert)		Fremdwasseranteil in [%]
	ca. m ³ /d	rd. l/s	
2014	780	9,0	16
2015	997	11,5	19
2016	1.008	11,7	18

Hieraus ergibt sich ein relativ geringer Fremdwasseranfall von rd. 9 – 12 l/s. Im Rahmen der stationären Kalibrierung (Kap. 2.1) ergaben sich keine Hinweise auf wesentliche Einflüsse auf die Grundwasserstände durch Wechselwirkungen zwischen dem Grundwasser und dem AW-Kanalnetz.

Die KA von Manching befindet sich im Norden vom Markt Manching. An das Kanalnetz (siehe Abbildung 14) angeschlossen sind Alt-Manching und die westlich der Autobahn A9 gelegenen Ortsteile Oberstimm, Niederstimm und Pichl einschließlich der Truppenunterkunft von Oberstimm (Max-Immelmann-Kaserne). Seit 2003 sind auch der Ortsteil Forstwiesen südlich des Flughafens Manching und ein Bereich des Flughafens (AIRBUS, WTD61) angeschlossen. Darüber hinaus ist die Gemeinde Baar-Ebenhausen und der Markt Reichertshofen mit angeschlossen. Für den Ortsteil Westenhausen besteht eine eigene vollbiologische KA.

Aus Abbildung 14 ist das AW-Kanalnetz des Marktes Manching ersichtlich. Aufgrund der räumlich weit verzweigten Struktur des AW-Netzes und den weiteren zusätzlichen Einleitungen (Flughafen Manching, Reichertshofen, ...) ist auf Grundlage der vorliegenden Daten und Informationen eine Zuordnung der Fremdwasseranteile zu den verschiedenen Anschlussbereichen nicht möglich.

Durch eine Verschneidung der für mittlere Verhältnisse (2005/15) ermittelten Grundwasseroberfläche mit der Sohle der Kanalschächte wurden diejenigen Schächte ermittelt, die bereits bei mittleren Grundwasserständen tiefer als der Grundwasserspiegel liegen (= grüne Punkte). Bei hohen GW-Ständen, wie beim HW 2013 ist davon auszugehen, dass alle in Abbildung 14 dargestellten Schächte (= grüne/ lila Punkte) vorübergehend tiefer als der Grundwasserspiegel liegen.

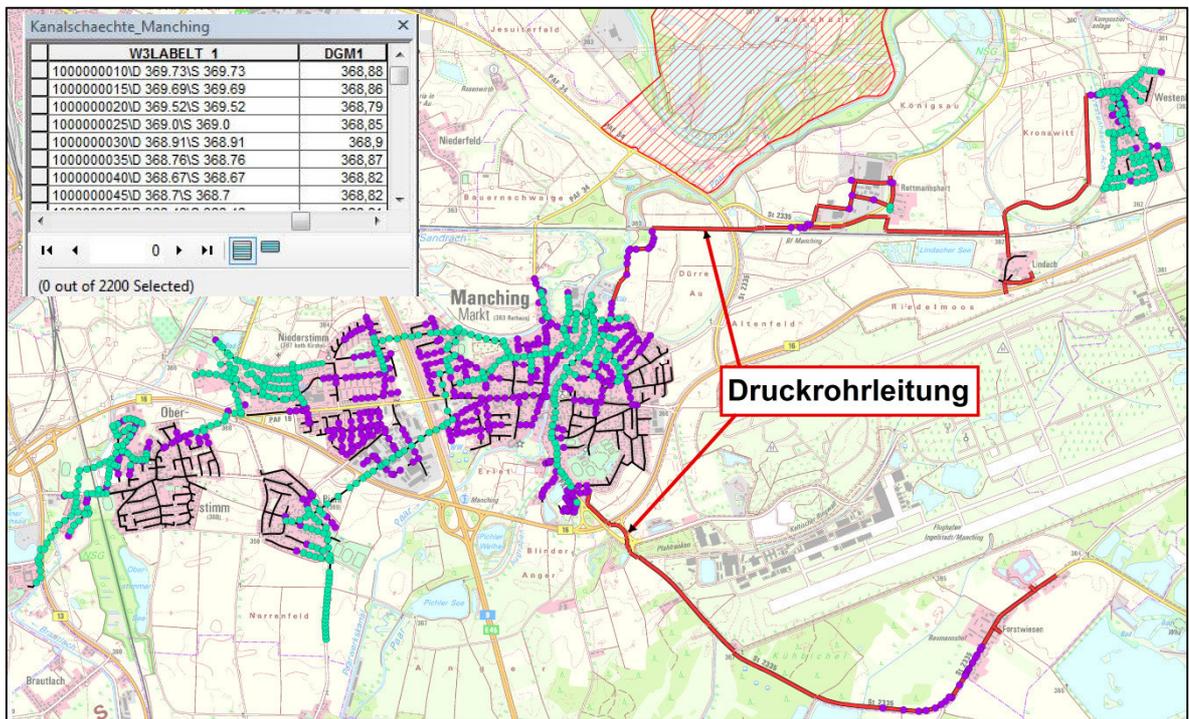


Abbildung 14: AW-Kanalnetz Markt Manching (Auszug)

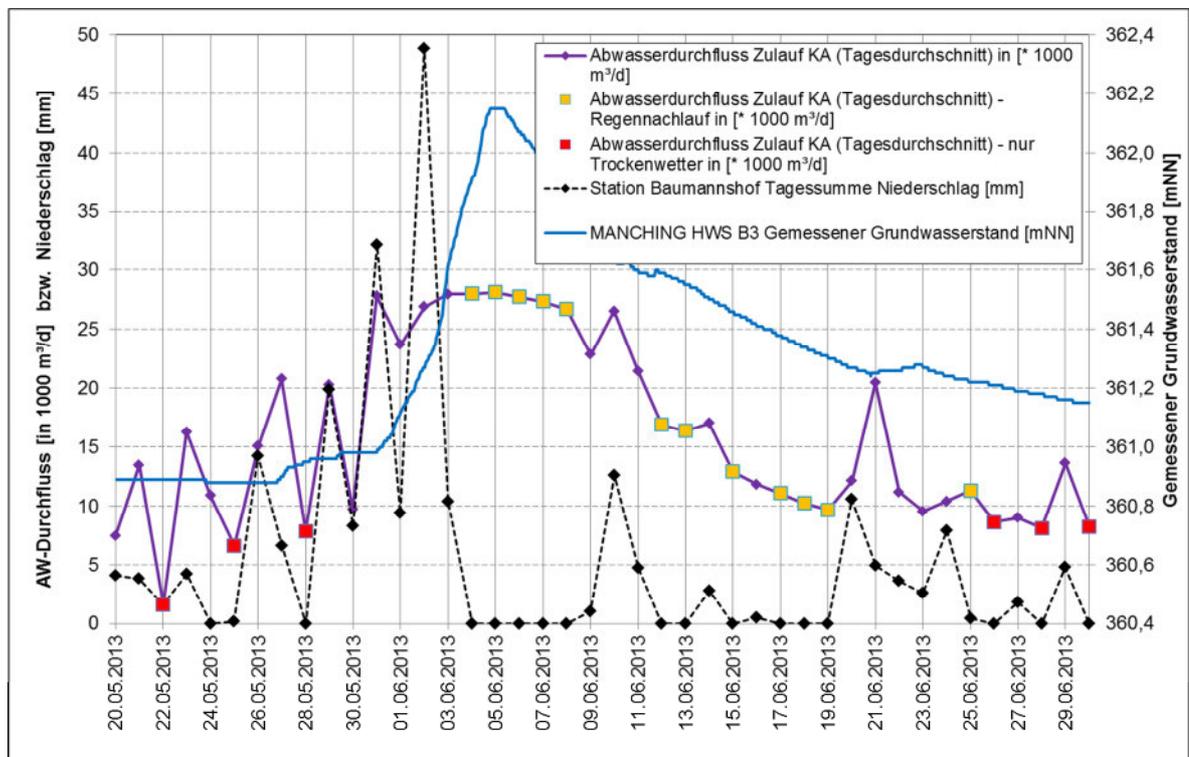


Abbildung 15: Zulauf KA Manching (Tagesdurchschnitt), Tagessummen Niederschlag Station Baumannshof, GWM Manching HWS B3

Für den Zeitraum des HW 2013 lagen keine Fremdwassermessungen vor. Vom Markt Manching wurden die Zulaufmengen (Tageswert) im Mai/Juni 2013 zur Verfügung gestellt (Abbildung 15). Der Trockenwetterabfluss lag in diesem Zeitraum bei rd. 1.630 m³/d – 8.660 m³/d (rd. 19 – 100 l/s). Während des HW 2013 steigen die Zuflüsse auf bis zu ca. 28.000 m³/d an, auch an niederschlagsfreien Tagen während des HW 2013 sind hohe Zuflüsse aus „Regennachlauf“ zu verzeichnen. Eine Ableitung der beim HW 2013 aufgetretenen Aussickerungsmengen in das AW-Kanalnetz des Marktes Manching ist auf dieser Grundlage nicht möglich.

Zur Beurteilung der Wechselwirkungen zwischen dem Grundwasser und dem AW-Kanalnetz insbesondere im Ortsteil Westenhausen sind gesonderte Abflussmessungen (Trockenwetter) in diesem Teilnetz des AW-Kanalnetzes erforderlich.

2.4.2 Randbedingungen für das Grundwassermodell

Für das Grundwassermodell ergeben sich ergänzend zur Parameterverteilung aus der stationären Kalibrierung folgende Vorgaben:

- Als Ausgangswasserstand für die instationäre Modellkalibrierung wurde die stationäre Kalibrierung für den Stichtag 19.04.2016 herangezogen (s. Kapitel 2.1.2). Die Grundwasserstände vor dem HW 2013 (am 30.05.2013) entsprachen weitgehend den Grundwasserständen am Stichtag 19.04.2016. An 72 vergleichbaren GWM lag die mittlere Differenz zwischen Messwert am 30.05.2013 und Messwert am Stichtag 19.04.2016 bei 0,04 m, die mittlere absolute Differenz bei 0,08 m. Die Messwerte der Stichtagsmessung vom April 2016 wiederum geben annähernd mittlere Verhältnisse wieder (siehe Kap. 2.1).
- Die Zeitschrittunterteilung zur Nachbildung der Verhältnisse beim HW 2013 ist variabel und richtet sich einerseits nach den Messintervallen an den binnenseitigen Pegeln, die überwiegend als Wochenwerte vorliegen. Andererseits werden wesentliche Änderungen des Donauwasserspiegels im Unterwasser der Staustufe Straubing erfasst. Die gemessene zeitliche Änderung der Wasserspiegel an den Pegeln wird entsprechend übernommen, dazwischen wird linear interpoliert.

2.4.2.1 Gewässer

Für die instationäre Kalibrierung stellt die zeitliche Variation der Wasserstände in Donau, Paar und den weiteren Nebengewässern eine wesentliche Randbedingung dar. Zur Ermittlung der Wasserstandsänderungen bei den zu betrachtenden Ereignissen wurden Berechnungen mit einem 2D-Wasserspiegellagen(WSP) - Modell durchgeführt. Die berechneten Wasserspiegel und Wassertiefen der Haupt- und Nebengewässer, sowie der überfluteten Bereiche, wurden als Eingangsdaten in das instationäre Grundwassermodell übernommen.

Die Randbedingungen an den Gewässern wurden in Form von Ganglinien für 180 ausgewählte Standorte abgeleitet. Zwischen den ausgewählten Standorten wurden die berechneten Wasserspiegel linear interpoliert. Für folgende Gewässer und zugehörigen Überflutungsbereiche lagen berechnete WSP aus dem 2D-WSP-Modell vor:

- Donau
- Paar
- Ilm
- Sandrach
- Brautlach

Die beim HW 2013 überfluteten Bereiche wurden berücksichtigt, wenn im 2D-WSP-Modell eine Wassertiefe von mindestens 0,01 m berechnet wurde. Diese Bereiche sind in Anlage 6 dunkelblau hervorgehoben. Es handelt sich hierbei insbesondere um:

- Überschwemmungsgebiet an der Donau und am R. Vorlandgraben mit Überflutung des rechten, südlichen Donauvorlandes, von Fl.km. 2454+500 bis 2444+000 bei Vohburg
- Ausgedehnte Überschwemmungsbereiche an der Paar, von Fl.km 16+000 bis Fl.km 12+000, insbesondere östlich der Paar bis zur BAB A9 und zur B 16, sowie nordwestlich des Paarkanales bis in die Bebauung des Ortsteiles Pichl (Markt Manching) und in Manching/Ort
- Überflutung des eingedeichten Paarvorlandes von Paar Fl.km 11+000 bis ca. Fl.km 6+500
- Ausuferung an der Sandrach östlich von Ingolstadt – Stadtteil Unsernherrn bei Sandrach Fl.km 3+000 bis 4+000
- Ausgedehnte Ausuferungen an Sandrach und Ufer an der nördlichen Bebauungsgrenze von Markt Manching (siehe Abbildung 16)
- Ausuferungen an der Ilm entlang der östlichen Modellgrenze



Abbildung 16: Befliegung HW 2013 - Manching Kläranlage (von Süden)

Im Hochwasserfall kommt den überfluteten Vorlandflächen die Wirkung eines Gewässers mit teilgedichteter Sohle zu. Dementsprechend wurden die beim HW2013 überschwemmten Bereiche im instationären Grundwassermodell ebenfalls als Transfer-Randbedingung definiert. Hierbei handelt es sich - modelltechnisch gesprochen - um einen besonderen Fall einer Randbedingung 3. Art (Cauchy-Randbedingung). Die Austauschraten (Exfiltration/Infiltration) zwischen den Oberflächengewässern und dem Grundwasser werden hierbei unter Berücksichtigung der als teil-durchlässig angenommenen Sohle des Gewässers ermittelt. Die Transferrate wird dort durch die vertikale Durchlässigkeit und die Mächtigkeit der Deckschichten bestimmt.

Die räumliche Verteilung der Mächtigkeit der Deckschichten wurden im HGM ermittelt (siehe [1], Anlage 3.5). Die Ermittlung erfolgte auf Grundlage verfügbarer Aufschlüsse durch flächige Interpolation (Kriging-Verfahren). Messdaten zur Durchlässigkeit der Deckschichten lagen nicht vor. Die Transferrate wurde zunächst mit $3 \cdot 10^{-6}$ 1/s angesetzt. Im Rahmen der instationären Modellkalibrierung erfolgt eine systematische Anpassung der Transferrate.

Für Gewässer, an denen keine berechneten Wasserspiegel, aber Messwerte an vorhandenen Pegeln vorlagen, wurden die im Kalibrierungszeitraum verfügbaren Messwerte als Randbedingung angesetzt, zwischen den Pegeln wurden die Wasserspiegel linear interpoliert. Diese Vorgehensweise wurde bei folgenden Gewässern zugrunde gelegt:

- Rechter Vorlandgraben
- Franziskanergraben
- R. Binnenentwässerungsgraben

An den Gewässern, für die beim HW 2013 weder gemessene Wasserstände noch Ergebnisse aus 2D-WSP-Berechnungen vorlagen, mussten Annahmen getroffen werden. Dies betrifft folgende Gewässer:

- Alte Donau,
- Irschinger (Westenhauser) Ach
- Wellenbach sowie die jeweils angebotenen Grabensystemen,

Die Ableitung der jeweiligen Randbedingungen wird im Folgenden kurz erläutert.

Alte Donau

Die Wasserstandsmessungen an der Alten Donau (Pegel P 2 der Fa. Radmer) erfolgen überwiegend in Zeitabständen von 2 – 3 Wochen. Im Betrachtungszeitraum für das HW 2013 lagen nur 2 Messwerte vor (Abbildung 17). Es ist davon auszugehen, dass die beim HW 2013 aufgetretenen maximalen Wasserstände an der Alten Donau hierdurch voraussichtlich nicht erfasst wurden.

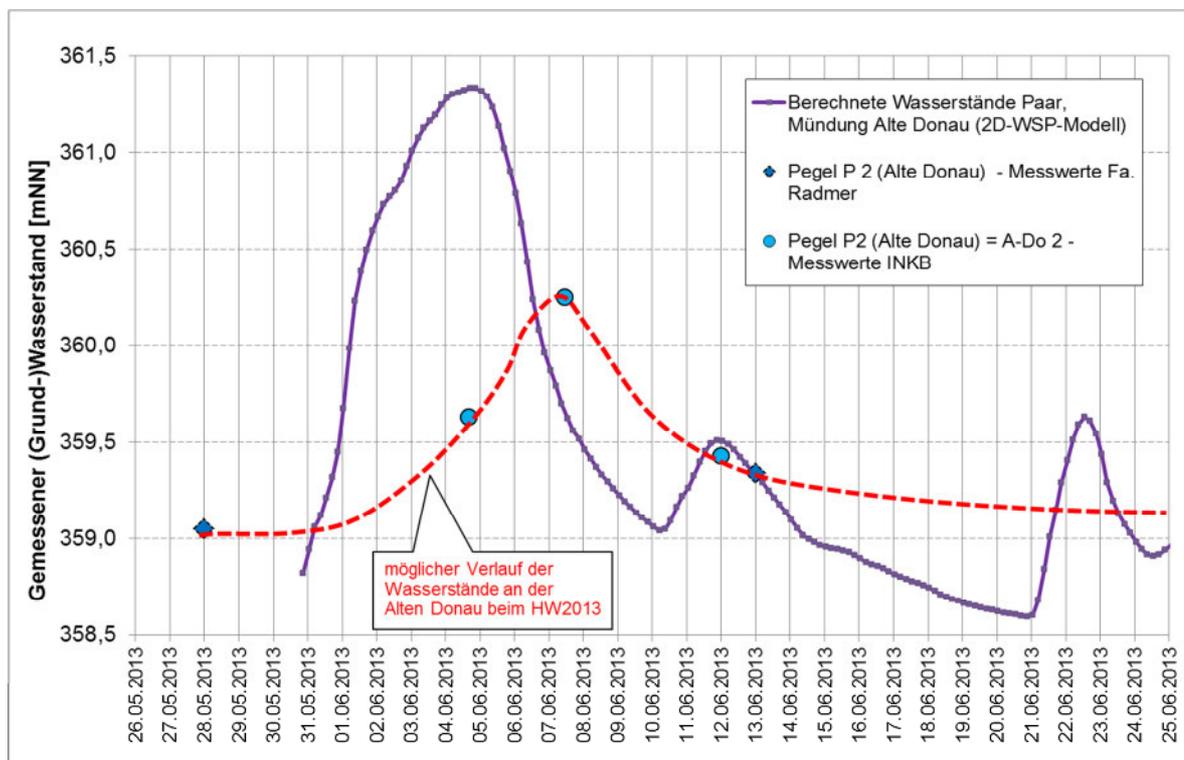


Abbildung 17: Randbedingung für die Alte Donau

Im Nachgang zu den Abstimmungen vom 22.02.2017 [5] wurden von INKB zusätzliche Messdaten am Pegel P 2 (INKB-Bezeichnung: A-Do 2) ab 1991 zur Verfügung gestellt. Während des HW 2013 erfolgten seitens INKB Wasserstandsmessungen in Abständen von rd. 3 bis rd.

5 Tagen. Auf Grundlage der insgesamt verfügbaren Messdaten (Abbildung 17) wurde der mögliche Verlauf der Wasserstände an der Alten Donau beim HW 2013 abgeleitet. Dieser zeitliche Verlauf wurde abstimmungsgemäß als Randbedingung im Grundwassermodell angesetzt.

Irschinger (Westenhauser) Ach/ Riedelmoosgraben/ Kühpicklgraben

Die Ausgangswasserspiegel (Startwert) an der Irschinger Ach, dem Riedelmoos- und Kühpicklgraben sowie dem Wellenbach wurden im Grundwassermodell entsprechend den Wasserständen am Stichtag (19.04.2016) für das gesamte Fließgewässersystem angesetzt.

Im 2D-WSP-Modell wurden die hier betrachteten Gräben aufgrund fehlender Eingangsdaten (Zuflüsse bzw. Abflüsse) nicht berücksichtigt. Dementsprechend lagen auch keine berechneten Wasserspiegel für das HW 2013 vor. Mit in das 2D-WSP-Modell mit einbezogen wurde jedoch kurzer Teilabschnitte der Irschinger Ach bis zur Einmündung in den Wellenbach und ein Teilabschnitt des Wellenbach bis zur Einmündung in die Kleine Donau (siehe Anlage 6).

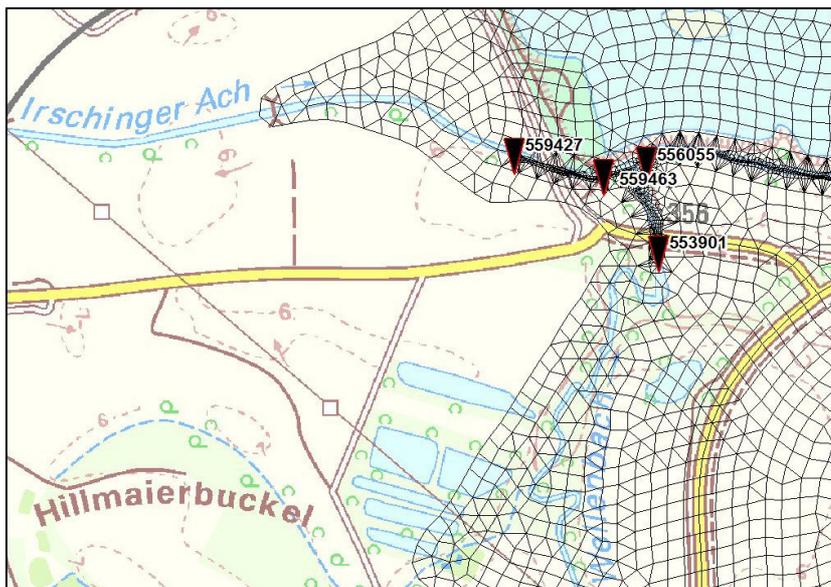


Abbildung 18: *Detailausschnitt aus 2D-WSP-Modell (berücksichtigte Gewässerabschnitte an Irschinger Ach und Wellenbach)*

Der in diesen Teilabschnitt von Irschinger Ach und Wellenbach mit dem 2D.WSP-Modell für das HW 2013 berechnete Wasserstand ist zusammen mit dem entsprechenden WSP-Verlauf an der Kleinen Donau in Abbildung 19 dargestellt.

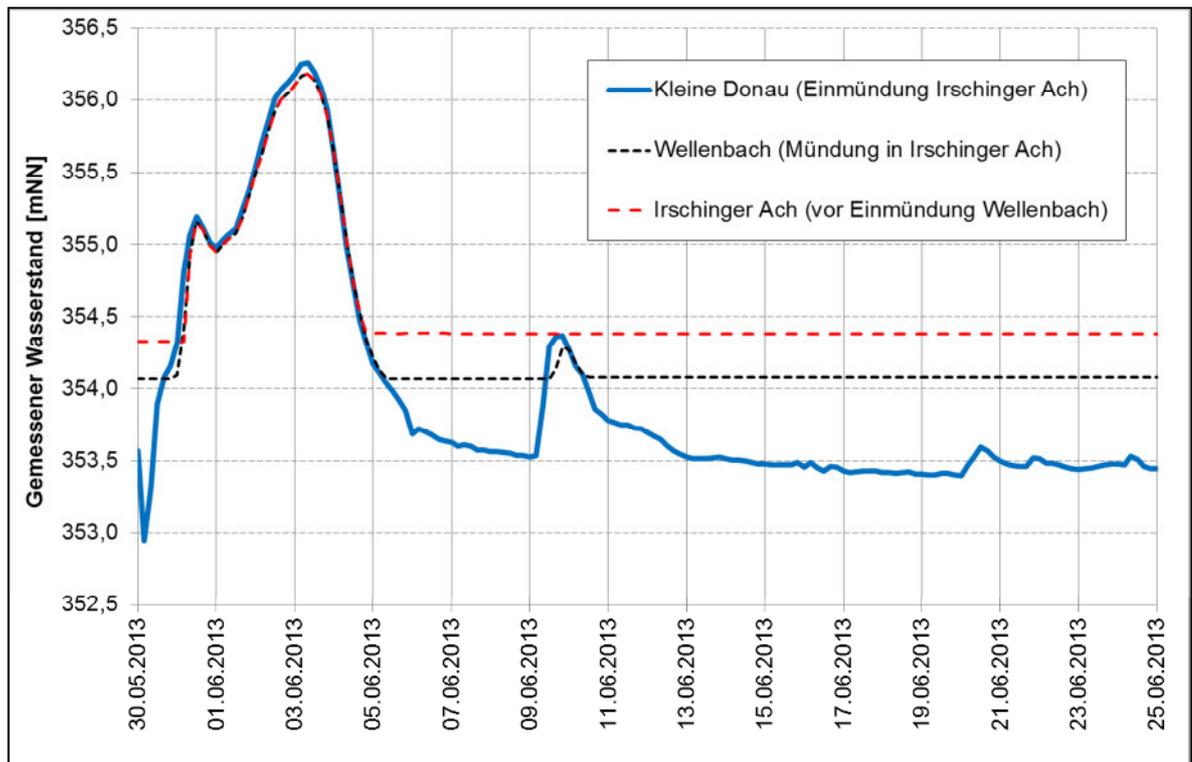


Abbildung 19: Berechnete WSP im Mündungsbereich Irschinger Ach/Wellenbach

Dieser zeitliche Verlauf wurde – als erster Ansatz - entsprechend auf das jeweilige Gewässersystem von Irschinger Ach und Wellenbach übertragen. Grundlage hierfür war die vereinfachte Annahme, dass die zeitliche Entwicklung der Wasserstände an Irschinger Ach und Wellenbach durch die Wasserstände im Mündungsbereich zur Kleinen Donau beim HW 2013 mit beeinflusst wurden.

Im Rahmen der instationären Anpassung zeigte sich, dass hiermit jedoch keine plausiblen Ergebnisse erzielt werden können, d.h. die gemessenen Grundwasserstände im Bereich dieser Gewässersysteme lassen sich damit nicht ausreichend genau abbilden. Insbesondere für den Scheitelwert ergibt sich hiermit eine deutliche Überzeichnung, beispielhaft ist dies in Abbildung 21 für die Messstelle Westenhausen 135 dargestellt.

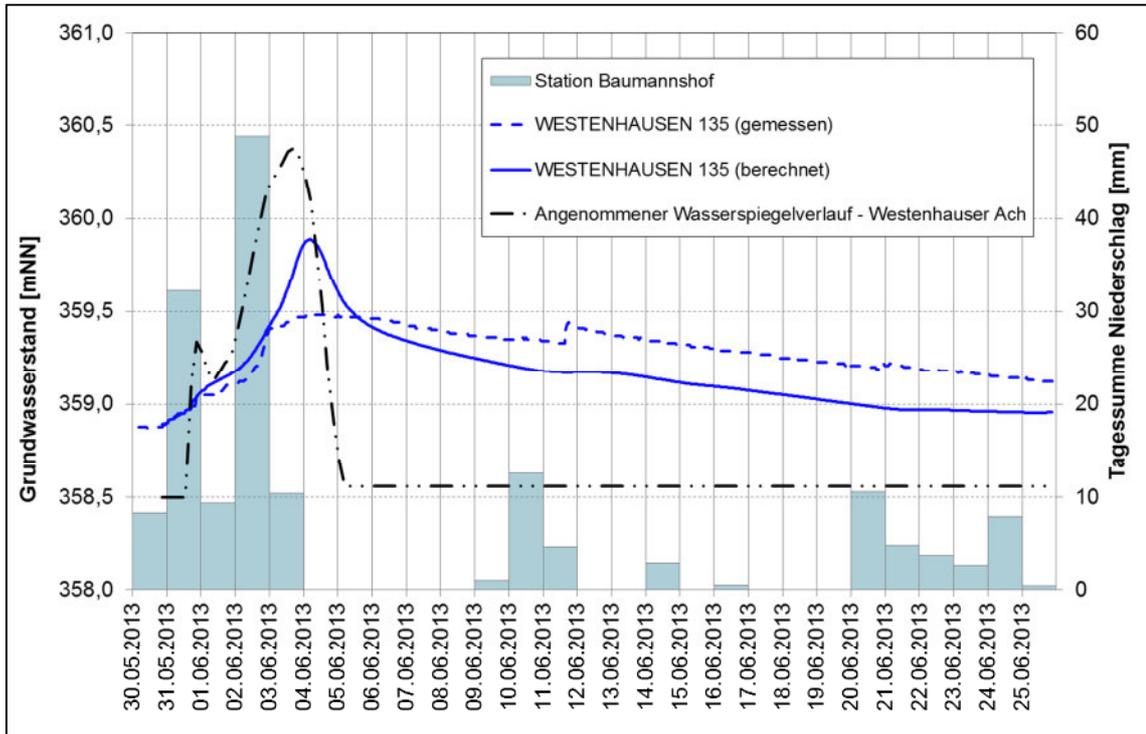


Abbildung 20: Randbedingung Wasserspiegel Westenhausener Ach (1. Ansatz) und berechnete Grundwasserstände

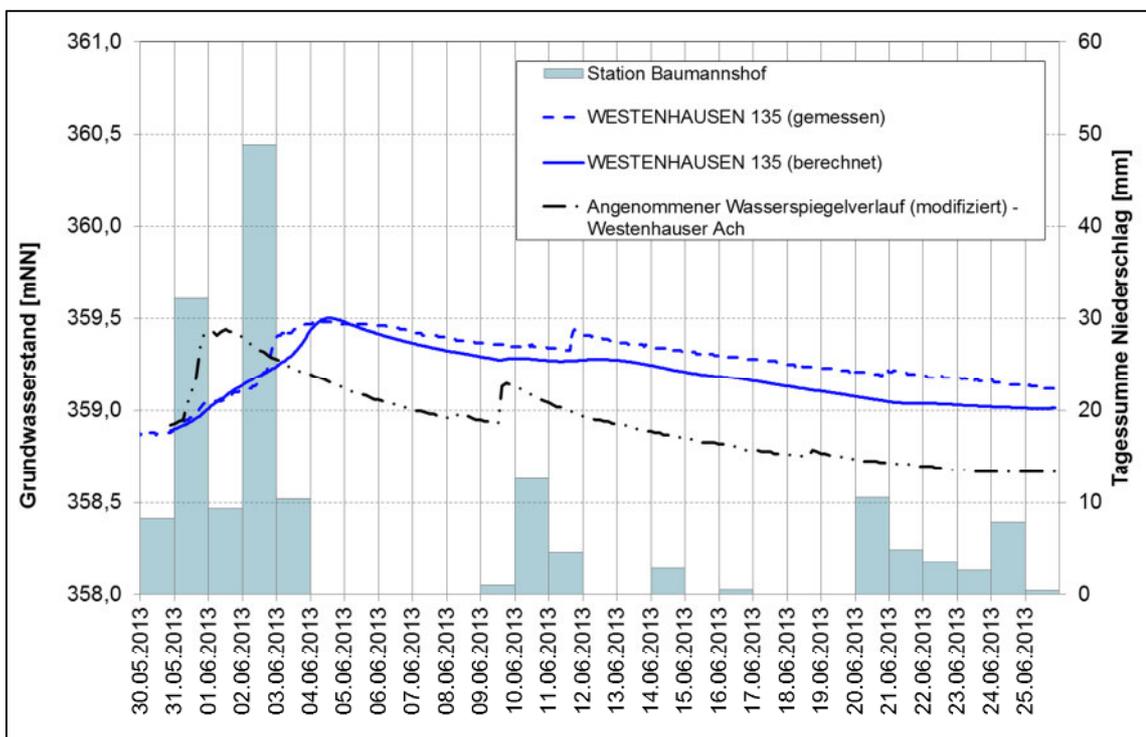


Abbildung 21: Modifizierte Randbedingung Wasserspiegel Westenhausener Ach (2. Ansatz) und berechnete Grundwasserstände

Die für den Endzustand der instationären Kalibrierung angesetzte instationäre Änderung des Wasserstandes an Westenhausener Ach ist aus Abbildung 21 ersichtlich. Diese wurde auf Grundlage einer Analyse der gemessenen Grundwasserstände und der Niederschlagsentwicklung im Bereich dieses Gewässersystems abgeleitet und in gleicher Weise auf alle zugehörigen Grabenwasserspiegel übertragen (2. Ansatz). **Dieser Ansatz stellt eine größenordnungsmäßige, abschätzende Betrachtung dar.**

2.4.2.2 Instationäre Grundwasserneubildung

Für die Grundwasserneubildungsrate wurde das Monatsmittel der seitens LfU bereit gestellten berechneten Sickerwasserrate für Mai und Juni 2013 zugrunde gelegt. Der Mittelwert für das Gesamtgebiet entspricht dabei 1,73 [l/(s*km²)] oder 55 [mm/mon] und resultiert in einem Gesamtzufluss von 228 [l/s] im Modellraum. Dieser Wert liegt trotz der hohen Verdunstung im Juni 2013 im Bereich der GWNB für mittlere Verhältnisse (rd. 220 l/s) für die WWJ 2005/15, da in den Monaten Mai und Juni 2013 auch hohe Niederschläge auftraten.

Monat	Niederschlag [mm/mon]	Verdunstung [mm/mon]	Sickerwasserrate [mm/mon]
Mai	120	67	9
Juni	115	107	55

Abbildung 22: Grundwasserneubildung im Modellraum Mai/Juni 2013

Für die Klimastation Baumannshof (LfL) liegt eine klimatische Wasserbilanz vor.

- Klimatische Wasserbilanz = Niederschlag - **Potentielle** Verdunstung
bzw. KWB = NS - ET_pot

Die klimatische Wasserbilanz ist die Differenz aus gemessenem Niederschlag und potentieller Verdunstung. Die potentielle Verdunstung wird aus mehrere klimatischen Messwerten ermittelt und gibt die maximal mögliche Verdunstung wieder. Die potentielle Verdunstung wird durch das im Boden verfügbare Wasservolumen begrenzt. Die klimatische Wasserbilanz entspricht somit der Grundwasserneubildung, wenn das verfügbare Wasservolumen im Bodenspeicher größer oder gleich der potentiellen Verdunstung ist. Bei einer potentiellen Verdunstung größer dem verfügbaren Wasser im Boden überschätzt die klimatische Wasserbilanz die negative Grundwasserneubildung.

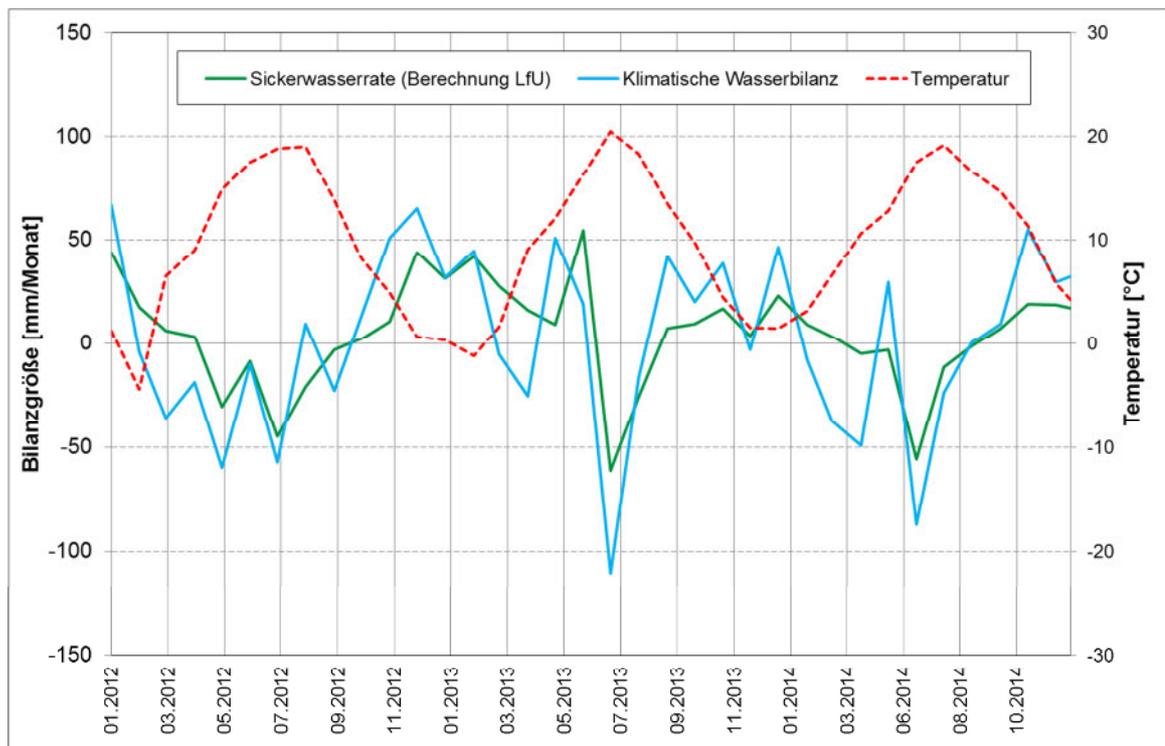


Abbildung 23: Berechnete Grundwasserneubildung im Modellraum und klimatische Wasserbilanz an der Wetterstation Baumannshof

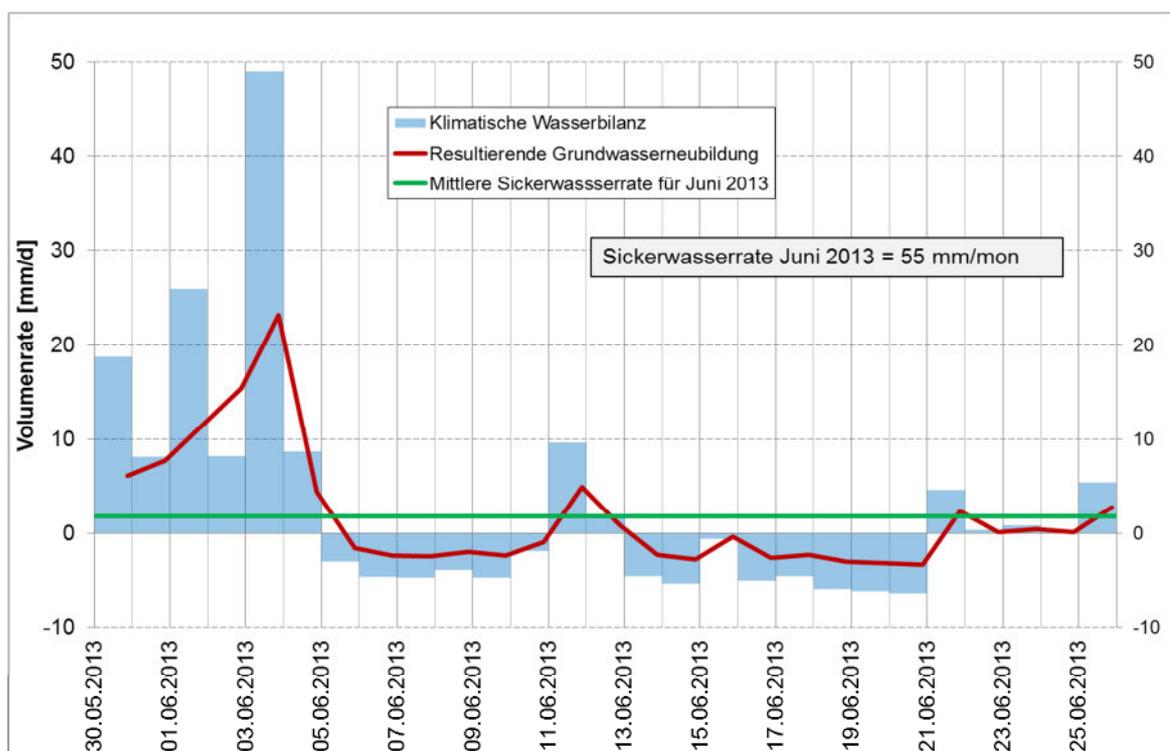


Abbildung 24: Ableitung der instationären Grundwasserneubildung bei HW 2013 aus der Klimatischen Wasserbilanz

Um eine zeitliche Variation der Grundwasserneubildungsrate für die Verhältnisse beim HW 2013 zu erhalten, wurde anhand der klimatischen Wasserbilanz für die Wetterstation Baumannshof (LfL) eine gewichtete Verteilung abgeleitet. In Abbildung 23 ist der Verlauf von Sickerwasserrate (Berechnung LfU für den Modellraum) und der klimatischen Wasserbilanz an der Station Baumannshof im Zeitraum Jan 2012 bis Dez 2014 zusammen mit der Temperaturentwicklung in diesem Zeitraum (Monatsmittelwerte) dargestellt. Hieraus ist eine Korrelation zwischen Sickerwasserrate und klimatischer Wasserbilanz erkennbar.

Die vorstehend berechnete Sickerwasserrate weist eine relativ geringere Schwankungsbreite auf. In Abhängigkeit vom Flurabstand erfolgt zusätzlich eine Verzögerung zwischen Niederschlagsereignis und Zusickerung zum Grundwasserspiegel. Beide Effekte sind in der in Abbildung 24 abgeleiteten instationären Verteilung der Grundwasserneubildung berücksichtigt.

2.4.2.3 Sonstige Randbedingungen

Speicherkoeffizienten

Vorgabe der Deckschichtunterkante im Modellgebiet als Grundlage für den Wechsel von freien zu (teil-)gespannten Verhältnissen (siehe auch Kap. 1.1):

- Speicherkoeffizient für freie Grundwasserverhältnisse: 18 %
- Speicherkoeffizient für (teil-)gespannte Grundwasserverhältnisse: 0,001

Grundwasserentnahmen

Die Grundwasserentnahmen wurden entsprechend den mittleren Entnahmen für das Jahr 2013 angesetzt, sie sind für die Verhältnisse beim HW 2013 von untergeordneter Bedeutung.

Randzustrom

Die Randbedingungen im Westen, Südwesten, Süden und Nordosten wurden vom stationären Modell im Endzustand übernommen. Als Randbedingung wurden die in Kapitel 2.1.2 ermittelten Randzuflüsse festgelegt.

Schlitzwandumschließung Monikaviertel mit Absenkungsbrunnen

Wie im HGM [1] in Kap. 3.7.4 erläutert, lagen keine Aufzeichnungen über Entnahmemengen am Horizontalfilterbrunnen vor. Seitens UNIPER wurden die am Brunnen gemessenen Wasserstände als Diagramm zur Verfügung gestellt. Diese weisen auf einen Einfluss der Grundwasserstandsentwicklung außerhalb der Umschließung auf die Grundwasserstände innerhalb der Dichtwand hin. In [3] wird auf eine mögliche Dichtwand-Durchsickerung angesprochen, die nicht näher erläutert wird.

Zur Verifizierung der angesetzten Durchlässigkeit der Schlitzwandumschließung ($k_f = 5 \cdot 10^{-07}$ m/s) sind zusätzlich Entnahmedaten am Absenkungsbrunnen erforderlich.

2.4.3 Ergebnisse Anpassung Grundwasserstände

Zur Beurteilung der instationären Modellkalibrierung wurden die Messwerte an 87 ausgewählten Grundwassermessstellen herangezogen. Die Lage der ausgewählten Messstellen ist aus Anlage 6 ersichtlich. Die Ergebnisse der instationären Modellkalibrierung sind für 39 ausgewählte GWM als Gegenüberstellung von gemessenen und berechneten Grundwasserstandsganglinien in Anlage 9.1 bis 9.6 zusammengestellt. Betrachtet wird jeweils der Zeitraum vom 30.05.2013 bis zum 25.06.2013, dies entspricht dem Berechnungszeitraum im 2D-WSP-Modell.

2.4.3.1 Grundwasserstände

Hydrologische Schnittachse I

Die Schnittachse befindet sich nahe zum westlichen Modellrand, im westlichen Stadtgebiet von Ingolstadt. Die Gegenüberstellung von gemessenen und berechneten Grundwasserstandsganglinien ist in Anlage 9.1.1 bis 9.1.5 dargestellt. Hieraus ist ersichtlich:

- Gute Nachbildung der gemessenen Reaktionen an der nahe zur Donau gelegenen GWM 933_KP1 (INKB), mit Abbildung beider Wellen im Ereignis HW 2013 (Anlage 9.1.1).
- GWM 01 05 0205 zeigt einen für die im Stadtgebiet von Ingolstadt gelegenen GWM charakteristischen Verlauf (Anlage 9.1.2). Es ist ein sehr stark gedämpfter und zeitlich verzögerter Anstieg, als Reaktion auf die HW-Welle in der Donau und die Niederschläge erkennbar. Die starke Dämpfung ist auf die Interaktion mit dem AW-Kanalnetz zurück zu führen (Aussickerung von Grundwasser in das Kanalnetz), wodurch der Anstieg der Grundwasserstände begrenzt wird. Der gemessene Verlauf wird durch die Berechnung gut wieder gegeben.
- In ähnlicher Weise fallen auch die Reaktionen an der GWM 01 04 0021 (Anlage 9.1.3) aus, die im Unterwasser der Staustufe Ingolstadt liegt, dort wurde eine gute Nachbildung der gemessenen Werte durch die Kalibrierung erreicht.
- An der GWM 01 04 0025 (Anlage 9.1.4), sind im gemessenen Verlauf überlagernde Schwankungen (Oszillationen) erkennbar, die voraussichtlich auf die Wechselwirkung Grundwasser/AW-Kanalnetz zurück zu führen sind (Anlage 9.1.4). Die Haupttendenzen der Messwerte werden durch die Berechnung richtig wieder gegeben.
- An der nahe zum westlichen Modellrand gelegenen 380_PB1 werden die gemessenen Grundwasserstandschwankungen und die Haupttendenzen der gemessenen Grundwasserstände durch die Berechnung gut wieder gegeben (Anlage 9.1.5). Die berechnete Schwankungsbreite beim HW 2013 beträgt 0,46 m, die gemessene Schwankungsbreite ergibt sich zu 0,42 m.

Hydrologische Schnittachse II

Die Schnittachse beginnt beim Monikaviertel in Ingolstadt, nahe der Donau, geht dann an der östlichen dichten Bebauungsgrenze Stadt Ingolstadt entlang bis zur Sandrach beim Stadtteil Unsernherrn. Aus der Gegenüberstellung gemessener und berechneter Grundwasserstände ergibt sich (Anlage 9.2.1 bis Anlage 9.2.6):

- Gute Nachbildung der gemessenen Reaktionen an der nahe zur Donau gelegenen GWM 01 05 0319 (Anlage 9.2.1), dies betrifft insbesondere die 1. Welle des HW 2013 in der Donau. Die gute Nachbildung sowohl des Anstiegs als auch des gemessenen Rückganges der Grundwasserstände belegt die richtige Wahl der maßgebenden Modellparameter. Die 2. Welle wird im Scheitel höher berechnet als sich aus den Messwerten ablesen lässt. Dies ist möglicherweise durch eine Überschätzung der Einstaudauer bzw. der Einstauhöhe auf dem überfluteten Vorland durch die Eingangsdaten aus dem 2D-WSP-Modell bedingt.
- GWM 01 05 0215, 01 05 0217, Kothau 134A, 86_PB10 (INKB) (Anlage 9.2.2 bis Anlage 9.2.5) zeigen den charakteristischen Verlauf von GWM, an denen eine Austausch zwischen Grundwasser und AW-Kanalnetz erfolgt. Insgesamt zeigen diese GWM alle einen sehr ähnlichen gemessenen Verlauf der Grundwasserstände. Im Rahmen der Kalibrierung zeigt sich eine gute Nachbildung der Haupttendenzen der gemessenen Grundwasserstände durch die Berechnung, mit leichter Unterschreitung bzw. Überschreitung der gemessenen maximalen Grundwasserstände.
- GWM 76_KP10 im Stadtteil Unsernherrn zeigt sowohl in der gemessenen als auch in der berechneten Ganglinie der Grundwasserstände deutlich stärkere Reaktionen, als die weiter nördlich gelegenen GWM im Stadtgebiet. Dies ist voraussichtlich auf zusätzliche Einflüsse infolge von erhöhten Abflüsse/Wasserstände an der Sandrach und Niederschlag (angrenzende nicht versiegelte Flächen) zurück zu führen. Die berechnete Schwankungsbreite fällt dort mit rd. 1 m höher aus als bei den Messwerten (rd. 0,6 m). Die berechneten Reaktionen liegen somit auf der ungünstigeren und im Hinblick auf die Ermittlung von Grundwasserstandsänderungen im Nahbereich der Bebauung im Stadtteil Unsernherrn, auf der sicheren Seite der Betrachtung. Die festgestellte Überschätzung durch die Berechnung ist vermutlich durch die räumlich differenzierte Beschaffenheit und Mächtigkeit der Deckschichten begründet.

Hydrologische Schnittachse III

Die Schnittachse beginnt beim Franziskanergraben, geht durch das Sanierungsgelände auf dem AUDI IN-Campus bis Alt-Manching und weiter bis in den Ortsteil Pichl. Die Gegenüberstellung von gemessenen und berechneten Grundwasserstandsganglinien ist aus Anlage 9.3.1 bis 9.3.9 ersichtlich. Hieraus ergeben sich folgende Feststellungen:

- Gute Nachbildung der gemessenen Reaktionen an der nahe zur Donau und zum Franziskanergraben gelegenen GWM 01 05 0229 (Anlage 9.3.1).

- GWM 01 05 0241 und GWM 3608_GWM82 haben einen ähnlichen Verlauf der gemessenen Grundwasserstände (Anlage 9.3.2 und Anlage 9.3.3). Beide Ganglinien zeigen einen relativ flachen Anstieg und einen kurzzeitigen Wiederanstieg nach den Niederschlägen vom 09. – 11.06.2013. Die südlichere GWM 3608_GWM82 weist eine um rd. 0,1 m stärkere Schwankungsbreite auf, der vermutlich niederschlagsbedingte Zwischenanstieg tritt dort 1 Tag später am 13.06.2013 auf. Beide gemessenen Ganglinien werden durch die Berechnung etwas überzeichnet.
- Die gemessenen Grundwasserstände an der GWM 01 05 0227 (Anlage 9.3.4) werden in ihrem Verlauf durch die Berechnung überwiegend gut wieder gegeben. Dies betrifft insbesondere den Anstieg bis zum 03.06.2013 und den Rückgang ab dem 09.06.2013. Im dazwischen liegenden Zeitfenster zeigen die Berechnungen einen größeren Anstieg (Gesamtanstieg rd. 1,6 m), als aus den Messwerten ersichtlich (Gesamtanstieg rd. 1,1 m). Der Anstieg der Messwerte wird bei ca. 362,4 mNN begrenzt, dieses Niveau liegt nahe zur GOK am Standort der GWM 01 05 0227. Vermutlich fand beim HW 2013 im Umfeld der der GWM 01 05 0227 an Geländesenken ein Austritt von Grundwasser über GOK aus, wodurch der Anstieg des Druckwasserspiegels im Grundwasser begrenzt wurde. Da diese Austrittsbereiche nicht bekannt sind, wurden sie im Grundwassermodell auch nicht berücksichtigt, infolgedessen wird eine höherer Druckwasserspiegel berechnet. Dieser Ansatz liegt im Hinblick auf die berechneten maximalen Grundwasserstände auf der sicheren Seite der Betrachtung.
- Die Ganglinien der vier GWM beim Markt Manching (Anlage 9.3.5 bis Anlage 9.3.8) MANCHING HWS B1, HWS B6, HWS B3 und HWS B4 zeigen alle einen ähnlichen Verlauf der gemessenen Grundwasserstände, der durch die Wasserstände der Paar beim HW 2013 geprägt ist und durch zusätzliche Einflüsse infolge von Zusickerung von Oberflächenwasser in den überfluteten Bereiche überlagert wird. Die gemessenen Ganglinien werden durch die instationäre Kalibrierung gut wieder gegeben. Dies betrifft sowohl die Schwankungsbreite, als auch die Abbildung der Dynamik bei den ansteigenden Grundwasserständen und den Rückgang nach dem jeweiligen Scheitel. Die berechnete Schwankungsbreite liegt um bis zu rd. 0,3 m höher als die aus den Messwerten abgeleitete Schwankungsbreite, folglich ergibt sich eine leichte Überzeichnung der Grundwasserstände durch die Berechnung.
- Die GWM PICHL 126B liegt am südlichen Bebauungsrand des Marktes Manching (Anlage 9.3.9). Es ist ein relativ flacher Verlauf der gemessenen Grundwasserstände zu verzeichnen. Dieser wird durch die instationäre Kalibrierung in der Größenordnung richtig wieder gegeben.

Hydrologische Schnittachse IV

Die Schnittachse verläuft durch den geplanten Polder, über die Auskiesungsflächen der Fa. Radmer bis an den nördlichen Bebauungsrand vom Markt Manching. Aus der Gegenüberstellung gemessener und berechneter Grundwasserstände ergibt sich (Anlage 9.4.1 bis 9.4.9):

- Die beiden GWM 01 05 0351 und 01 05 0243 weisen beide einen sehr ähnlichen gemessenen Verlauf der Grundwasserstände auf. Der Grundwasseranstieg ist bedingt durch Überlagerung der Einflüsse aus den Wasserstandsänderungen der nahe gelegenen Gewässer (Donau, R. Vorlandgraben) und aus dem überfluteten Donauvorland. Bei beiden GWM wird die Schwankungsbreite von rd. 2,3 m bzw. rd. 1,7 m und die Dynamik im Anstieg und Rückgang der Grundwasserstände gut durch die instationäre Kalibrierung abgebildet (Anlage 9.4.1 bis 9.4.2).
- An GWM 01 05 0425 ist in der Amplitude der gemessenen Grundwasserstände ein flacherer Verlauf der zu erkennen (Anlage 9.4.3). Dieser resultiert vorrangig aus den Wasserstandsänderungen am R. Binnenentwässerungsgraben, die wiederum durch das Abflussgeschehen zum Vorfluter Paar beeinflusst werden (siehe Kap.2.4.1). Der gemessene Anstieg der Grundwasserstände wird in den wesentlichen Tendenzen und hinsichtlich der Dynamik (Anstiegsphase, Rückgang) gut durch die Berechnungen wiedergegeben. Der gemessene Anstieg wird durch die Berechnung um rd. 0,2 m überzeichnet.
- Alle innerhalb des geplanten Polders gelegenen GWM von Radmer weisen für den Kalibrierungszeitraum nur einen Messwert auf (Anlage 9.4.5 bis Anlage 9.4.7). Ein Vergleich der Dynamik gemessen/berechnet ist dort daher nicht möglich. Der jeweils gemessene Wert wird durch den berechneten Verlauf jedoch gut abgebildet.
- Die GWM MANCHING HWS B7 befindet sich südlich des geplanten Polders, westlich der Paar. Beim HW 2013 waren an der Paar, südlich der dort unweit verlaufenden Bahnlinie, ausgedehnte Überschwemmungen zu verzeichnen. Im Ergebnis ergibt sich aus den während des HW 2013 gemessenen Werten ein langgestreckter Scheitel (Anlage 9.4.8). Mit dem Grundwassermodell wird der Anstieg etwas überzeichnet, die Haupttendenzen werden jedoch richtig wieder gegeben. Die Unterschiede berechnet/gemessen resultieren vermutlich aus dem nicht genauer bekannten, örtlich unterschiedlichen Zusickerungen aus den überschwemmten Flächen in den Grundwasserbereich.

Hydrologische Schnittachse V

Der Schnitt beginnt südlich der Donau bei GWM 01 05 0347 und verläuft über Westenhausen bis zum Ortsteil Forstwiesen des Marktes Manching. Aus der Gegenüberstellung gemessener und berechneter Grundwasserstände ergeben sich folgende Feststellungen (Anlage 9.5.1 bis Anlage 9.5.6):

- Die GWM 01 05 0347 liegt neben dem R. Vorlandgraben im überfluteten Donauvorland. Der gemessene Verlauf wird durch die Berechnung gut wieder gegeben (Anlage 9.5.1).
- Die GWM 01 05 0255 befindet sich nahe einem Graben, der durch Rohrdurchlässe (Straßenunterquerung) an die Paar angeschlossen ist (Anlage 9.5.2). Bei mittleren Grundwasserständen fällt der Graben trocken. Beim HW 2013 erfolgte vermutlich zunächst ein Rückstau aus der Paar in den Graben, diese Entwicklung wurde zusätzlich überlagert durch Zuflüsse aus der Straßenentwässerung (Niederschlag). In der Folge ergibt sich im Scheitel eine relative flache Ganglinie. Der gemessene maximale GW-Spiegel wird durch die Berechnung in der Größenordnung richtig wieder gegeben (Überzeichnung rd. 0,3 m). Der berechnete Rückgang der Grundwasserstände erfolgt schneller als aus den Messwerten ersichtlich. Vor dem Hintergrund der vielfältigen lokalen Einflüsse und dem nicht bekannten Einstauverlauf im Graben, werden die Messwerte in der Größenordnung richtig wieder gegeben.
- Der Verlauf der Grundwasserstände an der GWM 01 05 0259 (Anlage 9.5.3), im nördlichen Bebauungsbereich von Westenhausen, ist durch einen ausgeprägten Anstieg um rd. 0,9 m gekennzeichnet. Dieser wird durch die Berechnung in der Größenordnung richtig wieder gegeben (rd. 1, 0 m). Zudem gibt die instationäre Kalibrierung die gemessene Dynamik (Anstieg/Rückgang) in den Haupttendenzen richtig wieder. Bei der Bewertung ist zu berücksichtigen, dass für das HW 2013 keine gemessenen Wasserstände an der Westenhausener Ach und den zufließenden Grabensystemen vorlagen und somit eine Abschätzung hinsichtlich dieser Randbedingung getroffen werden musste (siehe Kap. 2.4.2.1).
- Die beiden GWM WESTENHAUSEN 135 und 01 05 0257 weisen in den Messwerten beim HW 2013 eine ähnliche Dynamik auf (Anlage 9.5.4 und Anlage 9.5.5). Diese ist gekennzeichnet durch einen Anstieg am 03.06.2013 und einen kurzzeitigen Zwischenanstieg im abfallenden Ast der Ganglinie am 11./12.06.2013. Der gemessene Anstieg wird zu rd. 0,6 – 0,7 m ermittelt, dieser fällt damit um rd. 0,2 – 0,3 m geringer aus, als an der benachbarten GWM 01 05 0259 (Anlage 9.5.3). Mögliche dämpfende Einflüsse ergeben sich aus den Wasserständen an der Westenhausener Ach, die auf Höhe von Westenhausen durch eine breite, ehemalige Altarmschleife gebildet wird. Messwerte lagen an diesem Gewässersystem beim HW 2013 nicht vor. Die dort angesetzten instationären Wasserspiegellagen wurden als Abschätzung aus vorliegenden Messdaten abgeleitet und im Rahmen der instationären Anpassung modifiziert (siehe auch Kap. 2.4.2.1).

Die gemessenen Grundwasserstände an der GWM WESTENHAUSEN 135 werden durch die Berechnung gut wieder gegeben (Anlage 9.5.4), dies betrifft sowohl die Amplitude, als auch den zeitlichen Verlauf (Dynamik). An der GWM 01 05 0257 wird der gemessene Anstieg durch die Berechnung überzeichnet (rd. 0,15 m), der Rück-

gang der Grundwasserstände erfolgt schneller als aus den Messwerten ablesbar. Dieser Unterschied ist vermutlich auf die hier nur abschätzende Berücksichtigung der überschwemmten Bereiche am Ende der Altarmschleife zurückzuführen, welches sich dort nach Norden in einem Schilfgürtel fortsetzt. Messwerte oder sonstige Informationen zur Ausdehnung des ÜSG in diesem Bereich beim HW 2013 lagen nicht vor.

- Die amtliche GWM BAUMANNSHOF 138 befindet sich am südlichen Modellrand nahe dem Kühpicklgraben (Anlage 9.5.6). Der Grundwasserspiegel wird dort vermutlich in hohem Maße durch die Wasserstände des benachbarten Gewässers geprägt (Kühpicklgraben). Messwerte zu den Wasserständen am Kühpicklgraben beim HW 2013 lagen nicht vor. Der Anstieg Anfang Juni um 1,04 m wird durch die Berechnung leicht überzeichnet (Anstieg rd. 1,2 m). Im abfallenden Ast der Ganglinie zeichnet die Berechnung einen schnelleren Rückgang als die gemessenen Werte erkennen lassen. Die Unterschiede ergeben sich vermutlich aus dem hier gewählten Ansatz zur zeitlichen Entwicklung der Wasserstände am Grabensystem der Westenhausener Ach, der aus verfügbaren Daten grob abgeschätzt wurde.

Hydrologische Schnittachse VI

Diese Achse beginnt nördlich des Geländes beim Kraftwerk Irsching und verläuft von dort westlich des Wellenbachs über Irsching nach Knodorf. Die Gegenüberstellung gemessener und berechneter Grundwasserstände ist aus Anlage 9.6.1 bis Anlage 9.6.4 ersichtlich. Es ergeben sich folgende Feststellungen:

- Die gemessene Grundwasserstände an 01 05 0277 werden durch Wasserstände der Paar beeinflusst (Anlage 9.6.1). Die berechneten Grundwasserstände geben den gemessenen Verlauf in den Haupttendenzen richtig wieder (Amplitude, Dynamik Anstieg/Rückgang). Die berechnete Schwankungsbreite entspricht der aus den Messwerten abgeleiteten Schwankungsbreite (rd. 2,3 m). Der gegenüber den Messwerten schnellere berechnete Rückgang der Grundwasserstände ist möglicherweise durch einen längeren Einfluss aus den im Donauvorland überschwemmten Gebieten bedingt.
- An der 01 05 0281 im Stadtteil Irsching (Stadt Vohburg) ergibt sich eine Überlagerung von Einflüssen aus der Paar und der Irschinger Ach (Anlage 9.6.2). Inwieweit ggf. eine zusätzliche Beeinflussung infolge Interaktion mit einem AW-Kanalnetz besteht, ist nicht bekannt. Die Anstiegsphase und der Rückgang der Grundwasserstände werden in den Haupttendenzen richtig wieder gegeben. Der gemessene Grundwasseranstieg von rd. 1 m wird durch die Berechnung um 50 % überschätzt.
- An der GWM 01 05 0283 (Anlage 9.6.3) wird ein Anstieg der Grundwasserstände um rd. 0,4 m gemessen. Der berechnete Anstieg fällt mit 0,9 mehr als doppelt so hoch aus. Dies ist vermutlich auf den Austritt von Grundwasser an der Geländeoberkante (Maximaler Druckwasserspiegel > GOK!) bzw. auf im Nahbereich auftretende Überschwemmungen bedingt. Im Grundwassermodell wurde aufgrund fehlender Kenntnis-

se dort kein Austritt über Gelände berücksichtigt, daher wird für diese GWM ein höherer Druckwasserspiegel berechnet.

- An der bei Knodorf gelegenen GWM 01 05 0275 (Anlage 9.6.3) werden die Haupttendenzen der gemessenen Grundwasserstände richtig wieder gegeben. Der berechnete Grundwasseranstieg beträgt 1,05 m und fällt damit um rd. 0,25 m größer aus als der aus den Messwerten ablesbare Anstieg beim HW 2013.

2.4.3.2 Austausch Grundwasser mit Oberflächengewässern/AW-Kanalnetz

Die für die instationäre Bilanzierung der Austauschraten betrachteten Gewässerabschnitte in Anlage 10.1 dargestellt. Aus Anlage 10.2 ist der zeitliche Verlauf der Gewässeraustauschraten zwischen dem Grundwasser und den Oberflächengewässern im Nahbereich des geplanten Polders ersichtlich. Der zeitliche Verlauf der berechneten Aussickerungsraten von Grundwasser in das städtische Kanalnetz von Ingolstadt ist in Anlage 10.3 dargestellt.

Die Austauschrichtung zwischen dem Grundwasser und den Oberflächengewässern ist abhängig von der Differenz zwischen dem Grundwasserspiegel (auf der Gewässerachse) und dem Wasserstand im Gewässer. Bereits zu Beginn der Berechnungen am 30.05.2013 werden in der Paar höhere Wasserstände als im Grundwasser gemessen, sodass die in Anlage 10.1 dargestellte Infiltrationsrate der Paar ab dem 30.05.2013 bis zum 31.05.2013 kontinuierlich steigt. Danach nimmt die Zusickerung in das Grundwasser ab, da sich die Differenz der (Grund-) Wasserstände durch den Anstieg des Grundwassers verringert.

Zeitgleich findet eine starke Anreicherung im Grundwasser durch Infiltrationen aus Donau, R. Vorlandgraben und der Westenhauser Ach statt. Während des starken Anstiegs der Grundwasserstände Anfang Juni nimmt auch die Aussickerung von Grundwasser in die Alte Donau kontinuierlich zu und erreicht zwischen dem 04.06.2013 und dem 06.06.2013 ihren höchsten Wert mit rd. 500 l/s. Der Verlauf der Aussickerung von Grundwasser in den Franziskanergraben folgt dem Verlauf der Aussickerung in die Alte Donau in abgeschwächter Form. Mit dem Rückgang der 1. Welle (*Hauptwelle*) kehrt sich zwischen dem 05./06.06.2013 bis 08./10.06.2013 die Austauschrichtung an Paar, R. Vorlandgraben und Donau (UW Staustufe Vohburg) vorübergehend um, d.h. es erfolgt eine Netto-Aussickerung in diese Gewässer. Mit der 2. Welle (*Nachwelle*) erfolgt wieder eine Zusickerung in das Grundwasser.

Der zu Beginn berechnete Fremdwasseranfall im Stadtgebiet (Anlage 10.3) verteilt sich entsprechend den am Stichtag 19.04.2016 gemessenen Aussickerungsraten von Grundwasser in das AW-Kanalnetz von Ingolstadt. Die Exfiltration von Grundwasser in die verschiedenen hydraulischen Einzugsgebiete steigt bis zum Erreichen der höchsten Grundwasserstände im Stadtgebiet von Ingolstadt zwischen dem 03.06.2013 und dem 05.06.2013 kontinuierlich an. Die höchste berechnete Aussickerungsrate liegt mit rd. 145 l/s im Bereich der in Kapitel 2.4.1 abgeleiteten Bandbreite von 150-160 l/s. Entsprechend dem Rückgang der Grundwasserstän-

de im Stadtgebiet Ingolstadt, nach dem Erreichen der maximalen Grundwasserstände, geht der Fremdwasseranfall, vorübergehend unterbrochen durch einen kurzzeitigen Anstieg am 10.06.2013 (infolge weiterer Niederschlagsphase vom 09.06. bis 12.06.2013) kontinuierlich auf den Ausgangswert zurück.

2.4.4 Endverteilung Modellparameter

Im Rahmen der instationären Kalibrierung erfolgte eine Modifikation verschiedener Modellparameter:

Durchlässigkeit der Gewässersohlen

- Erhöhung der Durchlässigkeit (Austauschrate) der Donau im Stadtbereich Ingolstadt von einer Bandbreite von $1 \cdot 10^{-05}$ 1/s - $5 \cdot 10^{-04}$ 1/s auf eine Bandbreite von $5 \cdot 10^{-05}$ 1/s bis $8 \cdot 10^{-04}$ 1/s.
- Verringerung der Durchlässigkeit an der Paar auf Höhe Markt Manching von $5 \cdot 10^{-04}$ 1/s auf $3 \cdot 10^{-04}$ 1/s.
- Verringerung der Durchlässigkeit der Ilm von $5 \cdot 10^{-04}$ 1/s auf $1 \cdot 10^{-04}$ 1/s.
- Verringerung der Durchlässigkeit der Westenhauser Ach bei Westenhausen von $5 \cdot 10^{-04}$ 1/s auf $1 \cdot 10^{-04}$ 1/s.
- Erhöhung der Durchlässigkeit am Franziskanergraben/ -wasser von $3 \cdot 10^{-04}$ 1/s auf $5 \cdot 10^{-04}$ 1/s.
- Abschnittsweise Erhöhung der Durchlässigkeit des R. Binnenentwässerungsgrabens von $2 \cdot 10^{-04}$ 1/s auf $1 \cdot 10^{-04}$ 1/s bis $1 \cdot 10^{-03}$ 1/s (Abschnitt mit größerer Grabenbreite).
- Erhöhung der Durchlässigkeit des Rechten Vorlandgrabens von $5 \cdot 10^{-04}$ 1/s auf $7 \cdot 10^{-04}$ 1/s.

Untergrounddurchlässigkeit

- Erhöhen der Untergrounddurchlässigkeiten im Stadtbereich Ingolstadt südlich des „Donauknies“ von $5 \cdot 10^{-03}$ m/s auf $9 \cdot 10^{-03}$ m/s.

Porosität

- Unterteilung der homogenen Ausgangsverteilung der Porosität von 0,18 auf eine Bandbreite von 0,1 bis 0,18.

Spezifischer Speicherkoeffizient

- Unterteilung der homogenen Ausgangsverteilung des spezifischen Speicherkoeffizienten von $1 \cdot 10^{-03}$ 1/m auf eine Bandbreite von $2 \cdot 10^{-02}$ 1/m bis $1 \cdot 10^{-03}$ 1/m.
- Die Endverteilung des nutzbaren Porenanteils und des spezifischen Speicherkoeffizienten sind aus 11.1 und 11.2 ersichtlich.

Durchlässigkeit der überfluteten Flächen

- Anpassung der Durchlässigkeit der Deckschichten von einer Transferrate $3 \cdot 10^{-6}$ 1/s auf eine Transferrate von $0,8 \cdot 10^{-06}$ 1/s.

2.4.5 Sensitivitätsanalyse instationär

Ergänzend zur stationären Sensitivitätsanalyse wird die Sensitivität des aufgebauten Grundwassermodells auf die Variation des Speicherkoeffizienten untersucht. Der Speicherkoeffizient stellt einen für die Reaktion der Grundwasserstände unter instationären Bedingungen maßgeblichen Parameter dar.

Der **Speicherkoeffizient** beschreibt in der Hydrogeologie die Fähigkeit eines Grundwasserleiters Wasser zu speichern oder abzugeben. Der Speicherkoeffizient kann als Maß für die Kompressibilität des Grundwasserleiters angesehen werden.

Die Speicherkoeffizienten unterscheiden sich in gespannten und freien Grundwasserleitern um mehrere Größenordnungen (Zehnerpotenzen). Es wird unterschieden zwischen

- specific yield S_y (freie Verhältnisse)
- specific storage S_s (gespannte Verhältnisse)

Bei ungespannten Porengrundwasserleitern entspricht die Speicherkapazität der nutzbaren Porosität. Im Rahmen der instationären Kalibrierung wurde eine räumlich differenzierte Verteilung der Speicherkoeffizienten für freie und gespannte Verhältnisse ermittelt. Die Parameterbandbreiten ergeben sich in Abhängigkeit von den angetroffenen Grundwasserverhältnissen wie folgt:

1. für Gebiete mit freiem Grundwasserleiter zwischen 15% und 20%.
2. für Gebiete mit gespanntem Grundwasserleiter zwischen $0,001 \frac{1}{m}$ und $0,01 \frac{1}{m}$

Im Rahmen der instationären Kalibrierung an die Verhältnisse beim HW 2013 wurden folgende Bandbreiten ermittelt:

- specific yield S_y : 0,10 – 0,18 (freie Verhältnisse)
- specific storage S_s : 0,001 – 0,02 (gespannte Verhältnisse)

2.4.5.1 Festlegung der Spannbreite

Für die instationären Sensitivitätsberechnungen des nutzbaren Porenanteils wurde in Abstimmung dem WWA Ingolstadt und dem LfU am 22.03.2017 eine Variation um +/- 20% festgelegt.

Für die instationären Sensitivitätsberechnungen des spezifischen Speicherkoeffizienten wurde eine Variation mit Faktor 5 (bzw. 1/5) festgelegt.

2.4.5.2 Ergebnisse der Sensitivitätsuntersuchungen

Mit den in Kap. 2.4.5.1 genannten Faktoren ergeben sich somit folgende Bandbreiten für die nachfolgenden Untersuchungen.

Nutzbarer Porenanteil (Specific yield)

- Faktor 0,8: $n = 0,08$ bis $n = 0,14$
- Faktor 1,2: $n = 0,12$ bis $n = 0,22$

Spezifischer Speicherkoeffizient (Specific Storage)

- Faktor $1/5$: $S_s = 2 \cdot 10^{-4} 1/s$ bis $S_s = 4 \cdot 10^{-3} 1/s$
- Faktor 5: $S_s = 5 \cdot 10^{-3} 1/s$ bis $S_s = 1 \cdot 10^{-1} 1/s$

Die ermittelten Ergebnisse der Parametervariation für den Parameter Nutzbarer Porenanteil weisen nur geringe Abweichungen von den berechneten Grundwasserständen im Endzustand der instationären Kalibrierung auf. Im Poldernahbereich und östlich des Polders ergeben sich Änderungen von weniger als 0,05 m für die berechneten maximalen Grundwasserstände. Im Bereich des Marktes Manching verändern sich die berechneten höchsten Grundwasserstände um weniger als 0,10 m, überwiegend weniger als 0,05 m.

Lediglich an den im Stadtzentrum von Ingolstadt gelegenen GWM werden die gemessenen Reaktionen bei der Berechnung mit 20% geringerem nutzbaarem Porenanteil etwas besser abgebildet. Der aus dieser Sensitivitätsvariante resultierende Wert für den nutzbaren Porenanteil von 0,08 wird angesichts der vorliegenden quartären Kiese als sehr gering angesehen und wird daher nicht berücksichtigt.

Da die Reaktion der Grundwasserstände für die Ergebnisse im Endzustand der instationären Kalibrierung bereits leicht überzeichnet wird, liegen die für den Endzustand festgelegten Bandbreiten auf der sicheren Seite. Aufgrund der geringen Veränderungen bei den Sensitivitätsbetrachtungen erfolgt keine grafische Darstellung der hierzu berechneten Grundwasserstandsganglinien.

Die Ergebnisse der Parametervariation für den Parameter Spezifischer Speicherkoeffizient (Specific Storage) sind in Anlage 12 für 9 ausgewählte GWM, die sich überwiegend im Nahbereich des geplanten Polders bzw. im Gebiet zwischen dem Polder und der angrenzenden Bebauung befinden, dargestellt. Hieraus ist ersichtlich:

- Es besteht überwiegend eine hohe Sensitivität gegenüber Variationen des spezifischen Speicherkoeffizienten im Bereich Faktor 1/5 bis Faktor 5.

- An der nahe zur Donau gelegenen GWM (01 05 0347, siehe Anlage 12.1) ergeben sich bedingt durch die dort gewählte Randbedingung nur geringe Veränderungen (Wasserspiegeländerungen R. Vorlandgraben)
- An den westlich vom Polder Richtung Stadtgebiet Ingolstadt gelegenen GWM (01 05 0241, siehe Anlage 12.2 / 3608_GWM82, siehe Anlage 12.312.3 und 01 05 0227, siehe Anlage 12.4) sind deutliche Auswirkungen infolge der Parametervariation erkennbar.
 - Bei einer Erhöhung um den Faktor 5 deutliche Verflachung im Verlauf der Grundwasserstände
 - Bei einer Verringerung um den Faktor 5: deutliche Zunahme der berechneten Reaktionen im Grundwasser, insbesondere im Scheitel der Welle, mit deutlicher Überzeichnung der gemessenen Werte
- An den im Bereich des Marktes Manching gelegenen GWM Manching HWS B7, GWM Manching HWS B6 und Manching HWS B3 (12.5bis Anlage 12.7) sind infolge der Parametervariation sehr ausgeprägte Veränderungen im Verlauf der Grundwasserstände festzustellen. Auch dort ist, bei einer Erhöhung um den Faktor 5, eine deutliche Verflachung im Verlauf erkennbar, bei einer Verringerung um den Faktor 1/5 demgegenüber eine deutliche Zunahme der berechneten Reaktionen im Grundwasser. An der GWM Manching HWS B7 fallen die Reaktionen aufgrund der dort bereits bei mittleren Grundwasserständen gespannten Verhältnisse besonders deutlich aus. An der GWM Manching HWS B3 wird die Deckschichtunterkante auch im Scheitel der „Grundwasserwelle“ nicht erreicht, dementsprechend sind dort die deutlich geringeren Veränderungen im Verlauf der berechneten Grundwasserstände erkennbar.
- An den im Bereich des Ortsteiles Westenhausen vom Markt Manching vorhandenen GWM 01 05 0259 und WESTENHAUSEN 135 zeigen bereits die gemessenen Grundwasserstände eine unterschiedliche Charakteristik. Bei beiden GWM führt eine Verringerung des spezifischen Speicherkoeffizienten um den Faktor 5 zu einer deutlichen Überzeichnung der maximal gemessenen Grundwasserstände (Anlage 12.8 und Anlage 12.9). Bei einer Erhöhung des spezifischen Speicherkoeffizienten um den Faktor 5 findet eine deutliche Verflachung des Verlaufs der gemessenen Grundwasserstände statt.

Gesamtbewertung der instationären Sensitivitätsbetrachtungen

- Mit einer Variation des nutzbaren Porenanteils innerhalb einer plausiblen Bandbreite ist keine nennenswerte Verbesserung der instationären Kalibrierung (im Nahbereich des geplanten Polders) berechneten Grundwasserstände an die Messungen während dem HW 2013 möglich.

An den im Stadtzentrum von Ingolstadt gelegenen GWM kann mit einem 20% geringem nutzbaren Porenanteil eine Verbesserung in der Nachbildung der gemessenen

Grundwasserstände erreicht werden. Der hieraus resultierende Wert für den nutzbaren Porenanteil von 0,08 wird angesichts der vorliegenden quartären Kiese als zu gering angesehen, er wird daher nicht berücksichtigt.

- Im Nahbereich des Polders liegt die Unsicherheit in der Bandbreite des spezifischen Speicherkoeffizienten bei $<$ Faktor 5. An einzelnen GWM (3608_GWM82 und MANCHING HWS B7) kann durch eine geringe Erhöhung des spezifischen Speicherkoeffizienten eine bessere Anpassung an den gemessenen Verlauf der Grundwasserstände erreicht werden bewirken. Infolgedessen würden geringere Reaktionen des Grundwassers berechnet werden. Die für den Endzustand der instationären Kalibrierung gewählte Verteilung des spezifischen Speicherkoeffizienten liegt somit auf der sicheren Seite der Betrachtung.

2.4.6 Gesamtbewertung der instationären Modellkalibrierung

Gemäß den einschlägigen technischen Regeln (DVGW W 107 (A) [2], zeichnet „*sich die Qualität einer instationären Kalibrierung durch die Erfassung der natürlichen Dynamik und insbesondere der Unterschiede in der Dynamik aus. Eine gegenüber der stationären Kalibrierung verbesserte Abbildung der Absoluthöhen ist dabei von untergeordneter Bedeutung*“.

Durch die vorliegende instationäre Nachbildung werden die während des HW 2013 gemessenen Grundwasserstände an den betrachteten GWM in den wesentlichen Reaktionen gut nachgebildet. Bei der Bewertung der Ergebnisse ist zu berücksichtigen:

- Die Grundwasserstände im Modellgebiet werden durch verschiedene Einflussgrößen bestimmt (Wasserstände in einem komplexen Gewässersystem, Binnenentwässerungsgräben, Niederschlag, AW-Kanalnetz, Randzufluss), die zu entsprechend komplexen Wechselwirkungen mit dem Grundwasser führen.
- Die zeitliche Variation der Wasserspiegel an Donau, Paar, Sandrach, Brautlach und Ilm, sowie auf den zugehörigen beim HW 2013 überschwemmten Gebieten, wurde aus den bereit gestellten Ergebnissen von 2D-WSP-Berechnungen als Randbedingung an das Grundwassermodell übergeben.
- Die instationären Grundwasserneubildung aus Niederschlag wurde aus der klimatischen Wasserbilanz und den seitens LfU berechneten Sickerwassermengen für den Juni 2013 abgeleitet und als Randbedingung im Grundwassermodell angesetzt.
- Einige Einflussgrößen konnten nur grob abgeschätzt werden, da keine Messdaten für die Verhältnisse beim HW 2013 vorlagen. Dies betrifft insbesondere den zeitlichen Verlauf der Wasserspiegel an den nicht durch 2D-WSP-Berechnungen oder kontinuierliche WSP-Messungen erfasste Gewässern. Hierzu gehören: Alte Donau, Westenhäuser-/Irschinger Ach, Riedelmoosgraben, Kühpicklgraben, Wellenbach und Zuflüsse.

- Die maximale Aussickerung in das AW-Kanalnetz von INKB beim HW 2013 wurde auf Grundlage von Messdaten zu den Kläranlagenzuläufen im Mai/Juni 2013 und den im Rahmen der Stichtagsmessung vom 19.04.2016 durchgeführten Abflussmessungen im Kanalnetz abgeschätzt. Entsprechende Abschätzungen zum Austausch mit dem AW-Kanalnetz des Marktes Manching beim HW 2013 konnten aufgrund fehlender Angaben zur räumlichen Verteilung des Sickerwasseranfalls nicht durchgeführt werden.
- Im Bereich der Schlitzwandumschließung Monikaviertel gibt es Hinweise auf eine Durchsickerung der Dichtwand, insbesondere im Hochwasserfall. Es lagen jedoch nur Aufzeichnungen der Grundwasserstände innerhalb der Umschließung vor, jedoch keine Angaben zu den beim HW2013 durchgeführten Entnahmen am Absenkbrunnen (Horizontalfilterbrunnen). Zur Ermittlung der Durchlässigkeit der Schlitzwandumschließung sind zusätzlich Entnahmedaten erforderlich.

Die Berechnungsergebnisse zeigen, insbesondere durch die gute Abbildung der Dynamik in den beiden Anstiegsphasen und im darauf folgenden Rückgang der Grundwasserstände, dass die getroffenen Abschätzungen in der richtigen Größenordnung liegen.

- Die bereichsweise gegenüber den gemessenen Werten intensiveren berechneten Reaktionen im Scheitel der „Grundwasserwelle“ (max. Grundwasserstand beim HW 2013) sind vermutlich dadurch bedingt, dass Einflussgrößen möglicherweise etwas überschätzt wurden (instationäre Grundwasserneubildung aus Niederschlag, zeitlicher Verlauf der Wasserstände im Grabensystem). Insgesamt liegen die gewählten Ansätze damit auf der sicheren Seite der Betrachtung.
- Die in der Größenordnung und in der Dynamik gute Wiedergabe der gemessenen GWST an den GWM im Bereich der Westenhausener Ach, mit den Zuflüssen Kühpickl- und Riedelmoosgraben belegt, dass mit dem gewählten Ansatz die beim HW 2013 bestehenden Verhältnisse in ihren wesentlichen Charakteristiken und in der Größenordnung richtig erfasst wurden. Dies zeigt zudem, dass beim Vorliegen entsprechender Messdaten auch in diesem Gebiet eine gute Modellanpassung erreichbar ist und die gewählten Modellparameter die natürlichen gemessenen Reaktionen in der Größenordnung richtig wieder geben. Dies sollte nach Vorliegen entsprechender Messdaten verifiziert werden.

Unter Berücksichtigung der vorstehenden Ausführungen liegt somit ein prognosefähiges Instrument für die Untersuchungen zum Flutpolder Großmehring vor.

Um insbesondere auch für die an Irschinger Ach und an den zugehörigen Zuflüssen Kühpickl- und Riedelmoosgraben gelegenen, Grundwasserstand sensiblen Gebiete (Markt Manching/ Ortsteil Westenhausen; Flughafen Manching) belastbare Datengrundlagen zu erhalten, wird

die Aufstellung eines „*Sondermessnetzes Flutpolder Großmehring*“ empfohlen. Ein entsprechender Vorschlag wird seitens BCE in einer gesonderten Dokumentation (Teil 4) vorgelegt.

Eine Verifizierung der instationären Anpassung an das HW 2013 kann durch eine Vergleichsanpassung (Modelltest gemäß [2]) an ein weiteres Hochwasserereignis mit geeigneter Datengrundlage erfolgen. Zum Zeitpunkt der Berichtserstellung lagen entsprechende geeignete Vergleichsdaten nicht vor.

Projektbearbeiter:

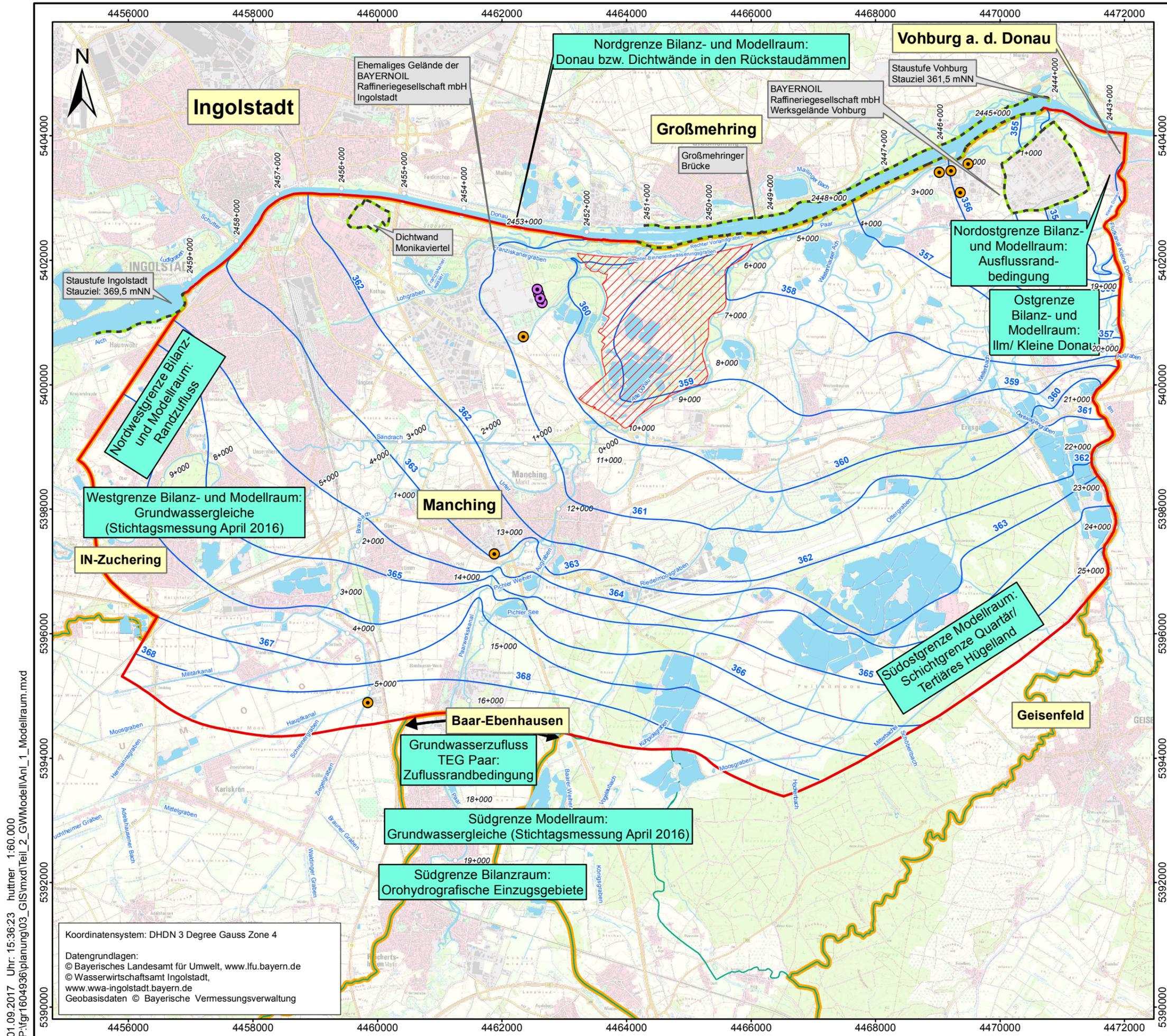
M. Sc. P. Huttner

Dipl.-Ing. D. Knötschke

Augsburg, im August 2017

Björnsen Beratende Ingenieure GmbH
Niederlassung Augsburg

Dr.-Ing. M. Probst



- Zeichenerklärung**
- Bilanzraum
 - Modellraum
 - Geplanter Flutpolder Großmehring
 - Orohydrografische Einzugsgebiete
 - Bestehende Dichtwand (Einbindung bis in das Tertiär)
 - 12+000 Flusskilometer
- Entnahmen aus dem Quartär**
- Betriebswasserversorgung
 - Sanierungsbrunnen
- Grundwassergleichen**
- 361 Auswertung Grundwassergleichen Stichtag 19. April 2016

01.09.2017 Uhr: 15:36:23 hutfner 1:60.000
 P:\fgr1604936\planung\03_GIS\mxd\Teil_2_GWMmodell\Anl_1_Modellraum.mxd

Koordinatensystem: DHDN 3 Degree Gauss Zone 4

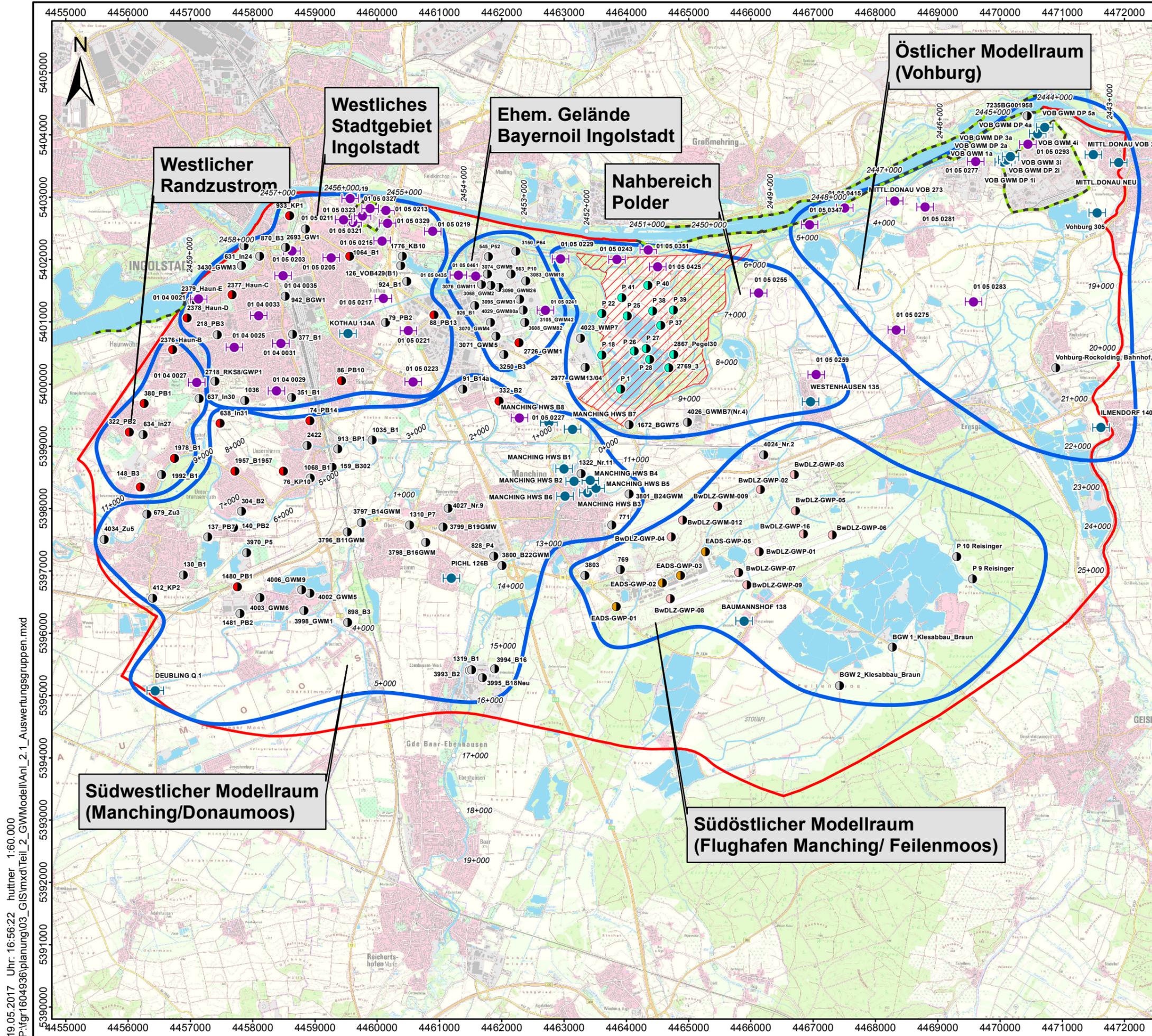
Datengrundlagen:
 © Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.lfu.bayern.de
 © Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt, www.wwa-ingolstadt.bayern.de
 Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung

0 1 2 3 km

BCE
 BJÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE

Modellraum

M.: 1:60.000	Mai 2017	fgr1604936
--------------	----------	------------



Zeichenerklärung

- Modellraum
- Geplanter Flutpolder Großmehring
- Gruppierte Auswertungsbereiche
- Bestehende Dichtwand (Einbindung bis in das Tertiär)
- 12+000 Flusskilometer

Stichtagsmessung 19. April 2016
Messprogramm Grundwasser

Betreiber

- Freistaat Bayern - Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt
- Uniper Kraftwerke GmbH
- Ingolstädter Kommunalbetriebe AöR (INKB)
- Radmer Kies GmbH & Co. KG
- Staatl. Bauamt Ingolstadt/BwDLZ
- EADS Manching
- Zusätzliche Messstelle (nur Stichtag)



Koordinatensystem: DHDN 3 Degree Gauss Zone 4
 Datengrundlagen:
 © Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.lfu.bayern.de
 © Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt, www.wwa-ingolstadt.bayern.de
 Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung

BIÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE

Auswertungsbereiche
und zugeordnete
Grundwassermessstellen

M.: 1:60.000	Mai 2017	fgr1604936
--------------	----------	------------

19.05.2017 Uhr: 16:56:22 hutfner 1:60.000
P:\fgr1604936\planung03_GIS\mxd\Teil_2_GWM\modell\Anl_2_1_Auswertungsgruppen.mxd

Gegenüberstellung gemessener und berechneter Grundwasserstände
Stationäre Kalibrierung Stichtag 19.04.2016
- Ausgangsfall -

Gesamtauswertung	Differenz gemessen zu berechnet [m]			Standardabweichung [m]
	Mittelwert*	Minimum	Maximum	
Nahbereich Polder	0,13	-0,34	0,39	0,16
Ehem. Gelände Bayernoil Ingolstadt	0,12	-0,18	0,27	0,13
Westliches Stadtgebiet Ingolstadt	0,22	-0,32	0,64	0,23
Westlicher Randzuström	0,80	0,16	1,16	0,36
Südwestlicher Modellraum (Manching/Donaumoos)	0,32	-2,97	0,32	0,62
Südöstlicher Modellraum (Flughafen Manching/Feilenmoos)	0,68	-1,54	0,92	0,63
Östlicher Modellraum (Vohburg)	0,26	-1,51	0,53	0,39

) * Der Mittelwert entspricht der mittleren absoluten Abweichung

Gegenüberstellung gemessener und berechneter Grundwasserstände
Stationäre Kalibrierung Stichtag 19.04.2016
- Ausgangsfall -

Lfd. No.	Messstelle	Grundwasserstand gemessen [mNN]	Grundwasserstand berechnet [mNN]	Differenz gemessen zu berechnet [m]
Nahbereich Polder				
1	01 05 0229	360,18	360,53	-0,34
2	01 05 0243	360,21	360,00	0,21
3	01 05 0255	358,03	357,69	0,35
4	01 05 0259	358,55	358,40	0,15
5	01 05 0351	360,04	359,64	0,39
6	01 05 0425	359,20	359,15	0,05
7	1672_BGW75	359,68	359,61	0,07
8	2769_3	358,80	358,85	-0,05
9	2867_Pegel30	358,73	358,82	-0,08
10	2977_GWM13/04	359,23	359,06	0,17
11	4023_WMP7	359,84	359,52	0,32
12	4026_GWMB7(Nr.4)	359,70	359,48	0,22
13	P 1	359,03	358,87	0,16
14	P 18	359,10	359,09	0,01
15	P 22	359,40	359,34	0,06
16	P 25	358,93	358,94	-0,02
17	P 26	358,95	358,90	0,04
18	P 27	358,89	358,87	0,02
19	P 28	358,95	358,86	0,08
20	P 37	358,80	358,89	-0,09
21	P 38	358,84	358,92	-0,08
22	P 39	358,66	358,73	-0,07
23	P 40	359,03	359,05	-0,02
24	P 41	359,13	359,23	-0,10
25	WESTENHAUSEN 135	358,81	358,65	0,15
Ehem. Gelände Bayernoil Ingolstadt				
26	01 05 0241	360,25	360,07	0,18
27	01 05 0435	361,32	361,28	0,04
28	01 05 0461	361,06	361,10	-0,05
29	2726_GWM1	360,83	360,62	0,21
30	3068_GWM2	361,00	361,03	-0,03
31	3070_GWM4	361,11	360,88	0,23
32	3071_GWM5	361,09	360,85	0,24
33	3074_GWM9	361,02	361,05	-0,02
34	3076_GWM11	360,95	360,96	-0,01
35	3083_GWM18	360,58	360,65	-0,07
36	3090_GWM26	360,92	360,90	0,02
37	3095_GWM31	360,66	360,60	0,06
38	3105_GWM42	360,27	360,16	0,12
39	3150_P64	360,92	361,09	-0,18
40	3250_B3	361,13	360,85	0,27
41	3608_GWM82	360,76	360,50	0,26
42	4029_GWM80a	360,64	360,52	0,12
43	545_P52	361,04	361,17	-0,12
44	563_P10	360,84	360,88	-0,04
45	926_B1	361,08	361,02	0,06

Gegenüberstellung gemessener und berechneter Grundwasserstände
Stationäre Kalibrierung Stichtag 19.04.2016
- Ausgangsfall -

Lfd. No.	Messstelle	Grundwasserstand gemessen [mNN]	Grundwasserstand berechnet [mNN]	Differenz gemessen zu berechnet [m]
Westliches Stadtgebiet Ingolstadt				
46	1036	363,87	363,59	0,28
47	2982	362,75	363,07	-0,32
48	01 04 0021	363,43	363,14	0,29
49	01 04 0025	363,71	363,14	0,57
50	01 04 0029	363,53	363,32	0,21
51	01 04 0031	363,20	362,80	0,40
52	01 04 0033	363,23	362,80	0,43
53	01 04 0035	362,63	362,48	0,15
54	01 05 0203	362,39	362,32	0,07
55	01 05 0205	362,05	361,98	0,07
56	01 05 0211	361,85	361,93	-0,08
57	01 05 0213	361,05	360,90	0,15
58	01 05 0215	361,62	361,66	-0,04
59	01 05 0217	361,81	361,59	0,22
60	01 05 0219	361,40	361,55	-0,14
61	01 05 0221	361,63	361,55	0,08
62	01 05 0223	362,05	361,96	0,09
63	01 05 0319	361,89	361,89	-0,01
64	01 05 0321	361,25	360,90	0,35
65	01 05 0323	361,25	360,90	0,35
66	01 05 0327	361,08	360,90	0,18
67	01 05 0329	361,11	360,90	0,20
68	1064_B1	361,93	361,86	0,07
69	126_VOB429(B1)	361,45	361,47	-0,02
70	1776_KB10	361,38	361,46	-0,08
71	218_PB3	363,63	363,16	0,47
72	2377_Haun-C	363,18	362,95	0,22
73	2378_Haun-D	363,65	363,23	0,42
74	2379_Haun-E	363,45	363,16	0,29
75	2693_GW1	362,10	362,14	-0,04
76	2718_RKS8/GWP1	364,18	363,54	0,64
77	3430_GWM3	362,73	362,97	-0,25
78	351_B1	363,47	363,29	0,18
79	377_B1	363,04	362,62	0,42
80	631_In24	362,49	362,78	-0,29
81	79_PB2	361,81	361,63	0,18
82	86_PB10	362,68	362,49	0,20
83	870_B3	362,32	362,39	-0,07
84	88_PB13	361,39	361,32	0,07
85	924_B1	361,47	361,46	0,01
86	933_KP1	362,19	362,24	-0,05
87	942_BGW1	362,76	362,49	0,27
88	KOTHAU 134A	362,58	362,01	0,57
Westlicher Randzustrom				
89	01 04 0027	365,05	364,00	1,05
90	148_B3	366,27	365,78	0,49
91	1978_B1	365,63	365,36	0,27
92	1992_B1	365,70	365,54	0,16
93	2376_Haun-B	364,97	363,81	1,16
94	322_PB2	366,40	365,36	1,05
95	380_PB1	365,95	364,90	1,05
96	634_In27	366,33	365,25	1,08
97	637_In30	365,11	364,20	0,91
Südwestlicher Modellraum (Manching/Donaumoos)				
98	771	361,14	362,02	-0,88
99	2422	364,06	363,83	0,23
100	01 05 0227	361,21	361,20	0,01
101	1035_B1	363,12	363,03	0,09

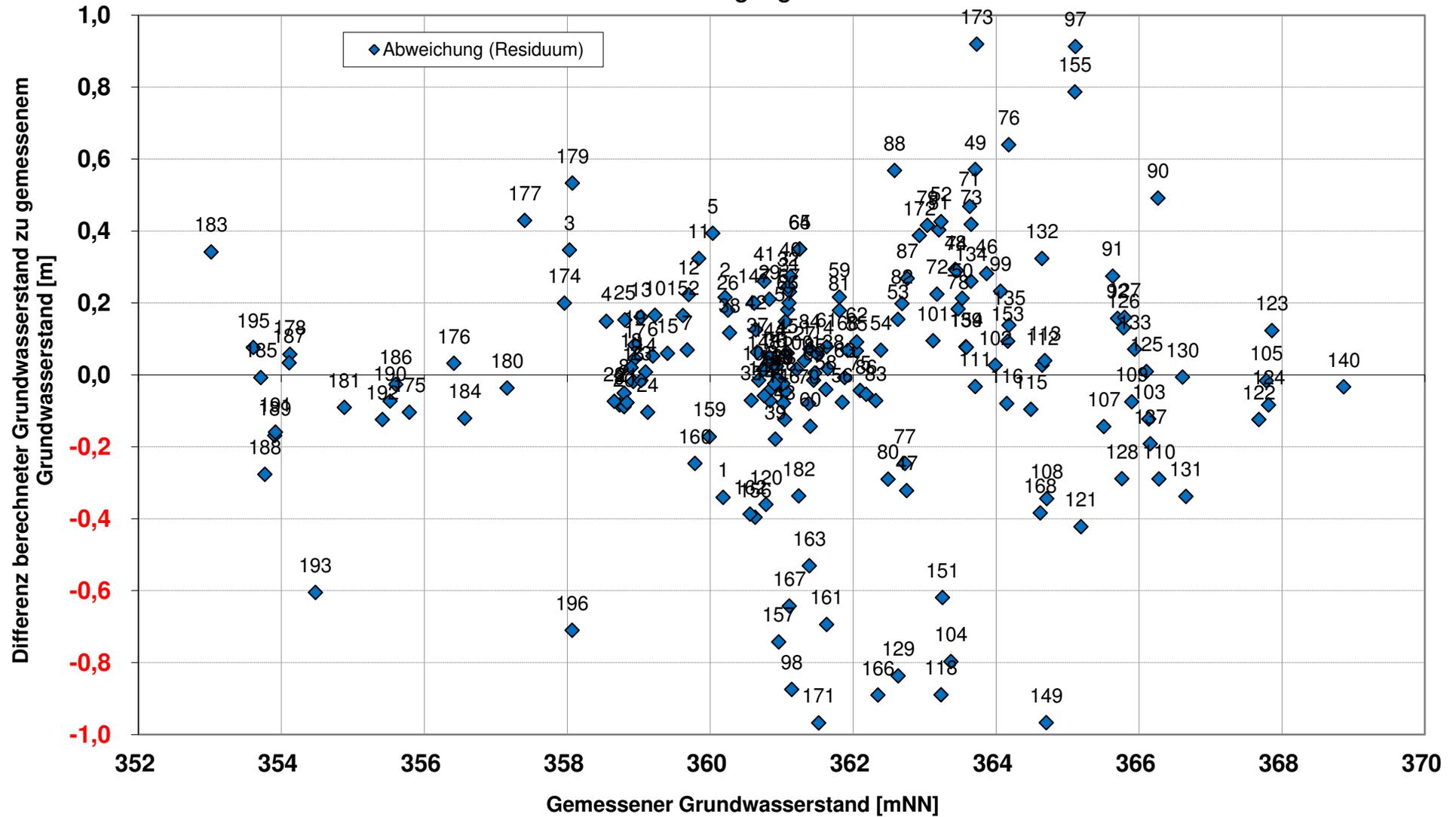
Gegenüberstellung gemessener und berechneter Grundwasserstände
Stationäre Kalibrierung Stichtag 19.04.2016
- Ausgangsfall -

Lfd. No.	Messstelle	Grundwasserstand gemessen [mNN]	Grundwasserstand berechnet [mNN]	Differenz gemessen zu berechnet [m]
102	1068_B1	363,99	363,96	0,03
103	130_B1	366,14	366,26	-0,12
104	1310_P7	363,37	364,17	-0,80
105	1319_B1	367,78	367,80	-0,02
106	1322_Nr.11	360,68	360,70	-0,02
107	137_PB7	365,51	365,65	-0,14
108	140_PB2	364,71	365,05	-0,34
109	1480_PB1	365,90	365,98	-0,08
110	1481_PB2	366,28	366,57	-0,29
111	159_B302	363,71	363,74	-0,03
112	1957_B1957	364,65	364,62	0,03
113	304_B2	364,68	364,64	0,04
114	332_B2	361,50	361,45	0,06
115	3796_B11GWM	364,49	364,59	-0,10
116	3797_B14GWM	364,15	364,23	-0,08
117	3798_B16GWM	363,48	364,65	-1,17
118	3799_B19GMW	363,23	364,12	-0,89
119	3800_B22GWM	363,76	366,73	-2,97
120	3801_B24GWM	360,78	361,14	-0,36
121	3970_P5	365,19	365,61	-0,42
122	3993_B2	367,68	367,80	-0,12
123	3994_B16	367,86	367,74	0,12
124	3995_B18Neu	367,81	367,90	-0,08
125	3998_GWM1	366,11	366,10	0,01
126	4002_GWM5	365,78	365,65	0,13
127	4003_GWM6	365,80	365,64	0,16
128	4006_GWM9	365,76	366,05	-0,29
129	4027_Nr.9	362,63	363,47	-0,84
130	4034_Zu5	366,61	366,62	-0,01
131	412_KP2	366,66	367,00	-0,34
132	638_In31	364,64	364,32	0,32
133	679_Zu3	365,94	365,87	0,07
134	74_PB14	363,65	363,39	0,26
135	76_KP10	364,18	364,04	0,14
136	828_P4	362,82	365,58	-2,76
137	898_B3	366,16	366,35	-0,19
138	91_B14a	361,65	361,63	0,02
139	913_BP1	363,58	363,50	0,08
140	DEUBLING Q 1	368,86	368,90	-0,03
141	MANCHING HWS B1	360,84	360,91	-0,07
142	MANCHING HWS B2	360,76	360,82	-0,06
143	MANCHING HWS B3	360,91	360,93	-0,03
144	MANCHING HWS B4	360,83	360,78	0,05
145	MANCHING HWS B5	360,93	360,91	0,02
146	MANCHING HWS B6	361,03	361,11	-0,08
147	MANCHING HWS B7	360,62	360,42	0,20
148	MANCHING HWS B8	360,75	360,73	0,02
149	PICHL 126B	364,70	365,67	-0,97
Südöstlicher Modellraum (Flughafen Manching/Feilenmoos)				
150	769	362,32	363,43	-1,11
151	3803	363,25	363,87	-0,62
152	4024_Nr.2	359,62	359,46	0,16
153	BAUMANNSHOF 138	364,16	364,07	0,09
154	BGW 1 Klesabbau Braun	363,59	363,51	0,08
155	BGW 2 Klesabbau Braun	365,11	364,32	0,79
156	BwDLZ-GWM-009	360,63	361,03	-0,40
157	BwDLZ-GWM-012	360,96	361,70	-0,74
158	BwDLZ-GWP-01	361,29	362,33	-1,04
159	BwDLZ-GWP-02	359,99	360,16	-0,17

Gegenüberstellung gemessener und berechneter Grundwasserstände
Stationäre Kalibrierung Stichtag 19.04.2016
- Ausgangsfall -

Lfd. No.	Messstelle	Grundwasserstand gemessen [mNN]	Grundwasserstand berechnet [mNN]	Differenz gemessen zu berechnet [m]
160	BwDLZ-GWP-03	359,79	360,04	-0,25
161	BwDLZ-GWP-04	361,63	362,32	-0,69
162	BwDLZ-GWP-05	360,56	360,95	-0,39
163	BwDLZ-GWP-06	361,39	361,92	-0,53
164	BwDLZ-GWP-07	361,66	362,91	-1,25
165	BwDLZ-GWP-08	363,23	364,28	-1,05
166	BwDLZ-GWP-09	362,35	363,24	-0,89
167	BwDLZ-GWP-16	361,11	361,75	-0,64
168	EADS-GWP-01	364,62	365,00	-0,38
169	EADS-GWP-02	362,44	363,77	-1,33
170	EADS-GWP-03	361,84	363,38	-1,54
171	EADS-GWP-05	361,52	362,49	-0,97
172	P 10 Reisinger	362,93	362,54	0,39
173	P 9 Reisinger	363,73	362,81	0,92
Östlicher Modellraum (Vohburg)				
174	01 05 0275	357,96	357,76	0,20
175	01 05 0277	355,79	355,90	-0,10
176	01 05 0281	356,42	356,38	0,03
177	01 05 0283	357,41	356,98	0,43
178	01 05 0293	354,12	354,06	0,06
179	01 05 0347	358,08	357,54	0,53
180	01 05 0415	357,16	357,20	-0,04
181	7235BG001958	354,88	354,97	-0,09
182	ILMENDORF 140A	361,24	361,58	-0,34
183	MITTL.DONAU NEU	353,02	352,68	0,34
184	MITTL.DONAU VOB 273	356,57	356,69	-0,12
185	MITTL.DONAU VOB 297	353,71	353,72	-0,01
186	VOB GWM 1a	355,60	355,63	-0,03
187	VOB GWM 3i	354,11	354,08	0,03
188	VOB GWM 4i	353,77	354,05	-0,28
189	VOB GWM DP 1i	353,91	354,08	-0,17
190	VOB GWM DP 2a	355,52	355,60	-0,07
191	VOB GWM DP 2i	353,92	354,08	-0,16
192	VOB GWM DP 3a	355,42	355,54	-0,12
193	VOB GWM DP 4a	354,48	355,08	-0,61
194	VOB GWM DP 5a	353,39	354,91	-1,51
195	Vohburg 305	353,61	353,53	0,08
196	Vohburg-Rockolding, Bahnhof	358,07	358,78	-0,71

Gegenüberstellung berechneter und gemessener Grundwasserstände
Stationäre Kalibrierung - Stichtag 19.04.2016
- Ausgangsfall -



Gegenüberstellung gemessener und berechneter Grundwasserstände
Stationäre Kalibrierung Stichtag 19.04.2016
- Endzustand -

Gesamtauswertung	Differenz gemessen zu berechnet [m]			Standardabweichung [m]
	Mittelwert*	Minimum	Maximum	
Nahbereich Polder	0,08	-0,14	0,18	0,10
Ehem. Gelände Bayernoil Ingolstadt	0,07	-0,03	0,19	0,06
Westliches Stadtgebiet Ingolstadt	0,13	-0,35	0,18	0,12
Westlicher Randzuström	0,28	0,04	0,48	0,12
Südwestlicher Modellraum (Manching/Donaumoos)	0,08	-0,24	0,26	0,10
Südöstlicher Modellraum (Flughafen Manching/Feilenmoos)	0,17	-0,15	0,57	0,20
Östlicher Modellraum (Vohburg)	0,16	-0,61	0,26	0,19

)* Der Mittelwert entspricht der mittleren absoluten Abweichung

Gegenüberstellung gemessener und berechneter Grundwasserstände
Stationäre Kalibrierung Stichtag 19.04.2016
 - Endzustand -

Lfd. No.	Messstelle	Grundwasserstand gemessen [mNN]	Grundwasserstand berechnet [mNN]	Differenz gemessen zu berechnet [m]
Nahbereich Polder				
1	01 05 0229	360,18	360,32	-0,14
2	01 05 0243	360,21	360,03	0,18
3	01 05 0255	358,03	358,02	0,01
4	01 05 0259	358,55	358,56	-0,01
5	01 05 0351	360,04	359,91	0,13
6	01 05 0425	359,20	359,34	-0,14
7	1672_BGW75	359,68	359,64	0,04
8	2769_3	358,80	358,84	-0,05
9	2867_Pegel30	358,73	358,82	-0,09
10	2977_GWM13/04	359,23	359,14	0,09
11	4023_WMP7	359,84	359,68	0,16
12	4026_GWMB7(Nr.4)	359,70	359,75	-0,05
13	P 1	359,03	358,86	0,17
14	P 18	359,10	359,09	0,01
15	P 22	359,40	359,33	0,08
16	P 25	358,93	358,97	-0,04
17	P 26	358,95	358,92	0,03
18	P 27	358,89	358,88	0,01
19	P 28	358,95	358,86	0,08
20	P 37	358,80	358,91	-0,12
21	P 38	358,84	358,95	-0,11
22	P 39	358,66	358,76	-0,10
23	P 40	359,03	359,07	-0,03
24	P 41	359,13	359,14	-0,02
25	WESTENHAUSEN 135	358,81	358,89	-0,09
Ehem. Gelände Bayernoil Ingolstadt				
26	01 05 0241	360,25	360,23	0,02
27	01 05 0435	361,32	361,22	0,10
28	01 05 0461	361,06	361,04	0,02
29	2726_GWM1	360,83	360,75	0,08
30	3068_GWM2	361,00	360,97	0,03
31	3070_GWM4	361,11	360,92	0,19
32	3071_GWM5	361,09	360,93	0,16
33	3074_GWM9	361,02	360,97	0,06
34	3076_GWM11	360,95	360,91	0,04
35	3083_GWM18	360,58	360,59	-0,02
36	3090_GWM26	360,92	360,85	0,07
37	3095_GWM31	360,66	360,61	0,05
38	3105_GWM42	360,27	360,30	-0,02
39	3150_P64	360,92	360,95	-0,03
40	3250_B3	361,13	360,96	0,16
41	3608_GWM82	360,76	360,59	0,17
42	4029_GWM80a	360,64	360,57	0,07
43	545_P52	361,04	361,04	0,00
44	563_P10	360,84	360,80	0,04
45	926_B1	361,08	360,99	0,09

Gegenüberstellung gemessener und berechneter Grundwasserstände
Stationäre Kalibrierung Stichtag 19.04.2016
 - Endzustand -

Lfd. No.	Messstelle	Grundwasserstand gemessen [mNN]	Grundwasserstand berechnet [mNN]	Differenz gemessen zu berechnet [m]
Westliches Stadtgebiet Ingolstadt				
46	1036	363,87	364,17	-0,30
47	2982	362,75	362,91	-0,16
48	01 04 0021	363,43	363,64	-0,21
49	01 04 0025	363,71	363,75	-0,04
50	01 04 0029	363,53	363,73	-0,20
51	01 04 0031	363,20	363,24	-0,04
52	01 04 0033	363,23	363,25	-0,02
53	01 04 0035	362,63	362,76	-0,13
54	01 05 0203	362,39	362,50	-0,11
55	01 05 0205	362,05	362,23	-0,18
56	01 05 0211	361,85	362,01	-0,16
57	01 05 0213	361,05	361,23	-0,18
58	01 05 0215	361,62	361,69	-0,07
59	01 05 0217	361,81	361,80	0,01
60	01 05 0219	361,40	361,52	-0,11
61	01 05 0221	361,63	361,65	-0,02
62	01 05 0223	362,05	361,95	0,10
63	01 05 0319	361,89	361,91	-0,03
64	01 05 0321	361,25	361,23	0,02
65	01 05 0323	361,25	361,23	0,02
66	01 05 0327	361,08	361,23	-0,15
67	01 05 0329	361,11	361,23	-0,13
68	1064_B1	361,93	362,04	-0,11
69	126_VOB429(B1)	361,45	361,43	0,02
70	1776_KB10	361,38	361,40	-0,02
71	218_PB3	363,63	363,83	-0,20
72	2377_Haun-C	363,18	363,34	-0,17
73	2378_Haun-D	363,65	363,98	-0,32
74	2379_Haun-E	363,45	363,72	-0,27
75	2693_GW1	362,10	362,28	-0,18
76	2718_RKS8/GWP1	364,18	364,40	-0,22
77	3430_GWM3	362,73	363,08	-0,35
78	351_B1	363,47	363,63	-0,16
79	377_B1	363,04	363,04	0,00
80	631_In24	362,49	362,85	-0,35
81	79_PB2	361,81	361,87	-0,06
82	86_PB10	362,68	362,79	-0,11
83	870_B3	362,32	362,53	-0,21
84	88_PB13	361,39	361,28	0,11
85	924_B1	361,47	361,47	0,00
86	933_KP1	362,19	362,32	-0,14
87	942_BGW1	362,76	362,86	-0,10
88	KOTHAU 134A	362,58	362,40	0,18
Westlicher Randzustrom				
89	01 04 0027	365,05	364,67	0,38
90	148_B3	366,27	366,09	0,18
91	1978_B1	365,63	365,44	0,20
92	1992_B1	365,70	365,66	0,04
93	2376_Haun-B	364,97	364,68	0,29
94	322_PB2	366,40	366,09	0,32
95	380_PB1	365,95	365,65	0,30
96	634_In27	366,33	365,85	0,48
97	637_In30	365,11	364,75	0,36
Südwestlicher Modellraum (Manching/Donaumöos)				
98	771	361,14	361,21	-0,07
99	2422	364,06	363,92	0,14
100	01 05 0227	361,21	361,18	0,03
101	1035_B1	363,12	363,03	0,09

Gegenüberstellung gemessener und berechneter Grundwasserstände

Stationäre Kalibrierung Stichtag 19.04.2016

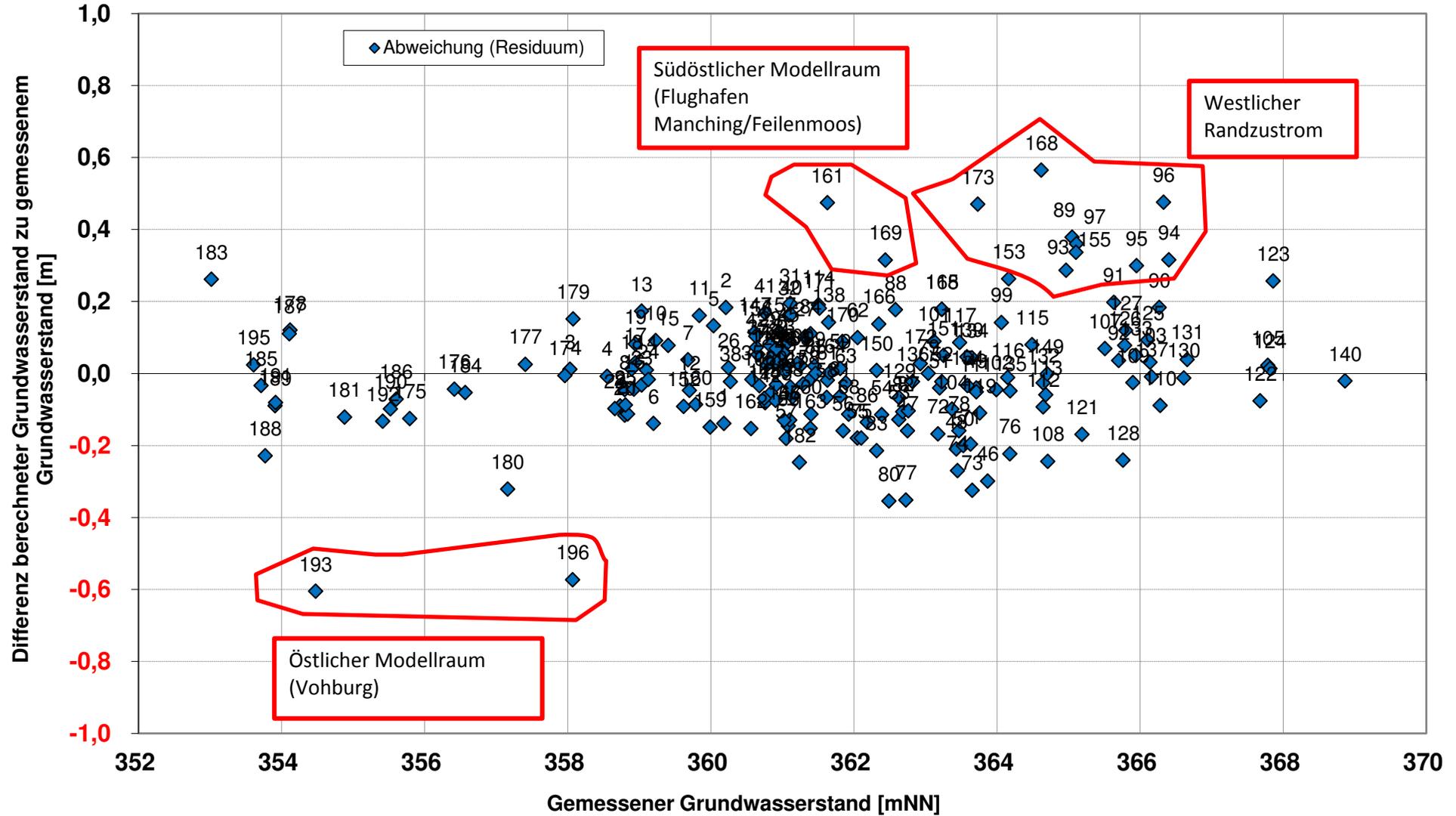
- Endzustand -

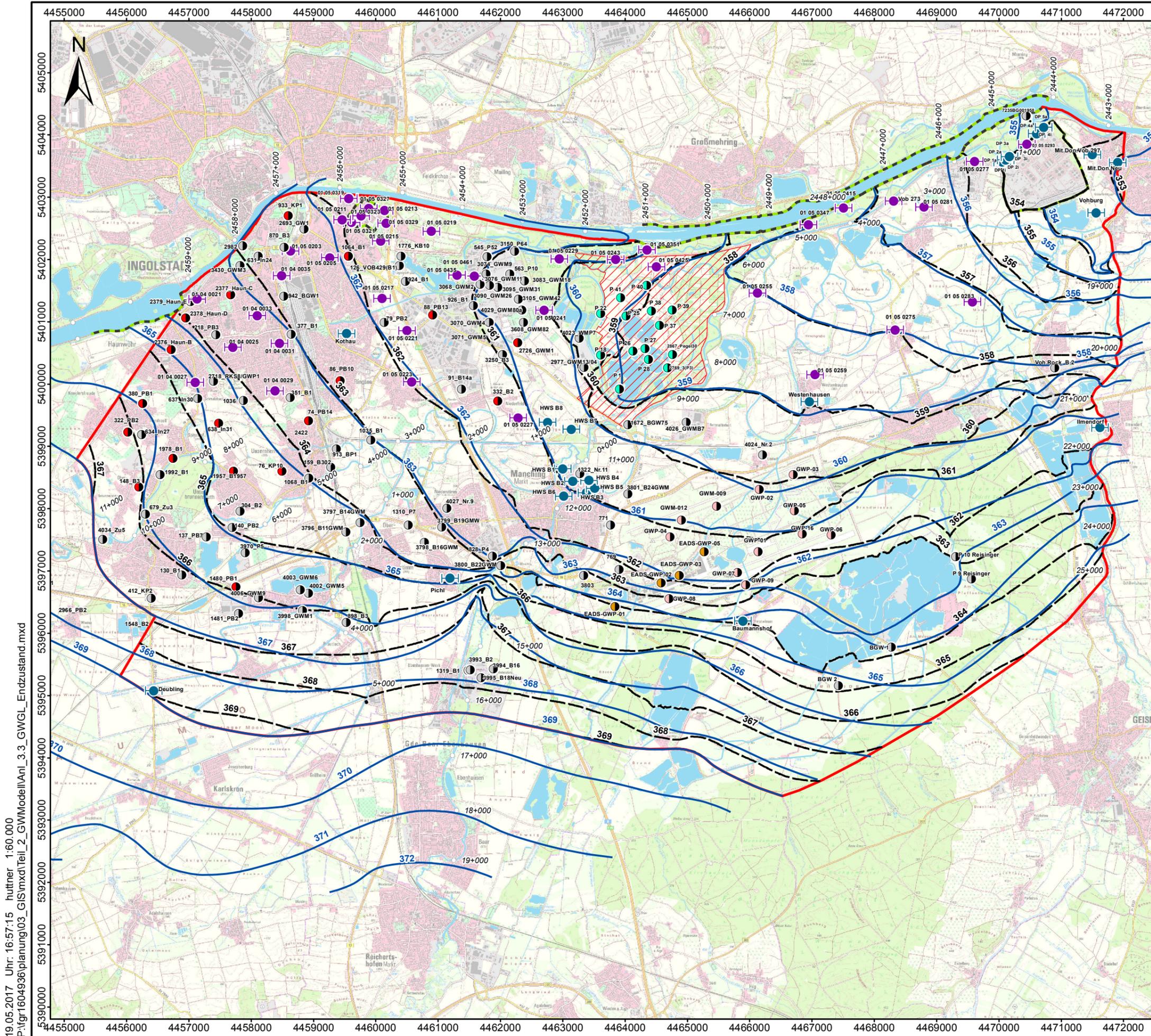
Lfd. No.	Messstelle	Grundwasserstand gemessen [mNN]	Grundwasserstand berechnet [mNN]	Differenz gemessen zu berechnet [m]
102	1068_B1	363,99	364,04	-0,05
103	130_B1	366,14	366,11	0,03
104	1310_P7	363,37	363,47	-0,10
105	1319_B1	367,78	367,76	0,02
106	1322_Nr.11	360,68	360,71	-0,03
107	137_PB7	365,51	365,44	0,07
108	140_PB2	364,71	364,95	-0,24
109	1480_PB1	365,90	365,93	-0,03
110	1481_PB2	366,28	366,37	-0,09
111	159_B302	363,71	363,76	-0,05
112	1957_B1957	364,65	364,74	-0,09
113	304_B2	364,68	364,74	-0,06
114	332_B2	361,50	361,31	0,19
115	3796_B11GWM	364,49	364,41	0,08
116	3797_B14GWM	364,15	364,16	-0,01
117	3798_B16GWM	363,48	363,39	0,09
118	3799_B19GWM	363,23	363,05	0,18
119	3800_B22GWM	363,76	363,87	-0,11
120	3801_B24GWM	360,78	360,76	0,02
121	3970_P5	365,19	365,36	-0,17
122	3993_B2	367,68	367,75	-0,08
123	3994_B16	367,86	367,60	0,26
124	3995_B18Neu	367,81	367,80	0,01
125	3998_GWM1	366,11	366,01	0,09
126	4002_GWM5	365,78	365,71	0,08
127	4003_GWM6	365,80	365,68	0,12
128	4006_GWM9	365,76	366,00	-0,24
129	4027_Nr.9	362,63	362,70	-0,07
130	4034_Zu5	366,61	366,62	-0,01
131	412_KP2	366,66	366,62	0,04
132	638_In31	364,64	364,67	-0,03
133	679_Zu3	365,94	365,89	0,05
134	74_PB14	363,65	363,61	0,04
135	76_KP10	364,18	364,23	-0,05
136	828_P4	362,82	362,84	-0,02
137	898_B3	366,16	366,17	-0,01
138	91_B14a	361,65	361,51	0,14
139	913_BP1	363,58	363,53	0,05
140	DEUBLING Q 1	368,86	368,88	-0,02
141	MANCHING HWS B1	360,84	360,89	-0,05
142	MANCHING HWS B2	360,76	360,84	-0,08
143	MANCHING HWS B3	360,91	360,98	-0,07
144	MANCHING HWS B4	360,83	360,80	0,03
145	MANCHING HWS B5	360,93	360,90	0,03
146	MANCHING HWS B6	361,03	361,16	-0,13
147	MANCHING HWS B7	360,62	360,50	0,11
148	MANCHING HWS B8	360,75	360,82	-0,07
149	PICHL 126B	364,70	364,70	0,00
Südöstlicher Modellraum (Flughafen Manching/Feilenmoos)				
150	769	362,32	362,31	0,01
151	3803	363,25	363,20	0,05
152	4024_Nr.2	359,62	359,71	-0,09
153	BAUMANNSHOF 138	364,16	363,90	0,26
154	BGW 1 Klesabbau Braun	363,59	363,62	-0,03
155	BGW 2 Klesabbau Braun	365,11	364,77	0,34
156	BwDLZ-GWM-009	360,63	360,53	0,10
157	BwDLZ-GWM-012	360,96	360,84	0,12
158	BwDLZ-GWP-01	361,29	361,32	-0,03
159	BwDLZ-GWP-02	359,99	360,14	-0,15

Gegenüberstellung gemessener und berechneter Grundwasserstände
Stationäre Kalibrierung Stichtag 19.04.2016
- Endzustand -

Lfd. No.	Messstelle	Grundwasserstand gemessen [mNN]	Grundwasserstand berechnet [mNN]	Differenz gemessen zu berechnet [m]
160	BwDLZ-GWP-03	359,79	359,88	-0,09
161	BwDLZ-GWP-04	361,63	361,16	0,47
162	BwDLZ-GWP-05	360,56	360,71	-0,15
163	BwDLZ-GWP-06	361,39	361,54	-0,15
164	BwDLZ-GWP-07	361,66	361,66	0,00
165	BwDLZ-GWP-08	363,23	363,05	0,18
166	BwDLZ-GWP-09	362,35	362,21	0,14
167	BwDLZ-GWP-16	361,11	361,15	-0,04
168	EADS-GWP-01	364,62	364,05	0,57
169	EADS-GWP-02	362,44	362,13	0,31
170	EADS-GWP-03	361,84	361,75	0,09
171	EADS-GWP-05	361,52	361,34	0,18
172	P 10 Reisinger	362,93	362,90	0,03
173	P 9 Reisinger	363,73	363,26	0,47
Östlicher Modellraum (Vohburg)				
174	01 05 0275	357,96	357,97	-0,01
175	01 05 0277	355,79	355,92	-0,13
176	01 05 0281	356,42	356,46	-0,04
177	01 05 0283	357,41	357,38	0,03
178	01 05 0293	354,12	354,00	0,12
179	01 05 0347	358,08	357,92	0,15
180	01 05 0415	357,16	357,48	-0,32
181	7235BG001958	354,88	355,00	-0,12
182	ILMENDORF 140A	361,24	361,49	-0,25
183	MITTL.DONAU NEU	353,02	352,76	0,26
184	MITTL.DONAU VOB 273	356,57	356,62	-0,05
185	MITTL.DONAU VOB 297	353,71	353,75	-0,03
186	VOB GWM 1a	355,60	355,67	-0,07
187	VOB GWM 3i	354,11	354,00	0,11
188	VOB GWM 4i	353,77	354,00	-0,23
189	VOB GWM DP 1i	353,91	354,00	-0,09
190	VOB GWM DP 2a	355,52	355,62	-0,10
191	VOB GWM DP 2i	353,92	354,00	-0,08
192	VOB GWM DP 3a	355,42	355,55	-0,13
193	VOB GWM DP 4a	354,48	355,08	-0,61
194	VOB GWM DP 5a	353,39	354,90	-
195	Vohburg 305	353,61	353,59	0,02
196	Vohburg-Rockolding, Bahnhof	358,07	358,64	-0,57

Gegenüberstellung berechneter und gemessener Grundwasserstände
Stationäre Kalibrierung - Stichtag 19.04.2016
- Endzustand -





Zeichenerklärung

- Modellraum
- Geplanter Flutpolder Großmehring
- Bestehende Dichtwand (Einbindung bis in das Tertiär)
- 12+000 Flusskilometer

Stichtagsmessung 19. April 2016
Messprogramm Grundwasser

Betreiber

- Freistaat Bayern - Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt
- Uniper Kraftwerke GmbH
- Ingolstädter Kommunalbetriebe AöR (INKB)
- Radmer Kies GmbH & Co. KG
- Staatl. Bauamt Ingolstadt/BwDLZ
- EADS Manching
- Zusätzliche Messstelle (nur Stichtag)

Grundwassergleichen

- 361** Gemessene Grundwassergleichen am Stichtag 19.04.2016
- 361-** Berechnete Grundwassergleichen Stationäre Anpassung



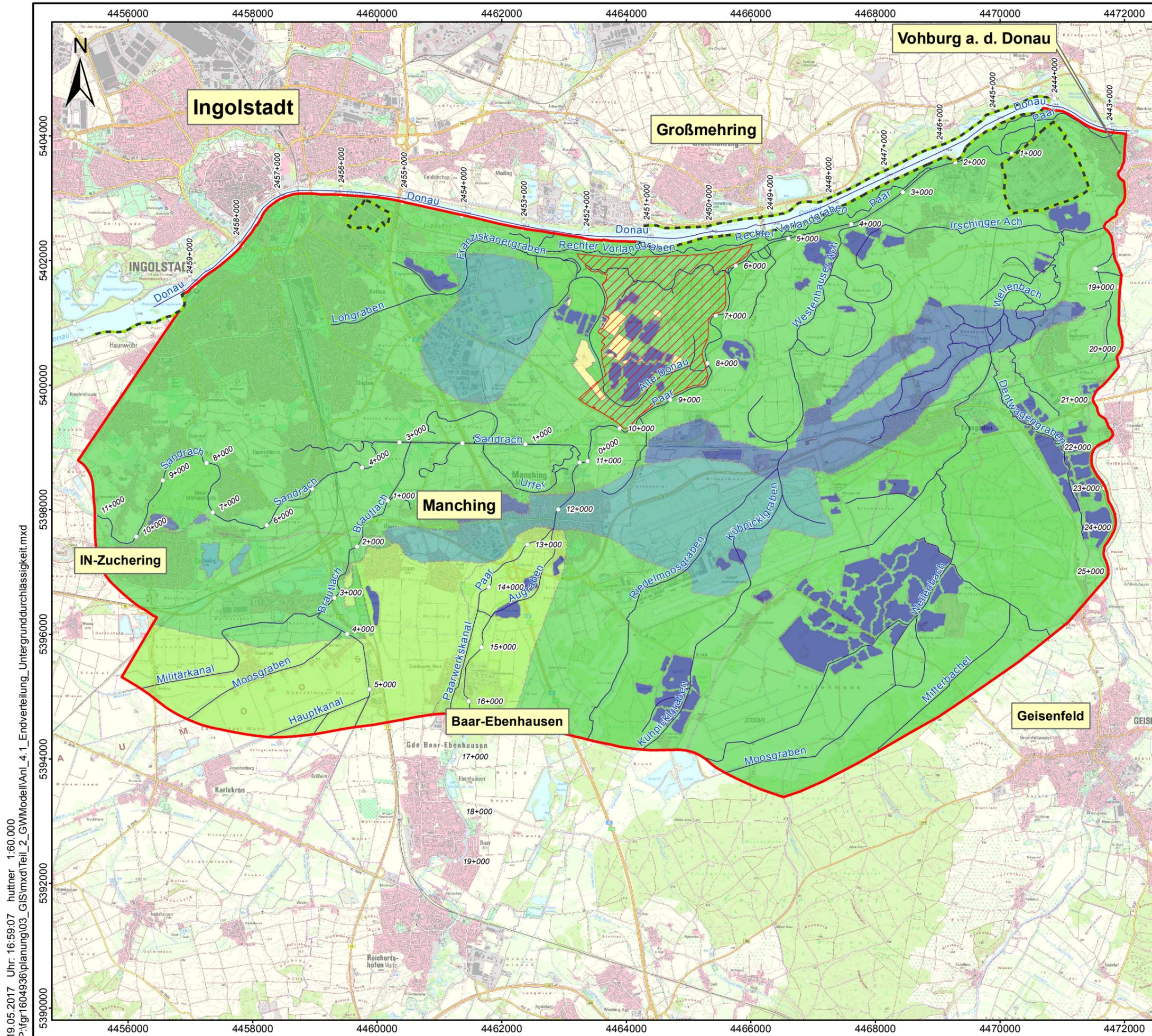
Koordinatensystem: DHDN 3 Degree Gauss Zone 4
 Datengrundlagen:
 © Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.lfu.bayern.de
 © Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt, www.wwa-ingolstadt.bayern.de
 Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung

BIÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE

Gemessene und berechnete Grundwassergleichen
Stichtag 19.04.2016

M.: 1:60.000	Mai 2017	fgr1604936
--------------	----------	------------

19.05.2017 Uhr: 16:57:15 huttnr: 1:60.000
 P:\fgr1604936\planung\03_GIS\mxd\Teil_2_GWM\modell\Anl_3_3_GWGL_Endzustand.mxd

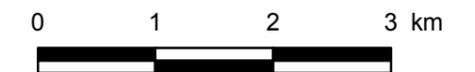


Zeichenerklärung

- Modellraum
- Geplanter Flutpolder Großmehring
- Bestehende Dichtwand (Einbindung bis in das Tertiär)
- Flusskilometer

Untergurndurchlässigkeiten (k_f - Werte) im Quartär in [m/s]

- <math> < 5 \cdot 10^{-4}</math>
- $5 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-3}$
- $1 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-3}$
- $5 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-2}$
- $1 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10^{-2}$
- > $5 \cdot 10^{-2}$



Koordinatensystem: DHDN 3 Degree Gauss Zone 4

Datengrundlagen:
 © Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.lfu.bayern.de
 © Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt, www.wwa-ingolstadt.bayern.de
 Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung

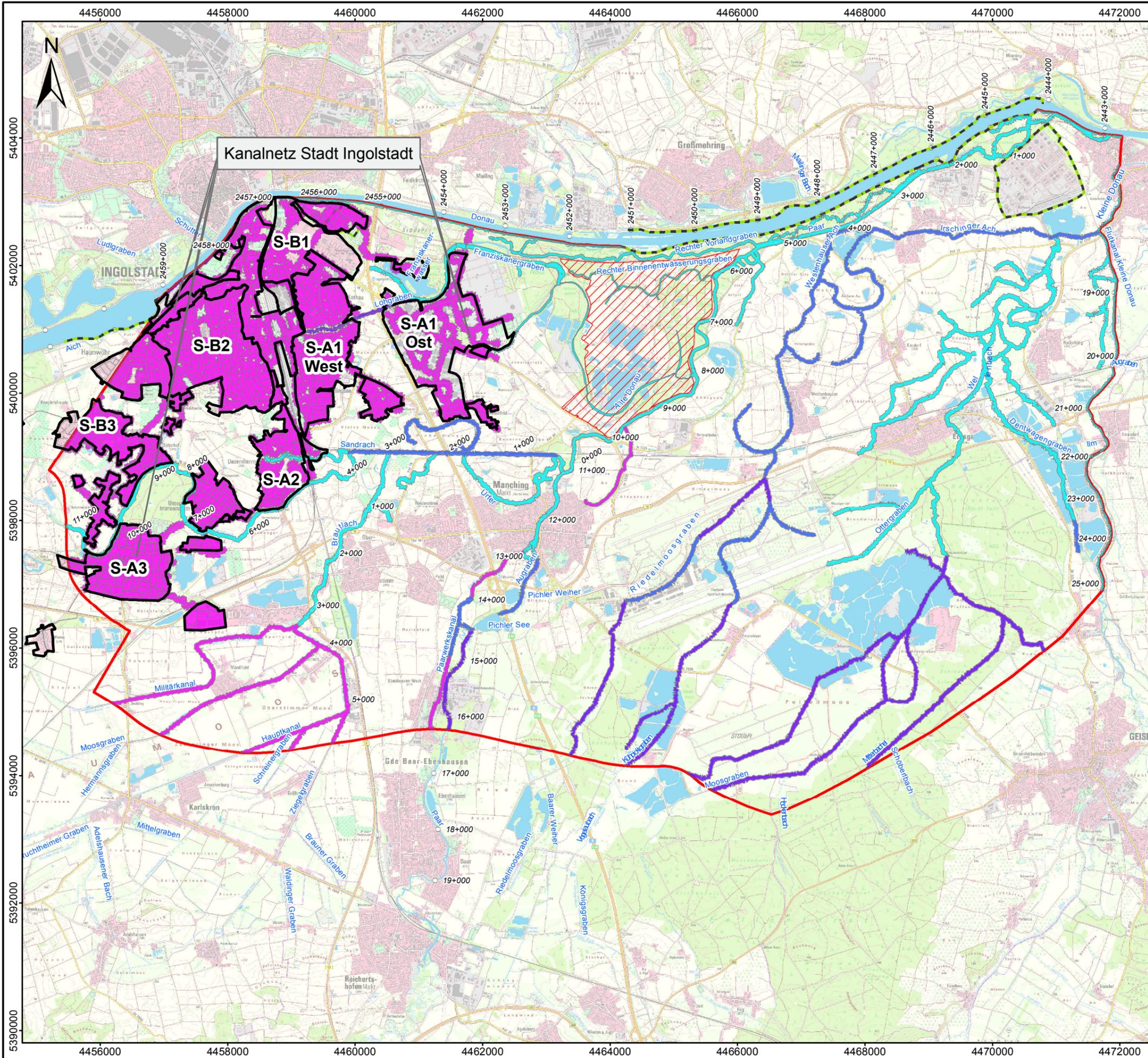
BCE

BIÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE

Endverteilung
 Untergurndurchlässigkeiten

M.: 1:60.000	Mai 2017	fgr1604936
--------------	----------	------------

19.05.2017 Uhr: 17:01:33 huttner 1:60.000
 P:\fgr1604936\planung\03_GIS\mxd\Teil_2_GWM\modell\Anl_4_2_Endverteilung_Gewässeraustauschraten.mxd



Zeichenerklärung

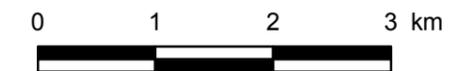
- Modellraum
- Geplanter Flutpolder Großmehring
- Bestehende Dichtwand (Einbindung bis in das Tertiär)
- 12+000
○ Flusskilometer

Gewässeraustauschraten [1/s]

- <math>< 10^{-6}</math>
- 10^{-6} bis 10^{-5}
- 10^{-5} bis 10^{-4}
- >10^{-4}

Kanalnetz Ingolstadt

- Hydraulisches Einzugsgebiet (z.B. S-A1 Ost)



Koordinatensystem: DHDN 3 Degree Gauss Zone 4
 Datengrundlagen:
 © Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.lfu.bayern.de
 © Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt, www.wwa-ingolstadt.bayern.de
 Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung

BCE

BJÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE

**Gewässeraustauschraten
 - Endverteilung -**

M.: 1:60.000	Mai 2017	fgr1604936
--------------	----------	------------

Gegenüberstellung gemessener und berechneter Gewässeraustauschraten

Gewässer	Abflussmessung Stichtag 19.04.2016 bzw. Nachmessung 15.03.2017				Austauschrate Gewässerabschnitt gesamt - gemessen [l/s]	Austauschrate Gewässerabschnitt gesamt - berechnet [l/s]	Austauschrichtung Grundwasser/ Vorfluter gemessen	Austauschrichtung Grundwasser/ Vorfluter - berechnet
	von Station	bis Station	Gewässerabschnitt					
			Anfang [m3/s]	Ende [m3/s]				
Alte Donau	-	AD3	0,000	0,205	-205	-322	Exfiltration	Exfiltration
Rechter Binnenentwässerungsgraben	-	BINN1	0,000	0,119	-119	-161	Exfiltration	Exfiltration
Rechter Vorlandgraben	VORE1	VORE6	3,528	3,310	218	450	Infiltration	Infiltration
Riedelmoos-/Kühpicklgraben Westenhausener Ach	RMG/KPG	WESTA3	0,139	0,279	-140	-200	Exfiltration	Exfiltration
Wellenbach	WELL1	WELL5	0,154	0,283	-129	-425	Exfiltration	Exfiltration
Sandrach	SAND1	Niederstimm	1,297	2,440	-111	-81	Exfiltration	Exfiltration
Brautlach	Oberstimm	BRAUT	1,020	1,032	-12	27	Exfiltration	Infiltration
Paar (Abschnitt 1: incl. Zuflüsse Sandrach, Alte Donau und Rechter Binnenentwässerungsgraben)	PAAR3/SAND3/ AD3/BINN1	PAAR9	9,493	10,703	-952	-435	Exfiltration	Exfiltration
Paar (Abschnitt 2: incl. Zufluss Rechter Vorlandgraben)	PAAR9/VORE6	PAAR11	14,948	14,690				

Genereller Hinweis: Beeinflussung der Messergebnisse durch geringe Fließgeschwindigkeiten, Verkrautung, etc.

Gegenüberstellung gemessener und berechneter Gewässeraustauschraten

Gewässer	Abflussmessung Stichtag 19.04.2016 bzw. Nachmessung 15.03.2017				Austauschrate Gewässerabschnitt gesamt - gemessen [l/s]	Austauschrate Gewässerabschnitt gesamt - berechnet [l/s]	Messgerät	Austauschrichtung Grundwasser/ Vorfluter gemessen	Austauschrichtung Grundwasser/ Vorfluter - berechnet
	von Station	bis Station	Gewässerabschnitt						
			Anfang [m3/s]	Ende [m3/s]					
Alte Donau	-	AD3	0,000	0,205	-205	-322	AquaProfiler	Exfiltration	Exfiltration
Rechter Binnenentwässerungsgraben	-	BINN1	0,000	0,119	-119	-161	AquaProfiler	Exfiltration	Exfiltration
Rechter Vorlandgraben	VORE1	VORE6	3,528	3,310	218	450	RiverSurveyor	Infiltration	Infiltration
Riedelmoos-/Kühpicklgraben Westenhausener Ach	RMG/KPG	WESTA3	0,139	0,279	-140	-200	AquaProfiler	Exfiltration	Exfiltration
Wellenbach	WELL1	WELL5	0,154	0,283	-129	-425	Qliner	Exfiltration	Exfiltration
Sandrach	SAND1	Niederstimm	1,297	2,440	-111	-81	RiverSurveyor	Exfiltration	Exfiltration
Brautlach	Oberstimm	BRAUT	1,020	1,032	-12	27	AquaProfiler	Exfiltration	Infiltration
Paar (Abschnitt 1: incl. Zuflüsse Sandrach, Alte Donau und Rechter Binnenentwässerungsgraben)	PAAR3/ SAND3/ AD3/ BINN1	PAAR9	9,493	10,703	-952	-435	RiverSurveyor	Exfiltration	Exfiltration
Paar (Abschnitt 2: incl. Zufluss Rechter Vorlandgraben)	PAAR9/ VORE6	PAAR11	14,948	14,690			RiverSurveyor		

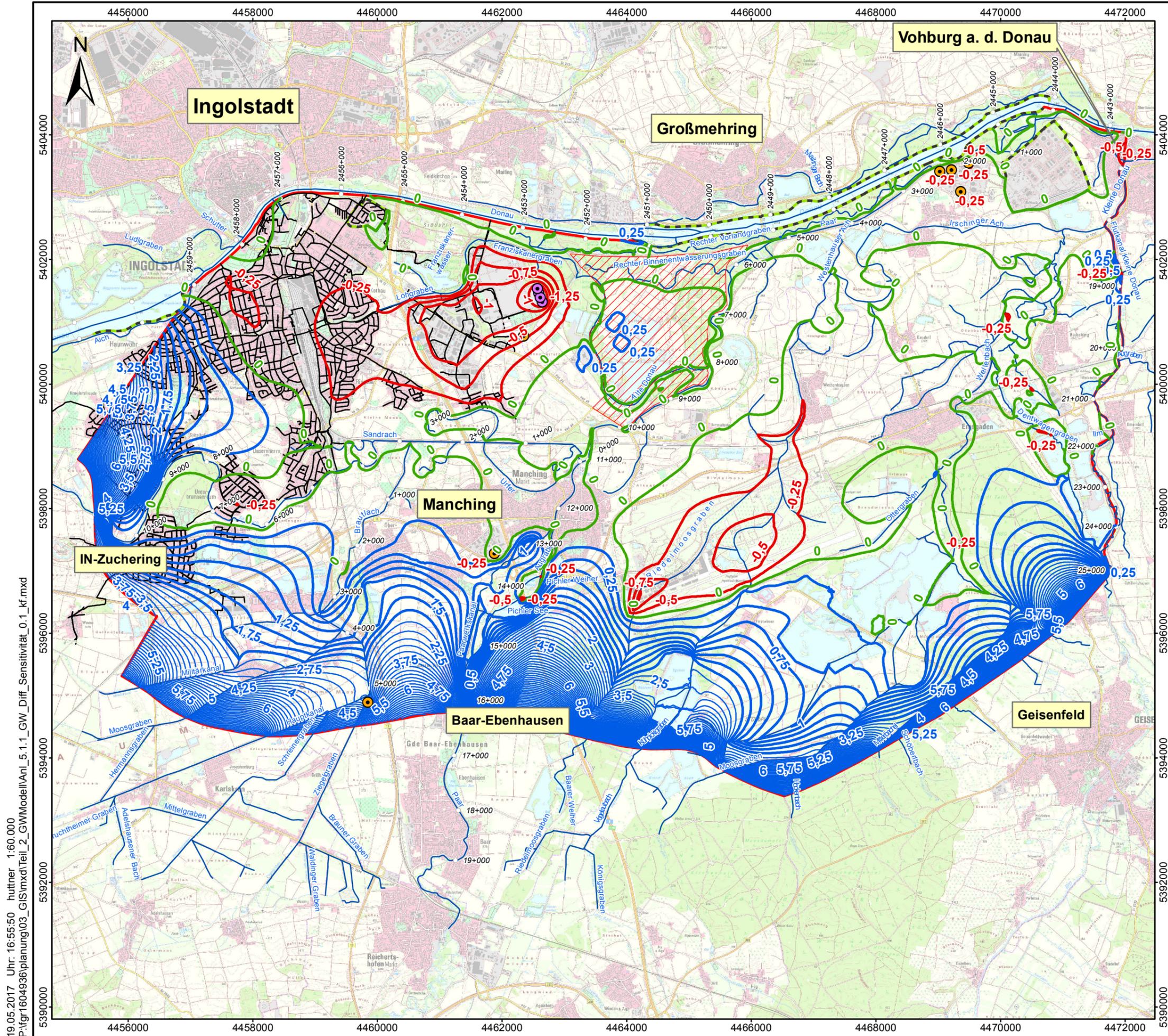
Genereller Hinweis: Beeinflussung der Messergebnisse durch geringe Fließgeschwindigkeiten, Verkrautung, etc.

Genauigkeit Messgerät nach Herstellerangabe [%]

AquaProfiler: ±1 % vom Messwert ±0,25 cm/s

Qliner: ±1 % vom Messwert ±0,5 cm/s

RiverSurveyor: ±1 %



- ### Zeichenerklärung
- Modellraum
 - Geplanter Flutpolder Großmehring
 - Bestehende Dichtwand (Einbindung bis in das Tertiär)
 - 12+000 Flusskilometer
- ### Entnahmen aus dem Quartär
- Betriebswasserversorgung
 - Sanierungsbrunnen
- ### Berechnete Grundwasserspiegeldifferenzen [m]
- 0,5 Absenkung Grundwasserspiegel bzw. Druckwasserspiegel
 - 0 Null-Linie
 - 0,5 Aufhöhung Grundwasserspiegel bzw. Druckwasserspiegel

Kanalnetz Ingolstadt

- Hauptleitungen Kanalnetz



Koordinatensystem: DHDN 3 Degree Gauss Zone 4

Datengrundlagen:
 © Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.lfu.bayern.de
 © Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt, www.wwa-ingolstadt.bayern.de
 Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung

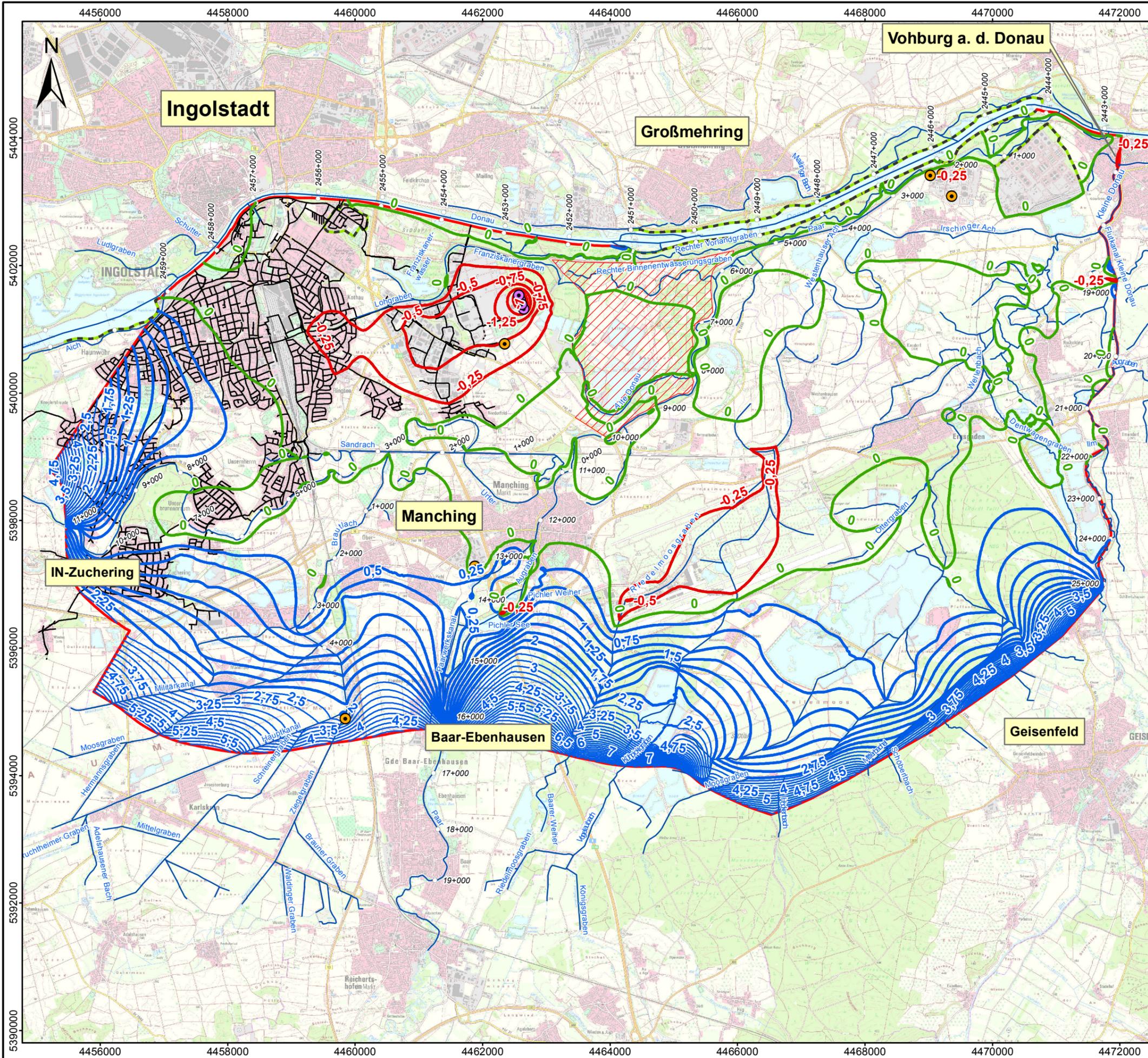
BCE

BIÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE

Sensitivitätsanalyse k_f -Werte:
 Faktor 1/10
 Berechnete
 Grundwasserspiegeldifferenzen

M.: 1:60.000	Mai 2017	fgr1604936
--------------	----------	------------

01.09.2017 Uhr: 15:39:45 huttnr 1:60.000
 P:\fgr1604936\planung\03_GIS\mxd\Teil_2_GWMmodell\Anl_5.1.2_GW_Diff_Sensitivität_0.2_kf.mxd



Zeichenerklärung

- Modellraum
- Geplanter Flutpolder Großmehring
- Bestehende Dichtwand (Einbindung bis in das Tertiär)
- 12+000
Flusskilometer
- Betriebswasserversorgung
- Sanierungsbrunnen

Entnahmen aus dem Quartär

- Betriebswasserversorgung
- Sanierungsbrunnen

Berechnete Grundwasserspiegeldifferenzen [m]

- 0,5 Absenkung Grundwasserspiegel bzw. Druckwasserspiegel
- 0 Null-Linie
- 0,5 Aufhöhung Grundwasserspiegel bzw. Druckwasserspiegel

Kanalnetz Ingolstadt

- Hauptleitungen Kanalnetz



Koordinatensystem: DHDN 3 Degree Gauss Zone 4

Datengrundlagen:
 © Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.lfu.bayern.de
 © Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt, www.wwa-ingolstadt.bayern.de
 Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung

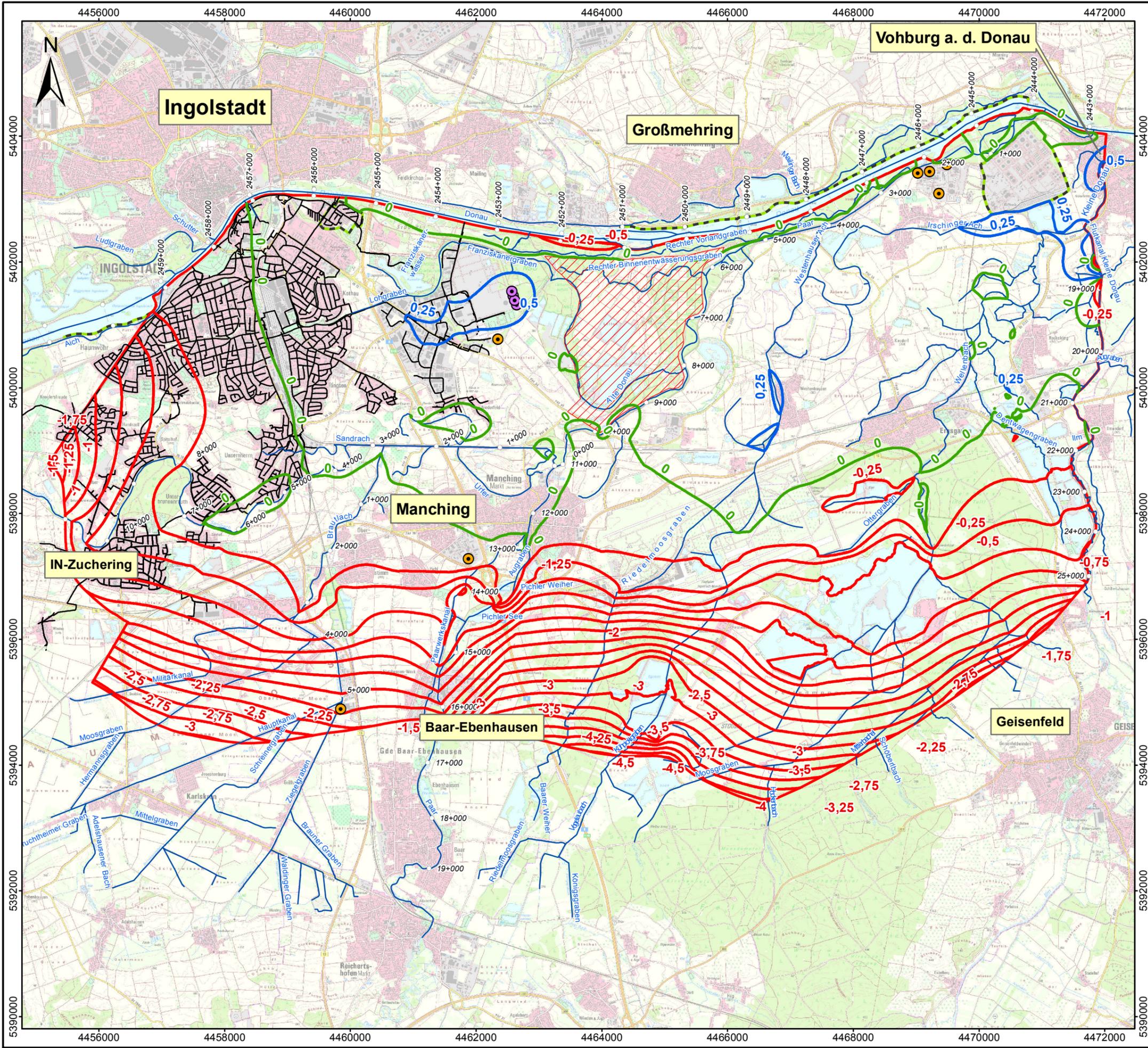


BJÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE

Sensitivitätsanalyse k_f -Werte:
 Faktor 1/5
 Berechnete
 Grundwasserspiegeldifferenzen

M.: 1:60.000	Mai 2017	fgr1604936
--------------	----------	------------

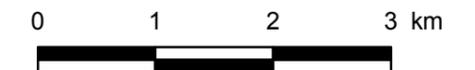
01.09.2017 Uhr: 15:41:13 huttnr 1:60.000
 P:\fgr1604936\planung\03_GIS\mxd\Teil_2_GWMmodell\Anl_5.1.3_GW_Diff_Sensitivität_5_kf.mxd



Zeichenerklärung

- Modellraum
- Geplanter Flutpolder Großmehring
- Bestehende Dichtwand (Einbindung bis in das Tertiär)
- 12+000 Flusskilometer
- Betriebswasserversorgung
- Sanierungsbrunnen
- Berechnete Grundwasserspiegeldifferenzen [m]**
- 0,5 Absenkung Grundwasserspiegel bzw. Druckwasserspiegel
- 0 Null-Linie
- 0,5 Aufhöhung Grundwasserspiegel bzw. Druckwasserspiegel

- Kanalnetz Ingolstadt**
- Hauptleitungen Kanalnetz



Koordinatensystem: DHDN 3 Degree Gauss Zone 4
 Datengrundlagen:
 © Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.lfu.bayern.de
 © Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt, www.wwa-ingolstadt.bayern.de
 Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung

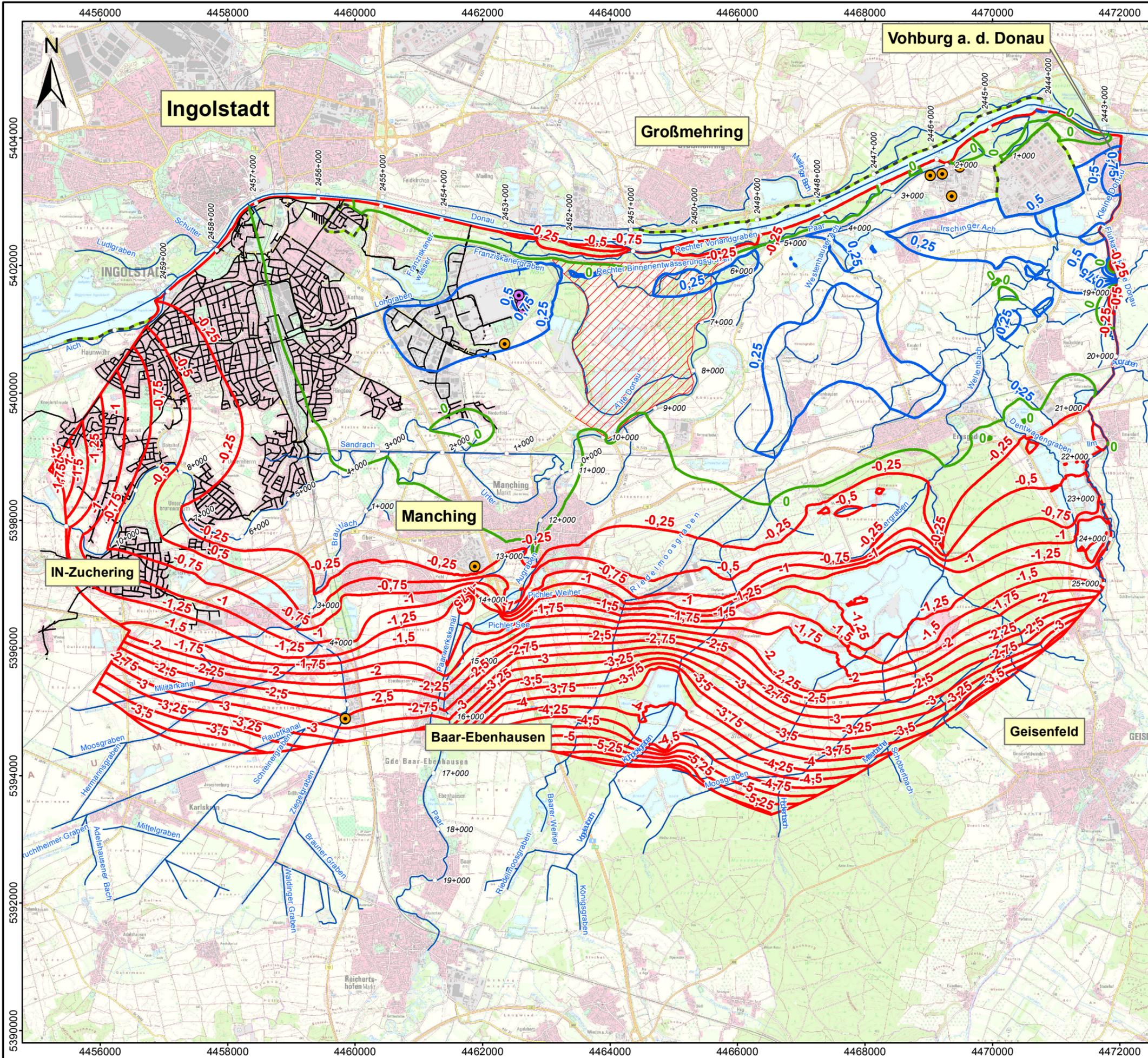
BCE

BIÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE

Sensitivitätsanalyse k_f -Werte:
 Faktor 5
 Berechnete
 Grundwasserspiegeldifferenzen

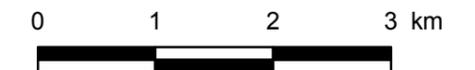
M.: 1:60.000	Mai 2017	fgr1604936
--------------	----------	------------

01.09.2017 Uhr: 15:42:35 huttnr 1:60.000
 P:\fgr1604936\planung03_GIS\mxd\Teil_2_GWMmodell\Anl_5.1.4_GW_Diff_Sensitivität_10_kf.mxd



Zeichenerklärung

- Modellraum
- Geplanter Flutpolder Großmehring
- Bestehende Dichtwand (Einbindung bis in das Tertiär)
- 12+000 Flusskilometer
- Betriebswasserversorgung
- Sanierungsbrunnen
- Berechnete Grundwasserspiegeldifferenzen [m]**
- 0.5 Absenkung Grundwasserspiegel bzw. Druckwasserspiegel
- 0 Null-Linie
- 0.5 Aufhöhung Grundwasserspiegel bzw. Druckwasserspiegel
- Kanalnetz Ingolstadt**
- Hauptleitungen Kanalnetz



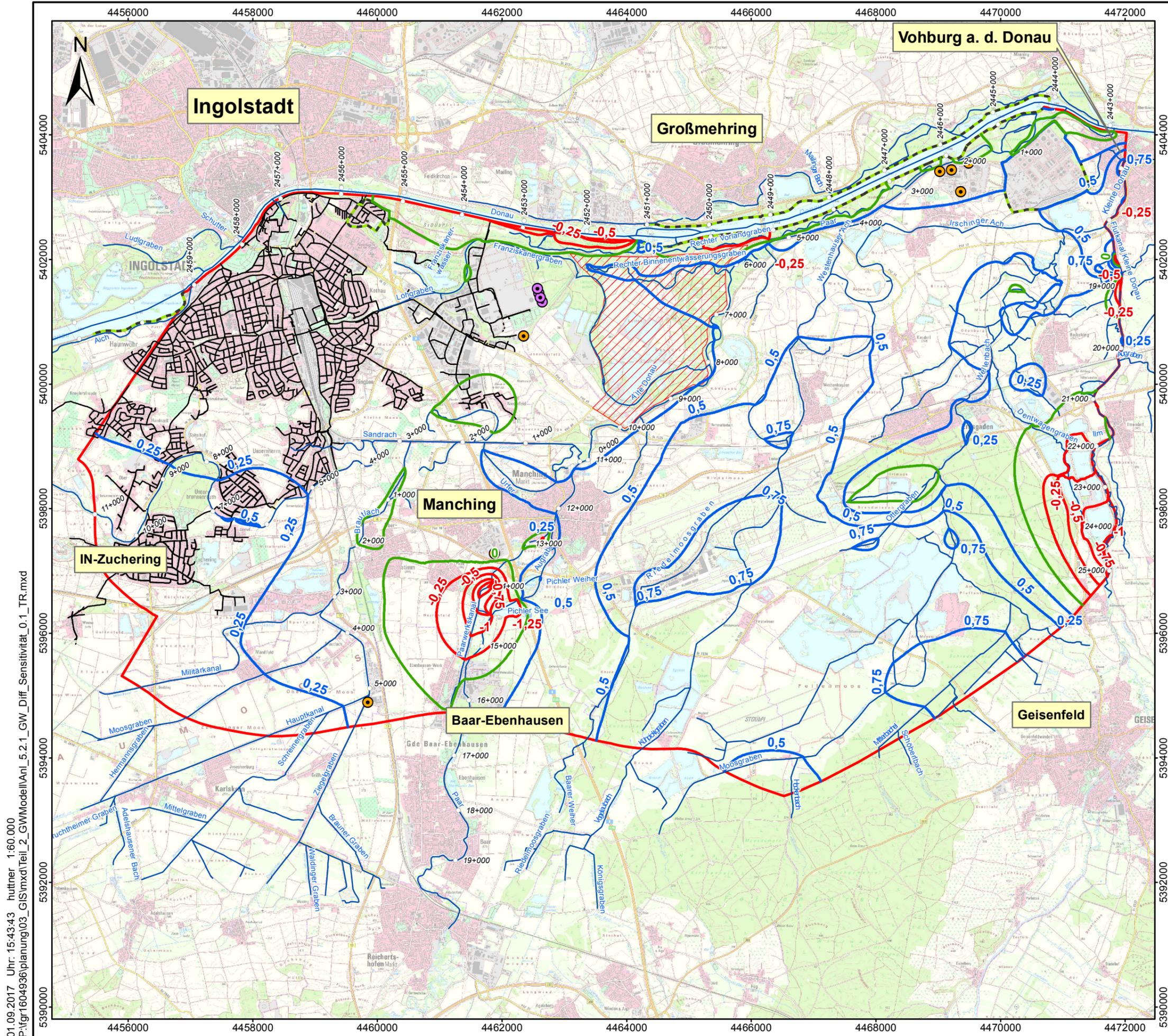
Koordinatensystem: DHDN 3 Degree Gauss Zone 4
 Datengrundlagen:
 © Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.lfu.bayern.de
 © Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt, www.wwa-ingolstadt.bayern.de
 Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung

BCE

BIÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE

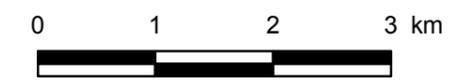
Sensitivitätsanalyse k_f -Werte:
 Faktor 10
 Berechnete
 Grundwasserspiegeldifferenzen

M.: 1:60.000	Mai 2017	fgr1604936
--------------	----------	------------



Zeichenerklärung

- Modellraum
- Geplanter Flutpolder Großmehring
- Bestehende Dichtwand (Einbindung bis in das Tertiär)
- 12+000 Flusskilometer
- Entnahmen aus dem Quartär
- Betriebswasserversorgung
- Sanierungsbrunnen
- Berechnete Grundwasserspiegeldifferenzen [m]**
- 0,5 Absenkung Grundwasserspiegel bzw. Druckwasserspiegel
- 0 Null-Linie
- 0,5 Aufhöhung Grundwasserspiegel bzw. Druckwasserspiegel
- Kanalnetz Ingolstadt**
- Hauptleitungen Kanalnetz



Koordinatensystem: DHDN 3 Degree Gauss Zone 4
 Datengrundlagen:
 © Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.lfu.bayern.de
 © Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt, www.wwa-ingolstadt.bayern.de
 Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung

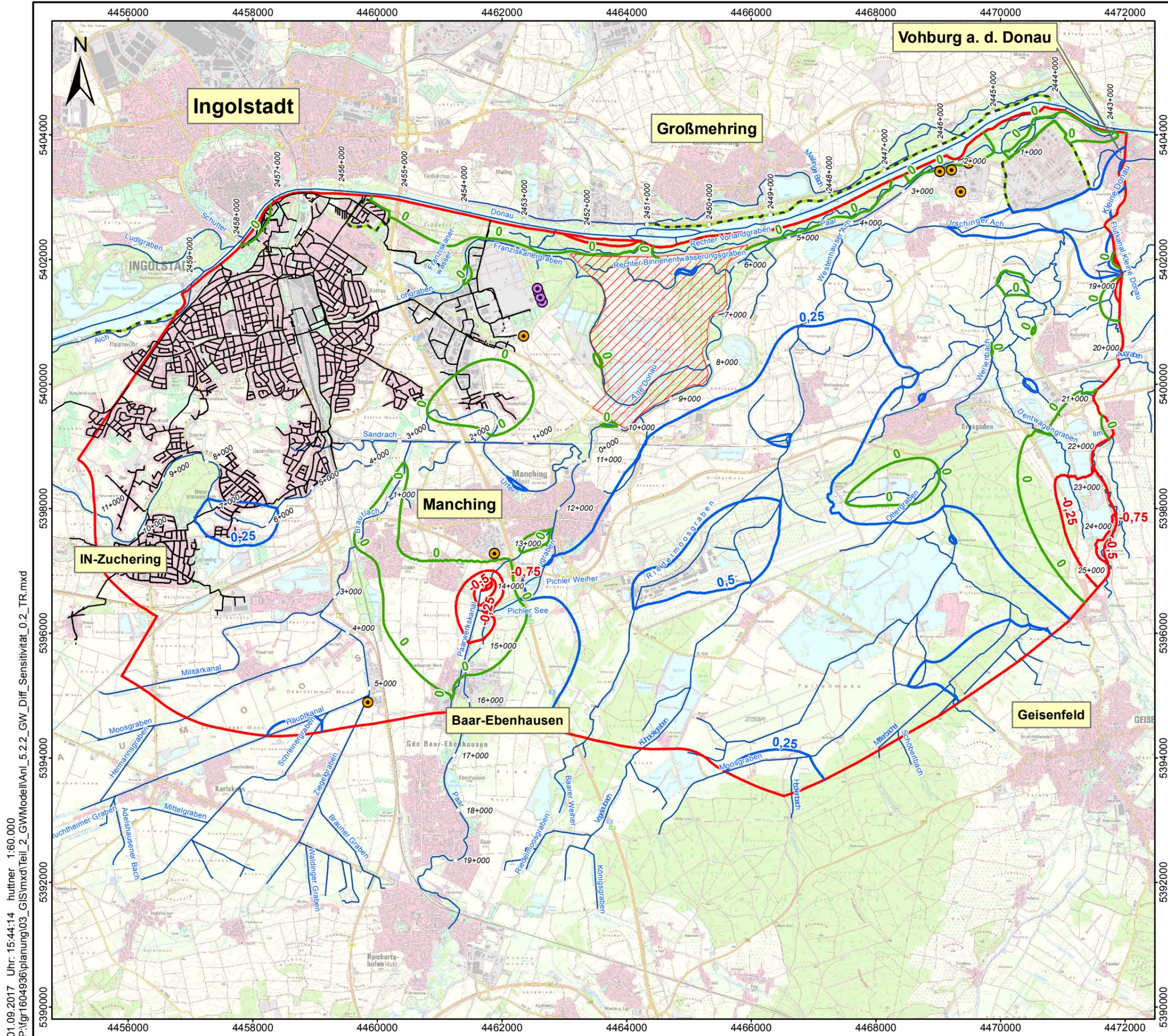
BCE

BIÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE

Sensitivitätsanalyse Durchlässigkeit
 Gewässersohle: Faktor 1/10
 Berechnete
 Grundwasserspiegeldifferenzen

M.: 1:60.000	Mai 2017	fgr1604936
--------------	----------	------------

01.09.2017 Uhr: 15:43:43 huttnr 1:60.000 P:\fgr1604936\planung\03_GIS\mxd\Teil_2_GWMmodell\Anl_5.2.1_GW_Diff_Sensitivität_0.1_TR.mxd



Zeichenerklärung

- Modellraum
- Geplanter Flutpolder Großmehring
- Bestehende Dichtwand (Einbindung bis in das Tertiär)
- 12+000 Flusskilometer

Entnahmen aus dem Quartär

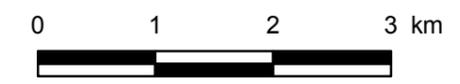
- Betriebswasserversorgung
- Sanierungsbrunnen

Berechnete Grundwasserspiegeldifferenzen [m]

- 0,5 Absenkung Grundwasserspiegel bzw. Druckwasserspiegel
- 0 Null-Linie
- 0,5 Aufhöhung Grundwasserspiegel bzw. Druckwasserspiegel

Kanalnetz Ingolstadt

- Hauptleitungen Kanalnetz



Koordinatensystem: DHDN 3 Degree Gauss Zone 4
 Datengrundlagen:
 © Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.lfu.bayern.de
 © Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt, www.wwa-ingolstadt.bayern.de
 Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung

BCE

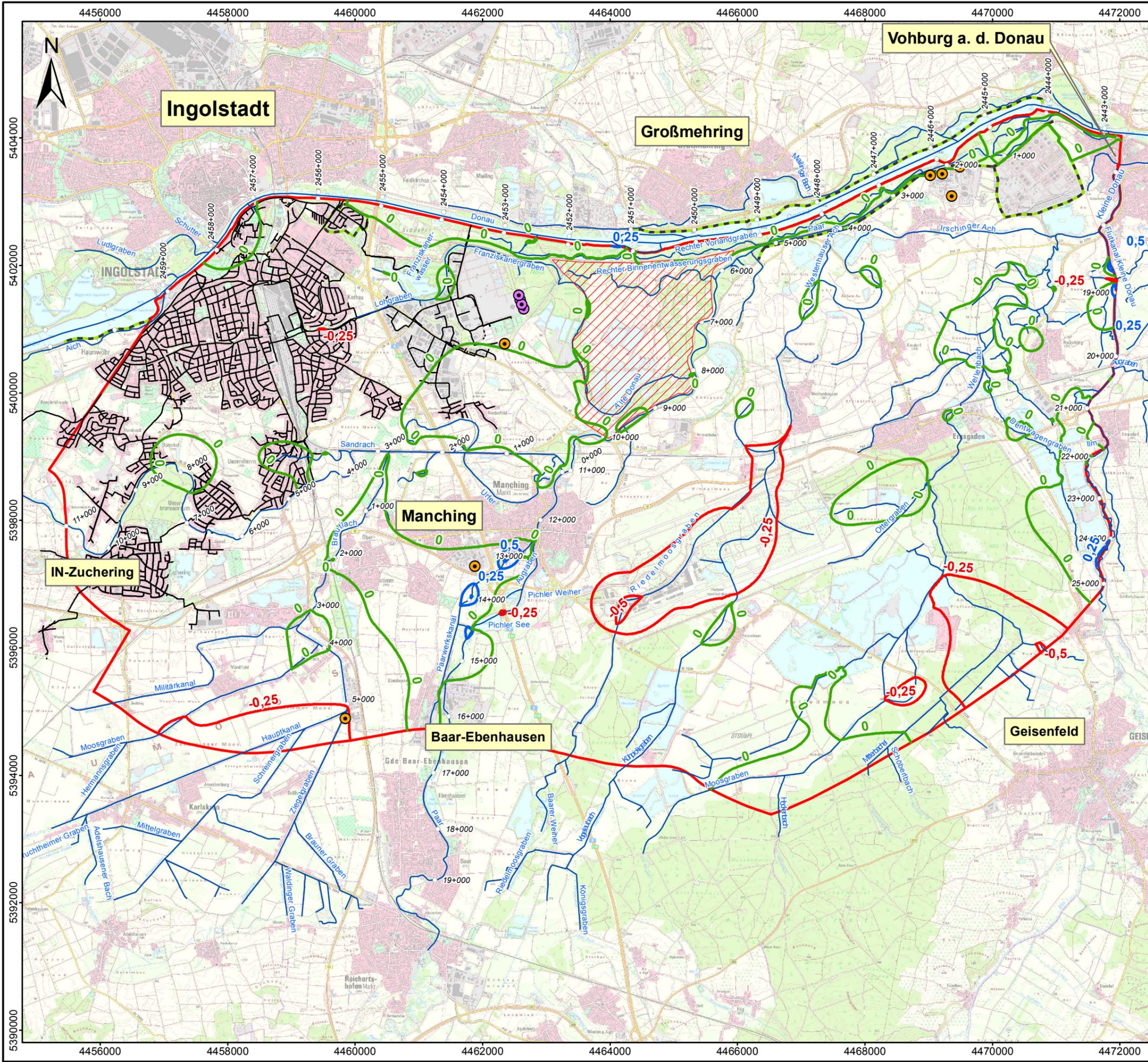
BIÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE

Sensitivitätsanalyse Durchlässigkeit
 Gewässersohle: Faktor 1/5
 Berechnete
 Grundwasserspiegeldifferenzen

M.: 1:60.000	Mai 2017	fgr1604936
--------------	----------	------------

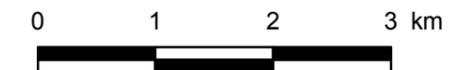
01.09.2017 Uhr: 15:44:14 huttnr 1:60.000 P:\fgr1604936\planung\03_GIS\mxd\Teil_2_GWMmodell\Anl_5.2.2_GW_Diff_Sensitivität_0.2_TR.mxd

01.09.2017 Uhr: 15:44:37 huttnr 1:60.000
 P:\fgr1604936\planung\03_GIS\mxd\Teil_2_GWMmodell\Anl_5.2.3_GW_Diff_Sensitivität_5_TR.mxd



Zeichenerklärung

- Modellraum
- Geplanter Flutpolder Großmehring
- Bestehende Dichtwand (Einbindung bis in das Tertiär)
- 12+000 Flusskilometer
- Entnahmen aus dem Quartär
- Betriebswasserversorgung
- Sanierungsbrunnen
- Berechnete Grundwasserspiegeldifferenzen [m]**
- 0,5** Absenkung Grundwasserspiegel bzw. Druckwasserspiegel
- 0** Null-Linie
- 0,5** Aufhöhung Grundwasserspiegel bzw. Druckwasserspiegel
- Kanalnetz Ingolstadt**
- Hauptleitungen Kanalnetz



Koordinatensystem: DHDN 3 Degree Gauss Zone 4
 Datengrundlagen:
 © Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.lfu.bayern.de
 © Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt, www.wwa-ingolstadt.bayern.de
 Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung

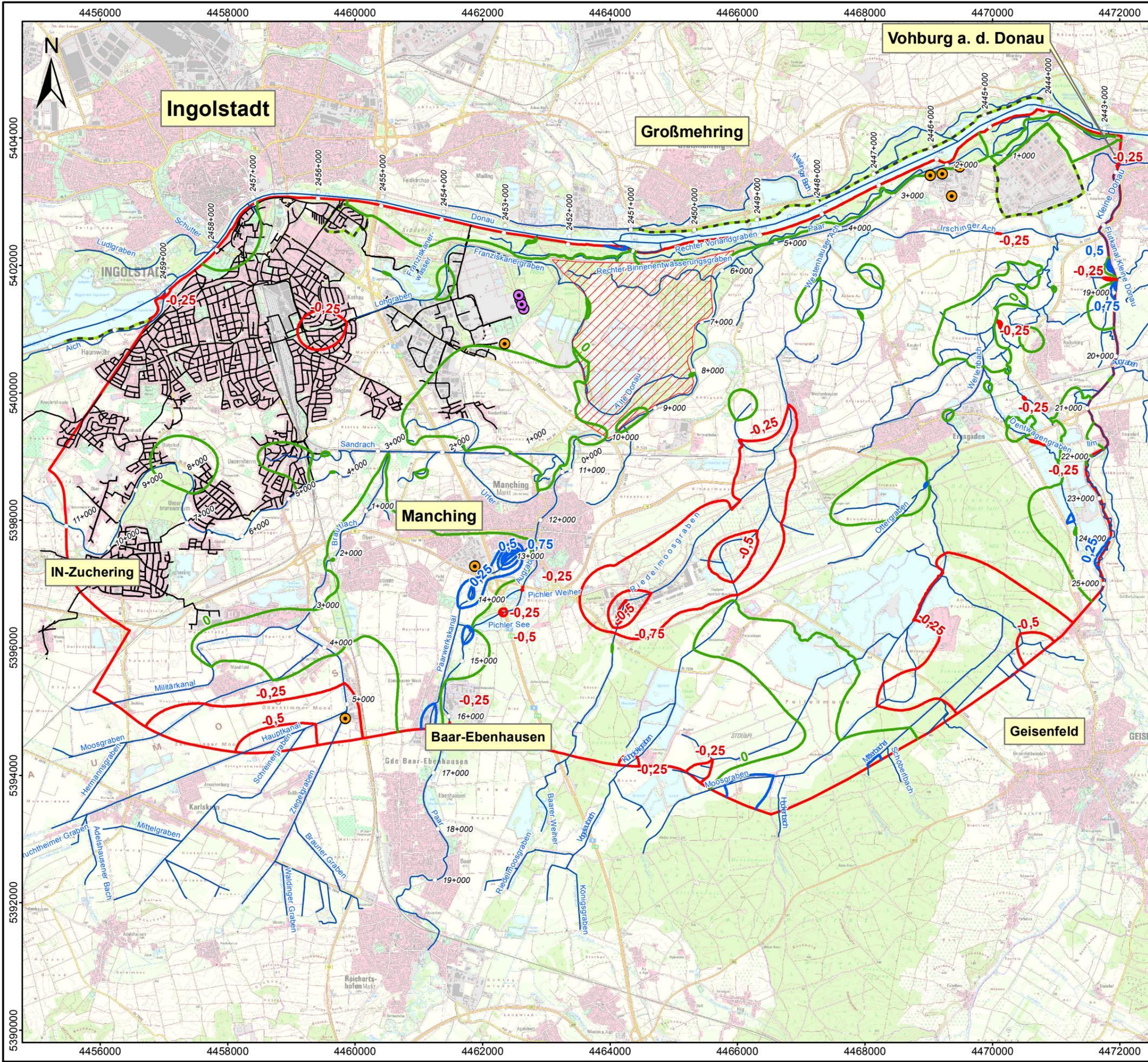
BCE

BIÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE

Sensitivitätsanalyse Durchlässigkeit
 Gewässersohle: Faktor 5
 Berechnete
 Grundwasserspiegeldifferenzen

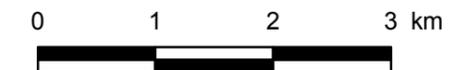
M.: 1:60.000	Mai 2017	fgr1604936
--------------	----------	------------

01.09.2017 Uhr: 15:45:57 huttnr 1:60.000
 P:\fgr1604936\planung\03_GIS\mxd\Teil_2_GWMmodell\Anl_5.2.4_GW_Diff_Sensitivität_10_TR.mxd



Zeichenerklärung

- Modellraum
- Geplanter Flutpolder Großmehring
- Bestehende Dichtwand (Einbindung bis in das Tertiär)
- 12+000
Flusskilometer
- Betriebswasserversorgung
- Sanierungsbrunnen
- Berechnete Grundwasserspiegeldifferenzen [m]**
- 0,5** Absenkung Grundwasserspiegel bzw. Druckwasserspiegel
- 0** Null-Linie
- 0,5** Aufhöhung Grundwasserspiegel bzw. Druckwasserspiegel
- Kanalnetz Ingolstadt**
- Hauptleitungen Kanalnetz

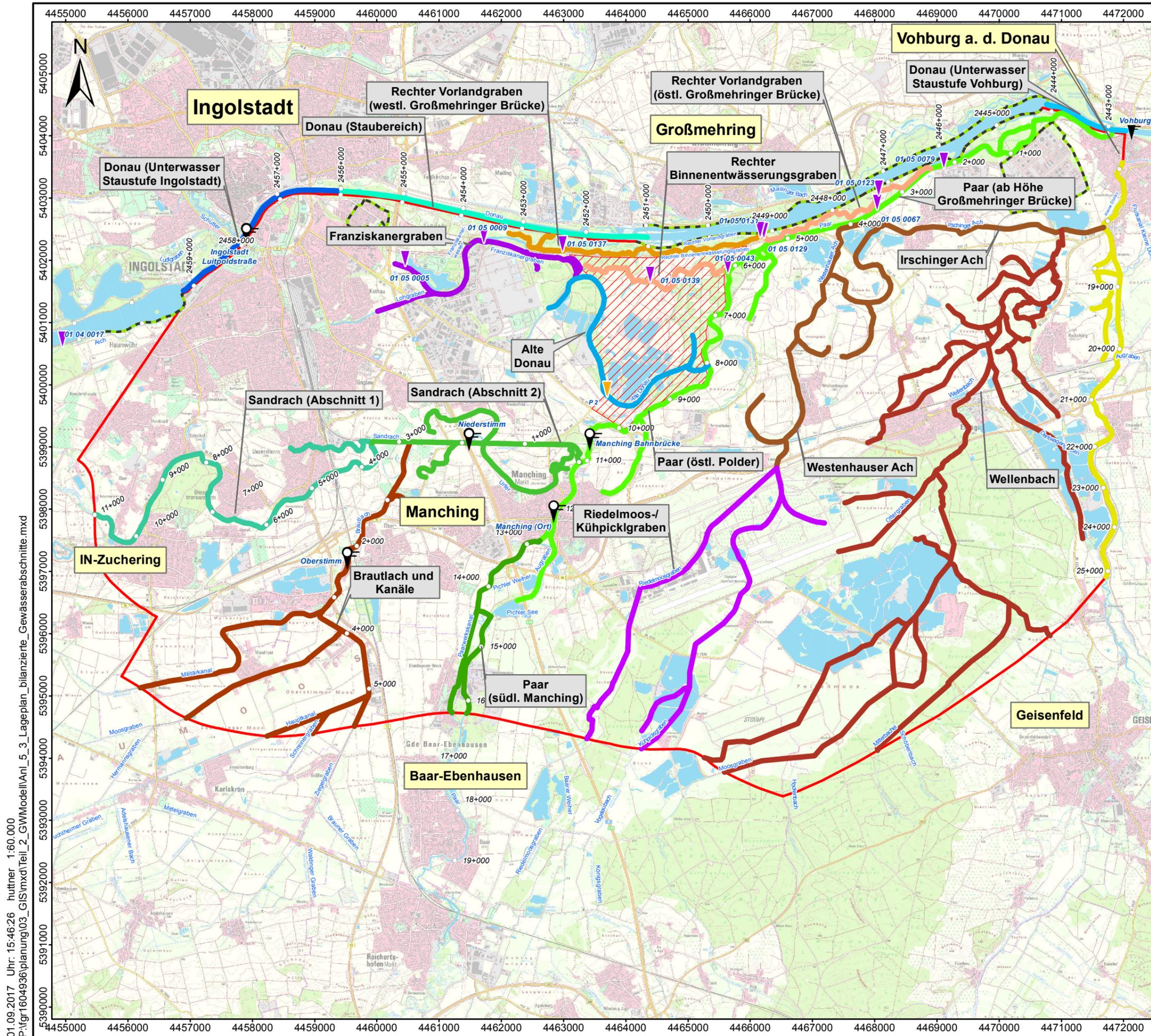


Koordinatensystem: DHDN 3 Degree Gauss Zone 4
 Datengrundlagen:
 © Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.lfu.bayern.de
 © Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt, www.wwa-ingolstadt.bayern.de
 Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung

BCE
 BÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE

Sensitivitätsanalyse Durchlässigkeit
 Gewässersohle: Faktor 10
 Berechnete
 Grundwasserspiegeldifferenzen

M.: 1:60.000	Mai 2017	fgr1604936
--------------	----------	------------



Zeichenerklärung

- Modellraum
- Geplanter Flutpolder Großmehring
- Bestehende Dichtwand (Einbindung bis in das Tertiär)
- 12+000
Flusskilometer

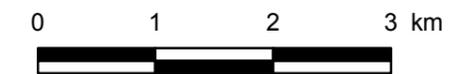
Pegelmessstellen

Abfluss

- Amtlicher Registrierpegel, Wasserstandsmessung mit Abfluss
- Amtlicher Registrierpegel, Wasserstandsmessung ohne Abfluss
- ▼ Pegel UNIPER (Datenlogger)
- ▼ Pegel Radmer GmbH & Co. KG

Bilanzierte Gewässerabschnitte

- Alte Donau
- Brautlach und Kanäle
- Donau (Staubereich)
- ...



Koordinatensystem: DHDN 3 Degree Gauss Zone 4
 Datengrundlagen:
 © Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.lfu.bayern.de
 © Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt, www.wwa-ingolstadt.bayern.de
 Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung

BJÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE

**Bilanzierte Gewässerabschnitte
 - Stichtag 19.04.2016 -**

M.: 1:60.000	Mai 2017	fgr1604936
--------------	----------	------------

Kovarianzanalyse - Kovarianzmatrix und Korrelationskoeffizienten

Gesamter Modellraum

Kovarianz		Untergrunddurchlässigkeit				Korrelationskoeffizient	Untergrunddurchlässigkeit				
		x 1/10	x 1/5	x 5	x 10		x 1/10	x 1/5	x 5	x 10	
Austauschrate	x 1/10	0,00	0,00	-0,02	-0,03	Austauschrate	x 1/10	0,02	0,03	-0,22	-0,24
	x 1/5	0,00	0,00	-0,01	-0,02		x 1/5	0,02	0,04	-0,22	-0,25
	x 5	0,01	0,01	0,01	0,01		x 5	0,14	0,17	0,17	0,19
	x 10	0,01	0,01	0,01	0,01		x 10	0,15	0,17	0,13	0,15

Differenziert nach Auswertungsbereichen

Auswertungsbereich 1: Nahbereich Polder

Kovarianz		Untergrunddurchlässigkeit				Korrelationskoeffizient	Untergrunddurchlässigkeit				
		x 1/10	x 1/5	x 5	x 10		x 1/10	x 1/5	x 5	x 10	
Austauschrate	x 1/10	-0,01	-0,01	0,01	0,01	Austauschrate	x 1/10	-0,42	-0,58	0,70	0,54
	x 1/5	0,00	0,00	0,00	0,01		x 1/5	-0,48	-0,64	0,78	0,62
	x 5	0,00	0,00	0,00	0,00		x 5	0,65	0,79	-0,79	-0,56
	x 10	0,00	0,00	0,00	0,00		x 10	0,67	0,80	-0,79	-0,57

Auswertungsbereich 2: Ehem. Gelände BAYERNOIL Ingolstadt

Kovarianz		Untergrunddurchlässigkeit				Korrelationskoeffizient	Untergrunddurchlässigkeit				
		x 1/10	x 1/5	x 5	x 10		x 1/10	x 1/5	x 5	x 10	
Austauschrate	x 1/10	0,00	0,00	0,00	0,00	Austauschrate	x 1/10	-0,54	-0,71	0,77	0,78
	x 1/5	0,00	0,00	0,00	0,00		x 1/5	-0,27	-0,38	0,47	0,46
	x 5	0,00	0,00	0,00	0,00		x 5	0,17	0,30	-0,34	-0,30
	x 10	0,00	0,00	0,00	0,00		x 10	0,19	0,33	-0,38	-0,34

Legende:	> 0,5	< - 0,5
-----------------	-------	---------

Kovarianzanalyse - Kovarianzmatrix und Korrelationskoeffizienten

Auswertungsbereich 3: Westliches Stadtgebiet Ingolstadt

Kovarianz		Untergrunddurchlässigkeit				Korrelationskoeffizient	Untergrunddurchlässigkeit				
		x 1/10	x 1/5	x 5	x 10		x 1/10	x 1/5	x 5	x 10	
Austauschrate	x 1/10	0,01	0,01	0,00	-0,01	Austauschrate	x 1/10	0,42	0,58	-0,46	-0,66
	x 1/5	0,01	0,01	0,00	-0,01		x 1/5	0,38	0,55	-0,41	-0,62
	x 5	0,01	0,01	0,00	-0,01		x 5	0,53	0,62	-0,60	-0,65
	x 10	0,01	0,01	0,00	-0,01		x 10	0,48	0,53	-0,54	-0,53

Auswertungsbereich 4: Westlicher Randzustrom

Kovarianz		Untergrunddurchlässigkeit				Korrelationskoeffizient	Untergrunddurchlässigkeit				
		x 1/10	x 1/5	x 5	x 10		x 1/10	x 1/5	x 5	x 10	
Austauschrate	x 1/10	0,00	0,00	0,00	0,00	Austauschrate	x 1/10	0,12	0,02	-0,19	-0,30
	x 1/5	0,00	0,00	0,00	0,00		x 1/5	0,16	0,11	-0,11	-0,16
	x 5	0,00	0,00	0,00	0,00		x 5	-0,03	0,11	0,23	0,37
	x 10	0,00	0,00	0,00	0,00		x 10	0,10	0,23	0,10	0,24

Auswertungsbereich 5: Südwestlicher Modellraum (Manching/Donaumoos)

Kovarianz		Untergrunddurchlässigkeit				Korrelationskoeffizient	Untergrunddurchlässigkeit				
		x 1/10	x 1/5	x 5	x 10		x 1/10	x 1/5	x 5	x 10	
Austauschrate	x 1/10	0,01	0,01	0,02	0,02	Austauschrate	x 1/10	0,06	0,08	0,16	0,17
	x 1/5	0,02	0,02	0,01	0,01		x 1/5	0,12	0,15	0,09	0,09
	x 5	-0,02	-0,01	0,01	0,01		x 5	-0,28	-0,27	0,38	0,37
	x 10	-0,02	-0,01	0,01	0,02		x 10	-0,24	-0,22	0,31	0,30

Legende:	> 0,5	< - 0,5
-----------------	-------	---------

Kovarianzanalyse - Kovarianzmatrix und Korrelationskoeffizienten

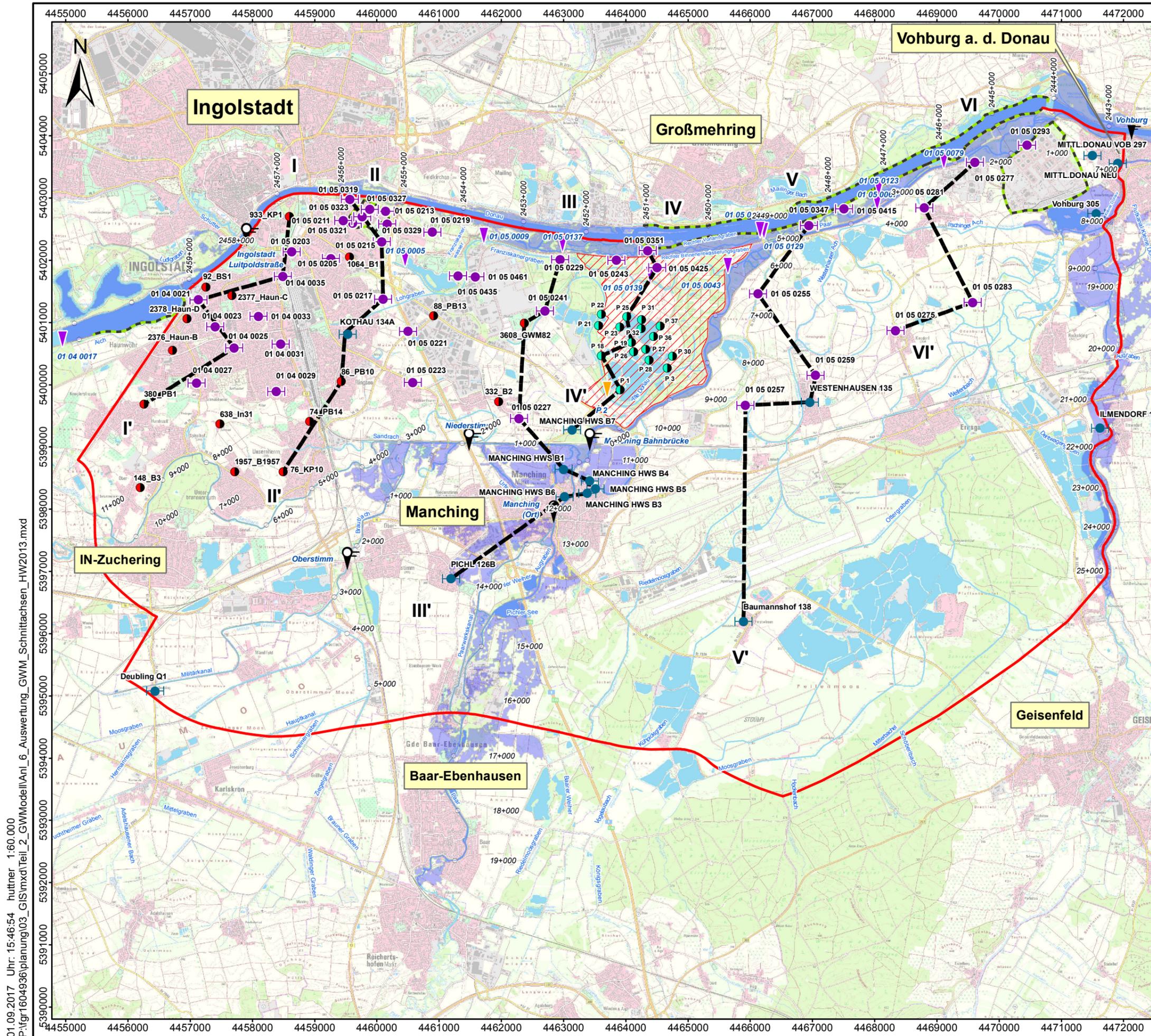
Auswertungsbereich 6: Südöstlicher Modellraum (Flughafen Manching/Feilenmoos)

Kovarianz		Untergrunddurchlässigkeit				Korrelationskoeffizient	Untergrunddurchlässigkeit				
		x 1/10	x 1/5	x 5	x 10		x 1/10	x 1/5	x 5	x 10	
Austauschrate	x 1/10	-0,03	-0,02	0,01	0,02	Austauschrate	x 1/10	-0,78	-0,71	0,32	0,29
	x 1/5	-0,02	-0,02	0,01	0,02		x 1/5	-0,80	-0,75	0,38	0,36
	x 5	0,03	0,02	-0,02	-0,03		x 5	0,74	0,71	-0,46	-0,45
	x 10	0,04	0,03	-0,03	-0,04		x 10	0,70	0,67	-0,44	-0,43

Auswertungsbereich 7: Östlicher Modellraum (Vohburg)

Kovarianz		Untergrunddurchlässigkeit				Korrelationskoeffizient	Untergrunddurchlässigkeit				
		x 1/10	x 1/5	x 5	x 10		x 1/10	x 1/5	x 5	x 10	
Austauschrate	x 1/10	-0,01	-0,01	0,02	0,04	Austauschrate	x 1/10	-0,44	-0,68	0,98	0,97
	x 1/5	0,00	0,00	0,01	0,02		x 1/5	-0,48	-0,73	0,99	0,96
	x 5	0,00	0,00	-0,01	-0,01		x 5	0,57	0,81	-0,94	-0,87
	x 10	0,00	0,00	-0,01	-0,01		x 10	0,56	0,80	-0,93	-0,86

Legende:	> 0,5	< - 0,5
-----------------	-------	---------



Zeichenerklärung

- Modellraum
- Geplanter Flutpolder Großmehring
- Bestehende Dichtwand (Einbindung bis in das Tertiär)
- 12+000 Flusskilometer
- Schematische Hydrologische Schnitte I - I' (siehe Anlage 9.1 bis 9.6)

Hydrologisches Messnetz

- Betreiber**
- Freistaat Bayern - Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt
 - Uniper Kraftwerke GmbH
 - Ingolstädter Kommunalbetriebe AöR (INKB)
 - Radmer Kies GmbH & Co. KG

Pegelmessstellen

- Abfluss**
- 📍 Amtlicher Registrierpegel, Wasserstandsmessung mit Abfluss
 - 📍 Amtlicher Registrierpegel, Wasserstandsmessung ohne Abfluss
 - ▼ Pegel UNIPER (Datenlogger)
 - ▼ Pegel Radmer GmbH & Co. KG
 - Berechnete maximale Ausdehnung der Überschwemmungsgebiete beim HW2013 (2D-WSP-Modell)



Koordinatensystem: DHDN 3 Degree Gauss Zone 4
 Datengrundlagen:
 © Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.lfu.bayern.de
 © Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt, www.wwa-ingolstadt.bayern.de
 Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung

BCE
BIÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE

Lageplan
 instationäre Kalibrierung
 Hochwasser 2013 (HW2013)

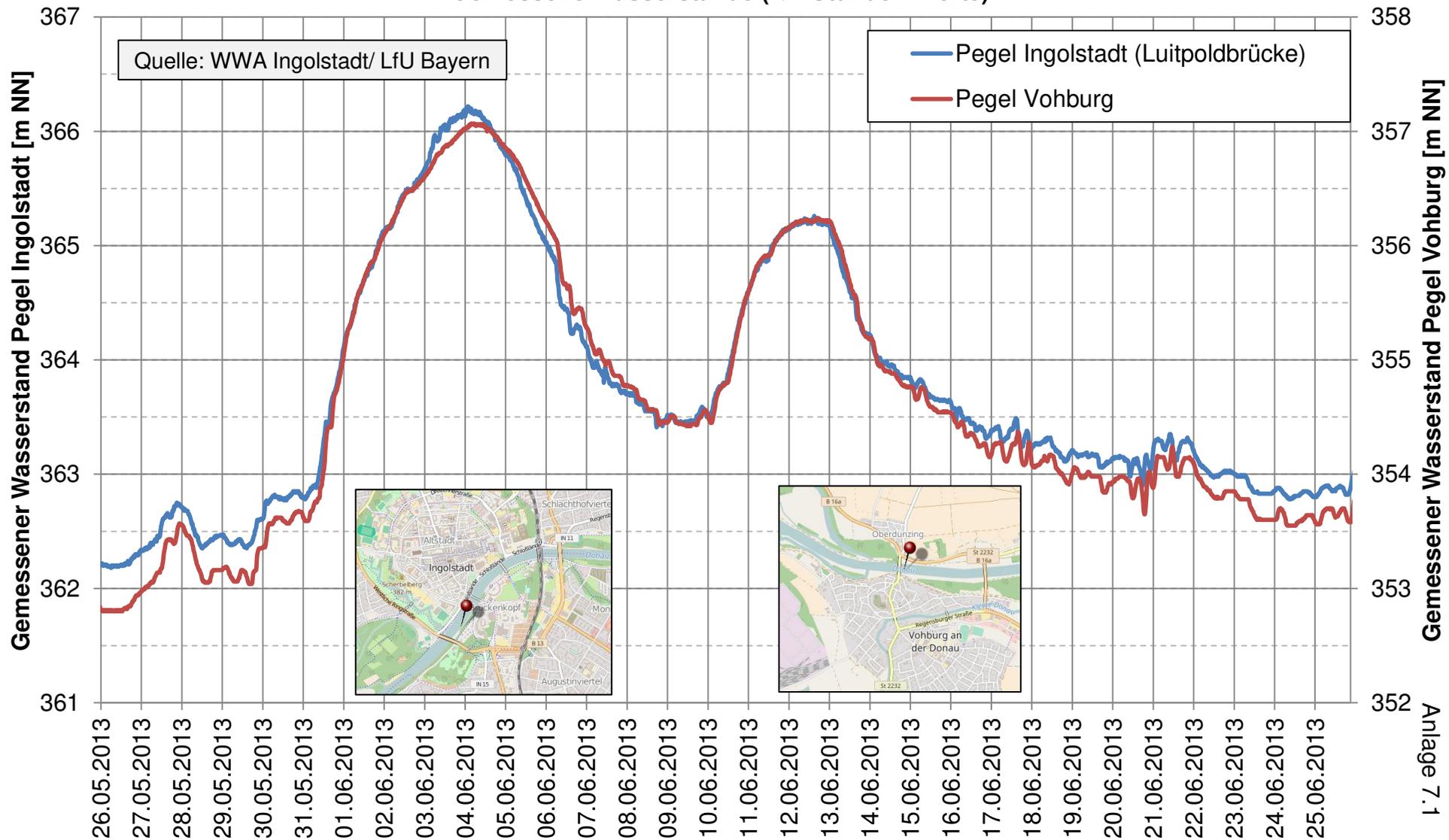
M.: 1:60.000	August 2017	fgr1604936
--------------	-------------	------------

01.09.2017 Uhr: 15:46:54 hutner 1:60.000 P:\fgr1604936\planeng03_GIS\mxd\Teil_2_GWM\modell\Anl_6_Auswertung_GWM_Schnittachsen_HW2013.mxd

Hochwasser 2013

Donau - Pegel Ingolstadt/ Pegel Vohburg

Gemessene Wasserstände (1/4-Stunden-Werte)

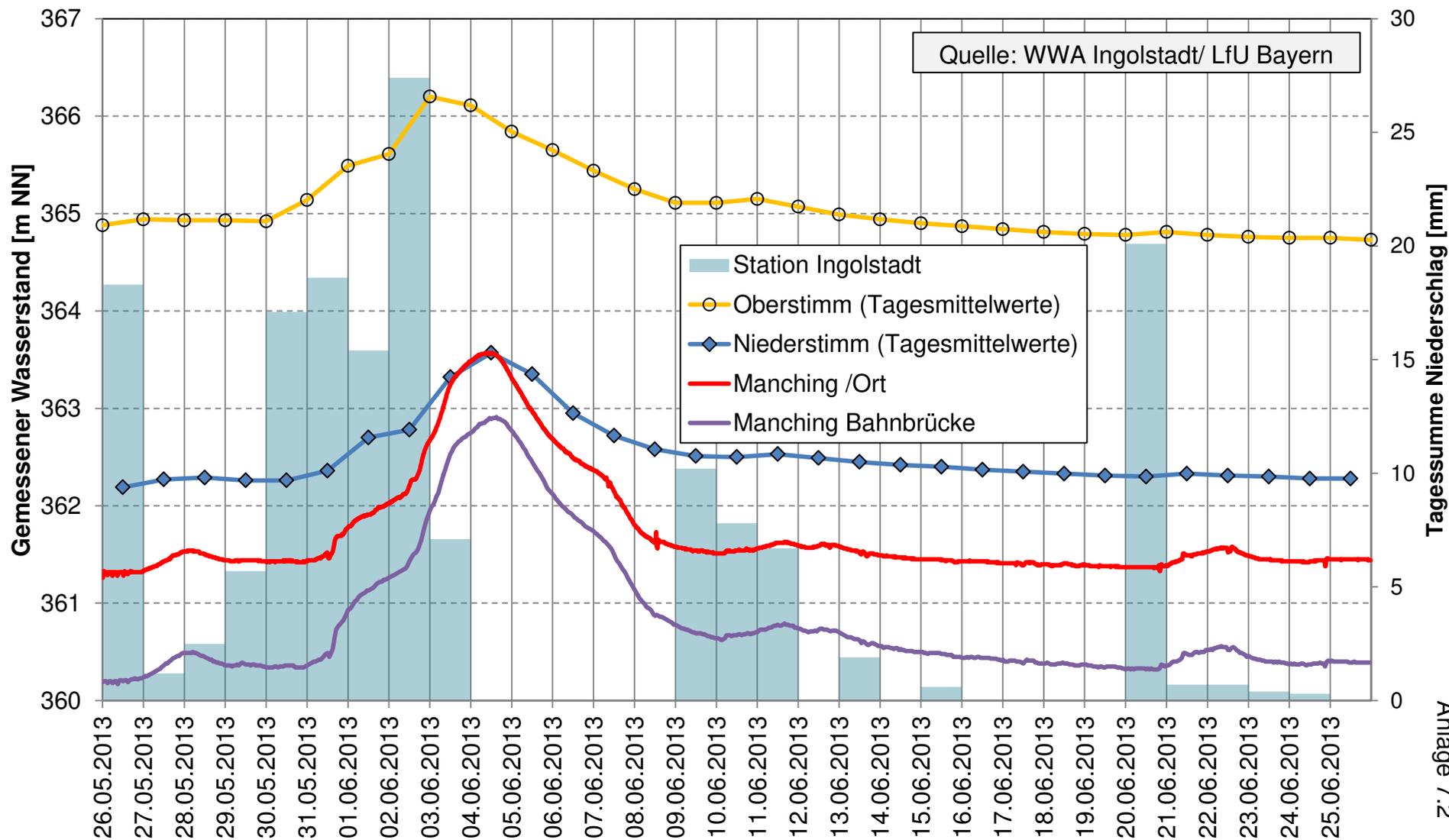


Hochwasser 2013

Pegel an Brautlach, Sandrach und Paar

Gemessene Wasserstände (Stunden/Tageswerte)

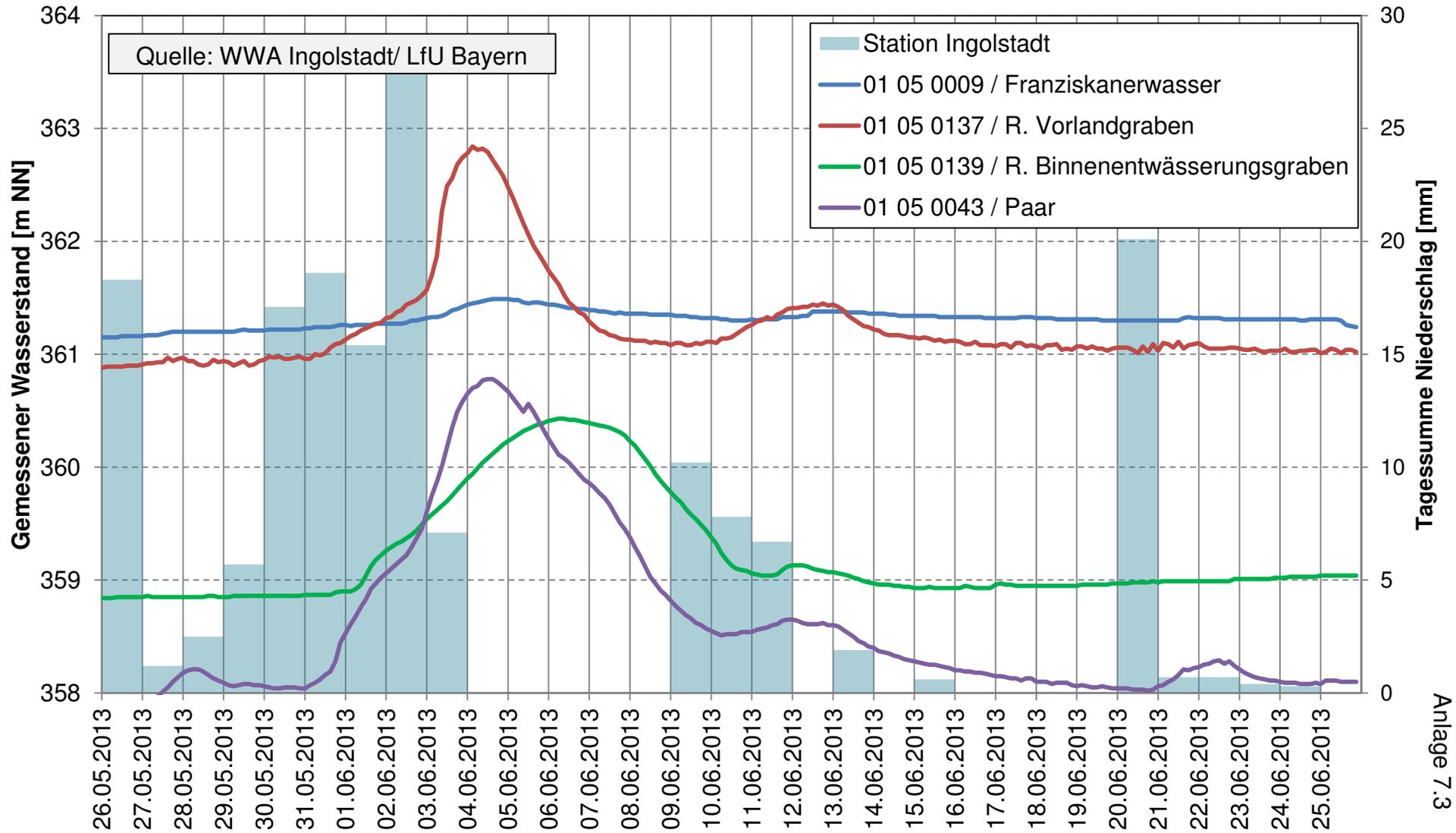
Quelle: WWA Ingolstadt/ LfU Bayern



Hochwasser 2013

Pegel UNIPER - Gewässer Nahbereich geplanter Polder

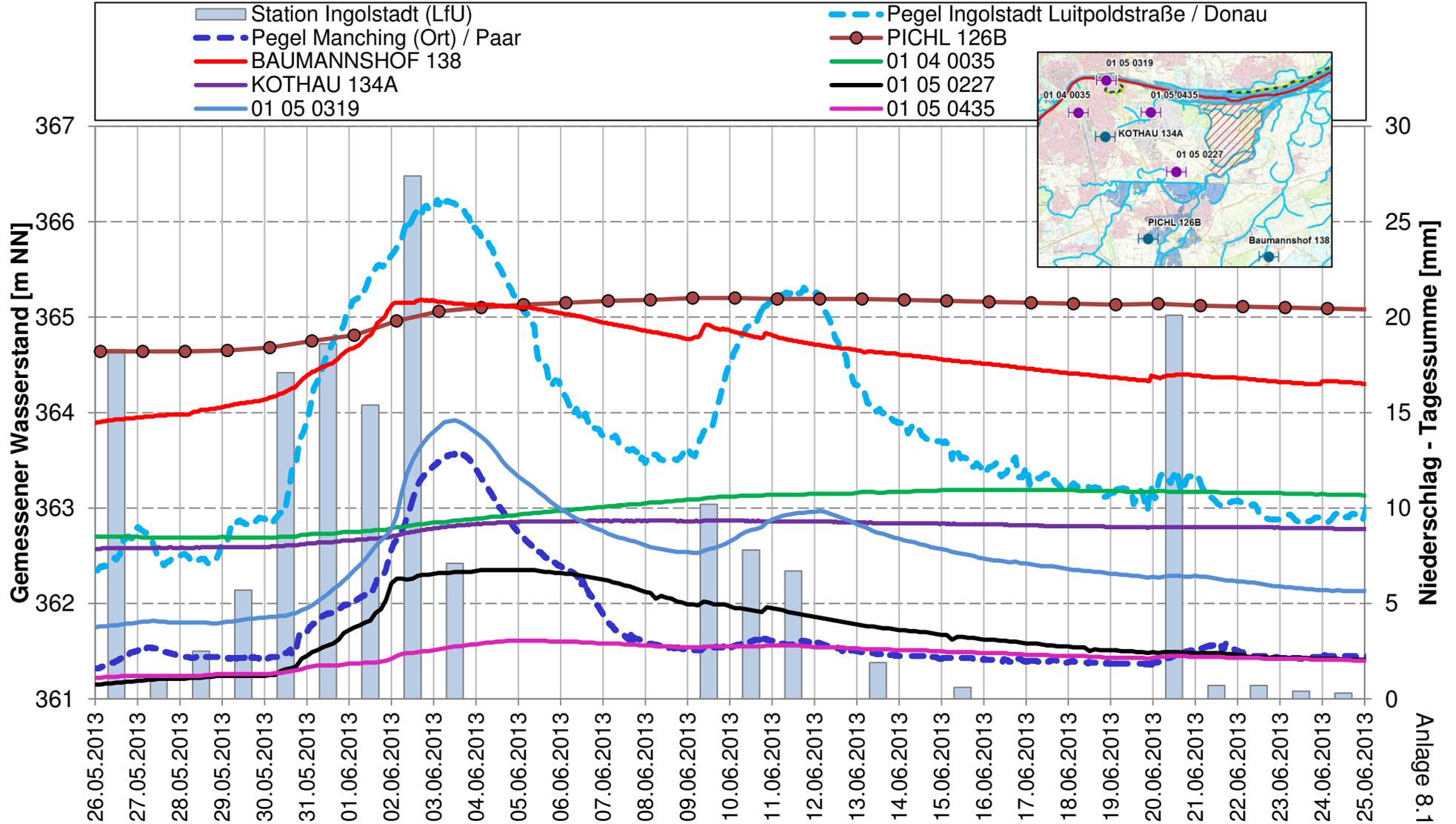
Gemessene Wasserstände (3h-Werte)



Hochwasser 2013

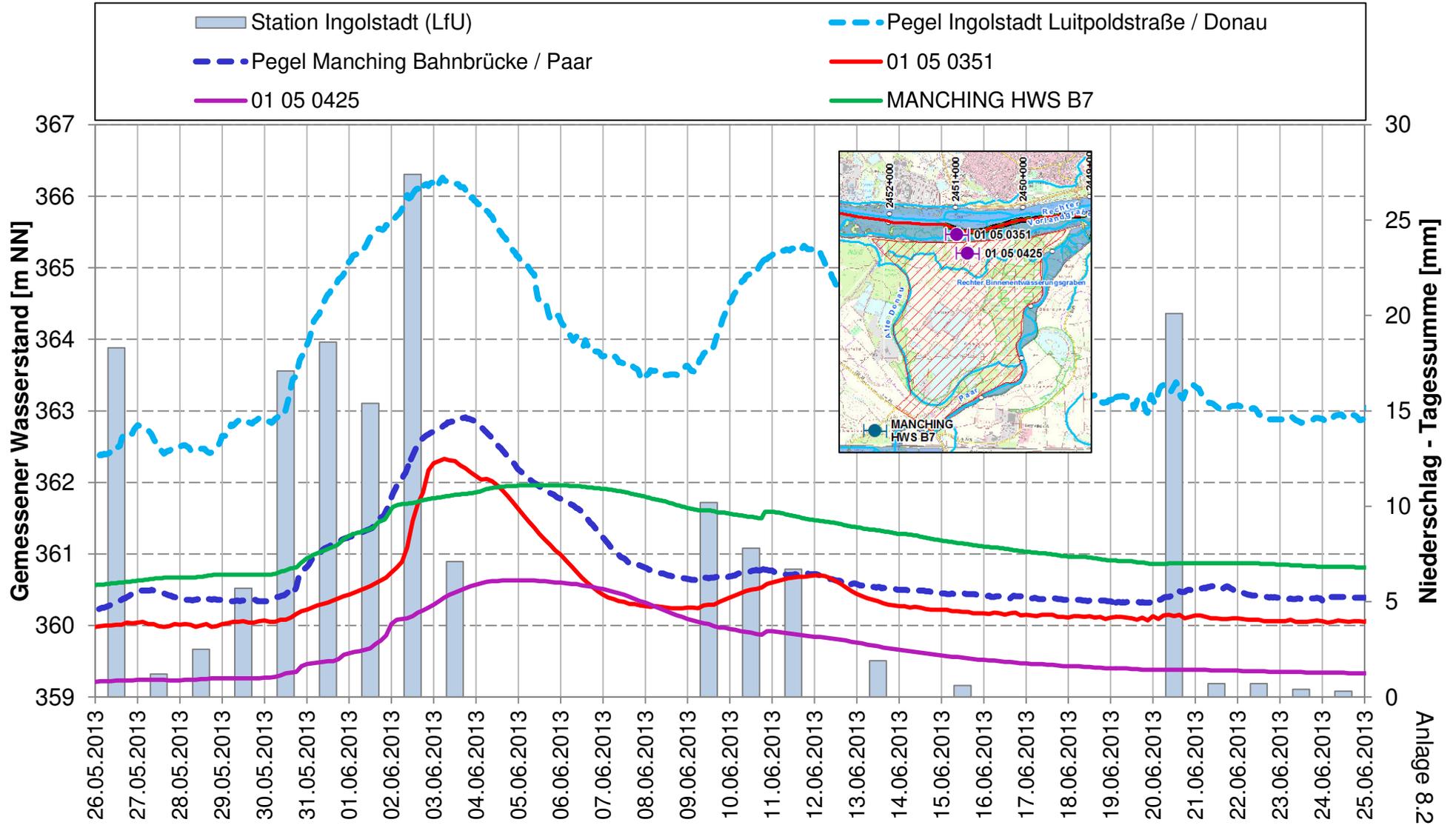
Gemessene Grundwasserstände

Grundwassermessstellen westlicher und südwestlicher Modellraum



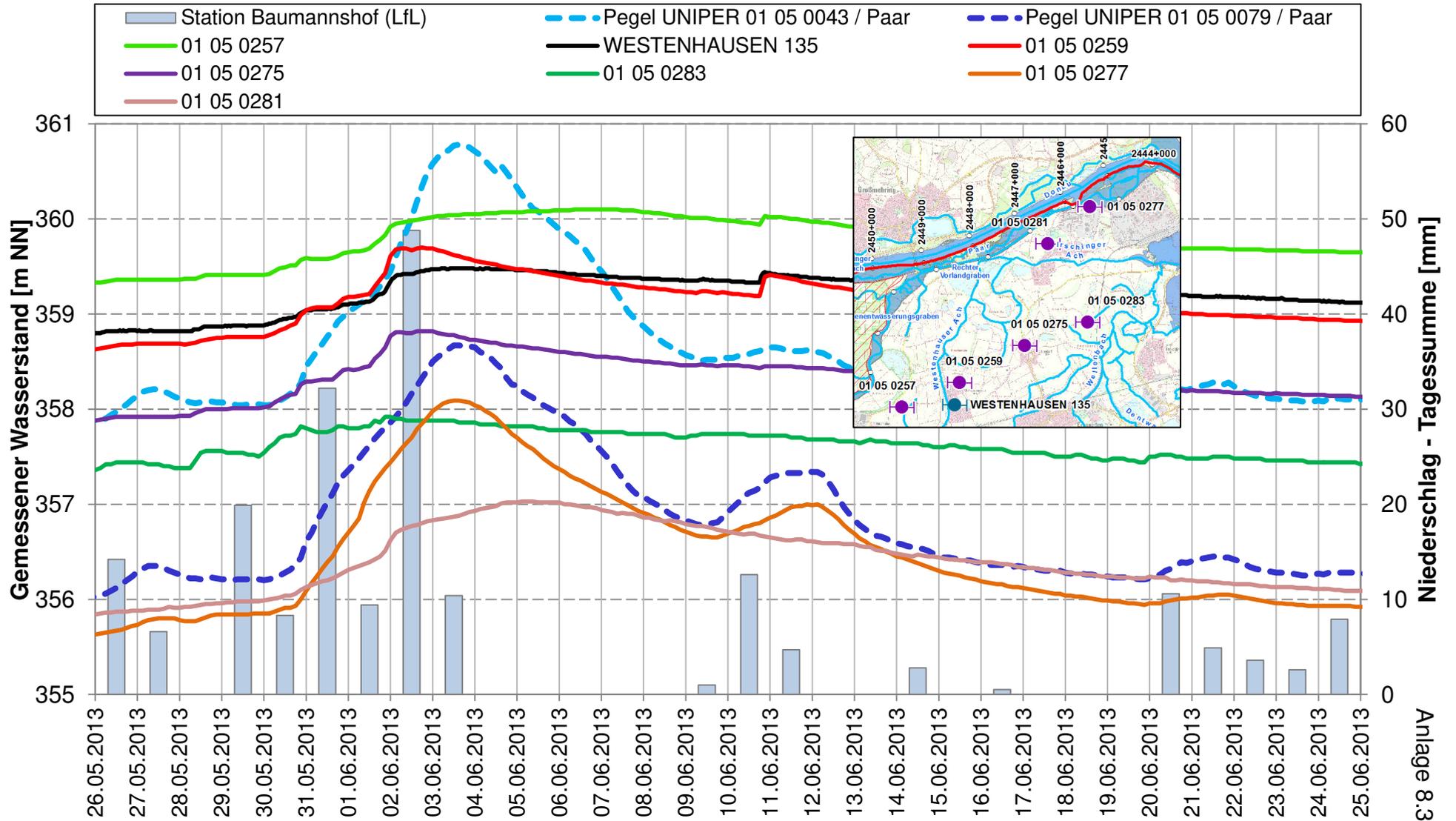
Hochwasser 2013

Gemessene Grundwasserstände Grundwassermessstellen nördlicher Modellraum



Hochwasser 2013

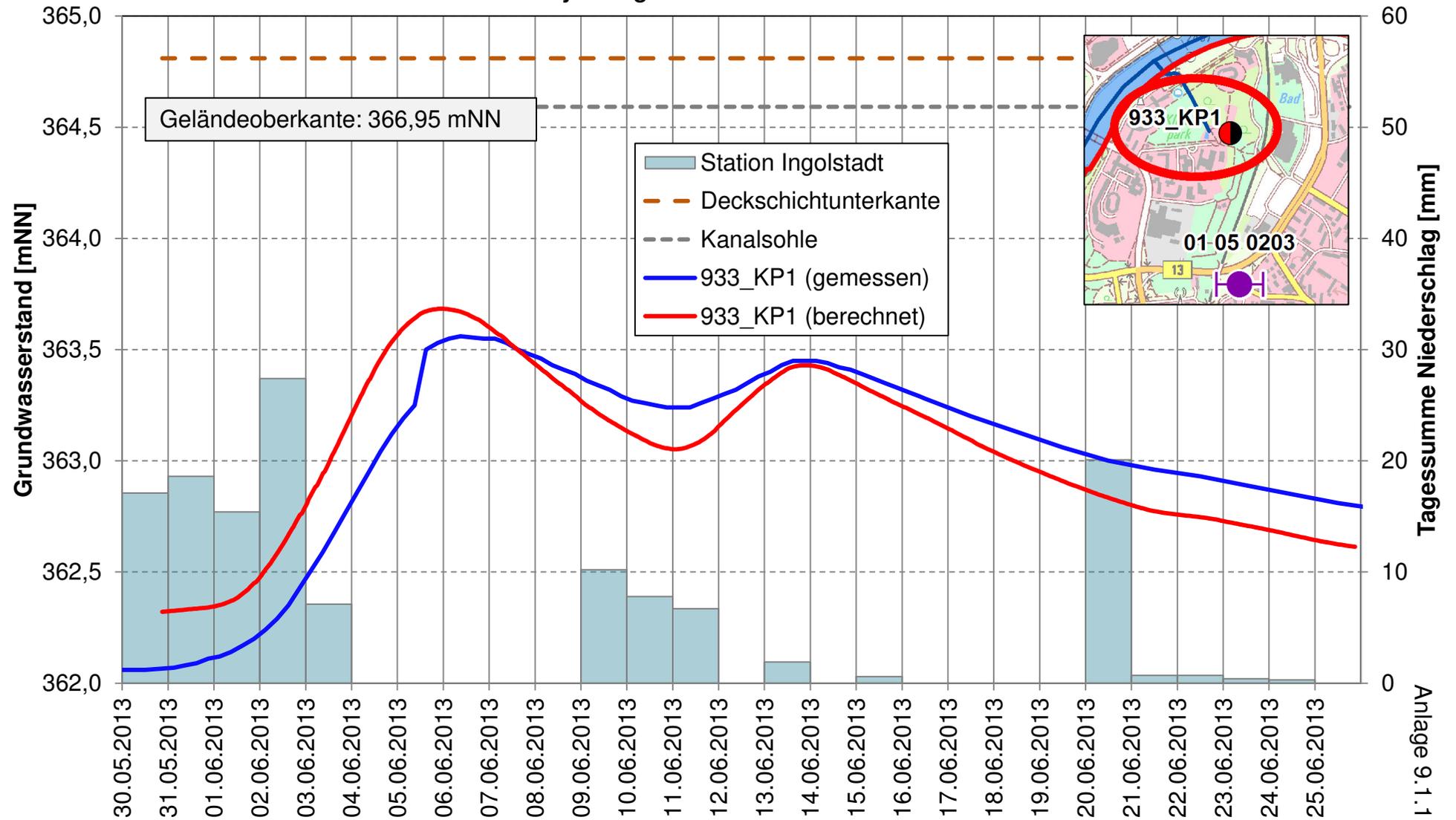
Gemessene Grundwasserstände Grundwassermessstellen östlicher Modellraum



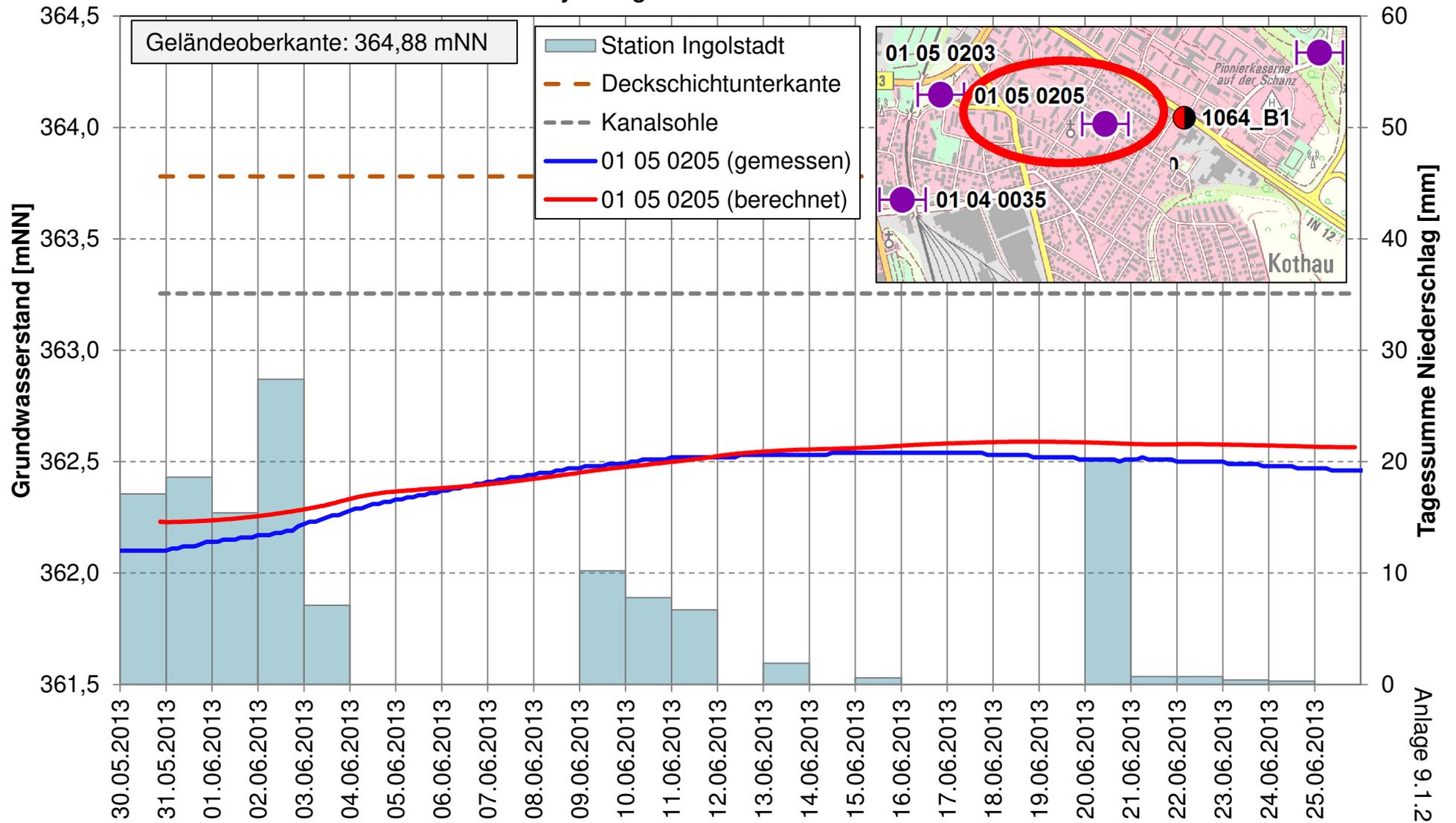
Instationäre Kalibrierung HW 2013

Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände

Hydrologische Schnittachse I-I'



Instationäre Kalibrierung HW 2013 Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände Hydrologische Schnittachse I-I'

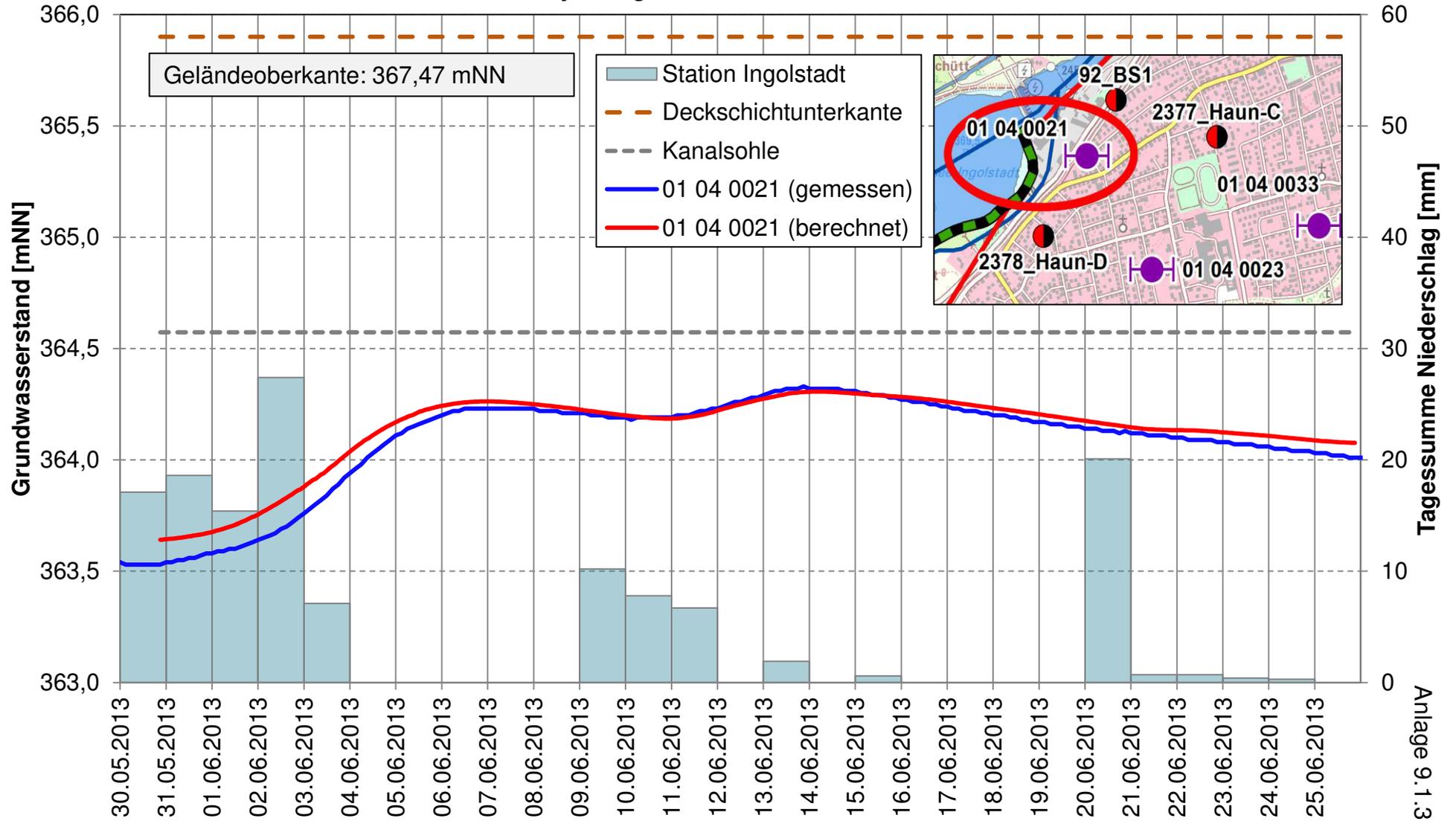


Anlage 9.1.2

Instationäre Kalibrierung HW 2013

Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände

Hydrologische Schnittachse I-I'

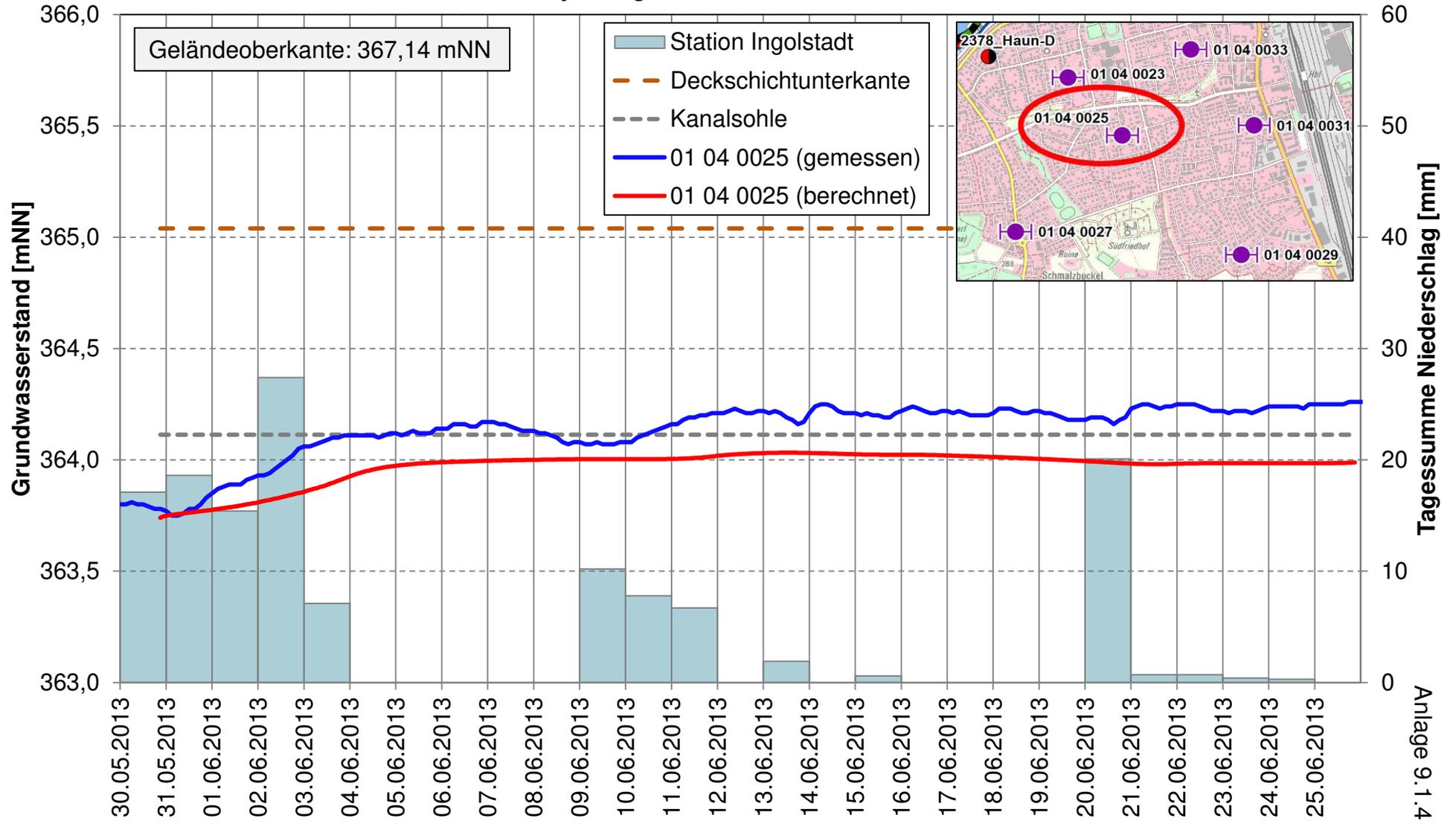


Anlage 9.1.3

Instationäre Kalibrierung HW 2013

Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände

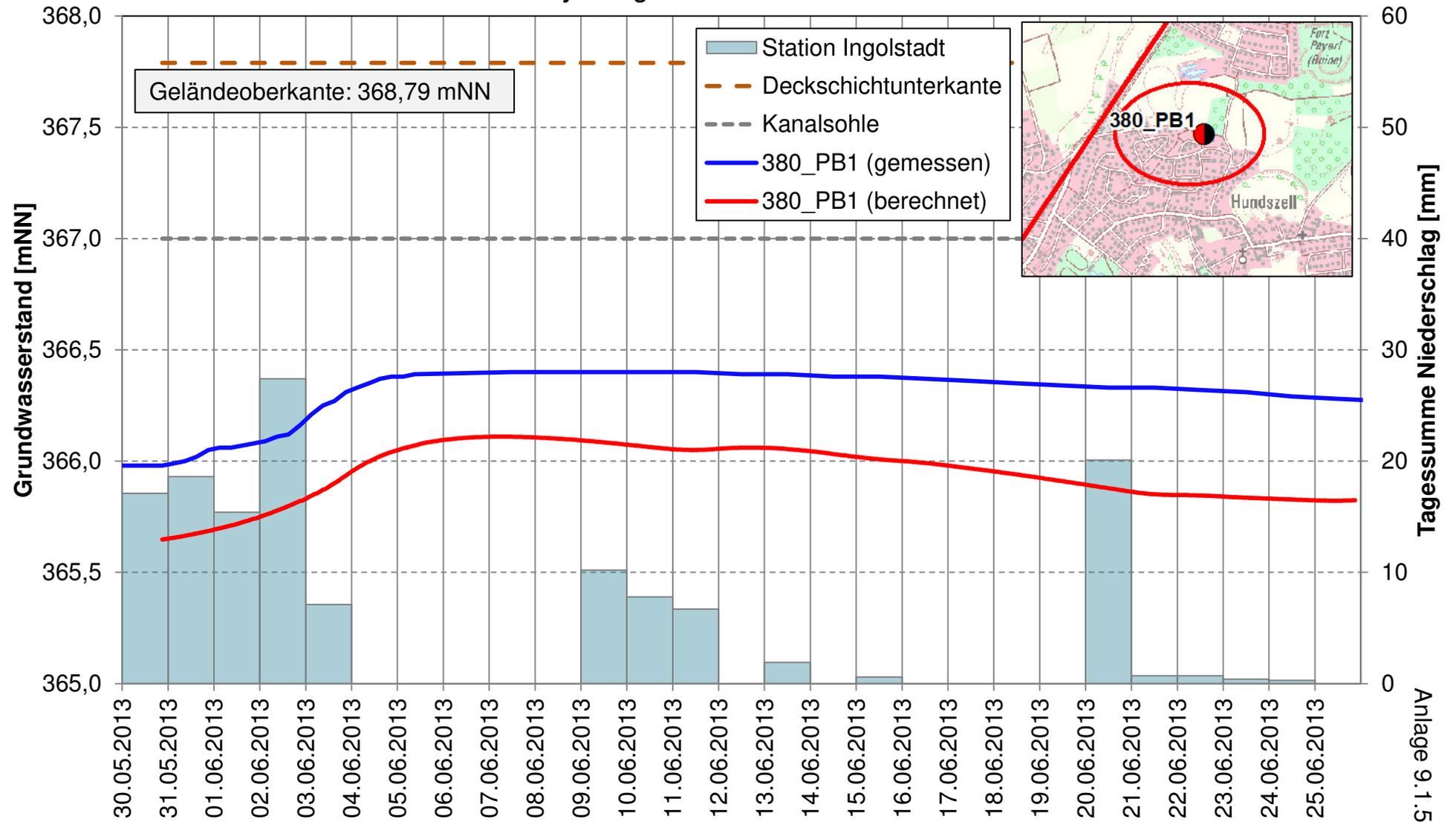
Hydrologische Schnittachse I-I'



Instationäre Kalibrierung HW 2013

Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände

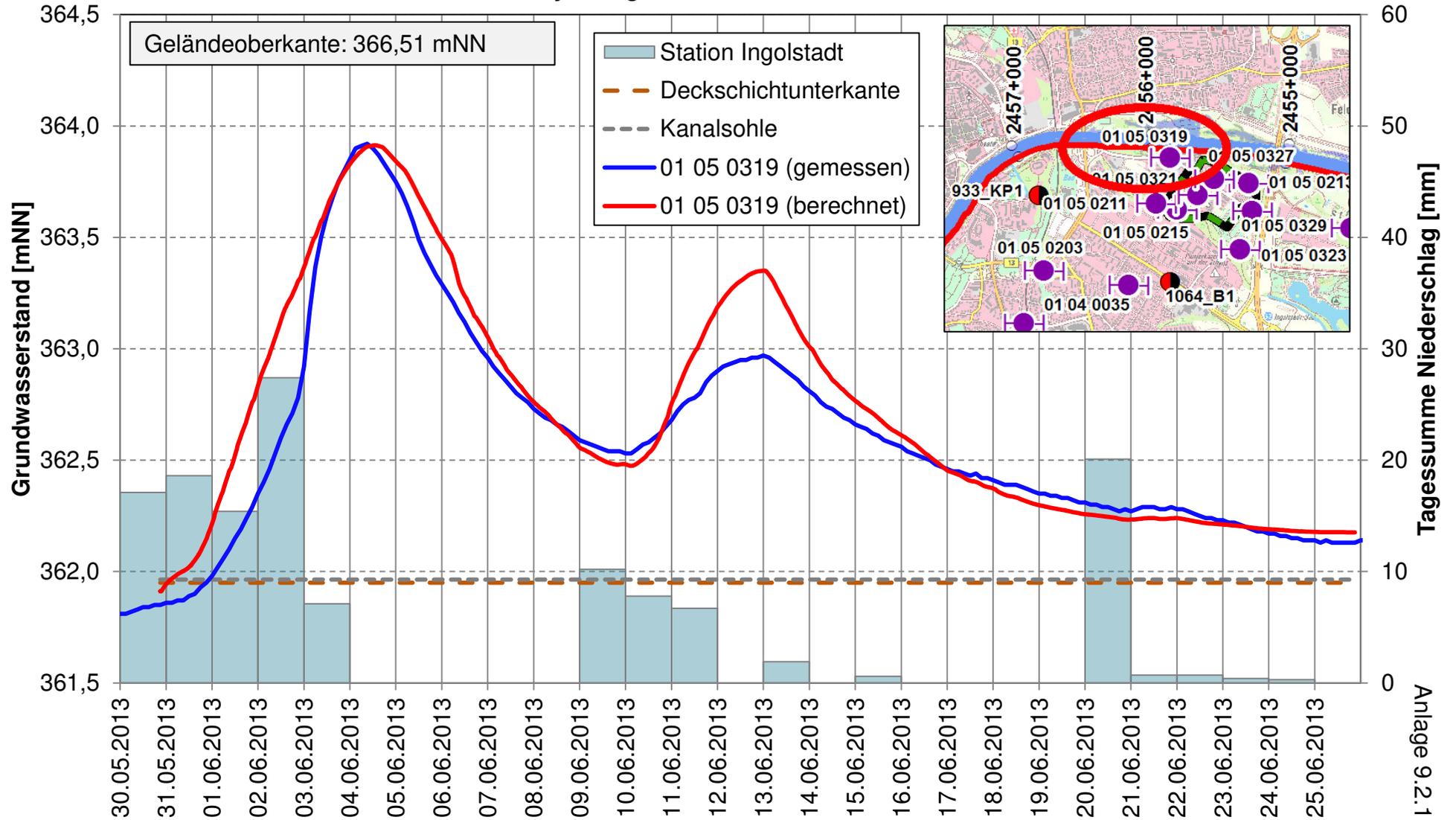
Hydrologische Schnittachse I-I'



Instationäre Kalibrierung HW 2013

Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände

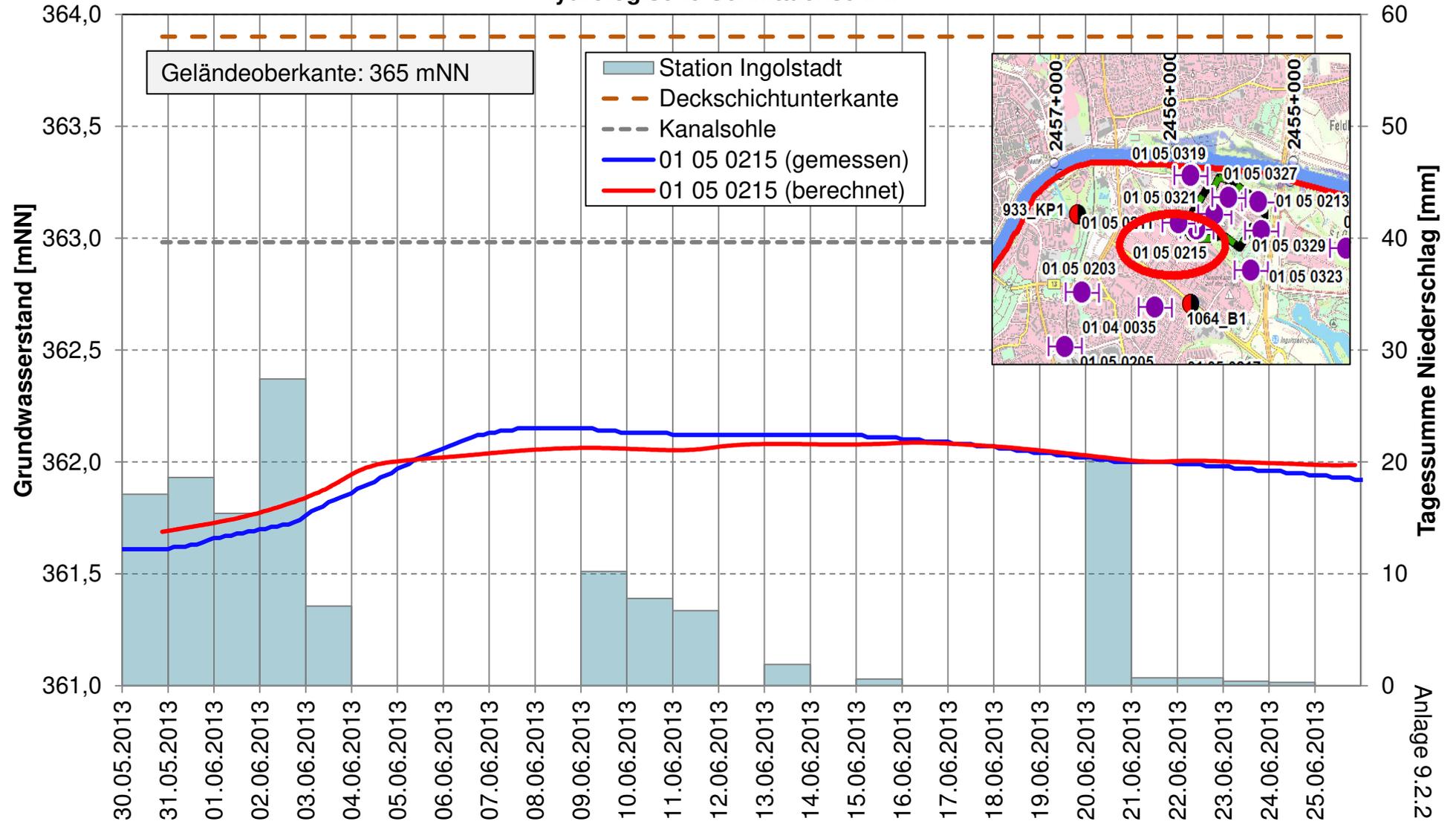
Hydrologische Schnittachse II-II'



Instationäre Kalibrierung HW 2013

Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände

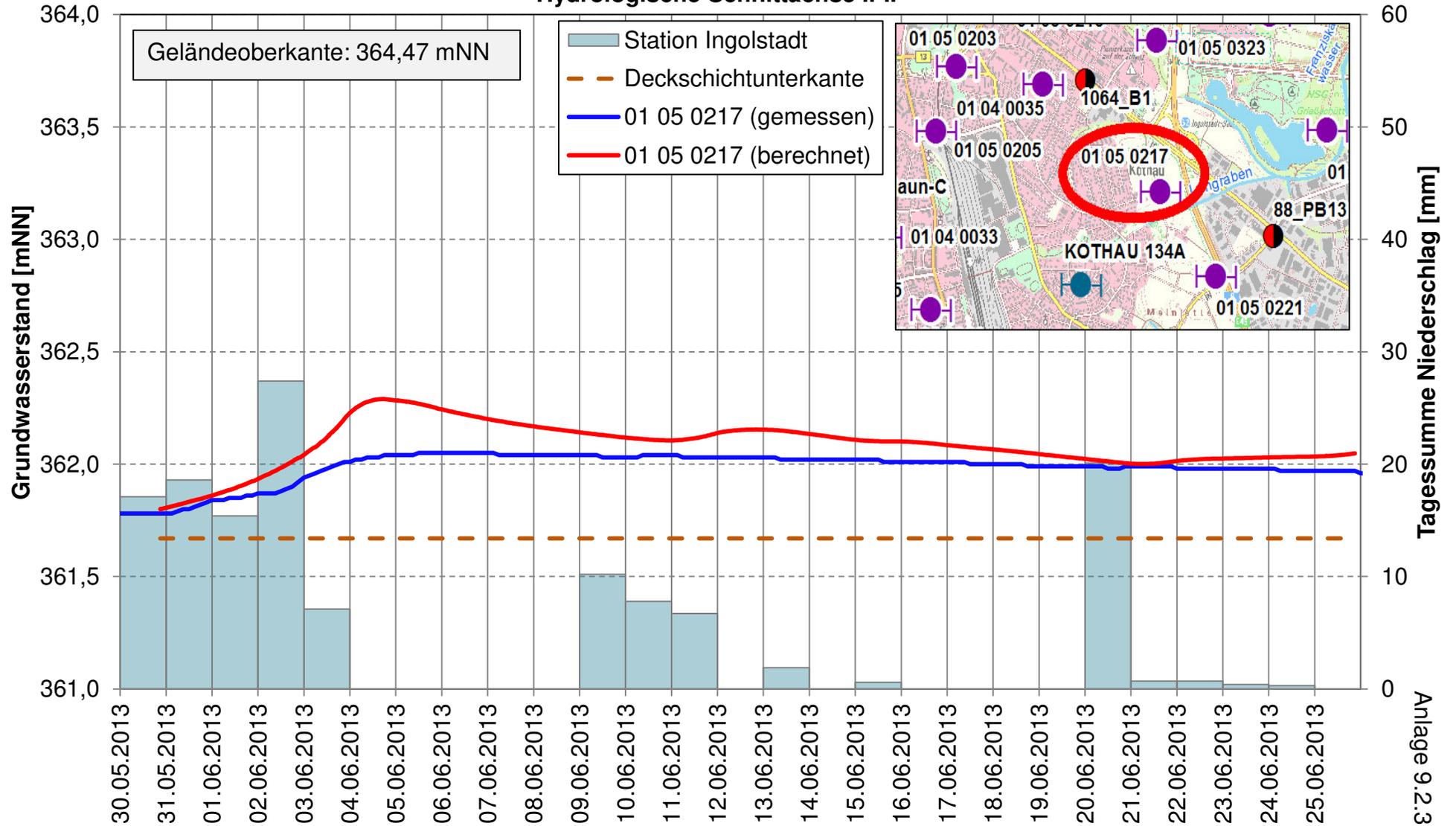
Hydrologische Schnittachse II-II'



Instationäre Kalibrierung HW 2013

Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände

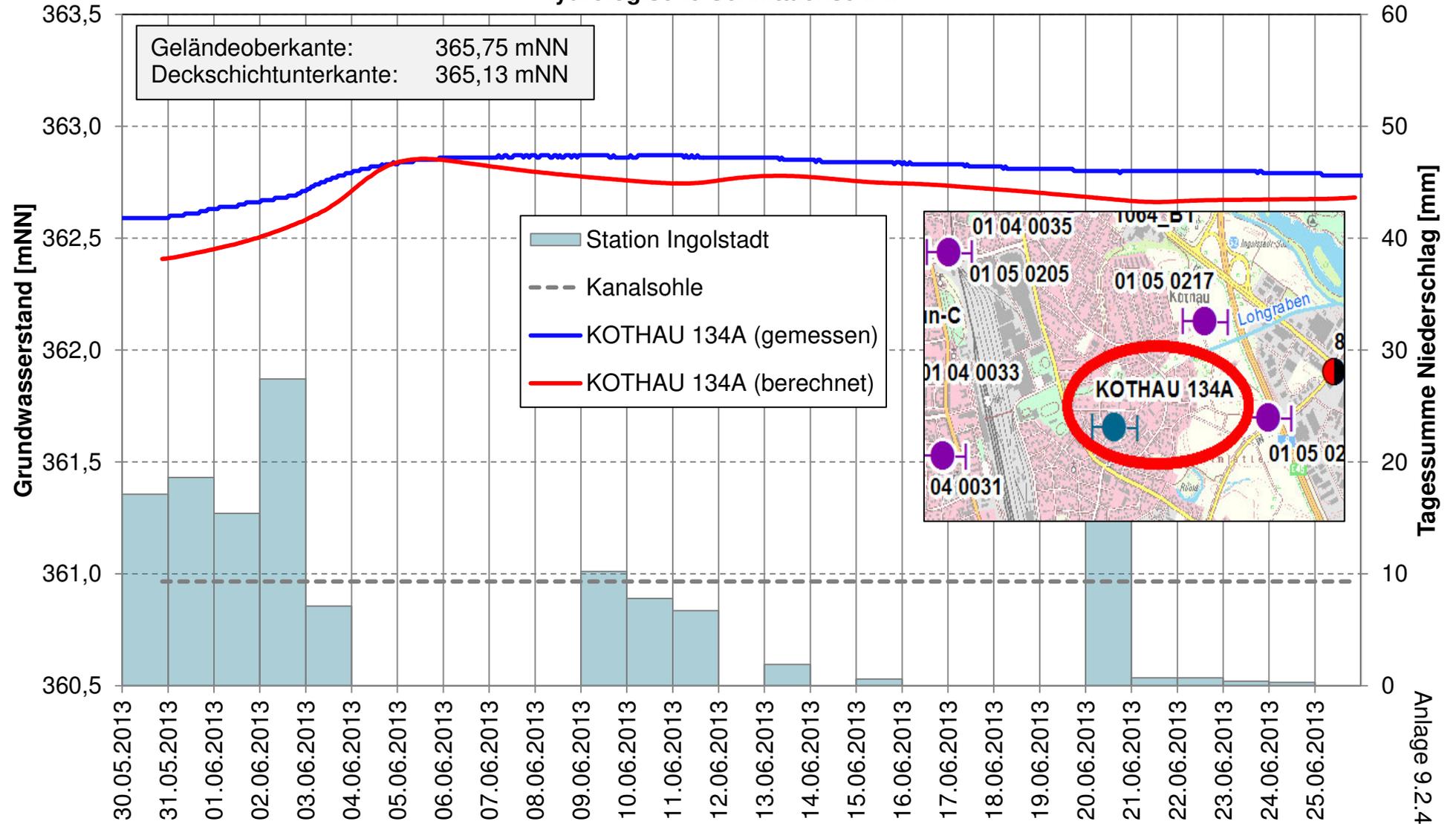
Hydrologische Schnittachse II-II'



Instationäre Kalibrierung HW 2013

Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände

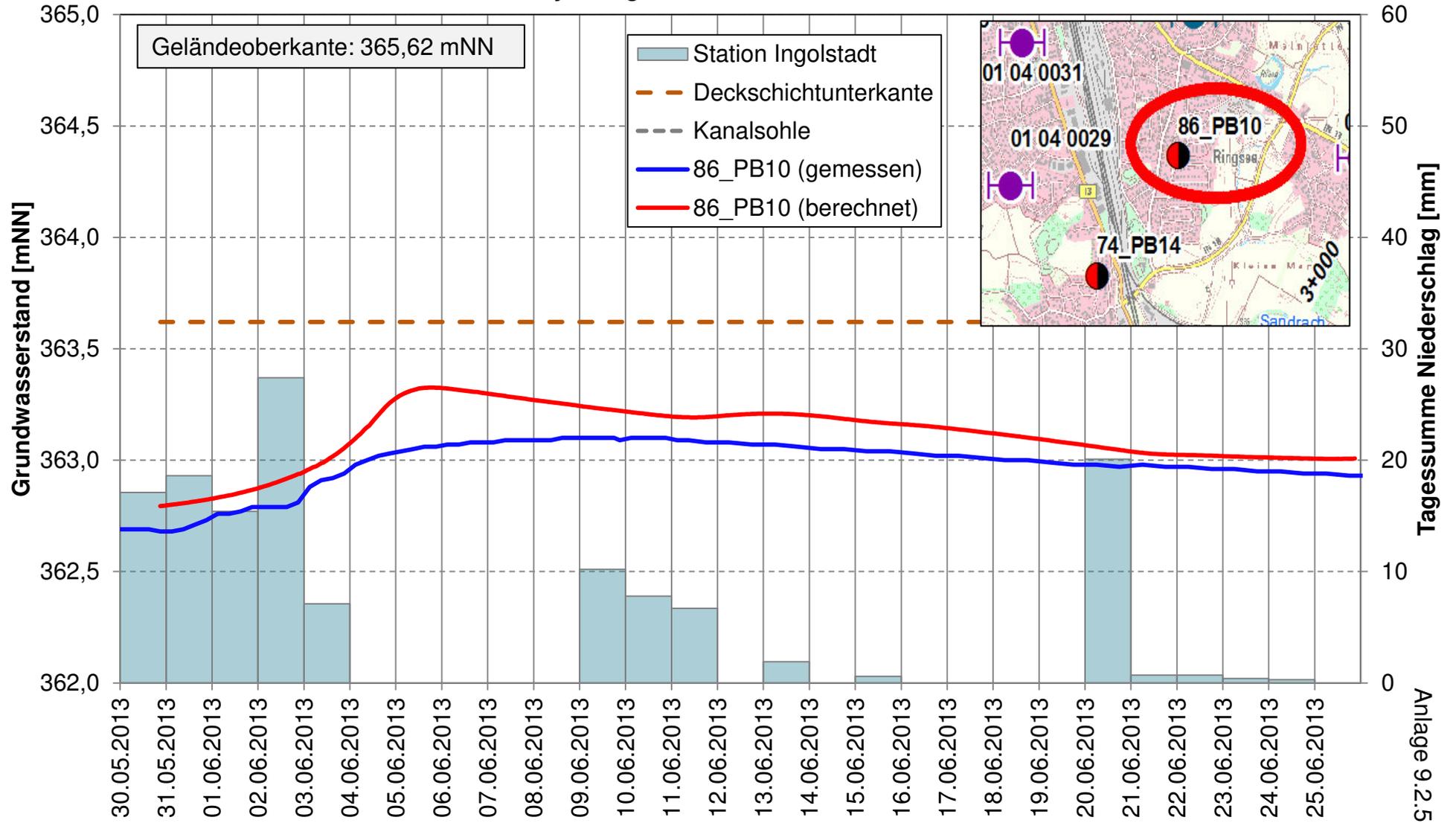
Hydrologische Schnittachse II-II'



Instationäre Kalibrierung HW 2013

Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände

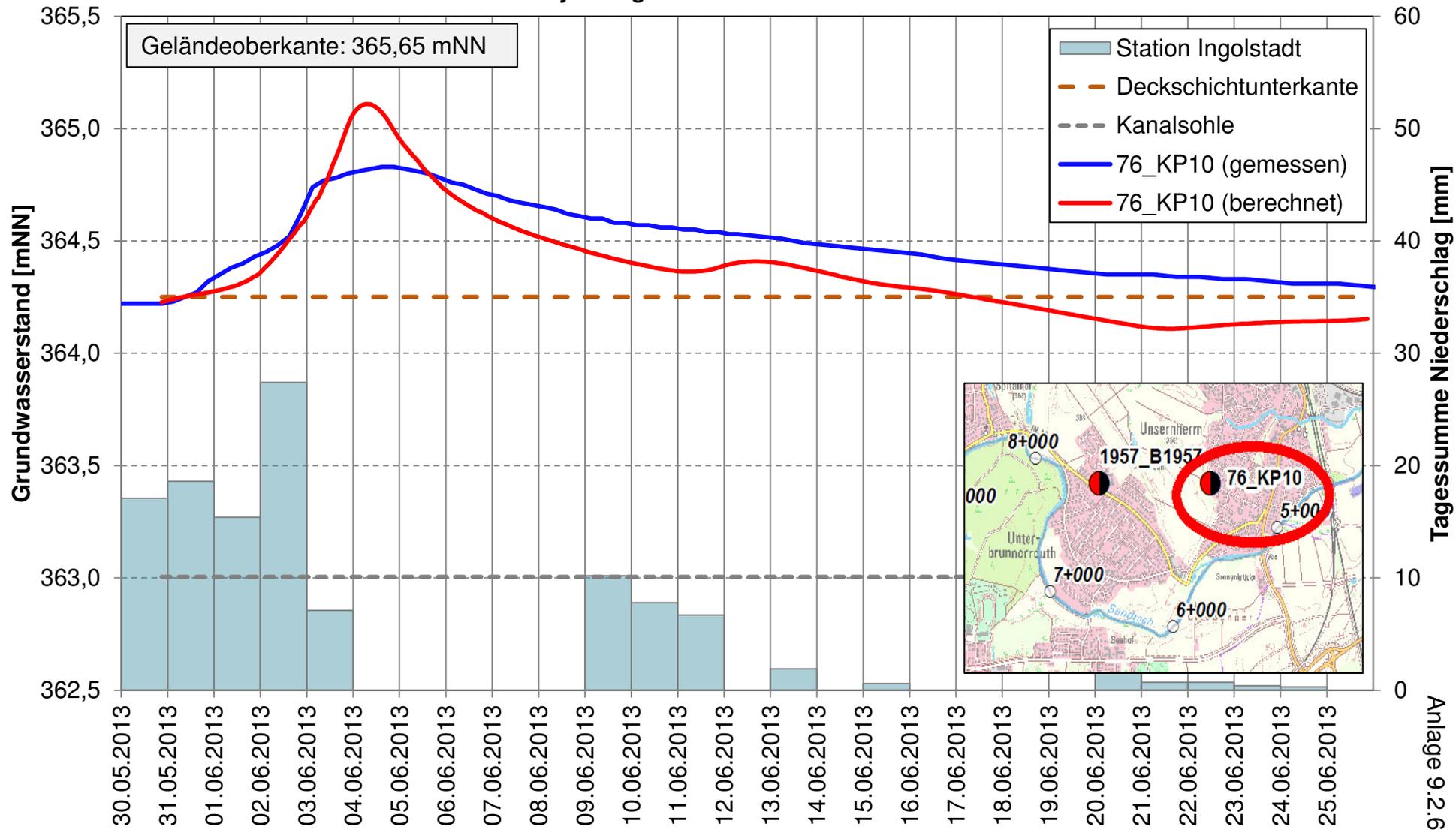
Hydrologische Schnittachse II-II'



Instationäre Kalibrierung HW 2013

Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände

Hydrologische Schnittachse II-II'

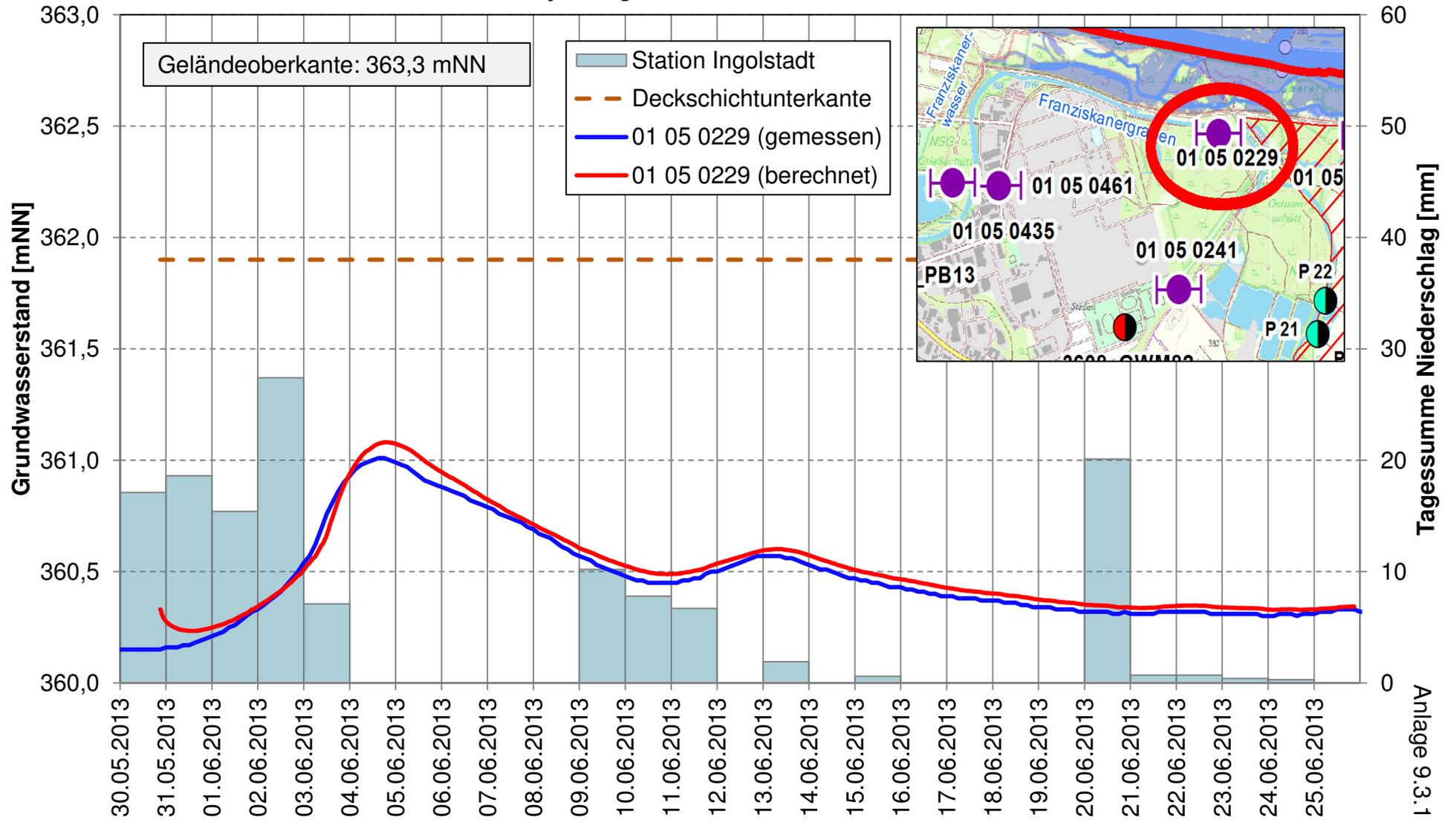


Anlage 9.2.6

Instationäre Kalibrierung HW 2013

Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände

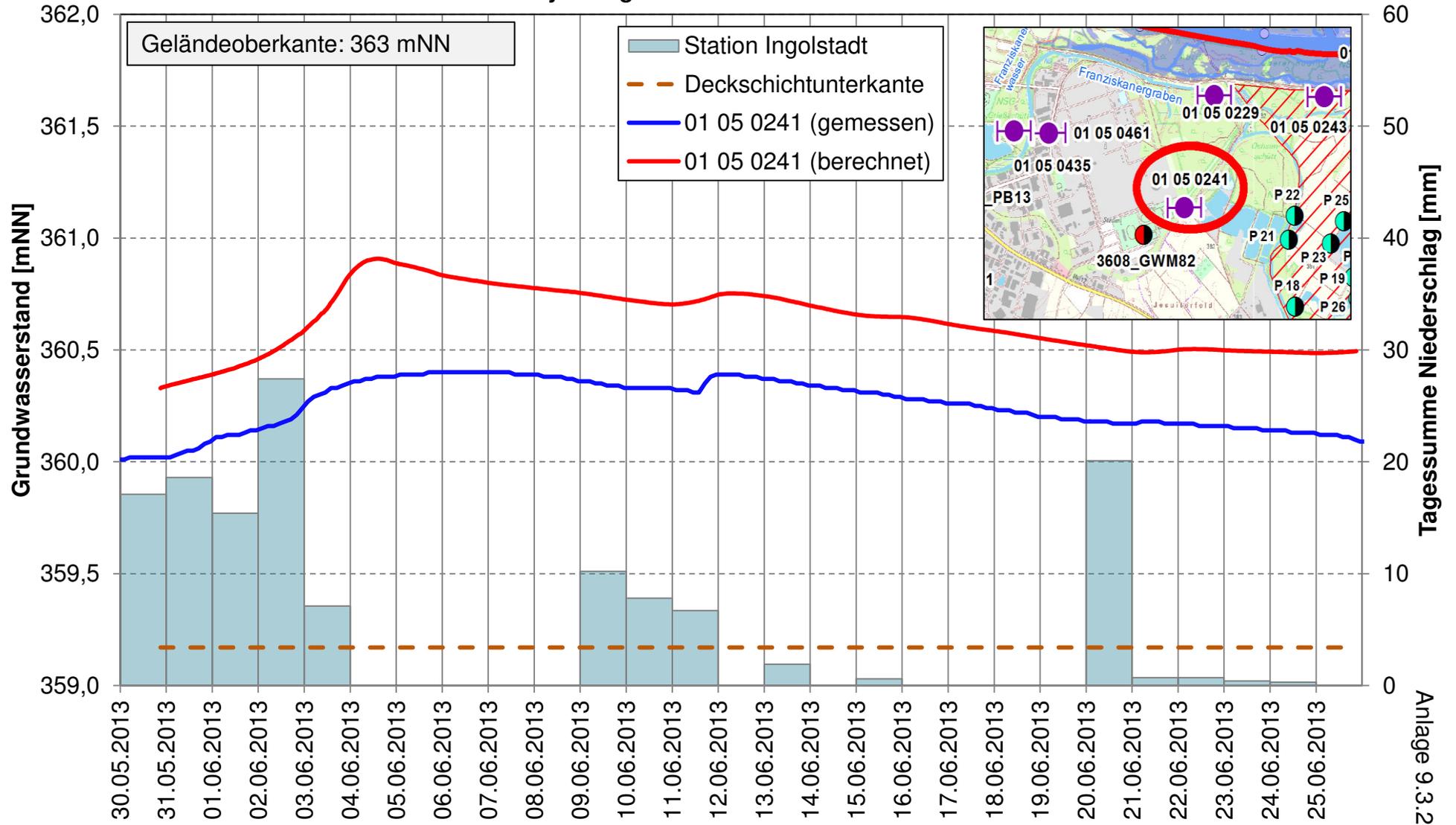
Hydrologische Schnittachse III-III'



Instationäre Kalibrierung HW 2013

Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände

Hydrologische Schnittachse III-III'

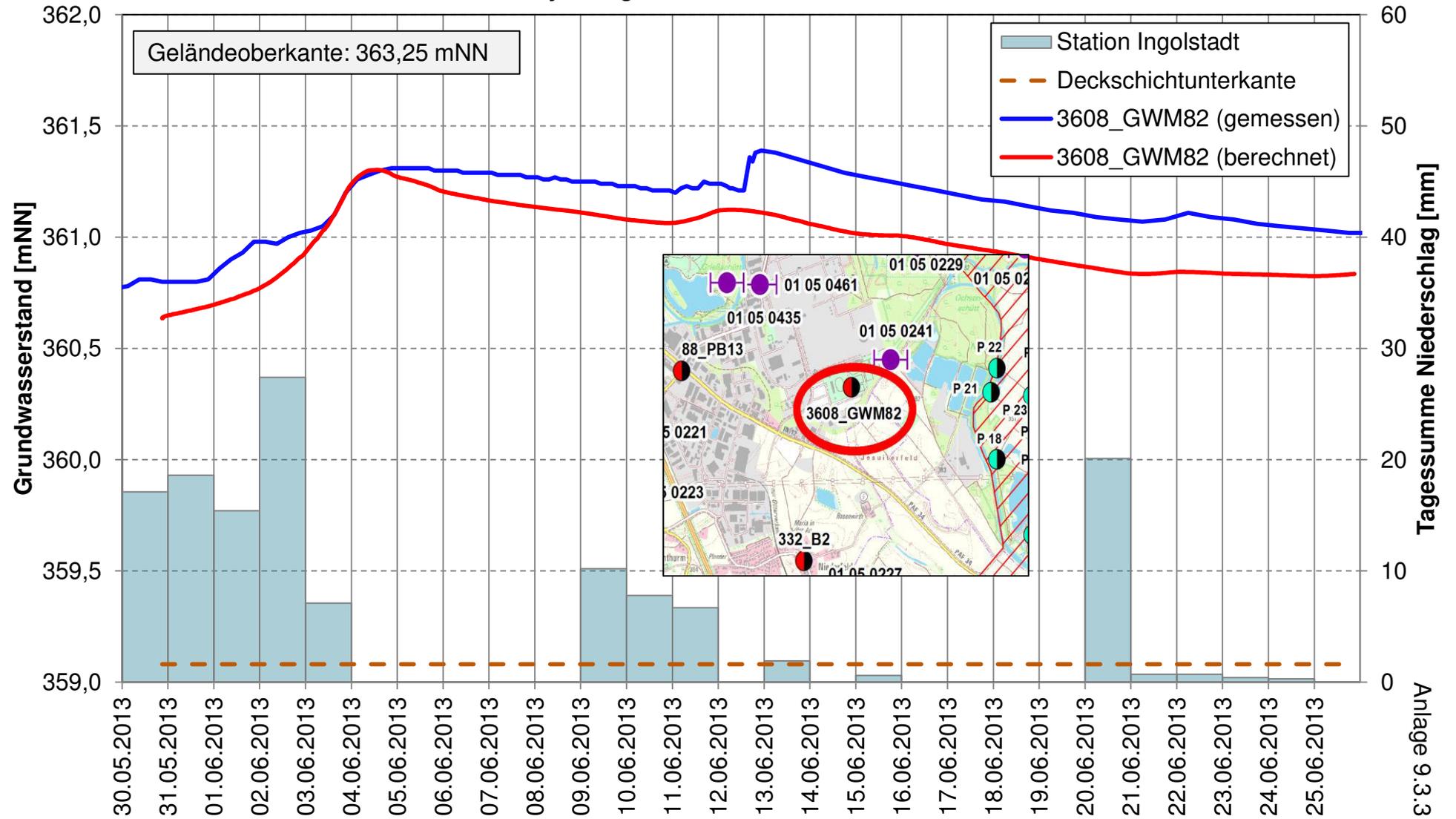


Anlage 9.3.2

Instationäre Kalibrierung HW 2013

Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände

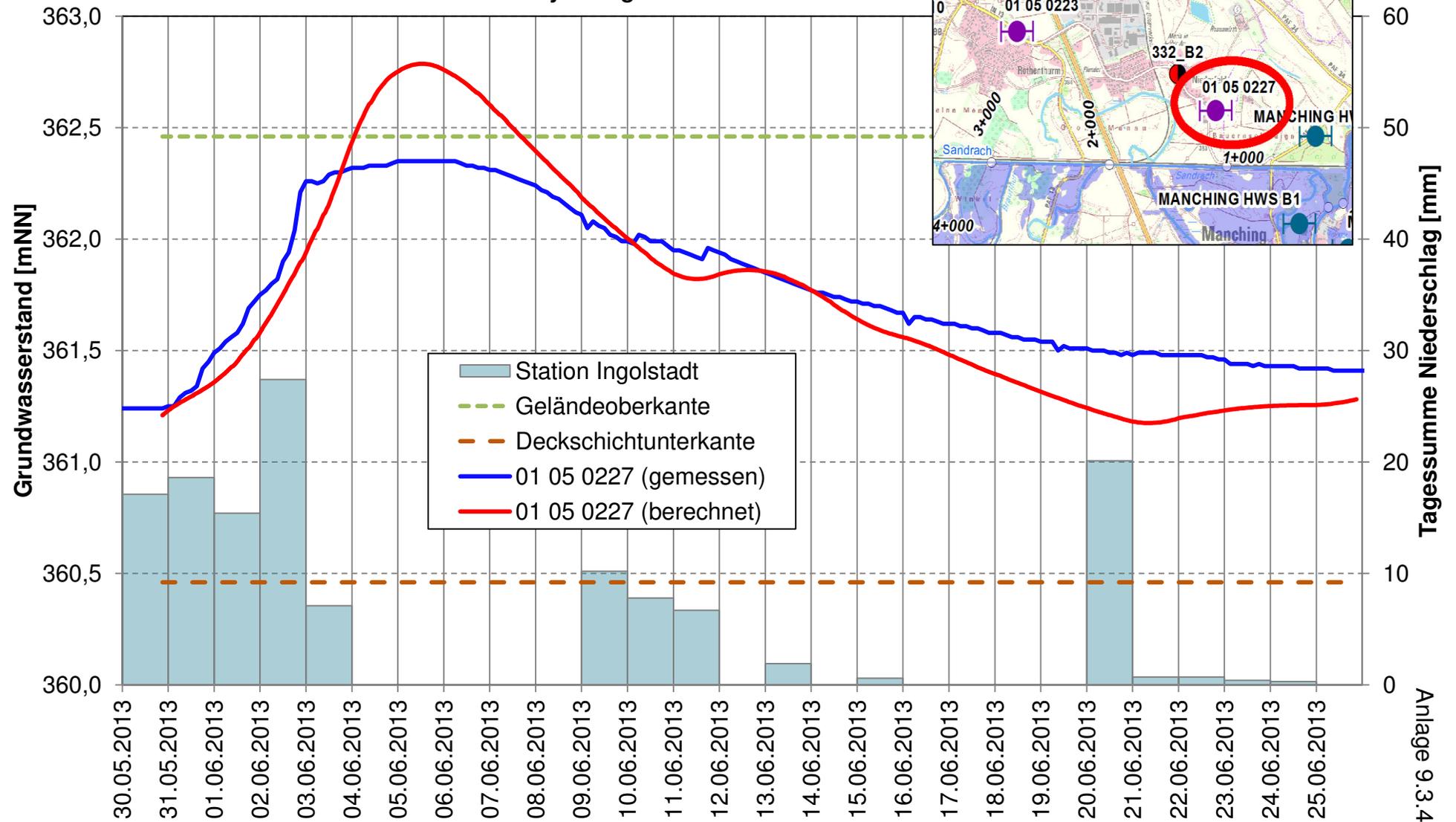
Hydrologische Schnittachse III-III'



Instationäre Kalibrierung HW 2013

Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände

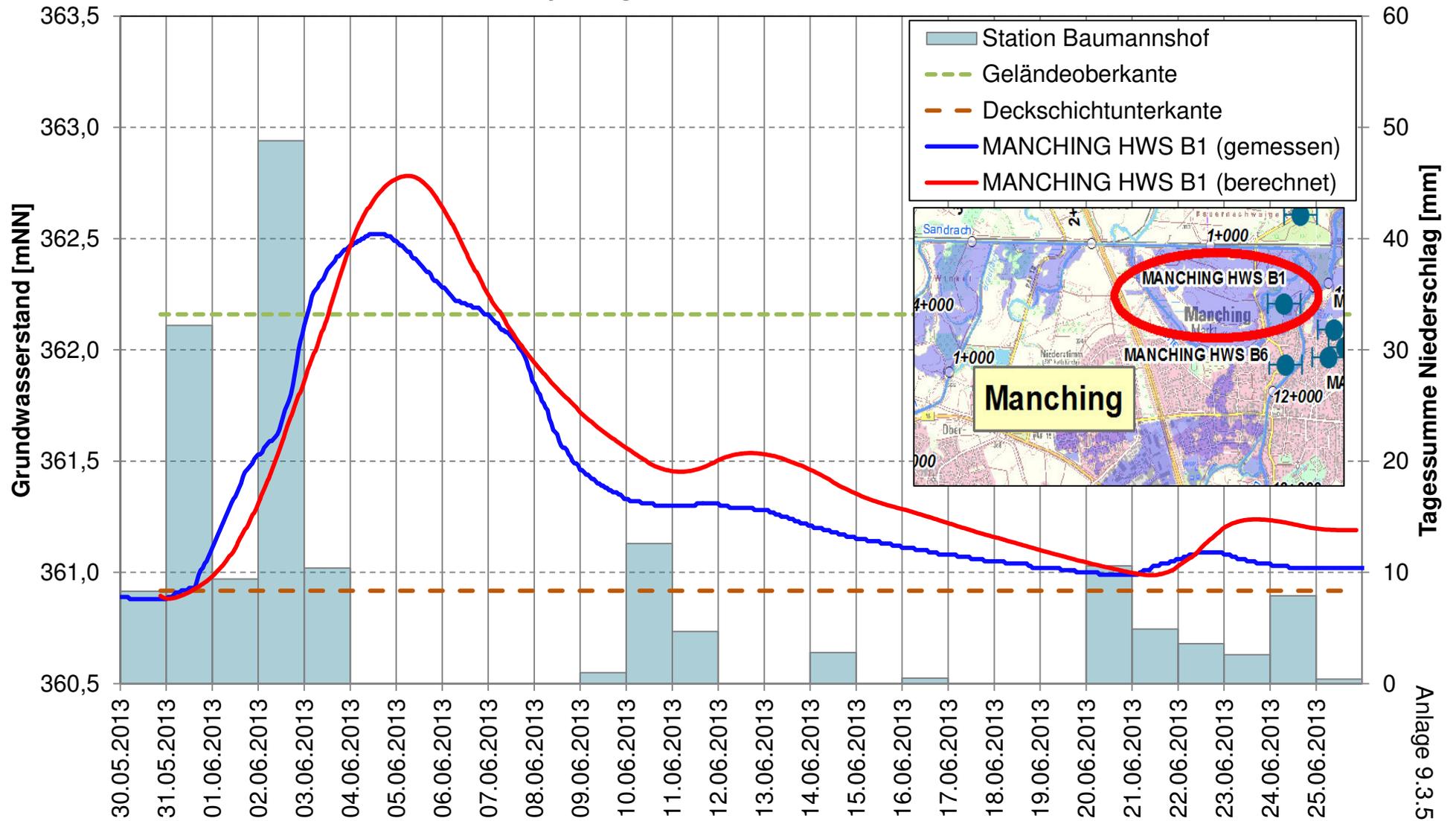
Hydrologische Schnittachse III-III'



Instationäre Kalibrierung HW 2013

Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände

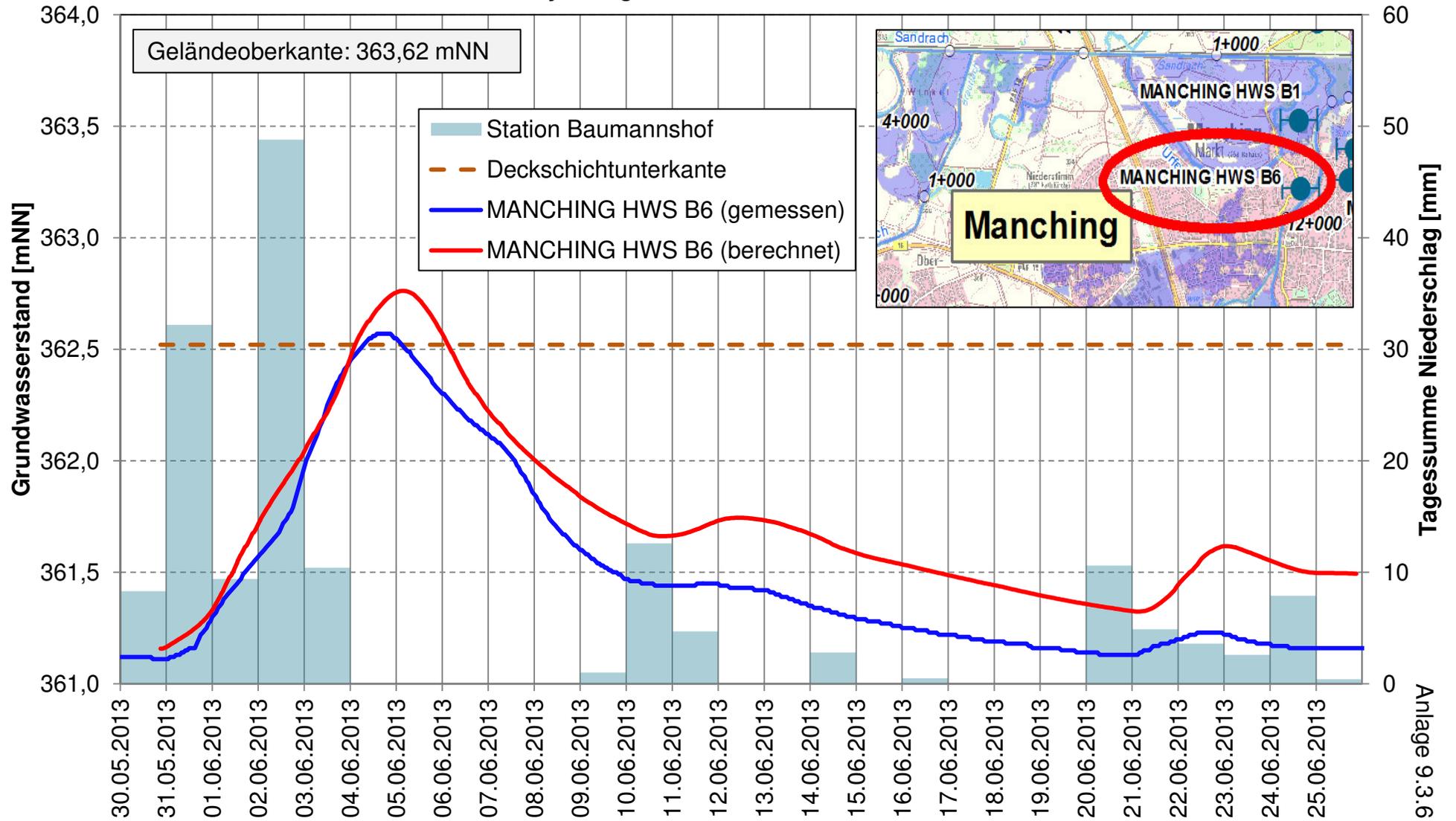
Hydrologische Schnittachse III-III'



Instationäre Kalibrierung HW 2013

Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände

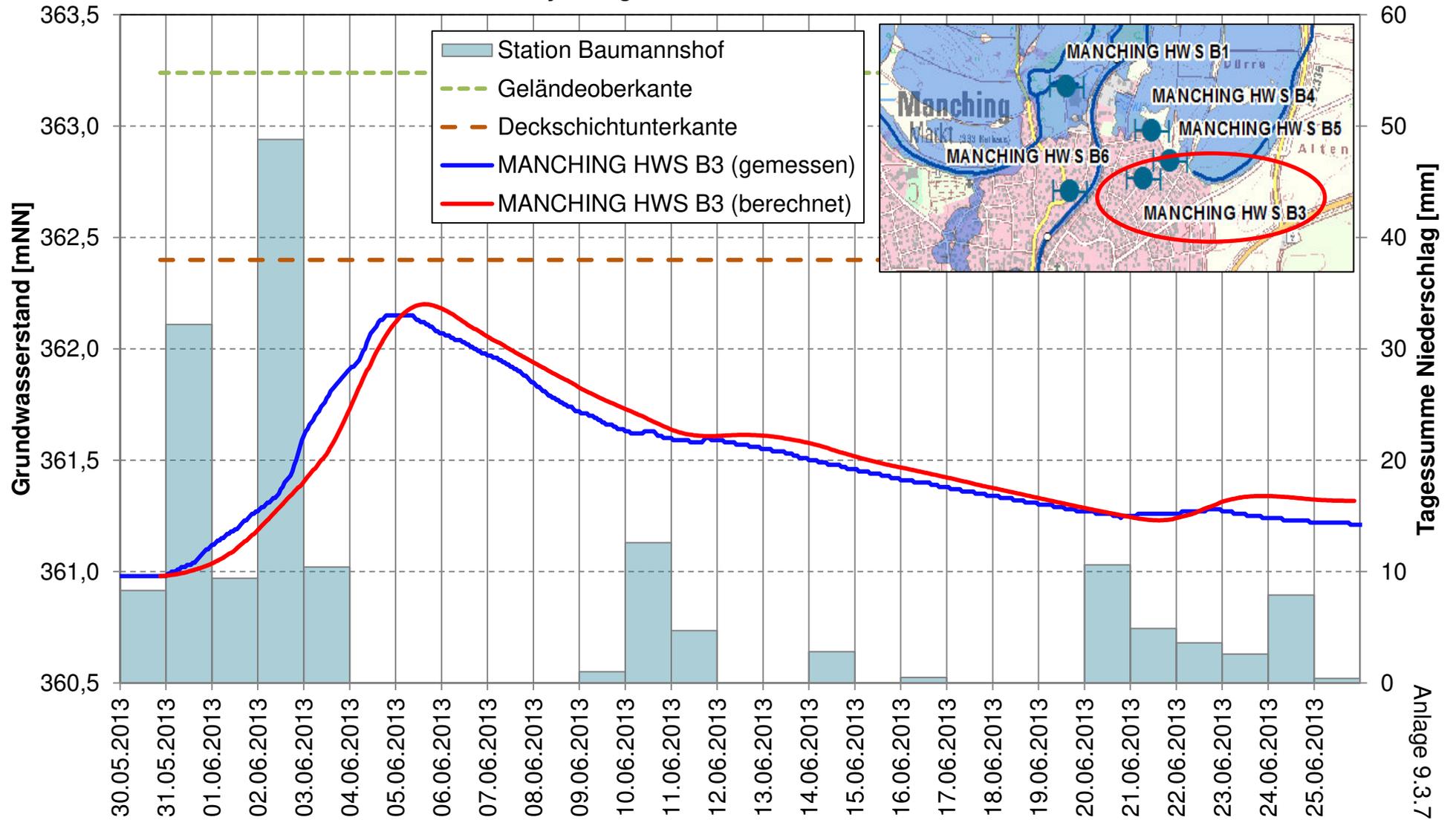
Hydrologische Schnittachse III-III'



Instationäre Kalibrierung HW 2013

Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände

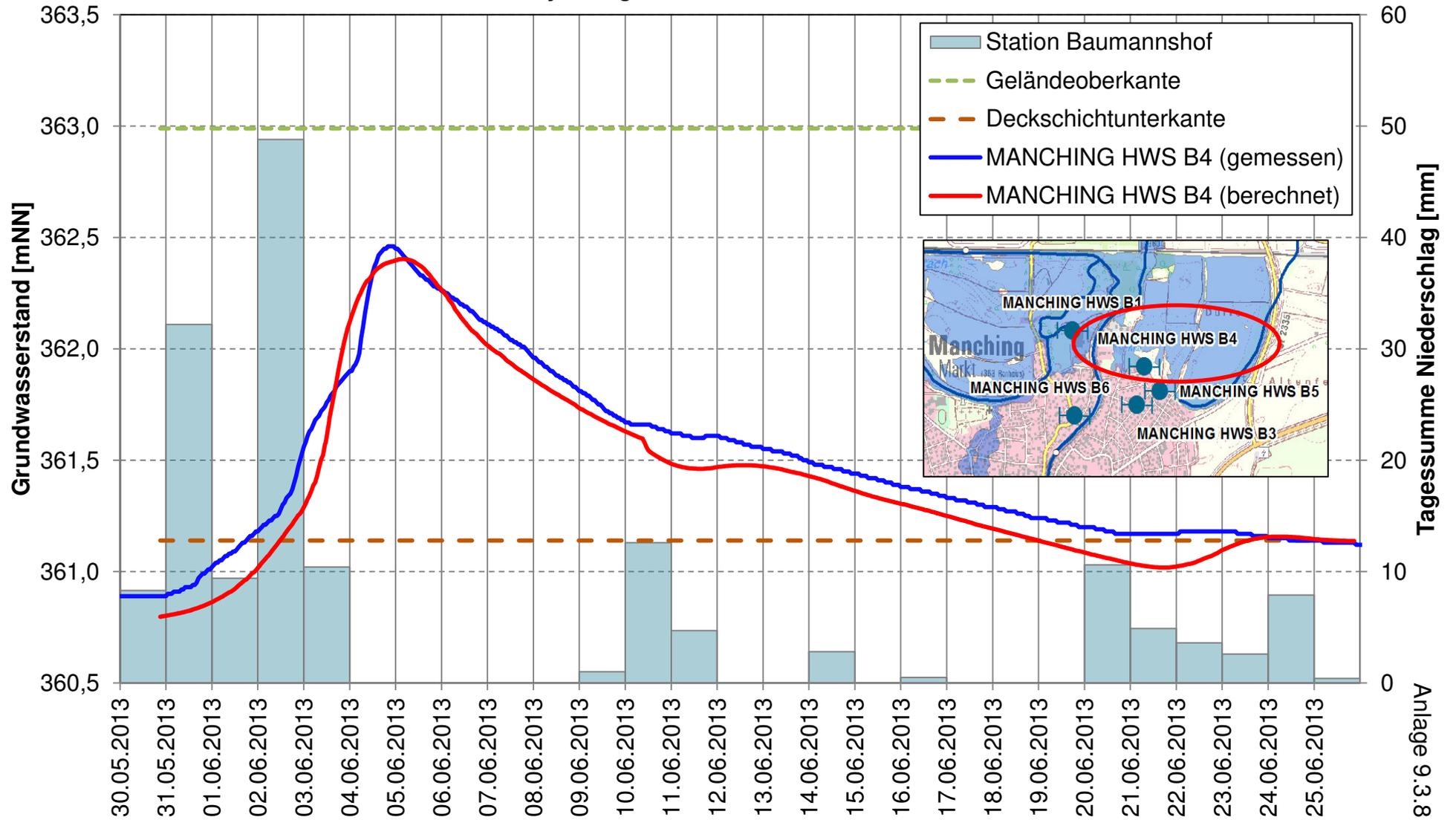
Hydrologische Schnittachse III-III'



Instationäre Kalibrierung HW 2013

Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände

Hydrologische Schnittachse III-III'

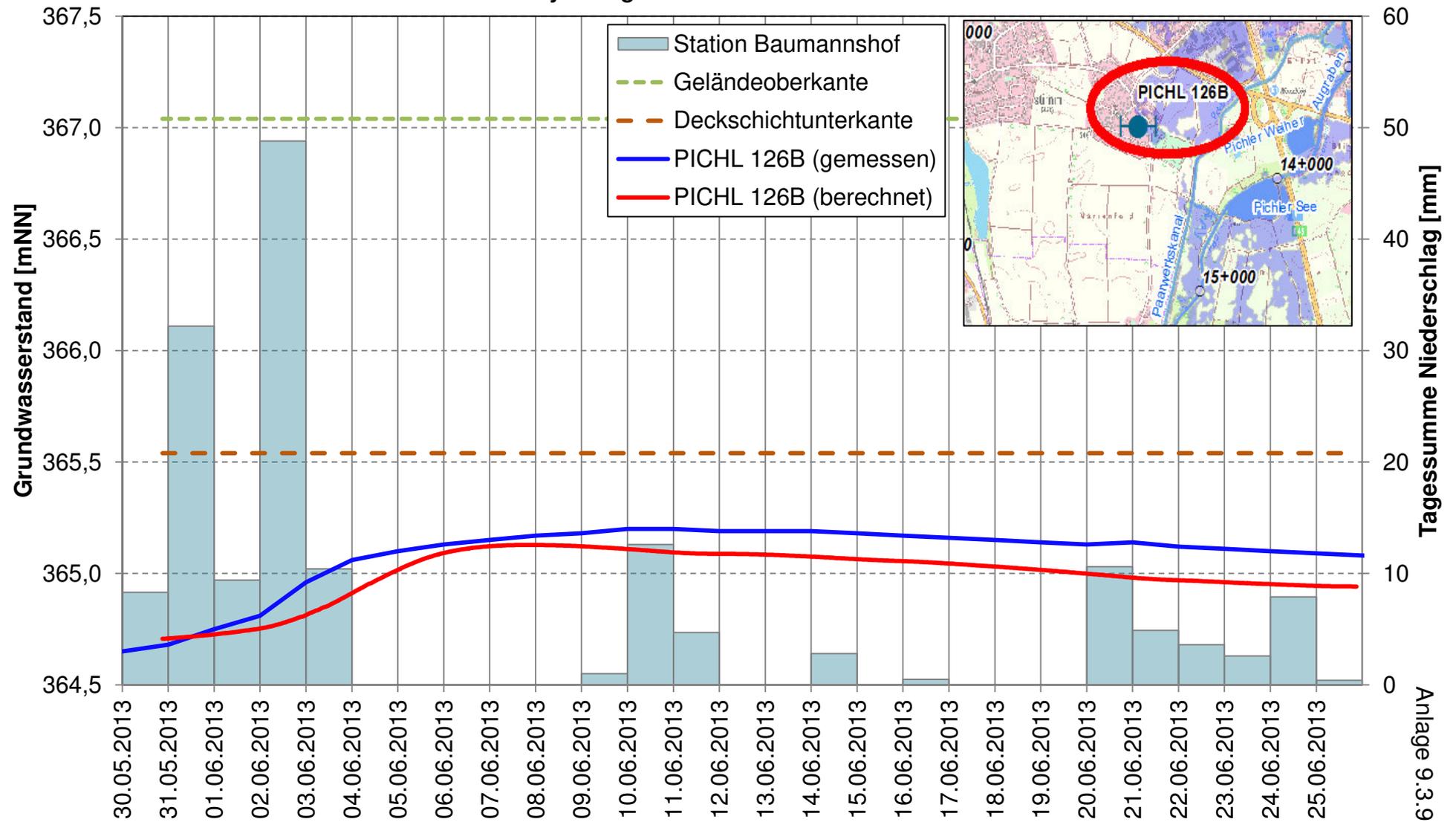


Anlage 9.3.8

Instationäre Kalibrierung HW 2013

Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände

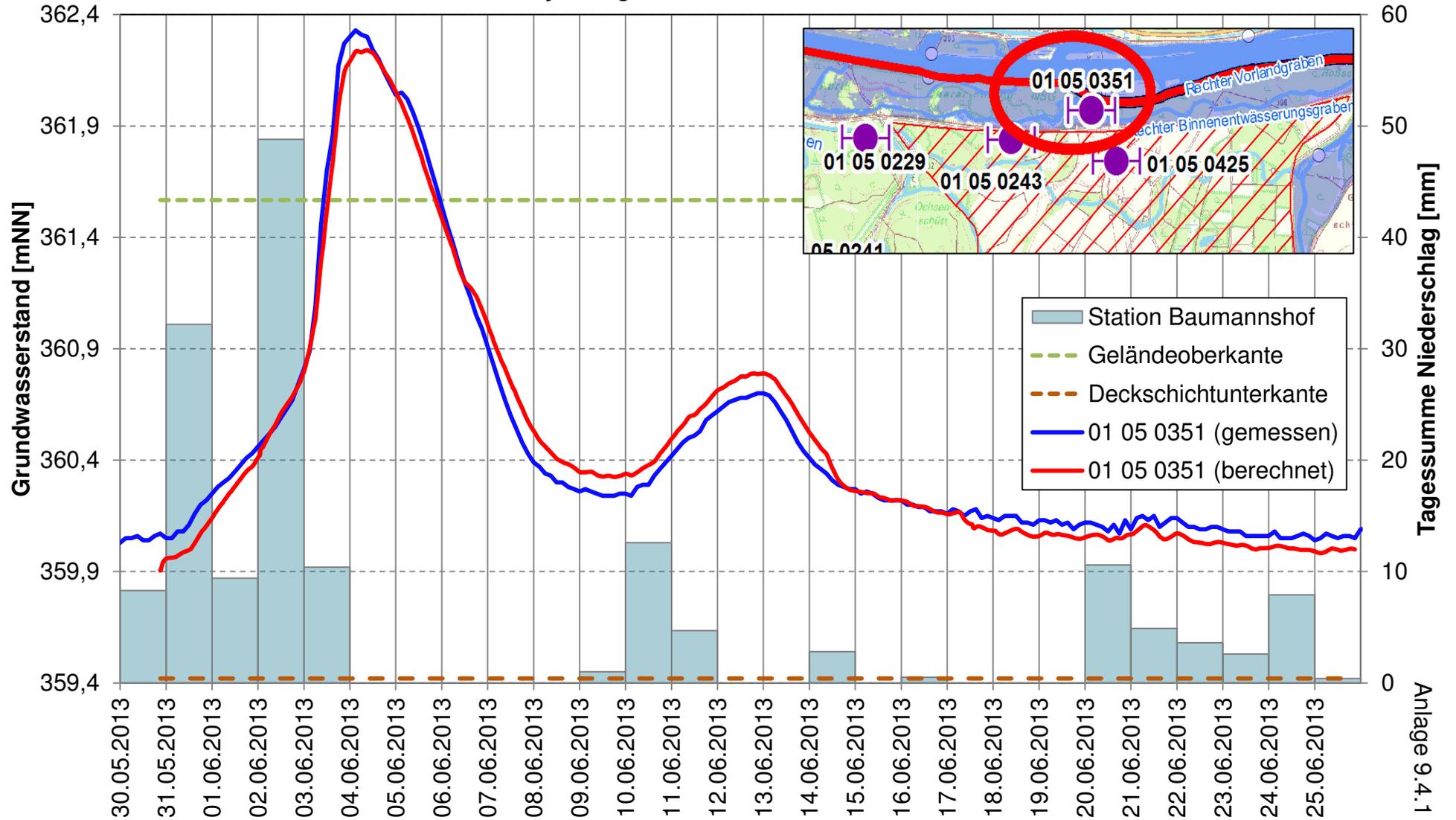
Hydrologische Schnittachse III-III'



Instationäre Kalibrierung HW 2013

Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände

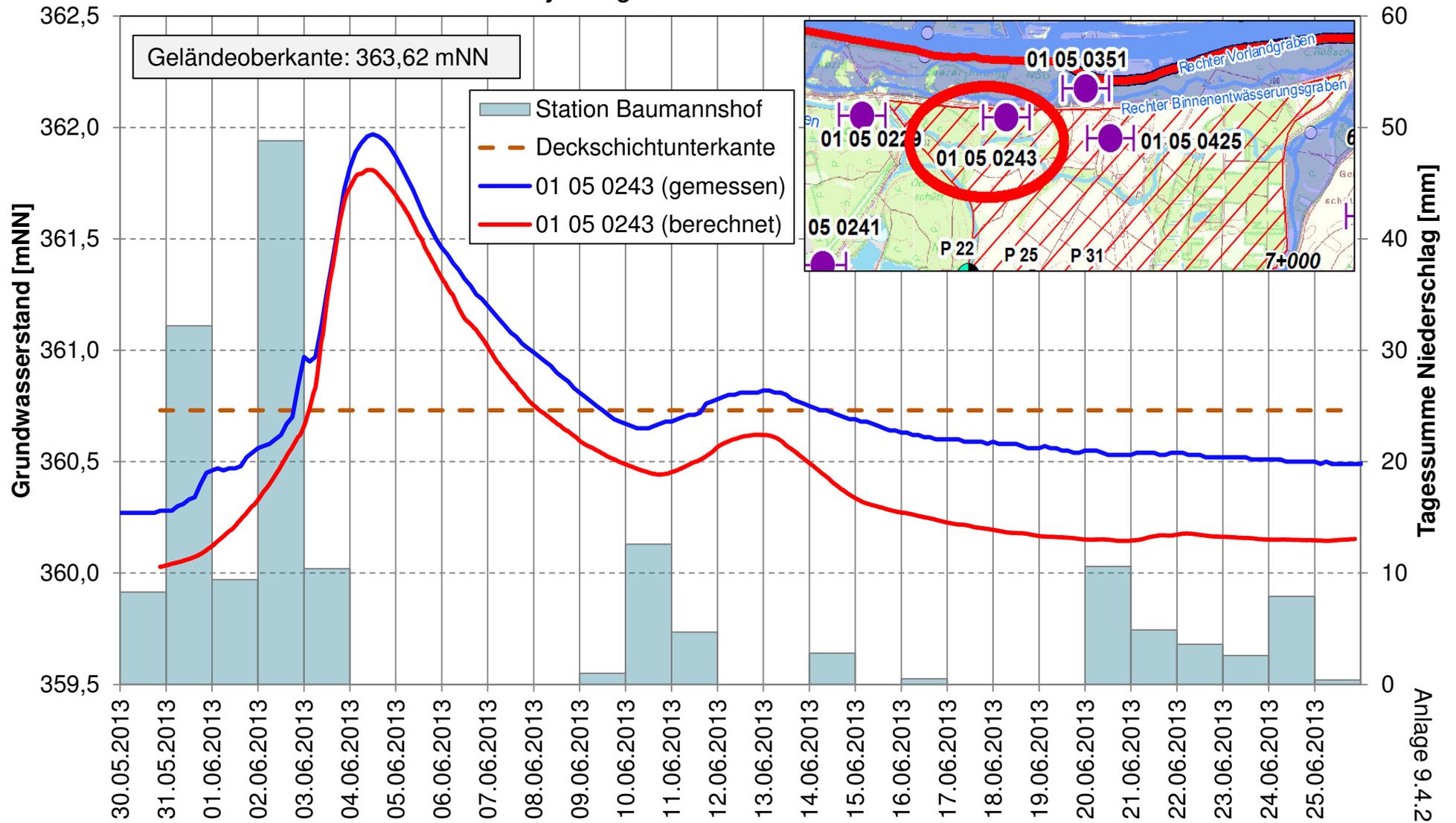
Hydrologische Schnittachse IV-IV'



Instationäre Kalibrierung HW 2013

Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände

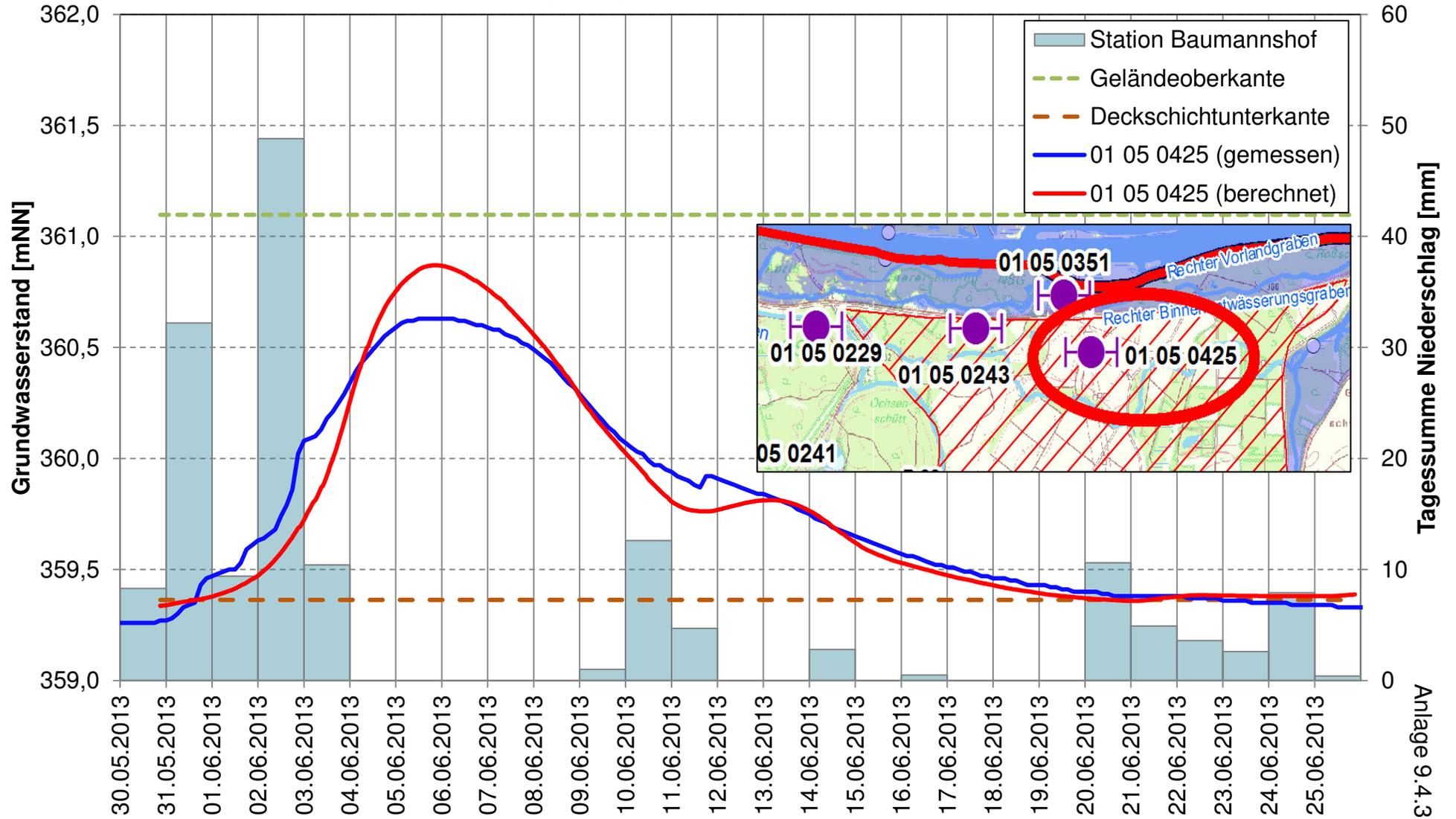
Hydrologische Schnittachse IV-IV'



Instationäre Kalibrierung HW 2013

Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände

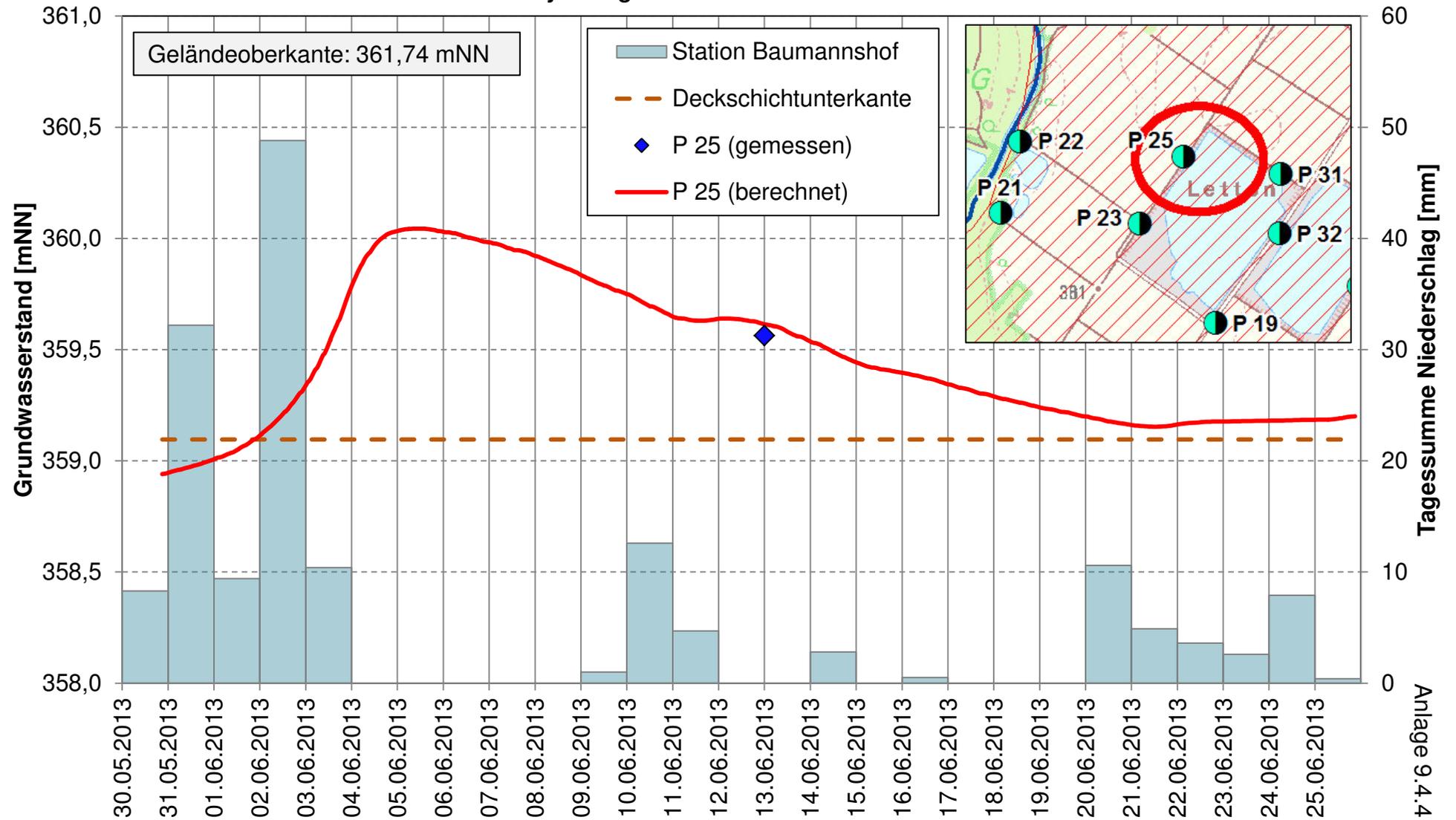
Hydrologische Schnittachse IV-IV'



Instationäre Kalibrierung HW 2013

Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände

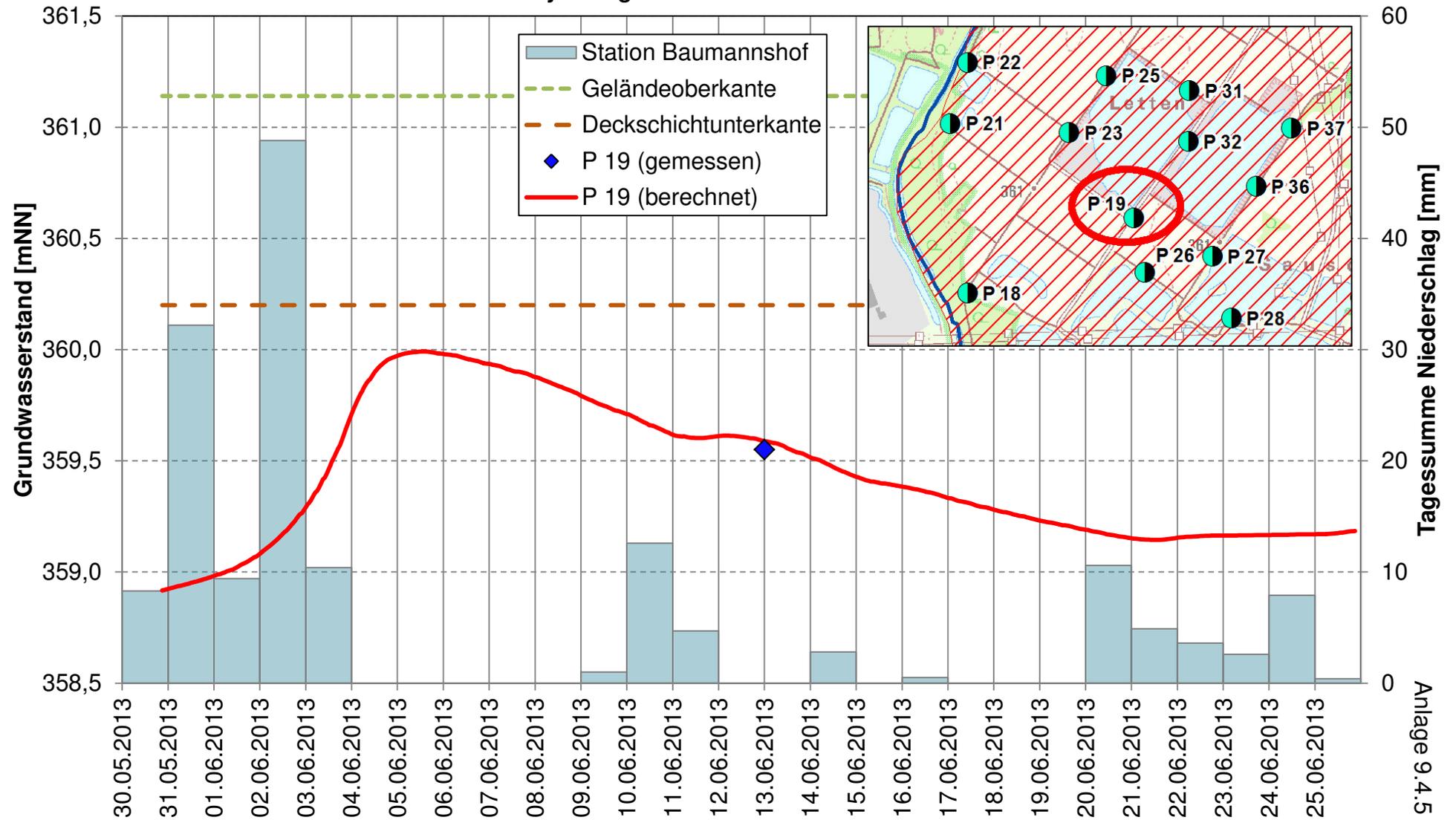
Hydrologische Schnittachse IV-IV'



Instationäre Kalibrierung HW 2013

Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände

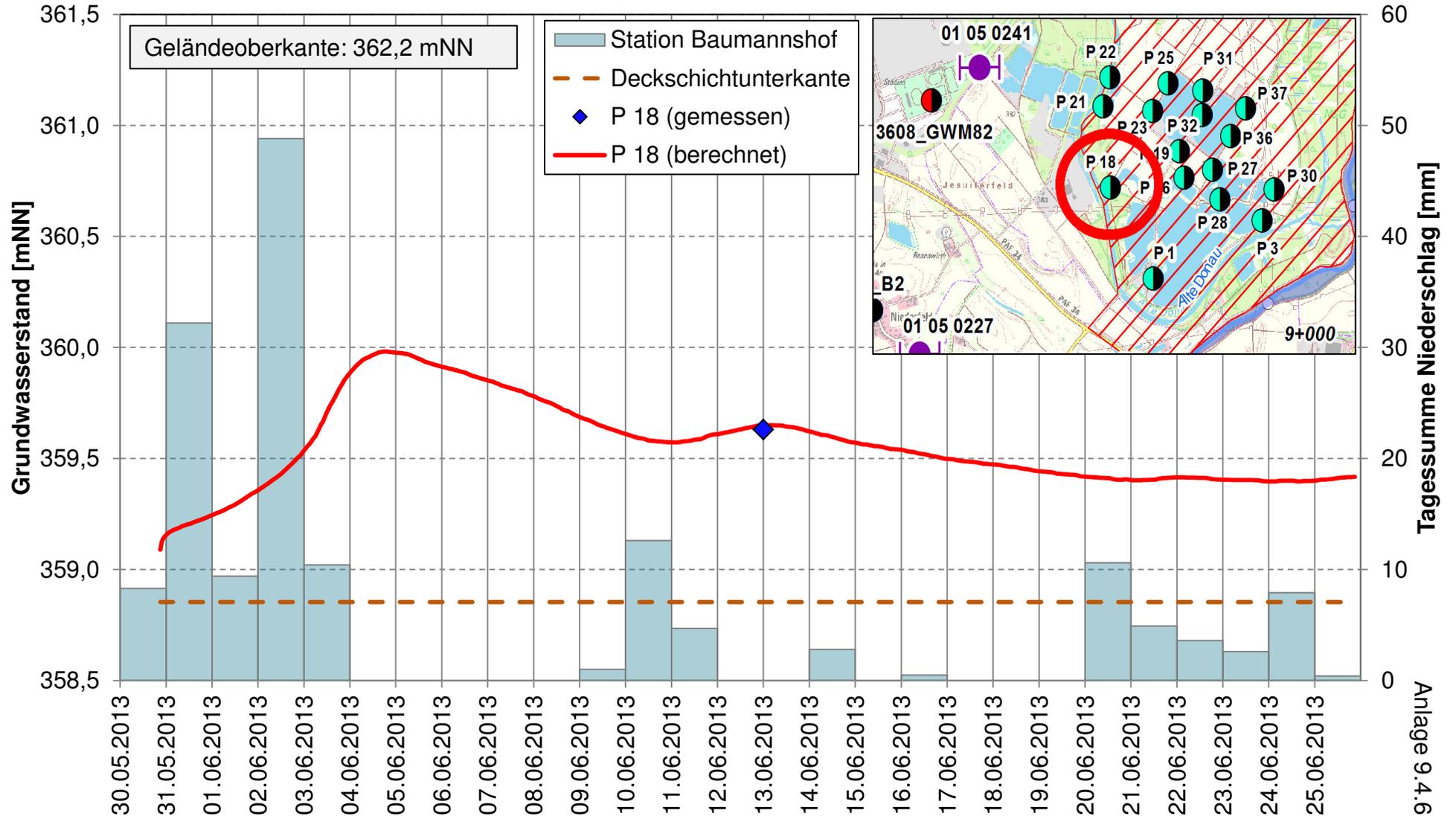
Hydrologische Schnittachse IV-IV'



Instationäre Kalibrierung HW 2013

Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände

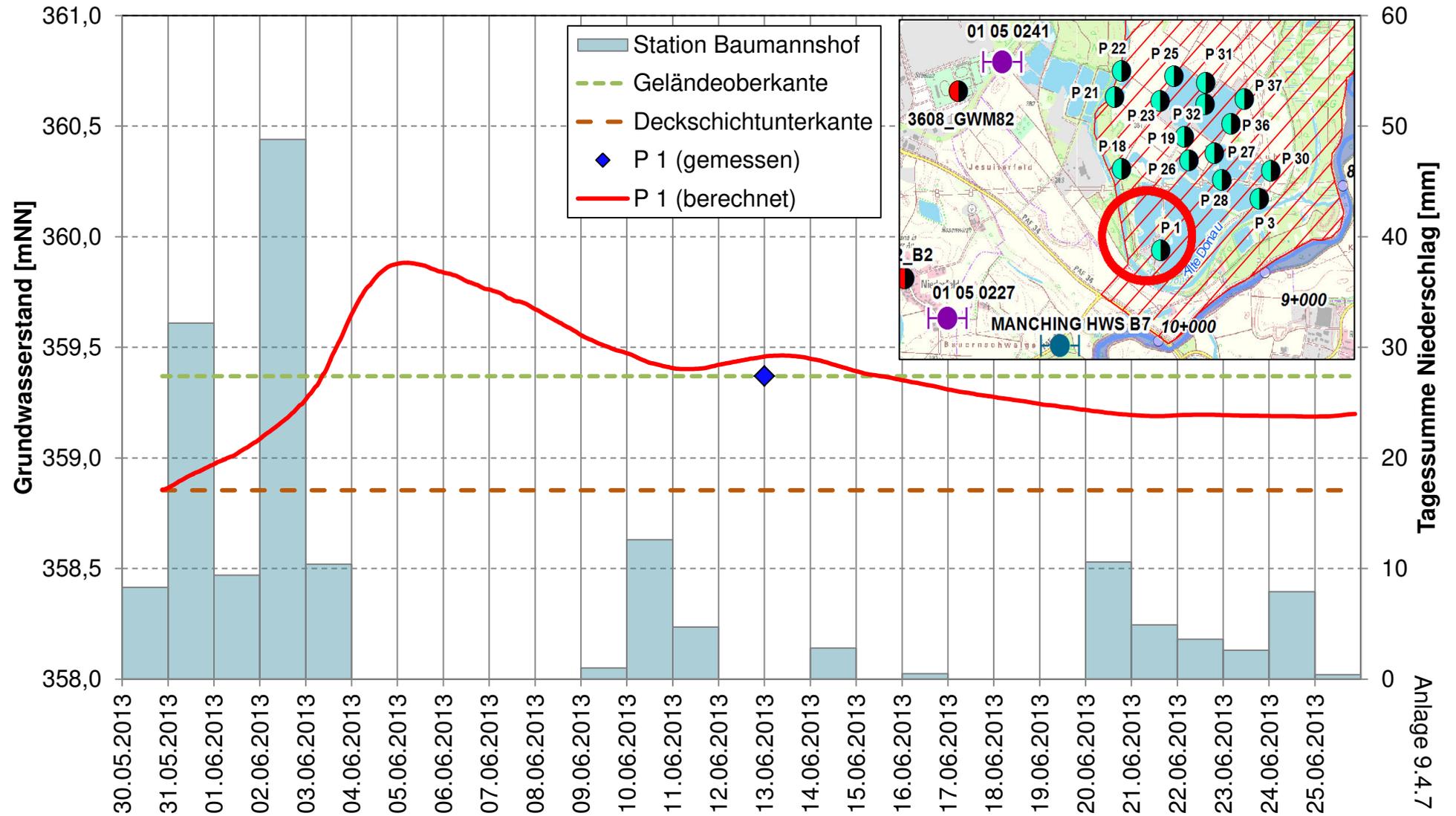
Hydrologische Schnittachse IV-IV'



Instationäre Kalibrierung HW 2013

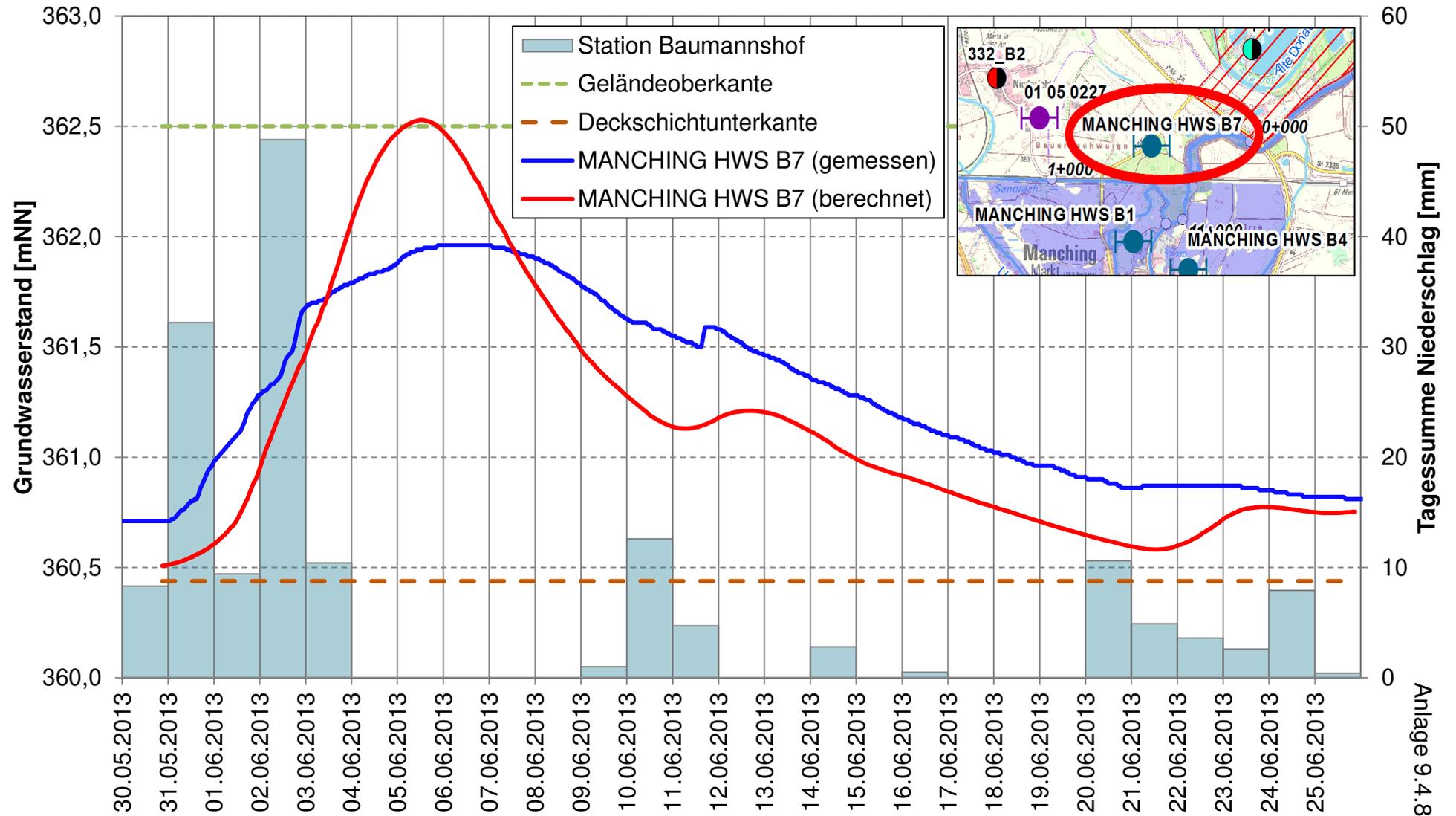
Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände

Hydrologische Schnittachse IV-IV'



Instationäre Kalibrierung HW 2013

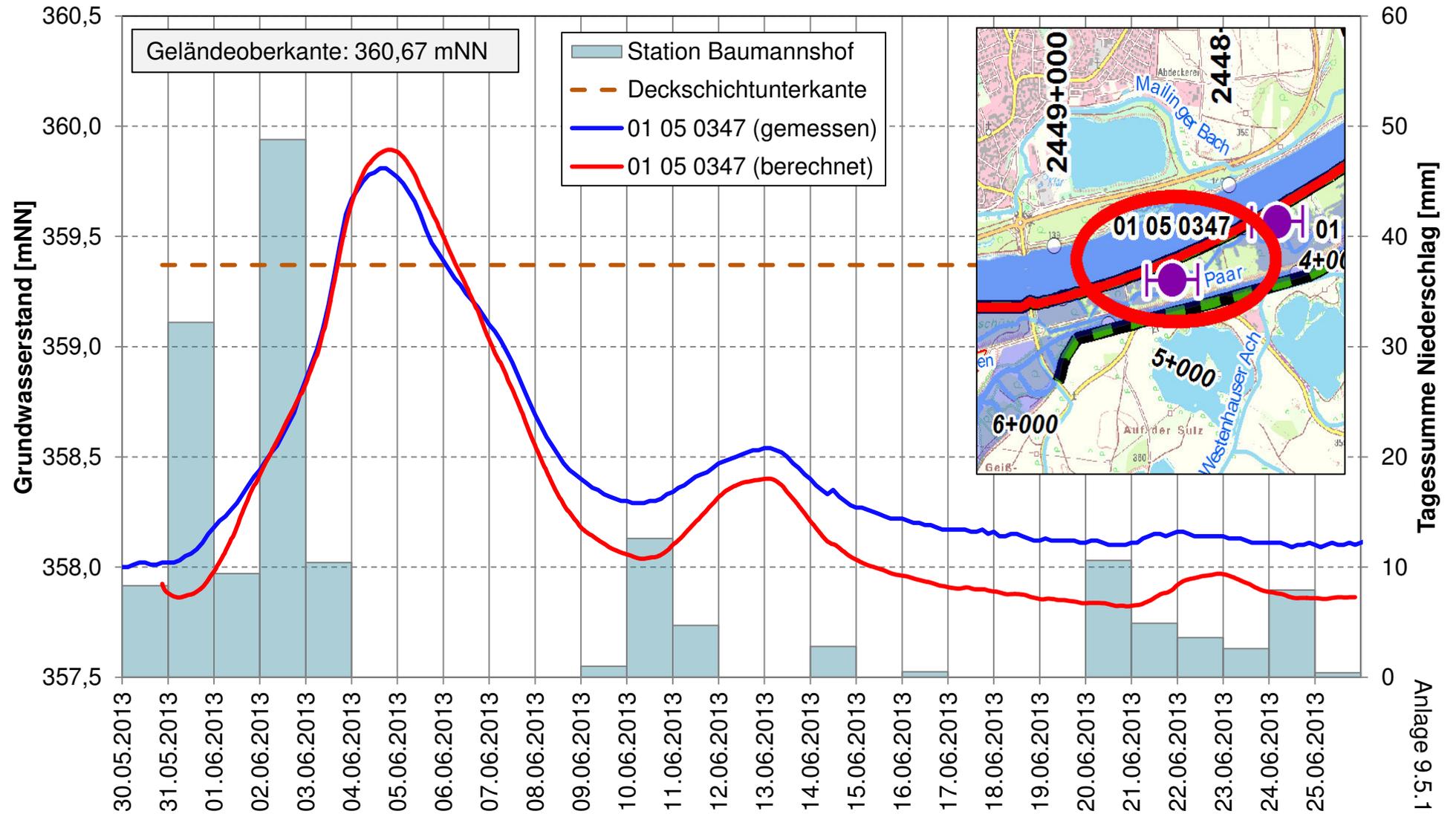
Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände Hydrologische Schnittachse IV-IV'



Instationäre Kalibrierung HW 2013

Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände

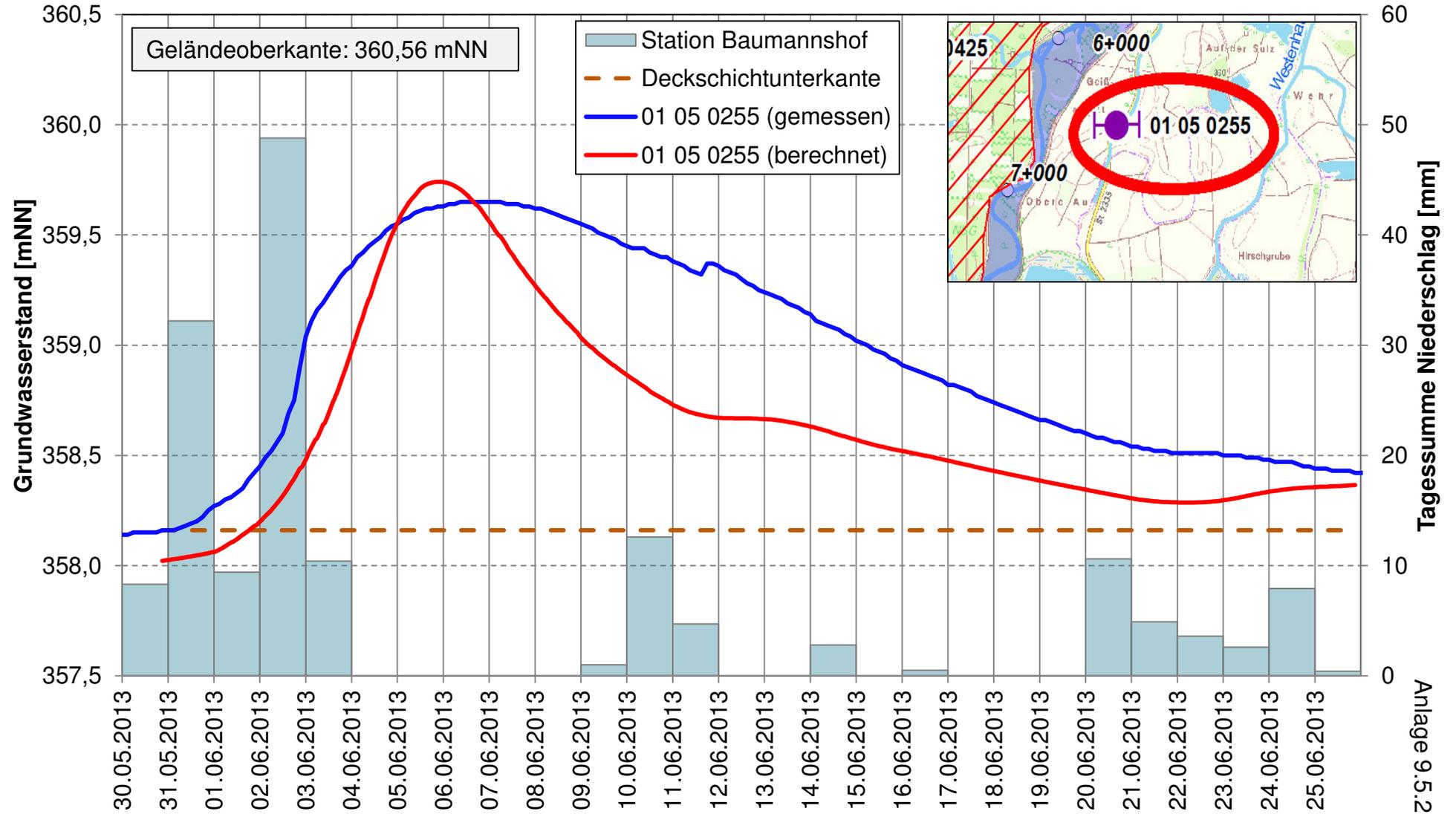
Hydrologische Schnittachse V-V'



Instationäre Kalibrierung HW 2013

Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände

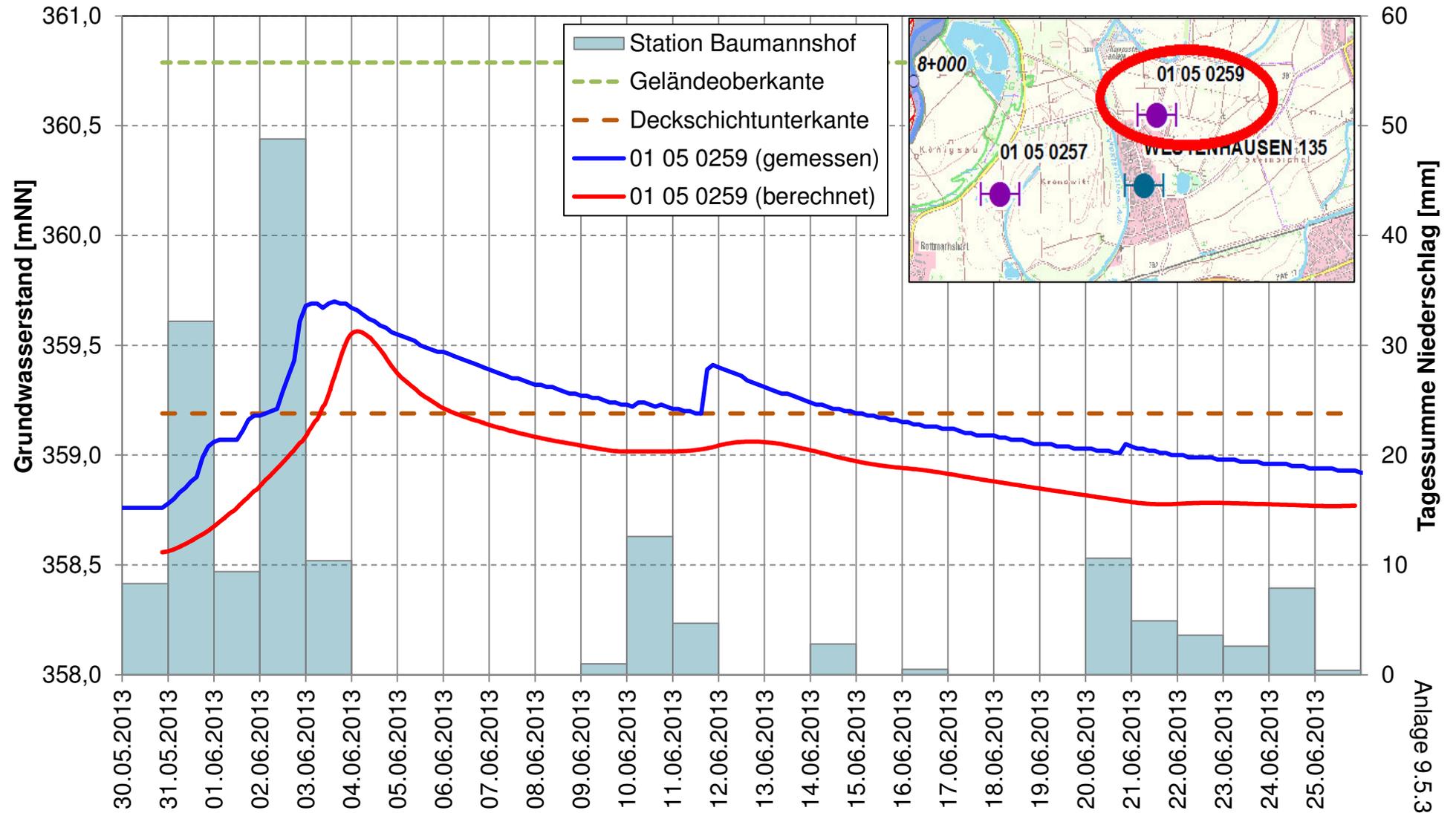
Hydrologische Schnittachse V-V'



Instationäre Kalibrierung HW 2013

Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände

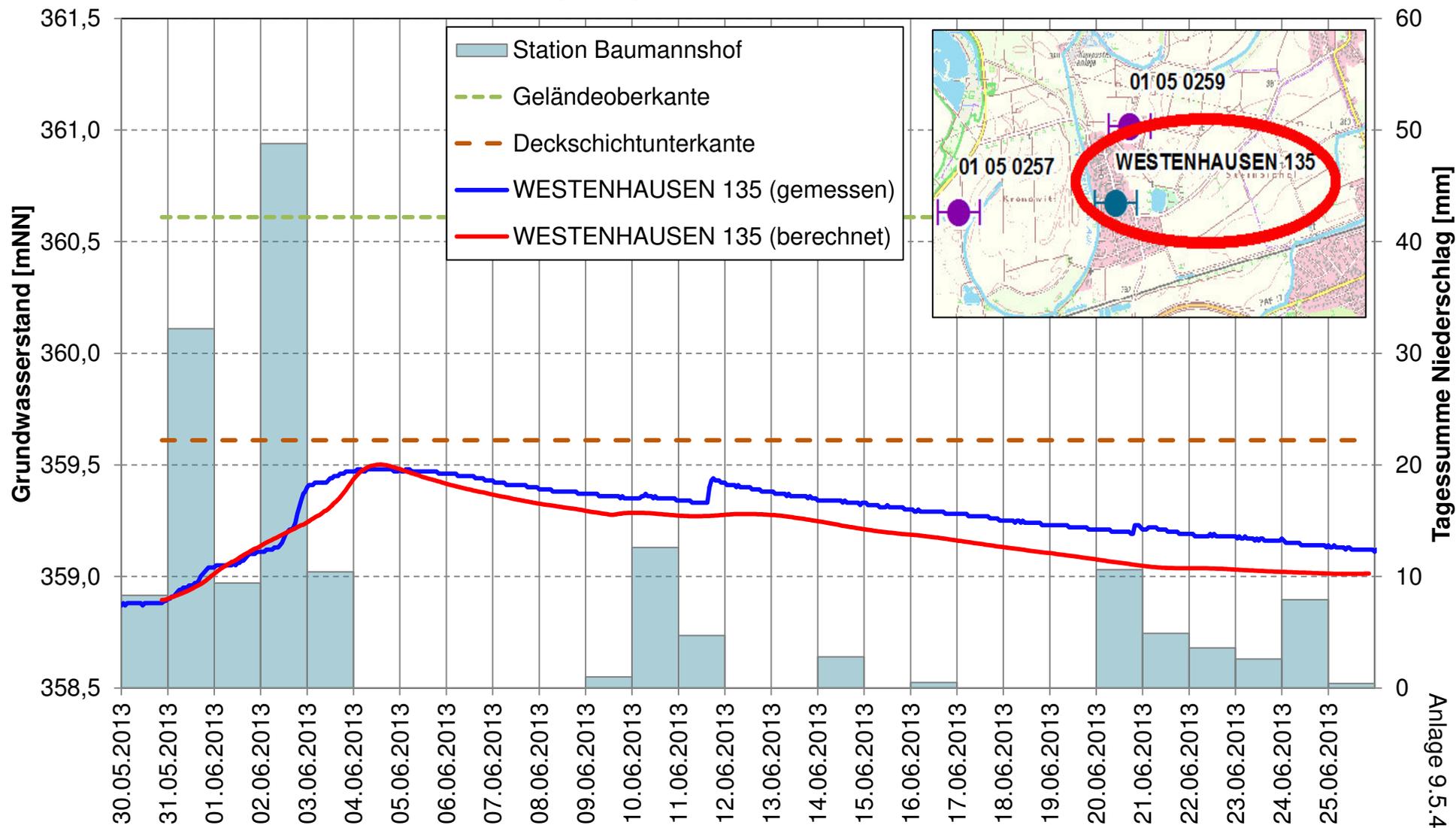
Hydrologische Schnittachse V-V'



Instationäre Kalibrierung HW 2013

Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände

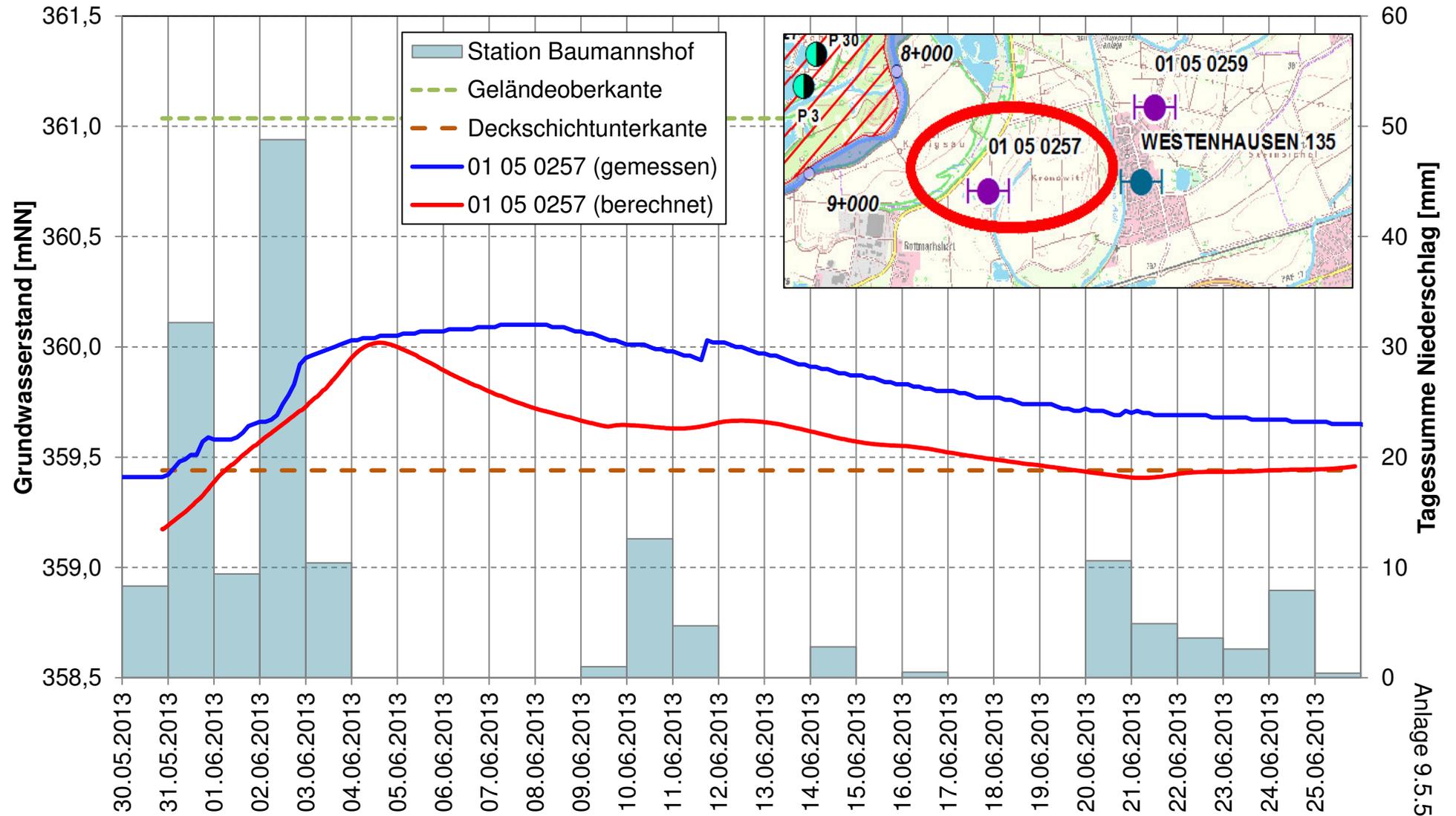
Hydrologische Schnittachse V-V'



Instationäre Kalibrierung HW 2013

Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände

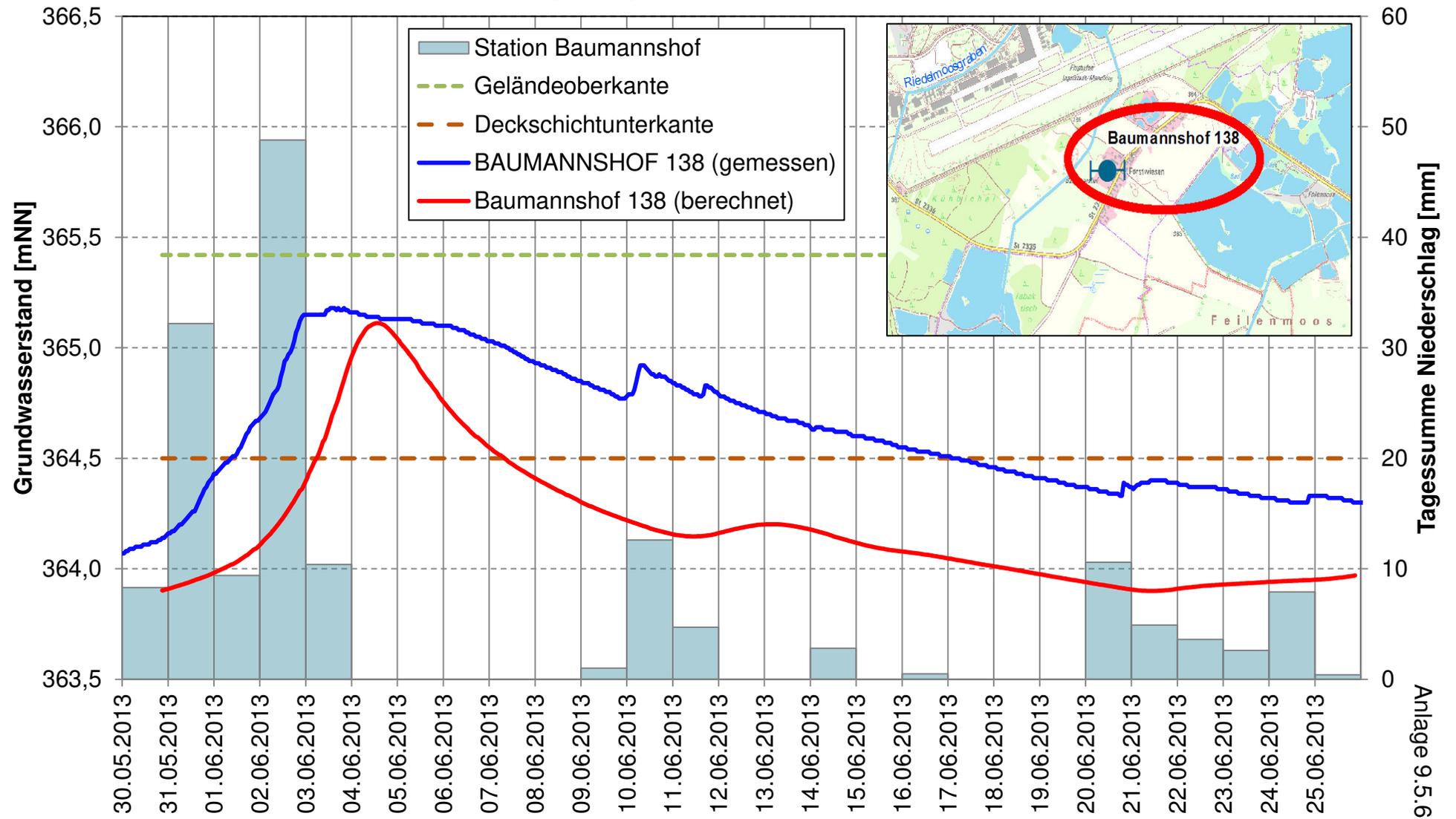
Hydrologische Schnittachse V-V'



Instationäre Kalibrierung HW 2013

Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände

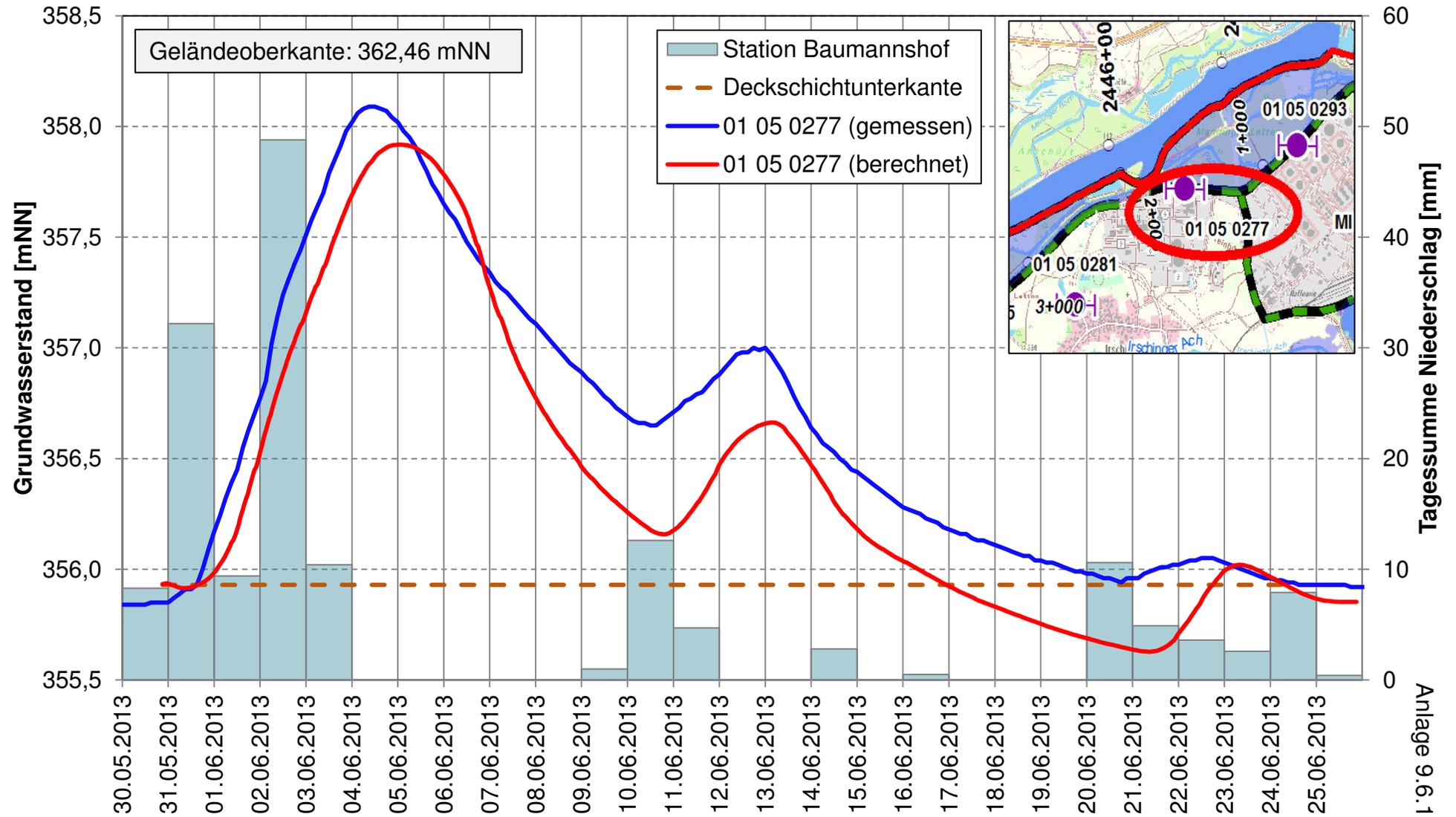
Hydrologische Schnittachse V-V'



Instationäre Kalibrierung HW 2013

Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände

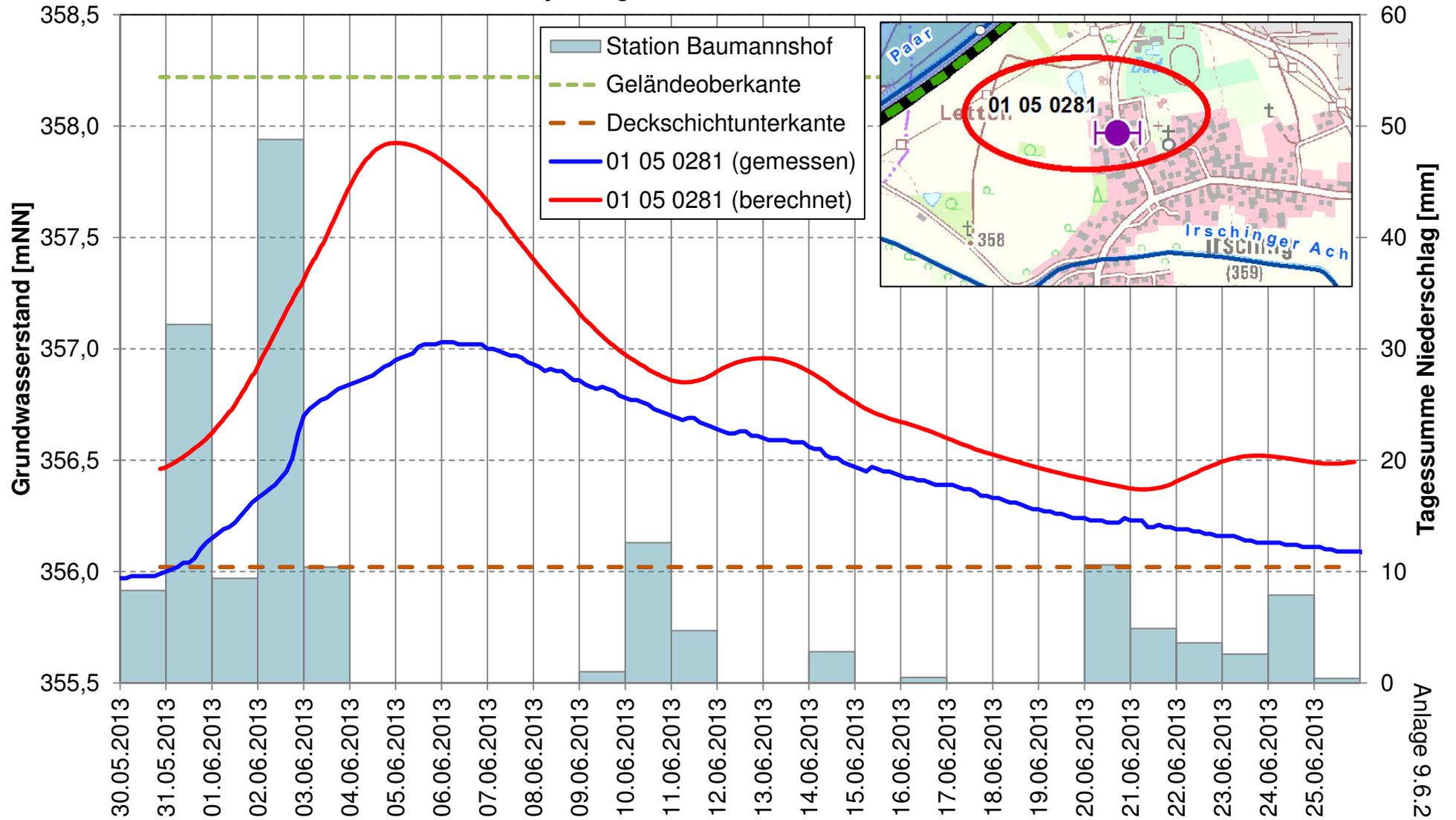
Hydrologische Schnittachse VI-VI'



Instationäre Kalibrierung HW 2013

Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände

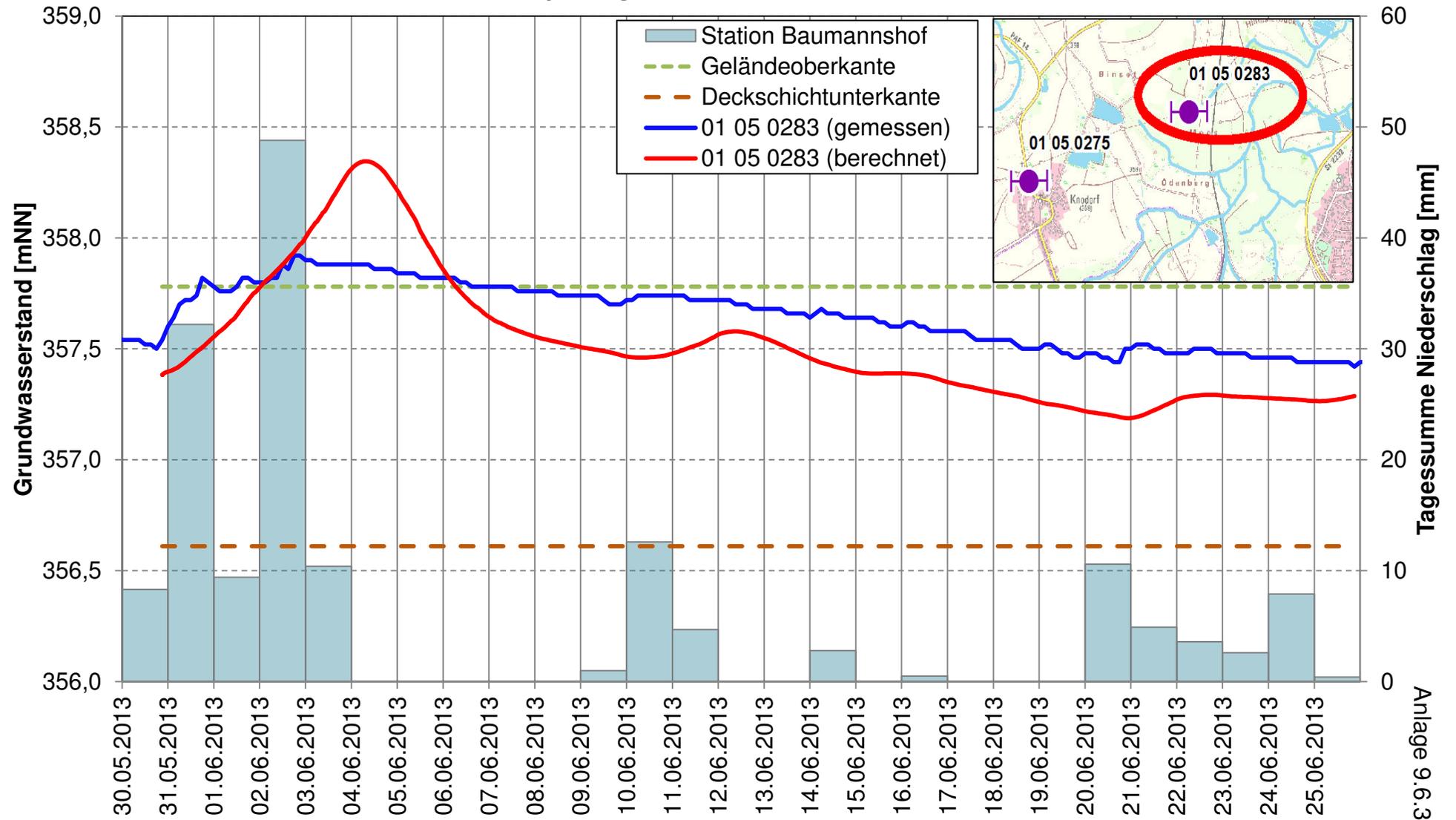
Hydrologische Schnittachse VI-VI'



Instationäre Kalibrierung HW 2013

Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände

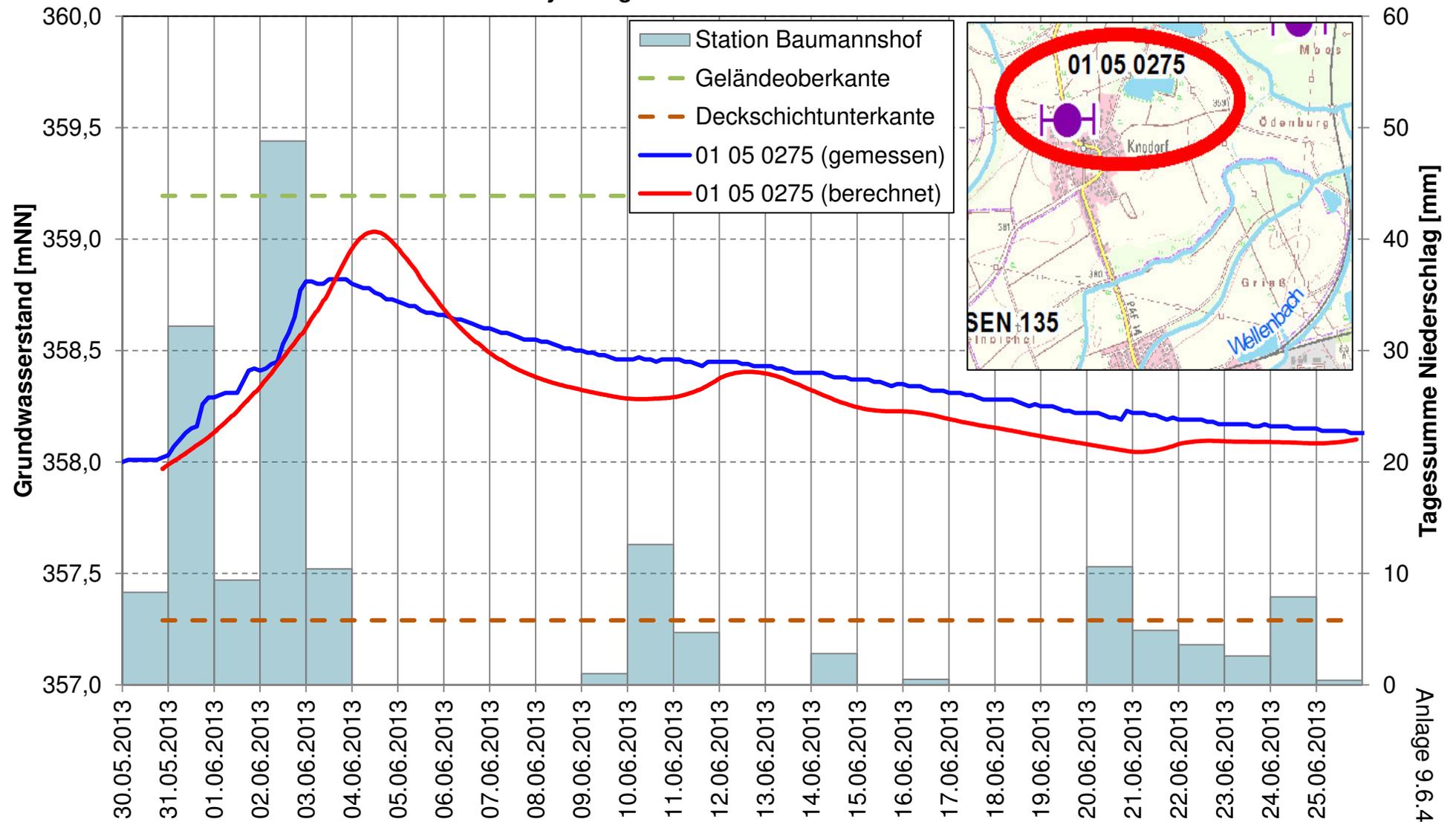
Hydrologische Schnittachse VI-VI'

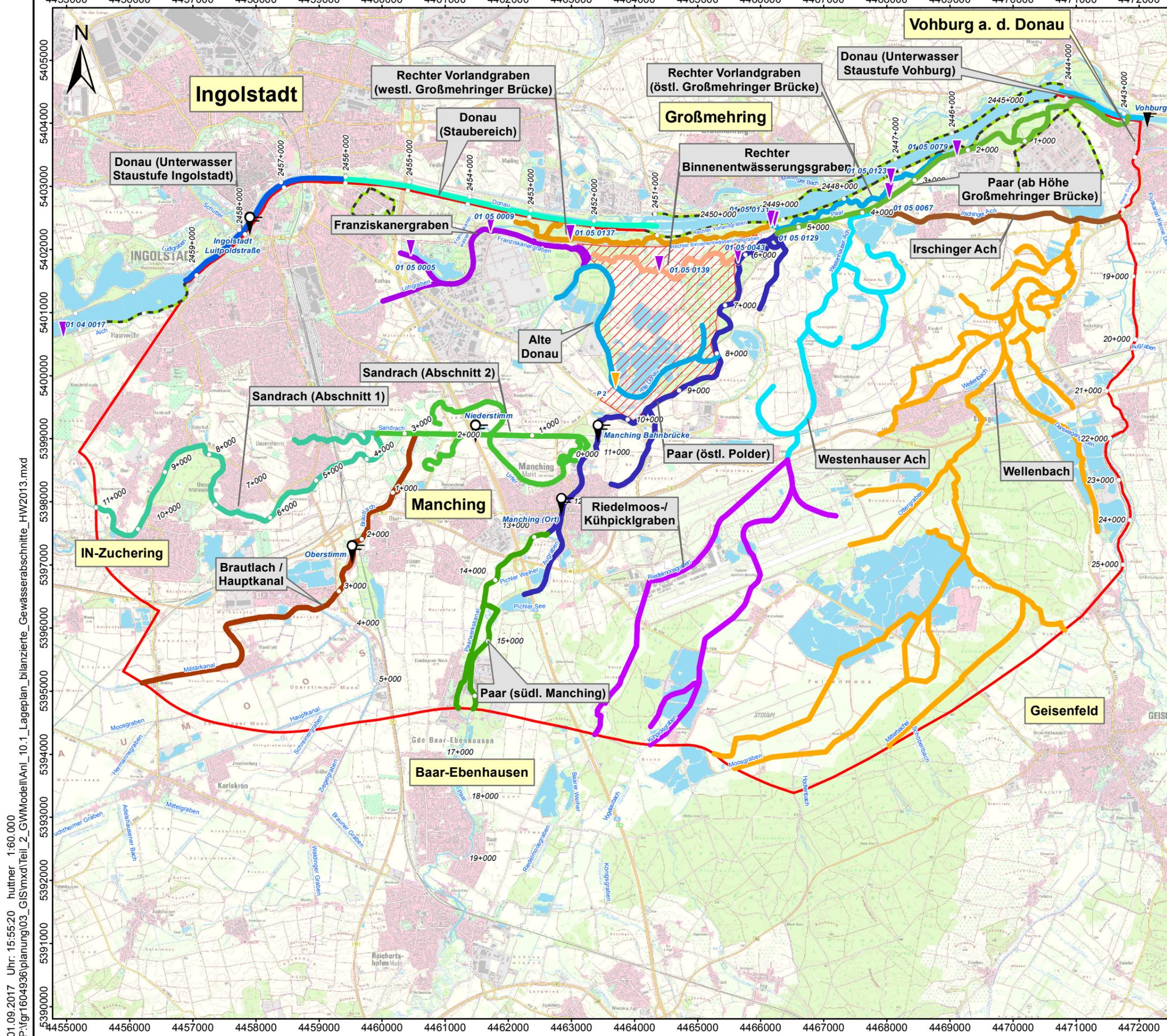


Instationäre Kalibrierung HW 2013

Ganglinien berechneter und gemessener Grundwasserstände

Hydrologische Schnittachse VI-VI'





Zeichenerklärung

- Modellraum
- Geplanter Flutpolder Großmehring
- Bestehende Dichtwand (Einbindung bis in das Tertiär)
- 12+000
- Flusskilometer

Pegelmessstellen

- Amtlicher Registrierpegel, Wasserstandsmessung mit Abfluss
- Amtlicher Registrierpegel, Wasserstandsmessung ohne Abfluss
- Pegel UNIPER (Datenlogger)
- Pegel Radmer GmbH & Co. KG

Bilanzierte Gewässerabschnitte

- Alte Donau
- Brautlach / Hauptkanal
- Donau (Staubereich)
- ...



Koordinatensystem: DHDN 3 Degree Gauss Zone 4
 Datengrundlagen:
 © Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.lfu.bayern.de
 © Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt, www.wwa-ingolstadt.bayern.de
 Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung

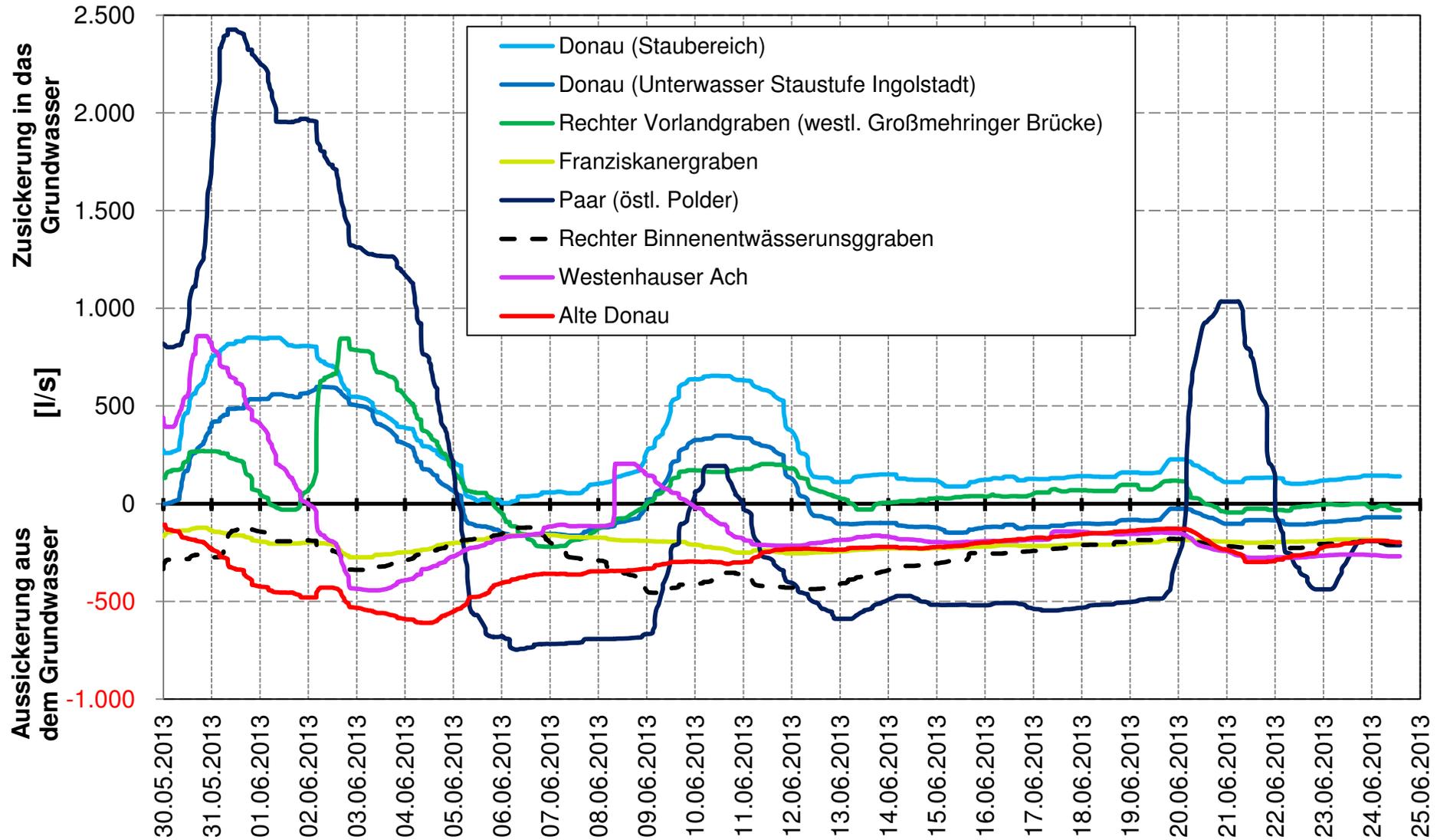
BCE

BIÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE

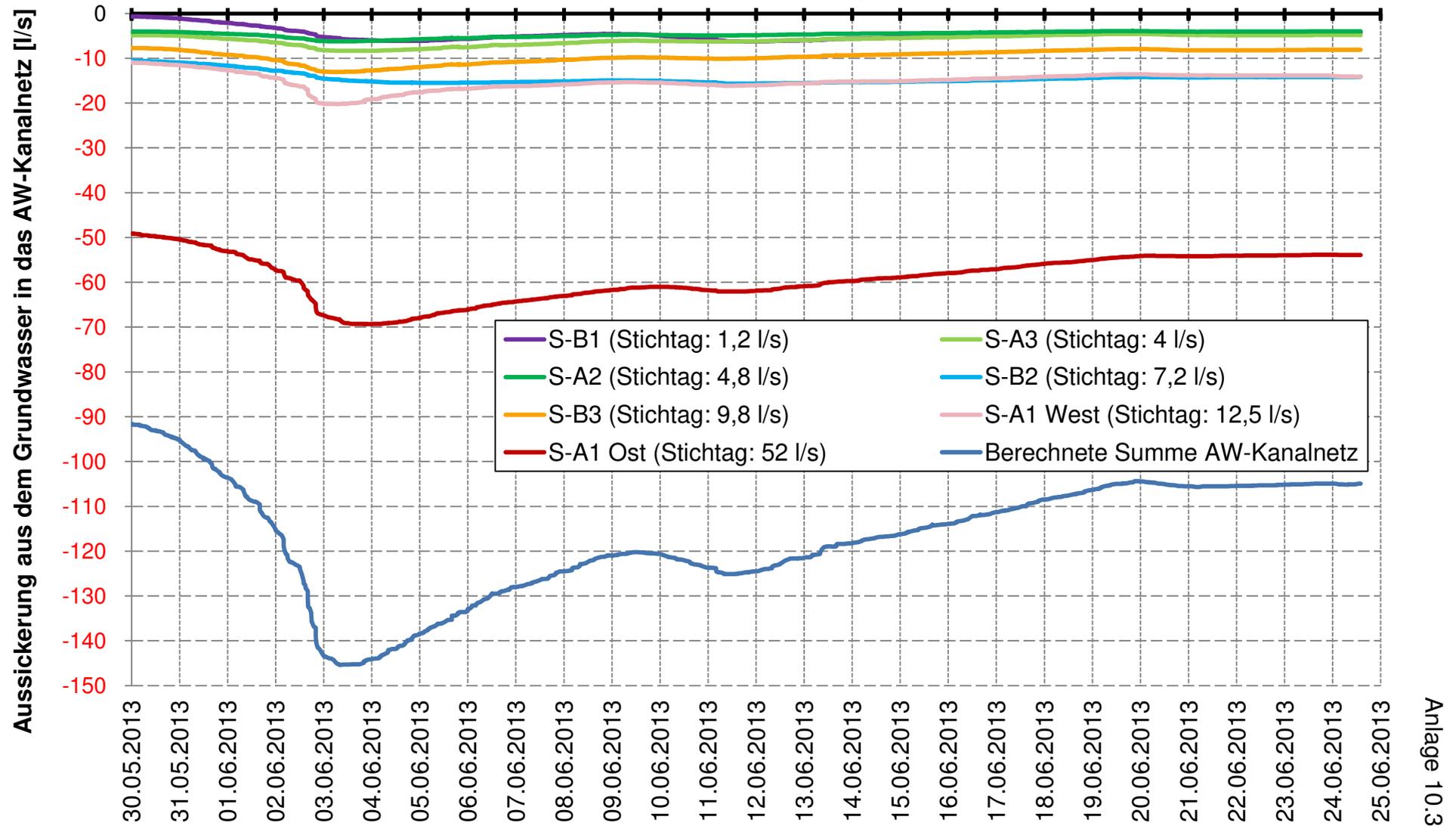
**Bilanzierte Gewässerabschnitte
- HW 2013 -**

M.: 1:60.000	August 2017	fgr1604936
--------------	-------------	------------

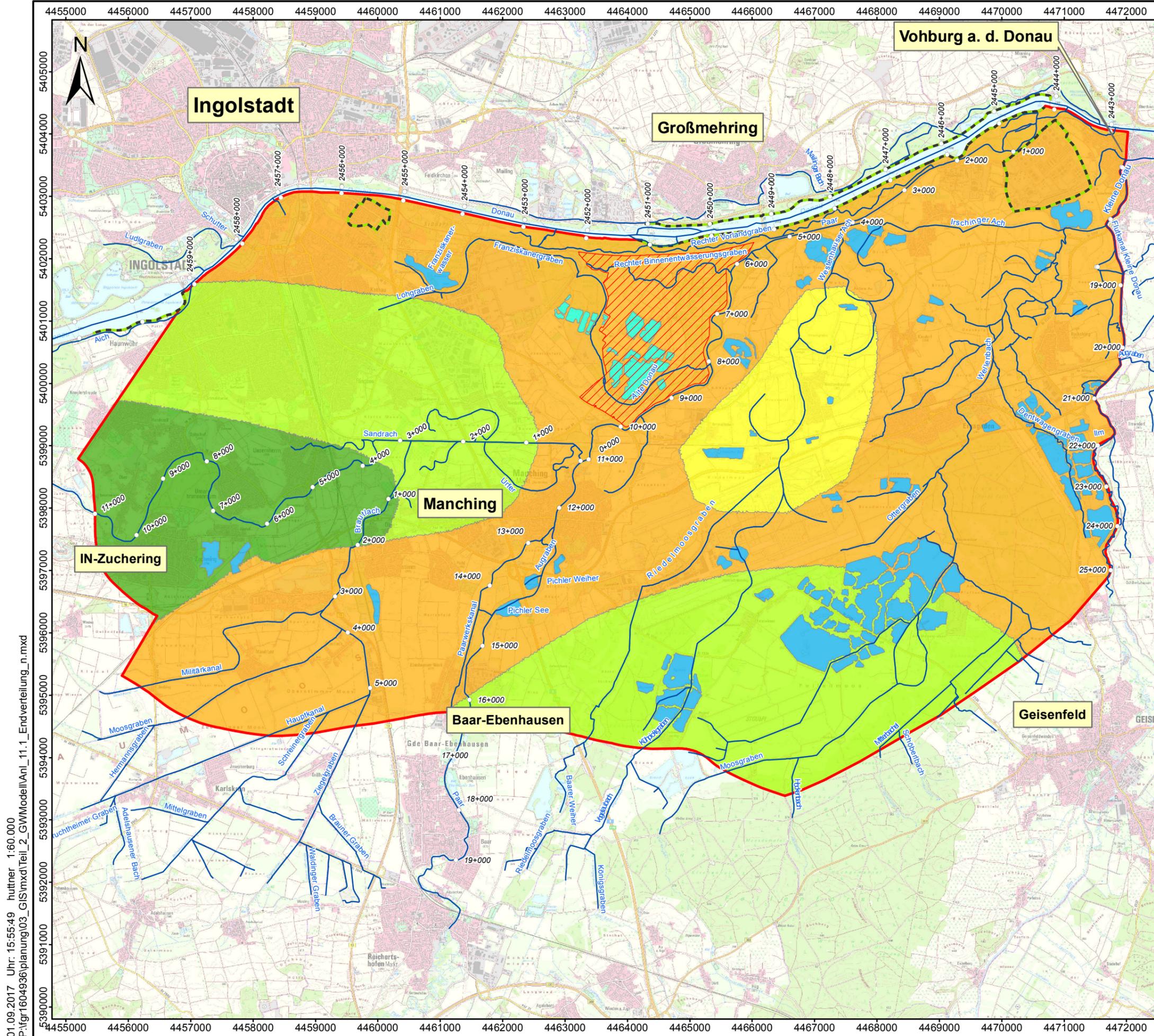
Instationäre Kalibrierung HW 2013 Berechneter Austausch mit Oberflächengewässern



Instationäre Kalibrierung HW2013 Berechneter Austausch zwischen dem Grundwasser und dem AW-Kanalnetz in Ingolstadt



Anlage 10.3

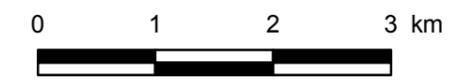


Zeichenerklärung

- Modellraum
- Geplanter Flutpolder Großmehring
- Bestehende Dichtwand (Einbindung bis in das Tertiär)
- 12+000 Flusskilometer

Nutzbarer Porenanteil

- 0,10
- 0,13
- 0,15
- 0,18
- 0,60
- 1,00



Koordinatensystem: DHDN 3 Degree Gauss Zone 4
 Datengrundlagen:
 © Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.lfu.bayern.de
 © Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt, www.wwa-ingolstadt.bayern.de
 Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung

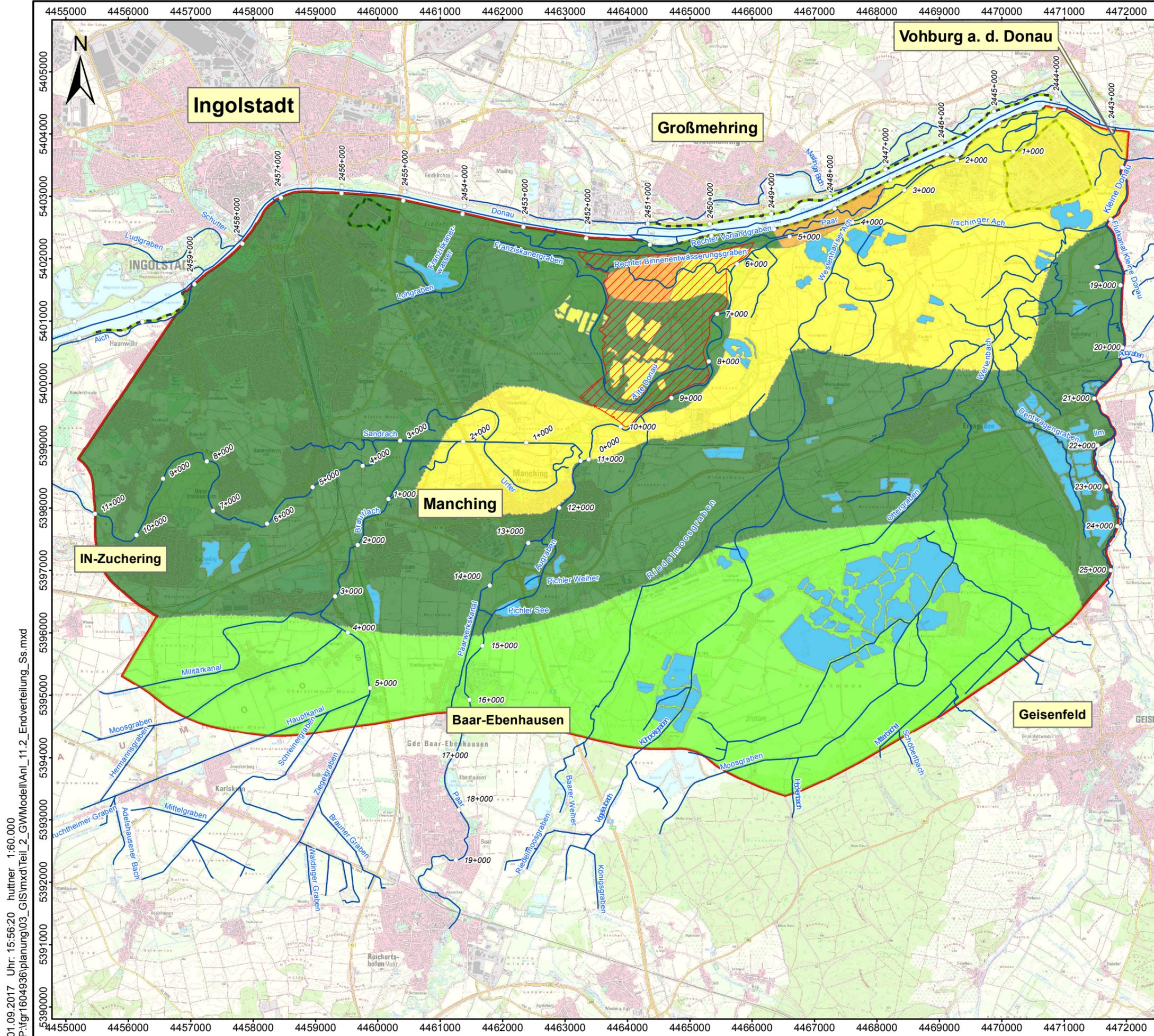
BCE

BJÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE

Endverteilung Modellparameter
- Nutzbarer Porenanteil -

M.: 1:60.000	August 2017	fgr1604936
--------------	-------------	------------

01.09.2017 Uhr: 15:55:49 hutfner 1:60.000 P:\fgr1604936\planung\03_GIS\mxd\Teil_2_GWM\modell\Anl_11.1_Endverteilung_n.mxd

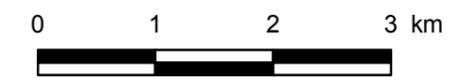


Zeichenerklärung

- Modellraum
- Geplanter Flutpolder Großmehring
- Bestehende Dichtwand (Einbindung bis in das Tertiär)
- Flusskilometer

Spezifischer Speicherkoeffizient [-]

- 0,001
- 0,003
- 0,01
- 0,02
- 1



Koordinatensystem: DHDN 3 Degree Gauss Zone 4
 Datengrundlagen:
 © Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.lfu.bayern.de
 © Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt, www.wwa-ingolstadt.bayern.de
 Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung

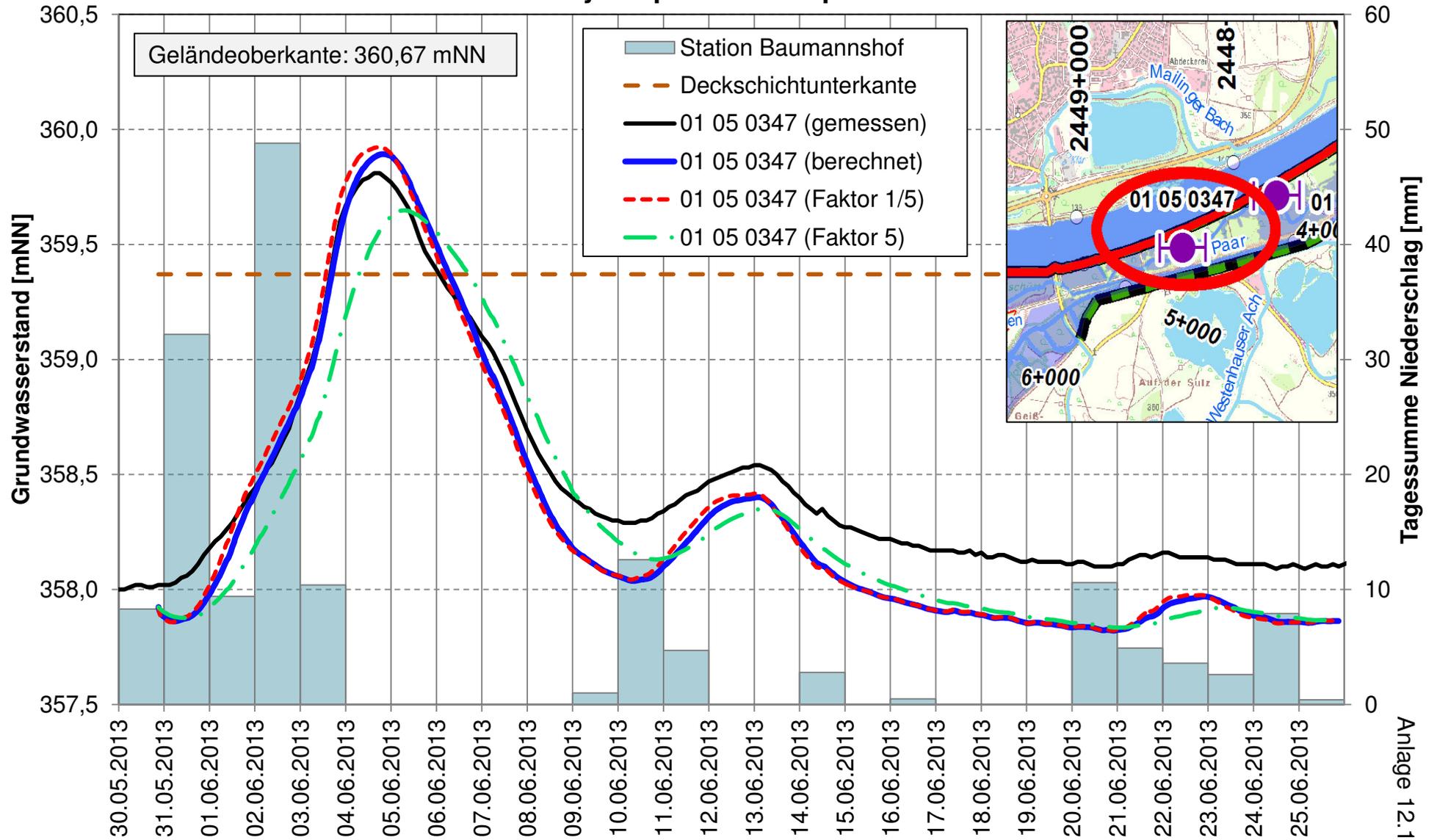
BJÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE

Endverteilung Modellparameter
- Spezifischer Speicherkoeffizient -

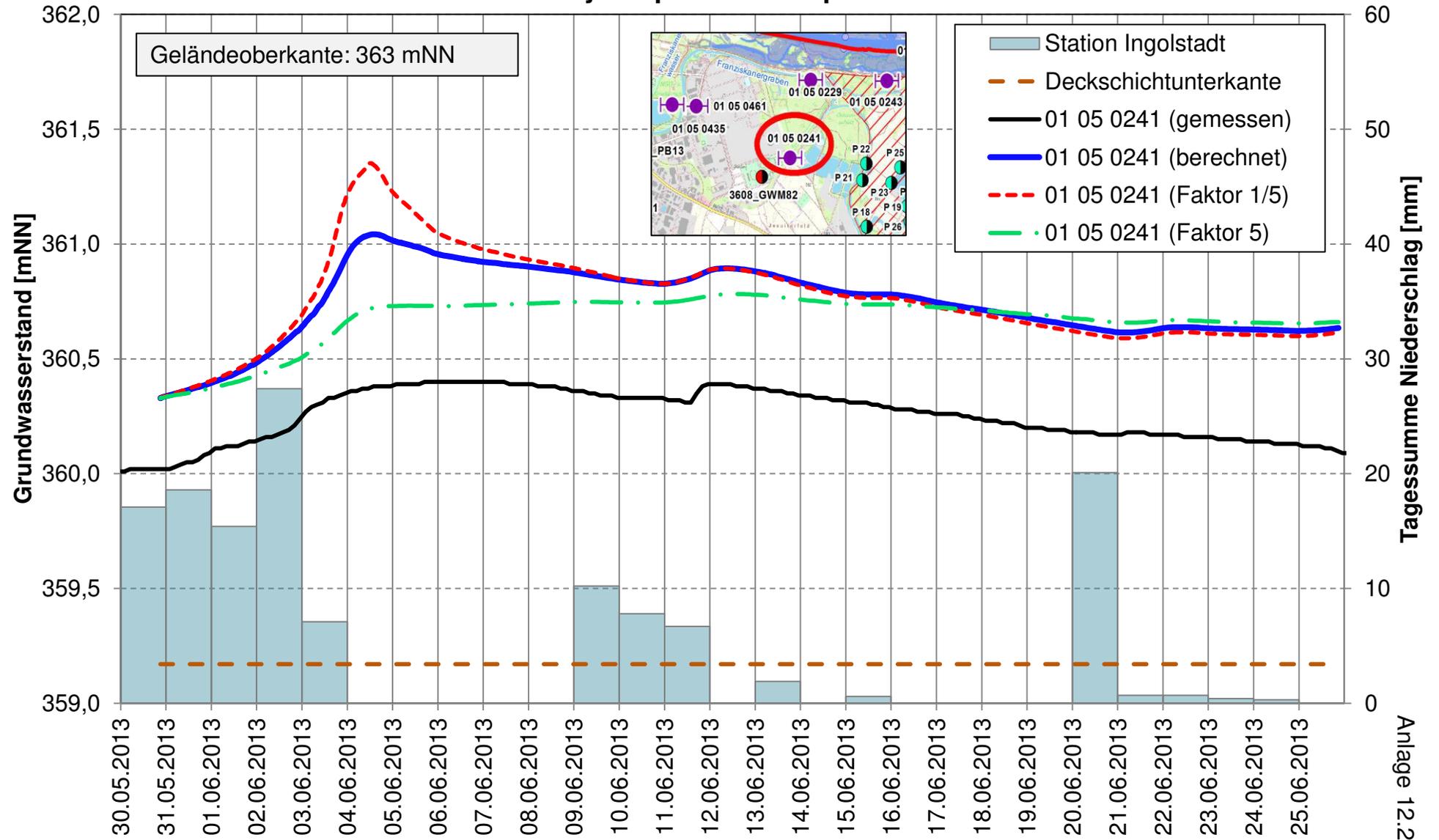
M.: 1:60.000	August 2017	fgr1604936
--------------	-------------	------------

01.09.2017 Uhr: 15:56:20 huttner 1:60.000 P:\fgr1604936\planing\03_GIS\mxd\Teil_2_GWM\modell\Anl_11.2_Endverteilung_Ss.mxd

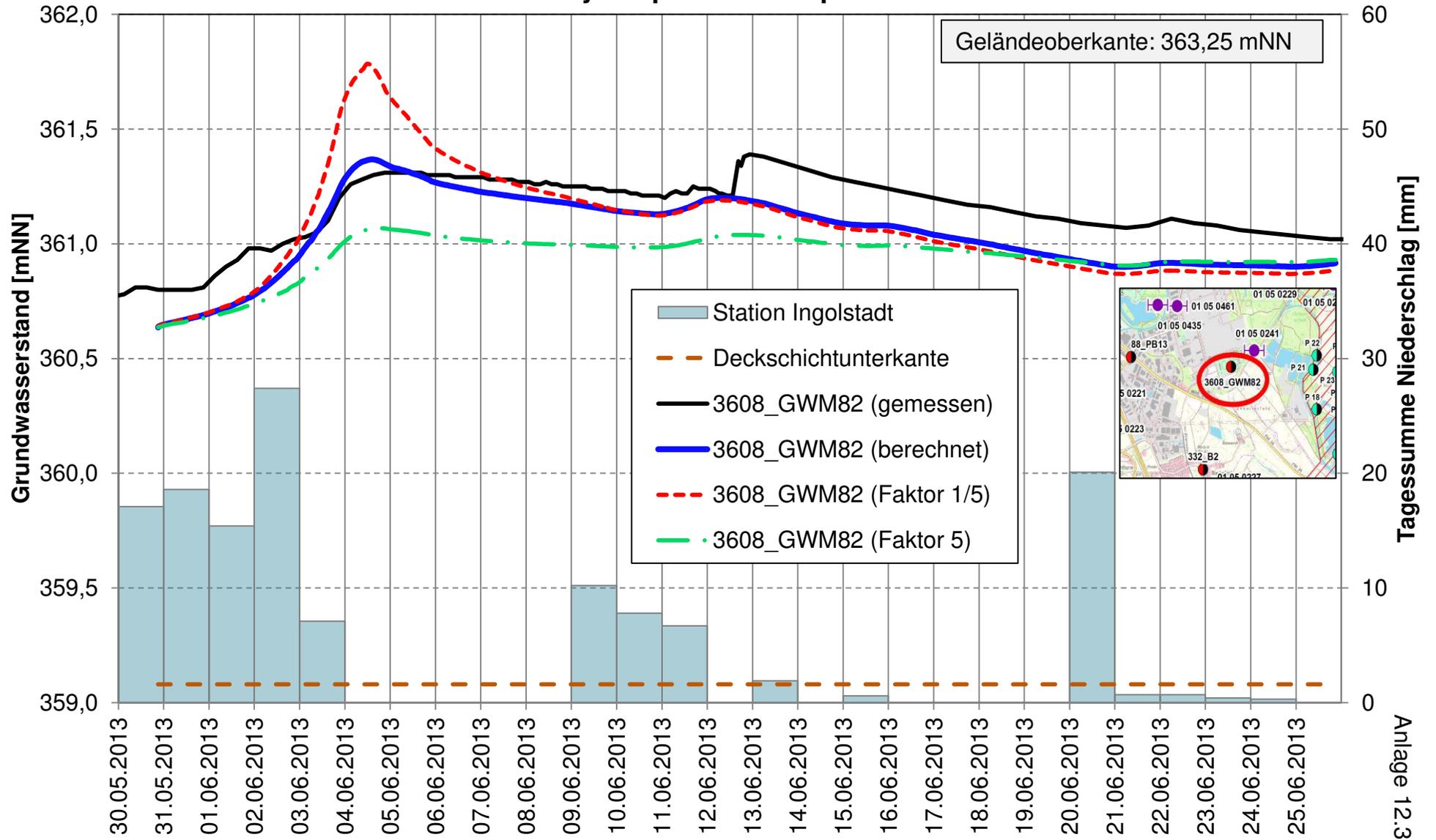
Instationäre Kalibrierung HW 2013 - Sensitivitätsanalyse Spezifischer Speicherkoeffizient -



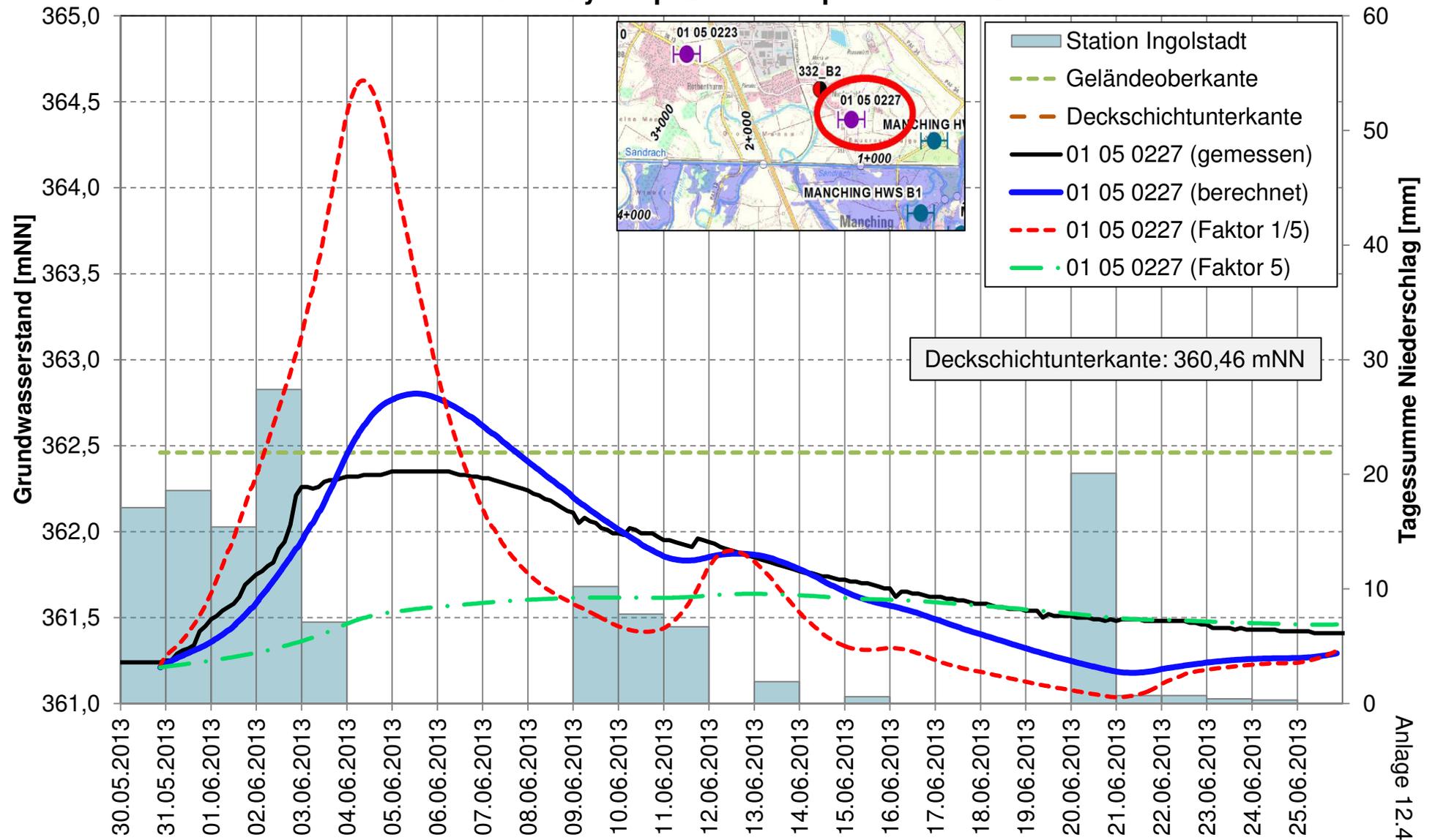
Instationäre Kalibrierung HW 2013 - Sensitivitätsanalyse Spezifischer Speicherkoeffizient -



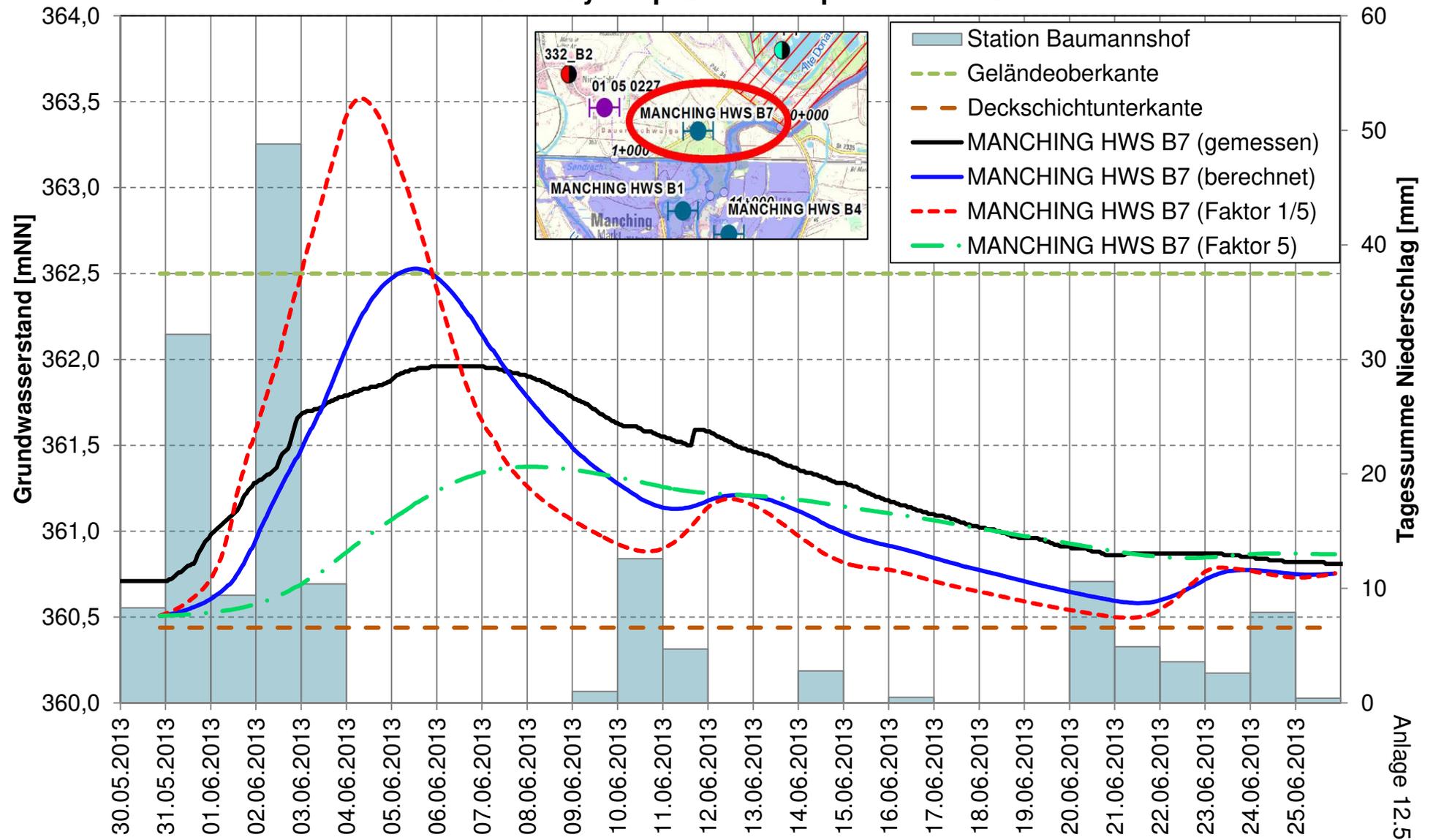
Instationäre Kalibrierung HW 2013 - Sensitivitätsanalyse Spezifischer Speicherkoeffizient -



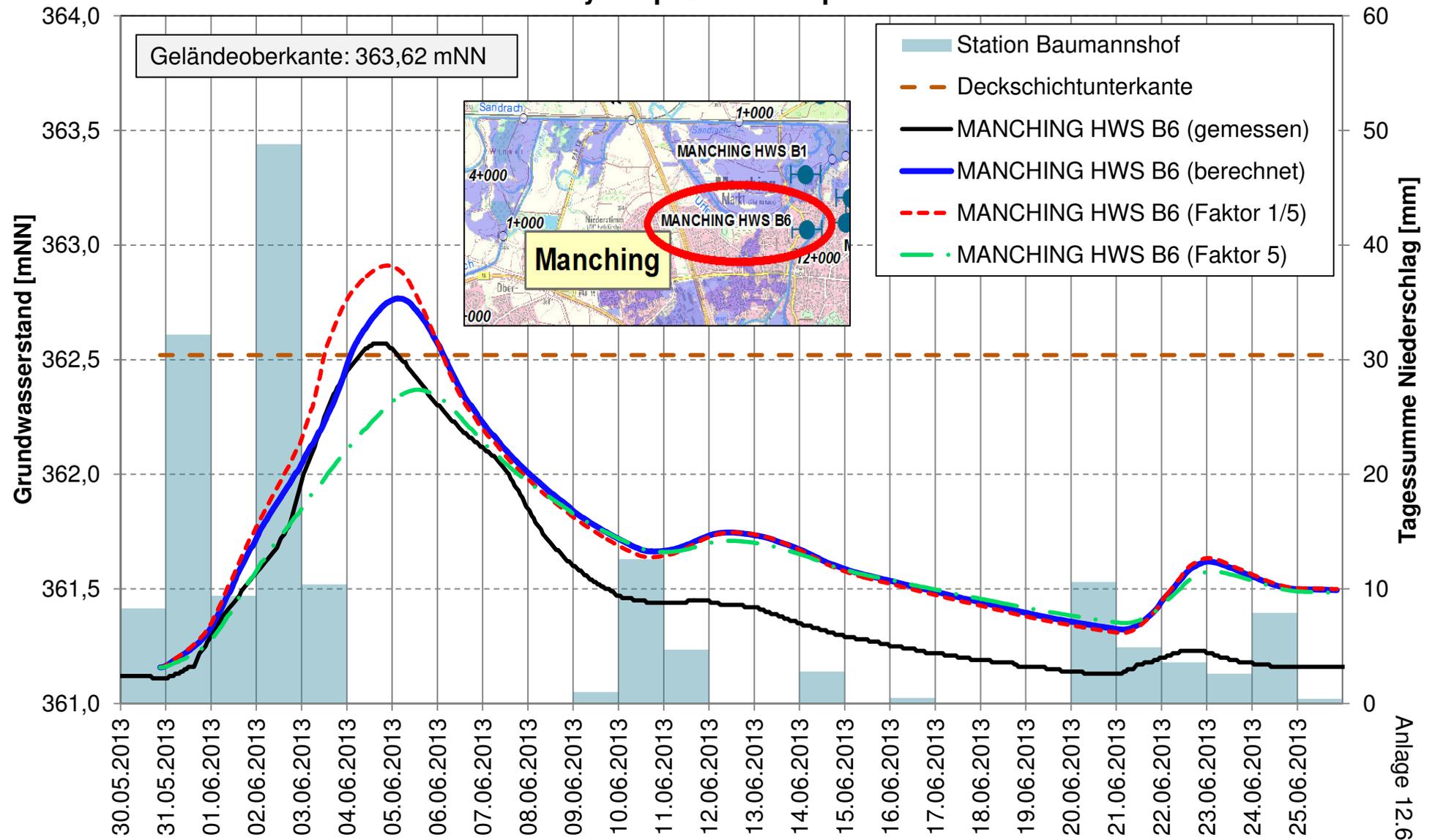
Instationäre Kalibrierung HW 2013 - Sensitivitätsanalyse Spezifischer Speicherkoeffizient -



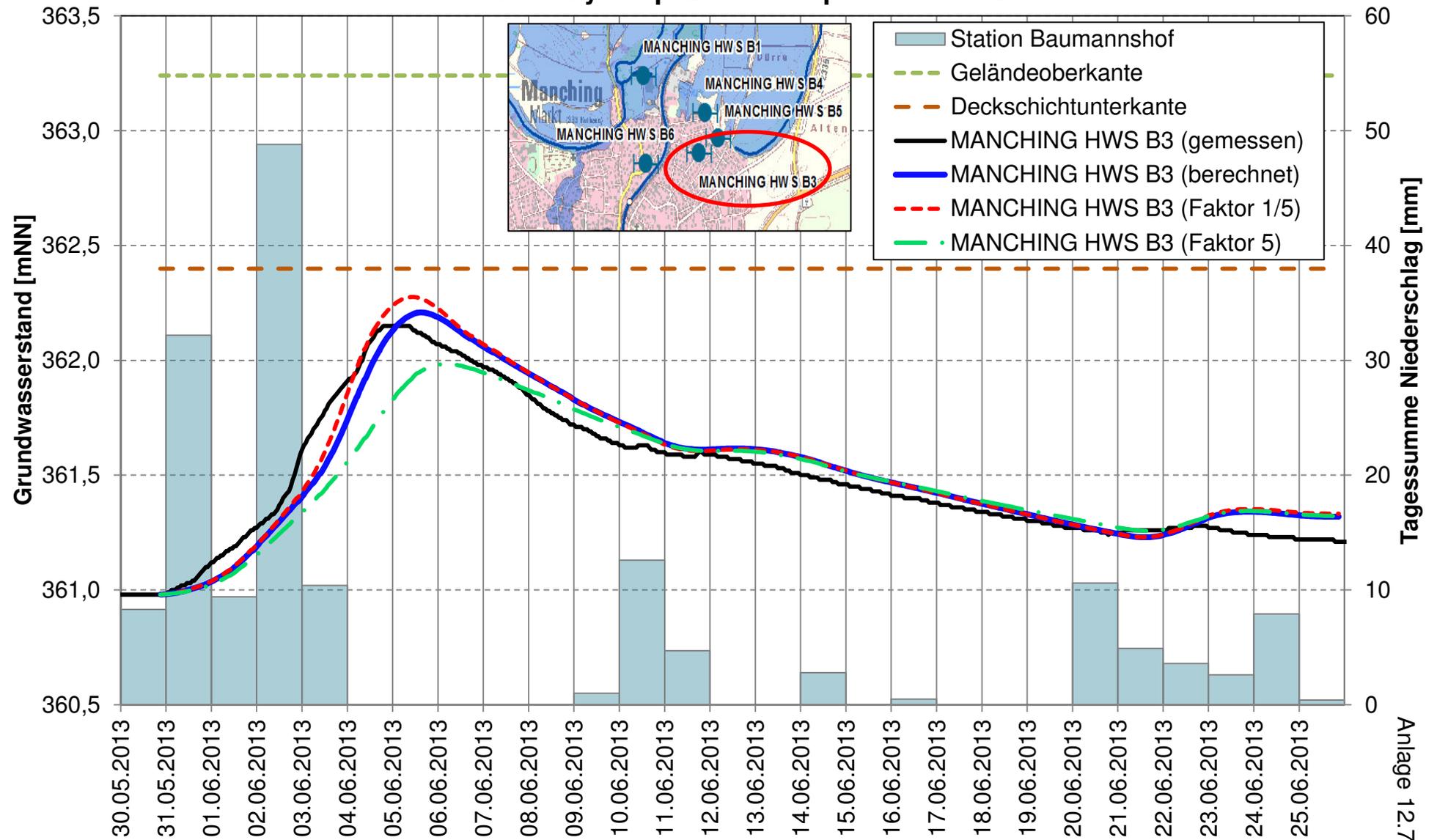
Instationäre Kalibrierung HW 2013 - Sensitivitätsanalyse Spezifischer Speicherkoeffizient -



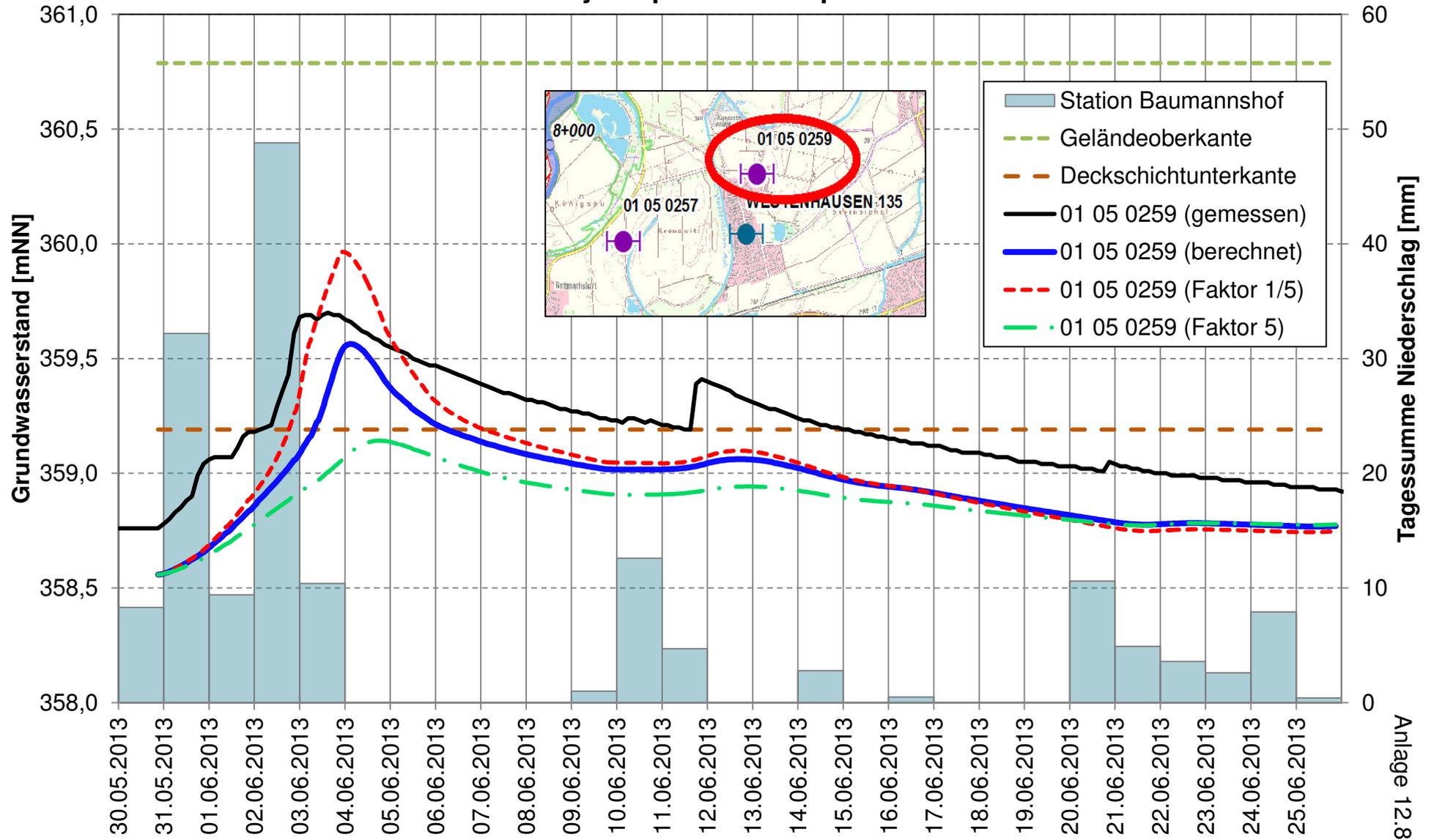
Instationäre Kalibrierung HW 2013 - Sensitivitätsanalyse Spezifischer Speicherkoeffizient -



Instationäre Kalibrierung HW 2013 - Sensitivitätsanalyse Spezifischer Speicherkoeffizient -



Instationäre Kalibrierung HW 2013 - Sensitivitätsanalyse Spezifischer Speicherkoeffizient -



Instationäre Kalibrierung HW 2013 - Sensitivitätsanalyse Spezifischer Speicherkoeffizient -

