



Wasserwirtschaftsamt  
Donauwörth



# HOCHWASSERRÜCKHALTEBECKEN BURGAU

- Genehmigungsplanung -

## Anlage 10.2 Grundwassermodell

**Teil 2: Aufbau und Anpassung des Grundwassermodells**

**- Datenstand: 30. Mai 2015 -**

Vorhabensträger:  
Wasserwirtschaftsamt Donauwörth  
Donauwörth, den 1. Dezember 2017

Ralph Neumeier, Ltd. Baudirektor

aufgestellt:  
Björnsen Beratende Ingenieure GmbH  
Augsburg, im November 2017

Dr.-Ing. Michael Probst

**BCE**

**BJÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE**

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

Dezember 2016  
Knö/Sin/bur1013036

## Inhaltsverzeichnis

<b>Erläuterungsbericht</b>		<b>Seite</b>
1	Vorgehensweise	1
2	Aufbau des numerischen Grundwassermodells	1
3	Modellanpassung	1
3.1	Stationäre Modellanpassung	1
3.1.1	Stichtag 24./25.05.2011 (1. Stationäre Anpassung)	1
3.1.2	Mittelwert März 2011 bis Dezember 2014 (2. Stationäre Anpassung)	8
3.2	Sensitivitätsberechnungen	15
3.2.1	Sensitivitätsuntersuchung „ $k_f$ -Werte“	16
3.2.2	Sensitivitätsuntersuchung „Durchlässigkeit der Gewässersohlen“	18
3.2.3	Sensitivitätsuntersuchung „Grundwasserneubildung und Randzustrom“	20
3.2.4	Gesamtbewertung der Sensitivitätsuntersuchungen	22
3.3	Instationäre Modellanpassung (Hochwasser 2013)	22
3.3.1	Verfügbare Messdaten	22
3.3.2	Randbedingungen für das Grundwassermodell	26
3.3.3	Untersuchungsschritte	32
3.3.4	Ergebnisse der schrittweisen Anpassung	33
3.3.5	Endverteilung Modellparameter	47
3.3.6	Gesamtbewertung	48

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>Seite</b>
Abbildung 1: Differenzen zwischen gemessenen und berechneten Grundwasserständen, stationäre Anpassung an die Stichtagsmessung vom 24./25.05.2011 – Endfall (Ausschnitt)	8
Abbildung 2: Gemessene Grundwasserstände an den Messstellen 09928 und 09943 im Zeitraum 2011/2014, im Vergleich zur Stichtagsmessung am 24/25.05.2011	9
Abbildung 3: Gemessene Grundwasserstände an der Messstellen 09957 im Zeitraum 2011 bis 2014	13
Abbildung 4: Mindel (Pegel Offingen), Kammel (Pegel Remshart), Abflüsse HW 2013	23
Abbildung 5: Gemessene Grundwasserstände beim HW 2013 – GWM südlich Burgau	24
Abbildung 6: Eingangsdaten aus dem 2D-WSP-Modell (maximale Überflutung HW2013)	27
Abbildung 7: Gemessene Grundwasserstände an der GWM 09933, Tagesniederschlag an der Station Haldenwang (LfL)	30
Abbildung 8: Zuflüsse infolge Grundwasserneubildung aus Niederschlag (Modellgebiet) und Tagessummen Niederschlag Station Haldenwang	30
Abbildung 9: Ableitung der instationären Grundwasserstände für den südlichen Modellrand	32
Abbildung 10: Gemessene Grundwasserstände GWM 09931, Berechnete Wasserstände an der Mindel, Tagesniederschlag an der Station Haldenwang (LfL)	35
Abbildung 11: Relative Änderung der Grundwasserstände an ausgewählten GWM im Gebiet östlich der Bahnlinie und Niederschlag Station Haldenwang	41
Abbildung 12: Faktoren zur zeitlichen Veränderung des östlichen Randzuflusses	44
Abbildung 13: Regionalisierung des Speicherkoeffizienten für (teil-)gespannte Grundwasserverhältnisse (rot: 10 %, gelb: 0,2 %)	48

<b>Tabellenverzeichnis</b>		<b>Seite</b>
Tabelle 1:	Grundwasserbilanz	14
Tabelle 2:	Austausch Oberflächengewässer mit dem Grundwasserleiter	15
Tabelle 3:	Sensitivität $k_f$ -Werte – Abweichungen zwischen berechneten Grundwasserständen und Messwerten	17
Tabelle 4:	Sensitivität $k_f$ -Werte – Austausch Oberflächengewässer mit dem Grundwasserleiter	17
Tabelle 5:	Sensitivität Durchlässigkeit Gewässersohlen – Abweichungen zwischen berechneten Grundwasserständen und Messwerten	19
Tabelle 6:	Sensitivität Durchlässigkeit Gewässersohlen – Austausch Oberflächengewässer mit dem Grundwasserleiter	19
Tabelle 7:	Grundwasserneubildung / Randzufluss – Abweichungen zwischen berechneten Grundwasserständen und Messwerten	21
Tabelle 8:	Sensitivität Grundwasserneubildung / Randzufluss – Austausch Oberflächengewässer mit dem Grundwasserleiter	21
Tabelle 9:	Sondermessnetz HWS Burgau - Schwankungsbreite der Grundwasserstände während des HW 2013	25



## Anlagen

### Stationäres Grundwassermodell

- 1 Modellraum
- 2 Gegenüberstellung gemessener und berechneter Grundwasserstände  
Stichtagsmessung 24./25. Mai 2011 - Ausgangsfall
  - 2.1 Tabelle
  - 2.2 Diagramm
- 3 Gegenüberstellung gemessener und berechneter Grundwasserstände, Stichtags-  
messung 24./25. Mai 2011 - Endfall
  - 3.1 Tabelle
  - 3.2 Diagramm
- 4 Gegenüberstellung gemessener und berechneter Grundwasserstände, Mittelwert  
03/2011-12/2014 – Ausgangsfall
  - 4.1 Tabelle
  - 4.2 Diagramm
- 5 Gegenüberstellung gemessener und berechneter Grundwasserstände, Mittelwert  
03/2011-12/2014 – Endfall
  - 5.1 Tabelle
  - 5.2 Diagramm
  - 5.3 Gegenüberstellung gemessener Grundwasserstände und berechneter Grundwas-  
sergleichen
- 6 Endverteilung Modellparameter Anpassung Mittelwert 03/2011-12/2014
  - 6.1 Untergrunddurchlässigkeiten ( $k_f$ -Werte) im quartären Grundwasserleiter, Endvertei-  
lung
  - 6.2 Durchlässigkeit der Gewässersohlen (Leakage-Faktoren), Endverteilung
- 7 Sensitivitätsanalyse
  - 7.1 Sensitivitätsanalyse  $k_f$ -Werte, Berechnete Grundwasserspiegeldifferenzen
    - 7.1.1 Faktor 5
    - 7.1.2 Faktor 1/5
  - 7.2 Sensitivitätsanalyse Durchlässigkeit Gewässersohlen, Berechnete Grundwasser-  
spiegeldifferenzen
    - 7.2.1 Faktor 10
    - 7.2.2 Faktor 1/10
  - 7.3 Sensitivitätsanalyse Grundwasserneubildung / Randzufluss, Berechnete Grundwas-  
serspiegeldifferenzen
    - 7.3.1 + 25 %
    - 7.3.2 - 25 %

## **Instationäres Grundwassermodell – Anpassung Hochwasser Mai/Juni 2013**

- 8 Lageplan - Auswahl Messstellen für instationäre Anpassung HW 2013
- 9 Hochwasser der Mindel vom Juni 2013 in Burgau
  - 9.1 Nachrechnung Hochwasser Juni 2013 mit 2d-Modell
  - 9.2 Berechneter Wasserstand Mindel (2D-WSP-Modell) auf Höhe GWM 09931 und Zeitschritte Grundwassermodell
- 10 Gemessene und berechnete Grundwasserstände
  - 10.1 Schritt 1
  - 10.2 Schritt 2
  - 10.3 Schritt 3
- 11 Berechnung der Grundwasserneubildung mit dem Wasserhaushaltsmodell WHMOD
- 12 Nutzbare Feldkapazität der durchwurzelten Bodenzone (nFK100) – Endverteilung

## Abkürzungsverzeichnis

2d-Berechnung	Zweidimensionale hydrotechnische Berechnung
‰	Promille
%	Prozent
$\Delta h$	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
HW	Hochwasser
HWS	Hochwasserschutz
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

## Verwendete Unterlagen

- [1] Wasserwirtschaftsamt Donauwörth  
Hochwasserschutz Burgau, 2d-Wasserspiegelagenmodell (hydro\_as)  
Bestandsmodell zur Nachrechnung des HW aus dem Jahr 2013 im dwg-Format  
Neu-Ulm, Juni 2014  
Verfasser: Obermeyer PLANEN + BERATEN GmbH
- [2] Wasserwirtschaftsamt Donauwörth  
Hochwasserschutz Burgau, 2d-Wasserspiegelagenmodell  
Nachrechnung des Hochwassers der Mindel vom Juni 2013, Berechnungsergebnisse (SMS/HYDRO\_AS-Dateien)  
Neu-Ulm, September 2014  
Verfasser: Obermeyer PLANEN + BERATEN GmbH
- [3] Wasserwirtschaftsamt Donauwörth  
Hochwasserschutz Burgau, Berechnung Mittelwasserabfluss Mindel mit 2d-Modell, Berechnung der bei Mittelwasserabfluss relevanten Gewässer – Mindel, Erlenbach und Scheidgraben, Kurzdokumentation,  
Neu-Ulm, März 2015  
Verfasser: Obermeyer PLANEN + BERATEN GmbH
- [4] Wasserwirtschaftsamt Donauwörth  
Hochwasserrückhaltebecken Burgau  
Anlage 10.1 Grundwassermodell, Teil 1: Hydrogeologisches Modell (HGM)  
Augsburg, Juni 2015  
Verfasser: BjörnSEN Beratende Ingenieure GmbH
- [5] Wasserwirtschaftsamt Donauwörth  
Hochwasserrückhaltebecken Burgau  
Grundwassermodell – Berechnung der Grundwasserneubildung mit dem Wasserhaushaltsmodell WHMOD (siehe auch Anlage 11)  
Augsburg, Juli 2015  
Verfasser: BjörnSEN Beratende Ingenieure GmbH
- [6] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW) – Hrsg.  
Technische Regel – Arbeitsblatt DVGW W 107 (A)  
Aufbau und Anwendung numerischer Grundwassermodelle in Wassergewinnungsgebieten  
Februar 2016
- [7] Protokolle nachfolgender Besprechungen  
– 26. Februar 2013  
– 06. März 2014  
– 21. März 2014  
– 05. Februar 2015

## **1 Vorgehensweise**

Nachfolgend werden der Aufbau und die Anpassung des Grundwassermodells für die grundwasserhydraulischen Untersuchungen zum Hochwasserschutzkonzept für die Stadt Burgau beschrieben. Die wesentlichen Bearbeitungsschritte lassen sich wie folgt untergliedern:

- Aufbau des numerischen Grundwassermodells (Kap. 2)
- 1. Stationäre Anpassung an die Stichtagsmessung vom 24./25.05.2011 (Kap. 3.1.1)
- 2. Stationäre Anpassung an die mittleren Grundwasserstände im Zeitraum März 2011 bis Dezember 2014 (Kap. 3.1.2)
- Stationäre Sensitivitätsberechnungen auf Grundlage der 2. stationären Anpassung (Kap. 3.2)
- Instationäre Anpassung an das Hochwasser vom Juni 2013 (HW 2013) in Kap. 3.3.

## **2 Aufbau des numerischen Grundwassermodells**

Das numerische Modell wurde entsprechend den Vorgaben des Hydrogeologischen Modells (HGM) [4] aufgebaut. Die Abbildung der im HGM ermittelten Stratigrafie erfolgte durch ein einschichtiges Grundwassermodell, das den GWL im Quartär umfasst. Die Modellunterkante wird durch die Oberkante der Süßwassermolasse (Grundwasserhemmer) gebildet.

Die Ausdehnung des Modellgebietes (12 km<sup>2</sup>) ist aus Anlage 1 ersichtlich. Das Modellnetz (finite Differenzen) weist eine Auflösung von 10 m auf, hierdurch können auch kleinräumige Randbedingungen abgebildet werden. Das Grundwassermodell wurde mit dem Modellsystem MODFLOW unter der Benutzeroberfläche Groundwater Vistas (Version 6.78) erstellt.

## **3 Modellanpassung**

### **3.1 Stationäre Modellanpassung**

#### **3.1.1 Stichtag 24./25.05.2011 (1. Stationäre Anpassung)**

Die stationäre Anpassung des Grundwassermodells erfolgte entsprechend den im HGM abgeleiteten Vorgaben [4] zunächst auf Grundlage der Stichtagsmessung vom 24./25.05.2011. Zum Zeitpunkt der Auswertung lagen die Messreihen an den GWM des Sondermessnetzes bis einschließlich 13. Juli 2011 vor.

##### **3.1.1.1 Stationärer Ausgangsfall**

Vor Beginn der Kalibrierung wurden, auf Basis der im HGM abgeleiteten Vorgaben [4], folgende Randbedingungen und Parameter als Ausgangsverteilung festgelegt. Die Verifizierung dieser Ansätze erfolgte im Rahmen der Modellanpassung.

- Modelloberkante: wird im Modellraum durch die Unterkante der Deckschichten gebildet (Anlage 3.3 und 3.4 in [4]). Hierdurch wird der Wechsel von ungespannten zu gespannten Grundwasserverhältnissen erfasst.
- Modellunterkante: bildet die Basis des GWL Quartär (Anlage 3.6 in [4]).
- Modellgrenze im Osten und Westen: Übergang Mindeltal – tertiäres Hügelland  
Zuflussrandbedingung = Randzustrom aus den orohydrografischen Teileinzugsgebieten entsprechend der dort abgeleiteten Grundwasserneubildung.  
Osten: 57 l/s, Westen: 12 l/s
- Untergrunddurchlässigkeiten: Regionalisierte Verteilung im quartären GWL entsprechend Anlage 3.7 in [4]. Im Modell angesetzt wurde jeweils der Mittelwert der dort abgeleiteten  $k_f$ -Wert-Region, so dass sich eine Bandbreite von  $0,25 \cdot 10^{-3}$  m/s bis  $7,5 \cdot 10^{-3}$  m/s ergibt.
- Mittlere Grundwasserneubildung: im Modellraum als differenzierter flächenhafter Zufluss (im Bereich der Auelehme 2 l/(s km<sup>2</sup>), sonstiger Bereich: 5 l/(s km<sup>2</sup>)).
- Speicherkoeffizienten:
  - für freie Grundwasserverhältnisse: 20 %
  - für gespannte Grundwasserverhältnisse: 1 %
- Gewässer als Leakage-Randbedingung:
  - Mindel/Mindelkanal/Brühlmindel:  
Sohllagen und Gewässerbreite wurden aus der Bestandsvermessung vom September 2010 übernommen, zwischen den erfassten Querprofilen wurde linear interpoliert. Entsprechend wurde mit den bei der Bestandsvermessung erfassten Wasserständen verfahren. Im Bereich der Scheppacher Mühle (ca. Fl.km 15+000), die nicht in die Bestandsvermessung einbezogen wurde, lagen Informationen zu Sohlage und Wasserspiegel aus der Vermessung am Stichtag im Mai 2011 vor, so dass dort auf diese Daten zurückgegriffen werden konnte.  
Entsprechend den Festlegungen im HGM [4] wurde für diese Gewässer von einem Leakage-Faktor  $L = 1 \cdot 10^{-5}$  1/s als Ausgangsverteilung ausgegangen, was einer relativ offenen Sohle entspricht. Im Oberwasser der Wasserkraftanlagen an der Mindel (Scheppacher Mühle, Riedmühle) und am Mindelkanal ist aufgrund des Jahrzehnte langen Einstaus von einer weitgehenden Selbstdichtung der Gewässersohle auszugehen. In allen Abschnitten, in denen der Stauwasserspiegel höher als der Grundwasserspiegel liegt, wurde dort als Ausgangswert ein Leakage-Faktor von  $5 \cdot 10^{-7}$  1/s angesetzt.

- Bäche und Gräben (Erlenbach, Scheidgraben, Triebgraben, Haldenwanger Bach, Angerbach etc.):  
Wasserstand, Sohle und Gewässerbreite wurden aus der Vermessung am Stichtag im Mai 2011 übernommen und auf das Grundwassermodell übertragen, zwischen den Messpunkten wurde linear interpoliert. Lagen keine Informationen aus dieser Vermessung vor, wurde auf die Bestandsvermessung vom September 2010 zurückgegriffen. Für den Scheidgraben wurde entsprechend den Auswertungen in [4] ein Leakage-Faktor von  $L = 1 \cdot 10^{-3}$  1/s gewählt, für alle übrigen Gewässer wurde ein Leakage-Faktor von  $L = 1 \cdot 10^{-5}$  1/s angesetzt.
- An den sonstigen nicht durch Vermessungen erfassten Gräben wurde auf Grundlage der Beobachtungen bei den Ortsbesichtigungen ein vereinfachter Ansatz gewählt. Die Höhen wurden aus dem digitalen Höhenmodell (DHM) abgegriffen, der Wasserstand wurde durchgängig 0,15 m über der Sohle gewählt. Der Leakage-Faktor wurde dort ebenfalls mit  $L = 1 \cdot 10^{-5}$  1/s angesetzt.
- Grundwasserentnahmen: Bekannte Grundwasserentnahmen und Grundwassereinleitungen (Schluckbrunnen) wurden als Punktentnahmen bzw. Punktquellen angesetzt.
- Festpotentialrand am südlichen (457 mNN) und nördlichen (444 mNN) Modellrand im quartären Grundwasserleiter (abgeleitet aus Grundwassergleichenplan in [4], Anlage 4.5).
- Kein Zufluss über die Modellbasis. Der mögliche Mengenaustausch mit dem im Liegenden anstehenden Tertiär (Zu-/Abstrom) wird aufgrund der im Modellraum geringen Durchlässigkeit des Tertiärs vernachlässigt.

Die stationäre Modellanpassung (Modellkalibrierung) erfolgte auf Grundlage der Messergebnisse bei der Stichtagsmessung vom 24./25.05.2011 für den Ist-Zustand. Für die stationäre Modellanpassung wurden alle innerhalb des Modellraumes gelegenen GWM aus dem „Sondermessnetz HWS Burgau“ (30 GWM) sowie zusätzlich die beiden GWM P3 und P5 im südlichen Modellraum herangezogen (Lage siehe Anlage 1).

Für den Ausgangsfall (Parameterverteilung gemäß dem HGM) sind die ermittelten Ergebnisse in Anlage 2 zusammengestellt, sie werden dort mit den Messwerten der Stichtagsmessung vom 24./25.05.2011 verglichen. Anlage 2.1 enthält eine tabellarische Gegenüberstellung, in Anlage 2.2 sind die entsprechenden Ergebnisse grafisch veranschaulicht. Insgesamt ist festzustellen:

- Für 12 der berücksichtigten 32 GWM wird eine Abweichung zwischen berechneten und gemessenen Werten  $\leq \pm 0,25$  m ermittelt (d.h. rd. 40%). Die geringsten Abweichungen liegen bei  $\pm 0,15$  m.
- Die größte Abweichung ergibt sich für die zwischen Mindel und Brühlmindel gelegenen GWM 09948 (siehe Anlage 1), dort liegt der Berechnungswert um rd. 1,80 m höher als der gemessene Wert. An der GWM 09930 am östlichen Modellrand bei Haldenwang liegt der berechnete Grundwasserstand um 1,5 m tiefer als der Messwert.
- Die berechneten Werte liegen mehrheitlich höher als die Messwerte (im Mittel 0,23 m).
- Am östlichen Modellrand liegen die berechneten Werte überwiegend deutlich unter den gemessenen Werten (0,5 bis 1,5 m).

Aus der Berechnung des Ausgangsfalls ergeben sich folgende Schlussfolgerungen für das weitere schrittweise Vorgehen:

- Verringerung der Leakage-Faktoren an der Mindel zwischen Burgauer See (ca. Fl.km 14+300) und Abzweig Brühlmindel (ca. Fl.km 12+900), entlang des Mindelkanals im Stadtgebiet Burgau sowie im Abschnitt zwischen Straße GZ31 (ca. Fl.km 9+400) und Riedmühle (ca. Fl.km 10+900). Hierbei handelt es sich um Gewässerabschnitte mit potentieller Infiltration von Grundwasser in den Vorfluter unter mittleren hydrologischen Verhältnissen.
- Erhöhung der Leakage-Faktoren an der Mindel im Gewässerabschnitt beginnend bei der Scheppacher Mühle (ca. Fl.km 15+100) bis zur A8 (ca. Fl.km 14+300), im Abschnitt zwischen Mündung Brühlmindel (ca. Fl.km 11+750) und Straße GZ31 (ca. Fl.km 10+900) sowie in der gesamten Brühlmindel. Hierbei handelt es sich um Gewässerabschnitte mit potentieller Exfiltration von Grundwasser in den Vorfluter unter mittleren hydrologischen Verhältnissen.
- Erhöhung der Leakage-Faktoren der Gewässersohlen an den meisten Gräben.
- Anpassung der Untergrunddurchlässigkeiten am östlichen Modellrand im Bereich der GWM 09930 und GWM 09928.
- Überprüfung möglicher Ursachen für die o.a. hohen Abweichungen an GWM 09948 und GWM 09930.

### 3.1.1.2 Stationäre Modellanpassung

Vor dem Hintergrund der festgestellten Abweichungen zwischen Messung und Berechnung wurden innerhalb der im HGM festgelegten Grenzen schrittweise Änderungen der Modellparameter und wiederholte Modellberechnungen mit Auswertung der Ergebnisse vorgenommen. Als wesentliche Bearbeitungsschritte sind zu nennen:

- Anpassung der räumlichen Verteilung der Untergrunddurchlässigkeiten ( $k_f$ -Werte) am östlichen Modellrand. Das Bohrprofil der GWM 09930 zeigt nur 2 m Kies und darüber 4,4 m Feinsand. Die Messstelle ist nur im Kies verfiltert. Die Auswertung des PV ergab



je nach berücksichtigter Mächtigkeit des GWL einen  $k_f$ -Wert zwischen  $5 \cdot 10^{-5}$  m/s bis  $1,7 \cdot 10^{-3}$  m/s. Auf Grundlage der Ergebnisse der stationären Modellanpassung erfolgte dort eine Verbreiterung der am Talrand definierten  $k_f$ -Region „ $1 \cdot 10^{-4}$  m/s bis  $1 \cdot 10^{-5}$  m/s“ bis zur GWM 09930 und weiter zur GWM 09228 (siehe auch Anlage 6.1).

Im Bereich der GWM 09939, am nordöstlichen Modellrand, weist das Bohrprofil unterhalb der torfigen Deckschichten überwiegend sandige bis stark sandige Kiese auf (Basis quartärer GWL: 438,5 mNN). Als Ursache für die dort relativ hohen gemessenen Grundwasserstände wird ein steilerer Anstieg der Quartärbasis im Umfeld dieser GWM vermutet. Daher erfolgte dort eine Modifizierung der Quartärbasis mit einem Anstieg östlich der GWM 09939 bis auf 441 mNN.

- Verringerung der Leakage-Faktoren an folgenden Oberflächengewässern:
  - Erlenbach im Abschnitt südlicher Modellrand bis auf Höhe Mündung Brühlmindel in Mindel von  $L = 1 \cdot 10^{-5}$  1/s auf  $L = 5 \cdot 10^{-6}$  1/s
  - Beide Gräben unmittelbar östlich des Erlenbaches von  $L = 1 \cdot 10^{-5}$  1/s auf  $L = 5 \cdot 10^{-6}$  1/s
  - Mindel im Abschnitt Burgauer See bis Abzweig Brühlmindel von  $L = 1 \cdot 10^{-5}$  1/s auf  $L = 1 \cdot 10^{-6}$  1/s
  - Mindel im Abschnitt Mindelkanal westlich der Brühlmindel bis zum Kraftwerk von  $L = 1 \cdot 10^{-5}$  1/s auf  $L = 1 \cdot 10^{-7}$  1/s
  - Mindel im Gewässerabschnitt, der zwischen Mindelkanal und Brühlmindel liegt (Mindel an der Bleiche) bis zum Kraftwerk von  $L = 1 \cdot 10^{-5}$  1/s auf  $L = 1 \cdot 10^{-7}$  1/s
  - Mindel im Abschnitt zwischen Straße GZ31 und nördlichem Modellrand von  $L = 1 \cdot 10^{-5}$  1/s auf  $L = 1 \cdot 10^{-6}$  1/s
  
- Beibehaltung der Leakage-Faktoren an folgenden Oberflächengewässern:
  - Scheidgraben  $L = 1 \cdot 10^{-3}$  1/s
  - Grabensystem am südwestlichen Modellrand bis Mündung in Mindel auf Höhe des Eisstadions  $L = 1 \cdot 10^{-5}$  1/s
  - Graben östlich der Scheppacher Mühle  $L = 1 \cdot 10^{-5}$  1/s
  - Graben nördlich des Triebgrabens am südöstlichen Modellrand  $L = 1 \cdot 10^{-5}$  1/s
  - Mindel im Abschnitt südlicher Modellrand bis auf Höhe des Burgauer Sees  $L = 1 \cdot 10^{-5}$  1/s
  - Mindel im Gewässerabschnitt, der zwischen Mindelkanal und Brühlmindel liegt (Mindel an der Bleiche) bis zum Kraftwerk  $L = 1 \cdot 10^{-5}$  1/s

- Erhöhung der Leakage-Faktoren an folgenden Oberflächengewässern:
  - Mindel im Abschnitt beginnend bei der Scheppacher Mühle bis zur A8 (westlicher der beiden Stränge) von  $L = 1 \cdot 10^{-5}$  1/s auf  $L = 1 \cdot 10^{-3}$  1/s
  - Brühlmindel von  $L = 1 \cdot 10^{-5}$  1/s auf  $L = 5 \cdot 10^{-4}$  1/s
  - Mindel im Abschnitt zwischen Mündung Brühlmindel und Straße GZ31 von  $L = 1 \cdot 10^{-5}$  1/s auf  $L = 1 \cdot 10^{-4}$  1/s
  - Mindelkanal und Gewässerabschnitt zwischen Brühlmindel und Mindelkanal (Mindel an der Bleiche) jeweils im Unterwasser der Kraftwerke von  $L = 1 \cdot 10^{-5}$  1/s auf  $L = 1 \cdot 10^{-4}$  1/s
  - Erlenbach im Abschnitt Höhe Mündung Brühlmindel in Mindel bis nördlicher Modellrand von  $L = 1 \cdot 10^{-5}$  1/s auf  $L = 1 \cdot 10^{-4}$  1/s
  - Gesamtes Grabensystem östlich des Scheidgrabens (Ausnahme: Graben nördlich Triebgraben, s.o.) von  $L = 1 \cdot 10^{-5}$  1/s auf  $L = 1 \cdot 10^{-4}$  1/s
  - Krautgartengraben und Graben am nordwestlichen Modellrand von  $L = 1 \cdot 10^{-5}$  1/s auf  $L = 1 \cdot 10^{-4}$  1/s

Während der Modellanpassung zeigte sich, dass die im Ausgangsfall festgestellten höheren Abweichungen von ca. 0,4 m bis ca. 0,9 m, an den zwischen Brühlmindel und Bahnlinie gelegenen Grundwassermessstellen (GWM 09946, GWM 09947, GWM 09929), durch die vorstehend aufgeführten Anpassungen nur teilweise reduziert werden konnten. Die berechneten Grundwasserstände lagen dort weiterhin um ca. 0,4 m bis ca. 0,6 m höher als der entsprechende Messwert der betrachteten Stichtagsmessung.

Zusätzlich durchgeführte Sensitivitätsbetrachtungen zeigten (siehe hierzu auch Kap. 3.2), dass diese weiterhin bestehenden Abweichungen voraussichtlich nicht auf hydrogeologische oder hydrologische Einflussgrößen zurück zu führen sind.

In Abstimmung mit dem WWA Donauwörth wurden daher mögliche anthropogene Einflussgrößen für die festgestellten Abweichungen überprüft und bewertet. Auf Grundlage der verfügbaren Daten und Informationen ergaben sich folgende Schlussfolgerungen:

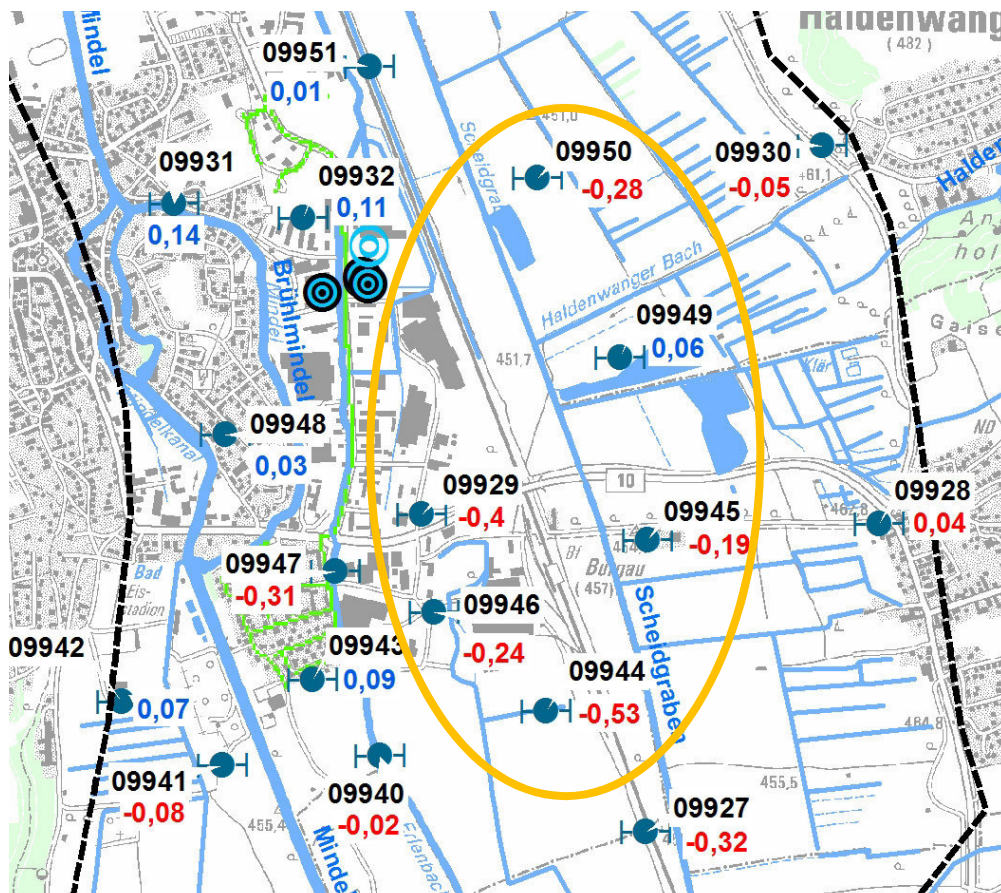
- Die im genannten Bereich bekannten Grundwasserentnahmen (FA. ROMA, Fa. Frey) sind in Anbetracht der bewilligten Entnahmemengen (Fa. Frey max. 113.000 m<sup>3</sup>/a; Fa. ROMA max. 65.600 m<sup>3</sup>/a) und unter Berücksichtigung, dass es sich bei der Fa. ROMA um eine Grundwasserentnahme zu Heiz- und Kühlzwecken handelt, bei der erfahrungsgemäß eine überwiegende Reinfiltration des geförderten Grundwassers in den Grundwasserleiter erfolgt, als Ursache auszuschließen.
- Die Sohle des AW-Kanalnetzes der Stadt Burgau liegt bereits bei mittleren hydrologischen Verhältnissen gebietsweise tiefer als der Grundwasserspiegel. Somit ist eine Exfiltration von Grundwasser ins Kanalnetz prinzipiell möglich. Die verfügbaren und in [4] ausgewerteten Kanalsohlen wurden daher in das Grundwassermodell übernom-

men, zwischen den einzelnen Schächten wurde linear interpoliert. Es wurden die i.d.R. tiefer liegenden Schachtsohlen der Schmutzwasserschächte berücksichtigt. Die Durchlässigkeit des Kanalnetzes wurde mit einem Leakage-Faktor von  $L = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ 1/s}$  angesetzt. Als Orientierungswert für die Höhe der möglichen Austrittsmenge in das AW-Kanalnetz dienten Angaben der Stadt Burgau. Für das Jahr 2012 wurden  $425 \text{ m}^3/\text{d}$  (entsprechend  $5 \text{ l/s}$ ) angegeben [4].

Für den Anpassungsfall „Stichtagsmessung 24./25.05.2015“ sind die unter Berücksichtigung der vorstehenden Schlussfolgerungen ermittelten Ergebnisse in Anlage 3 zusammengestellt, sie werden dort mit den Messwerten der Stichtagsmessung vom 24./25.05.2011 verglichen. Anlage 3.1 enthält eine tabellarische Gegenüberstellung, in Anlage 3.2 sind die entsprechenden Ergebnisse grafisch veranschaulicht. Insgesamt ist festzustellen:

- Für 25 der 32 betrachteten GWM wird eine Abweichung zwischen berechneten und gemessenen Werten  $\leq \pm 0,25 \text{ m}$  ermittelt (d.h. rd. 80%).
- Die berechneten Werte liegen im Mittel um  $0,03 \text{ m}$  höher als die Messwerte.
- Im Bereich der geplanten Hochwasserschutzmaßnahmen liegt weitestgehend eine gute Übereinstimmung zwischen berechneten und gemessenen Werten vor.
- An 7 GWM werden noch Abweichungen von  $>\pm 0,25 \text{ m}$  festgestellt. Dies betrifft einerseits 2 GWM am nördlichen Modellrand (GWM 09957, GWM 09939), die im Hinblick auf die vorliegende Untersuchung von nachrangiger Bedeutung sind. Zudem gilt dies für 4 GWM die zwischen Erlenbach und Bahnlinie, am östlichen Bebauungsrand von Burgau liegen (GWM 09927, 09929, GWM 09944, GWM 09947). Dort liegen die berechneten Grundwasserstände noch um ca.  $0,3 \text{ m}$  bis  $0,5 \text{ m}$  höher als die Messwerte der Stichtagsmessung. (s. orangefarbene Markierung in Abbildung 1).
- Die Aussickerung in das erfasste AW-Kanalnetz wurde im Grundwassermodell zu rd.  $40 \text{ l/s}$  ermittelt. Diese Menge ist um den Faktor 8 größer als die von der Stadt Burgau angegebene Menge von  $5 \text{ l/s}$ .

Insgesamt ergibt sich eine überwiegend gute Anpassung an die Stichtagsmessung, mit etwas größeren Abweichungen von bis zu ca.  $0,5 \text{ m}$  in dem in Abbildung 1 dargestellten Bereich. Mit der im Rahmen der Modellanpassung ermittelten Parameterverteilung werden die Messwerte dort durch die Modellberechnung etwas überschätzt.



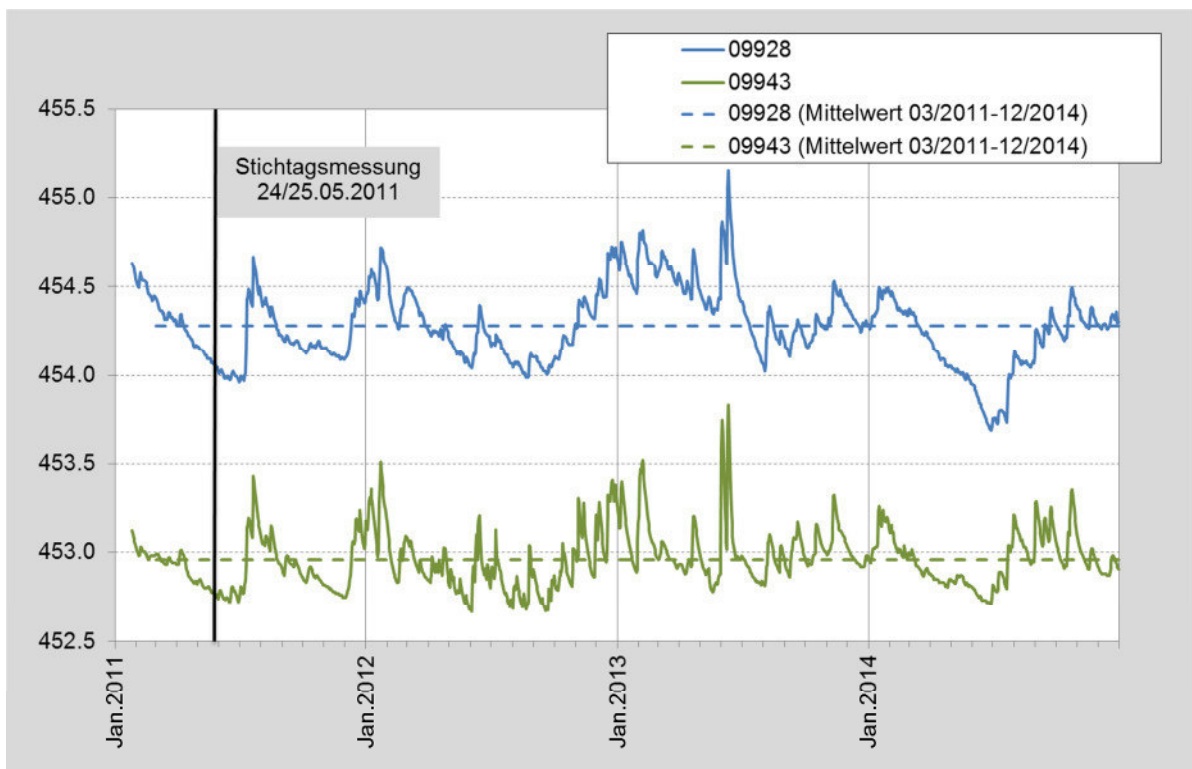
**Abbildung 1: Differenzen zwischen gemessenen und berechneten Grundwasserständen, stationäre Anpassung an die Stichtagsmessung vom 24./25.05.2011 – Endfall (Ausschnitt)**

### 3.1.2 Mittelwert März 2011 bis Dezember 2014 (2. Stationäre Anpassung)

#### 3.1.2.1 Stationärer Ausgangsfall

Seit Durchführung der Stichtagsmessung im Mai 2011 lagen zwischenzeitlich für mehrere Jahre Messreihen an den GWM des „Sondermessnetz HWS Burgau“ vor. Vor diesem Hintergrund wurde in Abstimmung mit dem WWA Donauwörth eine 2. Stationäre Anpassung durchgeführt. Diese diente zur weiteren Absicherung (Vergleichsanpassung) der 1. Stationären Anpassung, insbesondere an den GWM, die sich in Abbildung 1 innerhalb des hervorgehobenen Bereiches befinden.

Für die 2. Stationäre Anpassung wurden die mittleren Grundwasserstände im Zeitraum März 2011 bis Dezember 2014 herangezogen. Es wurden alle 30 GWM des „Sondermessnetz HWS Burgau“ berücksichtigt.



**Abbildung 2: Gemessene Grundwasserstände an den Messstellen 09928 und 09943 im Zeitraum 2011/2014, im Vergleich zur Stichtagsmessung am 24/25.05.2011**

In Abbildung 2 sind für diesen Zeitraum die Grundwasserstandsganglinien an 2 ausgewählten GWM (09928 (N3), 09943 (BK\_14/08)) zusammen mit den zugehörigen Mittelwerten dargestellt. Hieraus wird auch ersichtlich, dass die Wasserspiegel der in Kapitel 3.1.1 betrachteten Stichtagsmessung im Mai 2011 tiefer liegen als der mehrjährige Mittelwert. Die Stichtagsmessung vom 24./25. Mai ist somit durch unterdurchschnittliche Grundwasserstände gekennzeichnet ist. Zudem ist erkennbar, dass die Stichtagsmessung in einer Phase mit fallenden Grundwasserständen lag, wodurch auch instationäre Einflüsse zum Tragen kommen können.

Die für den Zeitraum der 2. Stationären Anpassung (Mittelwert März 2011/ Dezember 2014) maßgebenden Wasserspiegellagen an Mindel/Brühlmindel und an den bei Mittelwasserabfluss relevanten Nebengewässern (Erlenbach, Scheidgraben) wurden aus entsprechenden Berechnungen von OPB übernommen. Den Berechnungen liegen folgende Abflüsse an den einzelnen betrachteten Gewässern bzw. Gewässerabschnitten zugrunde [3]:

- Mindel bis Wildes Wehr: 9,5 m<sup>3</sup>/s
- Mindelkanal zwischen Wildem Wehr und Riedwehr: 9,2 m<sup>3</sup>/s
- Mindelkanal zwischen Riedwehr und Zusammenfluss Gewässerarme: 8,6 m<sup>3</sup>/s
- Abschlag aus Mindel in Brühlmindel: 0,3 m<sup>3</sup>/s

- |  |                        |
|--|------------------------|
| ➤ Abschlag aus Mindelkanal in Mindel an der Bleiche: | 0,6 m <sup>3</sup> /s  |
| ➤ Erlenbach (gesamt):                                | 0,33 m <sup>3</sup> /s |
| ➤ Scheidgraben (gesamt)                              | 0,15 m <sup>3</sup> /s |

Für den Ausgangsfall der 2. Stationären Anpassung sind die ermittelten Ergebnisse in Anlage 4 zusammengestellt, sie werden dort mit dem Mittelwert des Zeitraumes 03/2011 bis 12/2014 verglichen. Anlage 4.1 enthält eine tabellarische Gegenüberstellung, in Anlage 4.2 sind die entsprechenden Ergebnisse grafisch veranschaulicht. Insgesamt ist festzustellen:

- Für 20 der berücksichtigten 32 GWM wird eine Abweichung zwischen berechneten und gemessenen Werten  $\leq \pm 0,25$  m ermittelt (d.h. rd. 67%). Die geringsten Abweichungen liegen bei  $\pm 0,05$  m.
- Die größte Abweichung ergibt sich für die am nordöstlichen Modellrand liegende GWM 09939 siehe (siehe Anlage 1), dort liegen die Berechnungsergebnisse 1,14 m unter dem gemessenen Wert.
- Die berechneten Werte liegen zu 2/3 unter, zu 1/3 über den Messwerten. Im Mittel liegen die berechneten Werte um 0,12 m unter den Messwerten.

### 3.1.2.2 Stationäre Modellanpassung

Vor dem Hintergrund der festgestellten Abweichungen zwischen Messung und Berechnung wurden schrittweise Änderungen der Modellparameter innerhalb der im HGM festgelegten Grenzen und wiederholte Modellberechnungen mit Auswertung der Ergebnisse vorgenommen. Als wesentliche Bearbeitungsschritte sind zu nennen:

- Anpassung der räumlichen Verteilung der Untergrunddurchlässigkeiten ( $k_f$ -Werte, Endverteilung s. Anlage 6.1):
  - Reduzierung des  $k_f$ -Wertes am westlichen und östlichen Modellrand von  $2,5 \cdot 10^{-4}$  m/s auf  $2 \cdot 10^{-4}$  m/s
  - Einbau einer zusätzlichen  $k_f$ -Region im Bereich der Messstelle 09928 als Übergang zwischen östlichem Modellrand und zentralem Modellbereich mit einem  $k_f$ -Wert von  $5 \cdot 10^{-4}$  m/s
  - Einbau einer zusätzlichen  $k_f$ -Region im Nordwesten im Bereich der Messstelle 09957 bis nahe an die Messstelle 09934 mit einem  $k_f$ -Wert von  $6 \cdot 10^{-5}$  m/s. Damit Verringerung des bestehenden  $k_f$ -Wertes von  $2 \cdot 10^{-4}$  m/s. Die Pumpversuchsauswertung an dieser Messstelle lässt mit  $5 \cdot 10^{-6}$  m/s auf diesen niedrigeren  $k_f$ -Wert schließen.
  - Einbau einer zusätzlichen  $k_f$ -Region im Nordosten im Bereich der Messstelle 09939 mit einem  $k_f$ -Wert von  $1 \cdot 10^{-4}$  m/s. Damit auch hier Verringerung des  $k_f$ -Wertes.

- Das Kanalnetz wird um die im November 2014 zusätzlich durchgeführte Einmessung der Kanalnetzsohlen erweitert (s. [4]). Zwischen den Schächten wird linear interpoliert.
- Anpassung des Leakage-Faktors des Kanalnetzes: Verringerung des Leakage-Faktors von  $2,5 \cdot 10^{-5}$  m/s auf  $2,5 \cdot 10^{-6}$  m/s für den Süd-Nord verlaufenden Hauptstrang und den östlich verlaufenden Nebenstrang. Das Kanalnetz westlich der Messstelle 09947 wird weiterhin mit einem Leakage-Faktor von  $2,5 \cdot 10^{-5}$  m/s abgebildet. Die aus dem Grundwasser in das Kanalnetz austretende Menge wurde zu 11 l/s ermittelt.
- Anpassung der Ausdehnung der Nassauskiesungsflächen auf Grundlage aktueller Luftbilder.
- Anpassung der Leakage-Faktoren folgender Gewässerabschnitte:
  - Mindel im Abschnitt Mindelkanal westlich der Brühlmindel bis zum Kraftwerk  
von  $L = 1 \cdot 10^{-7}$  1/s auf  $L = 5 \cdot 10^{-7}$  1/s
  - Mindel im Gewässerabschnitt, der zwischen Mindelkanal und Brühlmindel liegt (Mindel an der Bleiche) bis zum Kraftwerk  
von  $L = 1 \cdot 10^{-5}$  1/s auf  $L = 5 \cdot 10^{-7}$  1/s
  - Mindelkanal und Gewässerabschnitt zwischen Brühlmindel und Mindelkanal (Mindel an der Bleiche) jeweils nach den Kraftwerken  
von  $L = 1 \cdot 10^{-4}$  1/s auf  $L = 5 \cdot 10^{-4}$  1/s
  - Brühlmindel  
von  $L = 1 \cdot 10^{-3}$  1/s bzw.  $5 \cdot 10^{-3}$  1/s  
auf  $L = 1 \cdot 10^{-4}$  1/s
  - Graben unmittelbar östlich des Erlenbaches am südlichen Modellrand  
von  $L = 5 \cdot 10^{-6}$  1/s auf  $L = 1 \cdot 10^{-6}$  1/s

Für den Anpassungsfall „Mittelwert 03/2011 bis 12/2014“ sind die ermittelten Ergebnisse in Anlage 5 zusammengestellt, sie werden dort mit den gemessenen Messwerten des Zeitraums 03/2011 bis 12/2014 verglichen. Anlage 5.1 enthält eine tabellarische Gegenüberstellung, in Anlage 5.2 und 5.3 sind die entsprechenden Ergebnisse grafisch veranschaulicht. Insgesamt ist festzustellen:

- Für 23 der GWM wird eine Abweichung zwischen berechneten und gemessenen Werten  $\leq \pm 0,25$  m ermittelt (d.h. rd. 77%).
- Die berechneten Werte liegen im Mittel 0,06 m niedriger als die Messwerte.
- Im Bereich der geplanten Hochwasserschutzmaßnahme liegt eine gute Übereinstimmung zwischen berechneten und gemessenen Werten vor.

Im Vergleich zur stationären Anpassung an den Stichtag 24./25.05.2011 ist folgendes festzustellen:

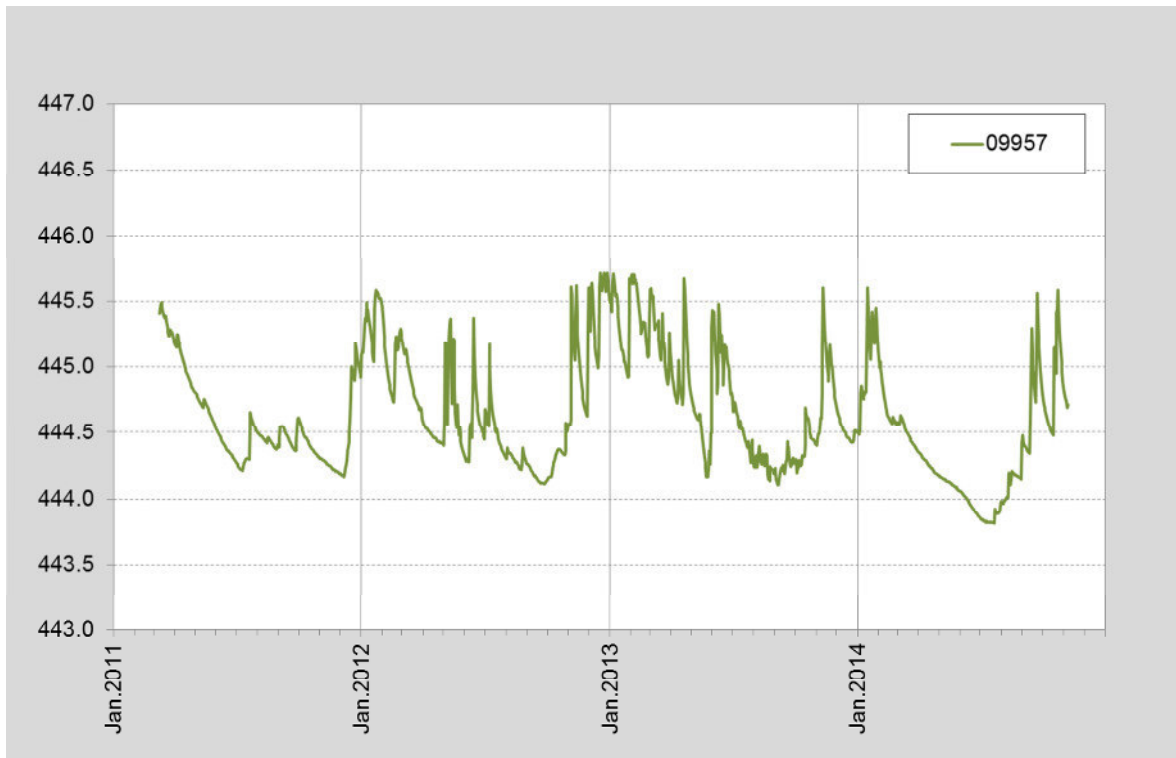
- Der prozentuale Anteil der GWM mit einer Abweichung zwischen berechneten und gemessenen Werten  $\leq \pm 0,25$  m bleibt etwa gleich.

- Der Mittelwert der Abweichungen hat sich von -0,03 m auf 0,06 m um 0,03 m verschlechtert.
- Die Standardabweichung der Differenzen zwischen berechneten und gemessenen Werten hat sich von 0,25 m auf 0,18 m verbessert.
- Die maximalen Abweichungen haben sich von 0,92 m auf 0,47 m bzw. von -0,53 m auf -0,27 m verringert.

Die größten Abweichungen sind an folgenden Messstellen vorzufinden (s. auch Anlagen 5.2 und 5.3):

- GWM 09939: Die Abweichung zwischen gemessenem und berechnetem Grundwasserstand von 0,47 m ist vermutlich darauf zurück zu führen, dass im Umfeld der Messstelle eine geringere Aquifermächtigkeit und/oder eine geringere Durchlässigkeit vorzufinden ist. Aufgrund der großen Entfernung zu den geplanten Hochwasserschutzmaßnahmen ist dieser Modellbereich von untergeordneter Bedeutung.
- GWM 09931: Die ermittelte Abweichung von 0,31 m ist darauf zurück zu führen, dass die Wasserspiegellagen aus der 2D-Berechnung in der Brühlmindel auf Höhe der GWM bei 448,62 mNN liegt. Aufgrund der unmittelbaren Korrespondenz zum Vorfluter liegt der berechnete Wert an der GWM ebenso bei 448,62 mNN, der gemessene Mittelwert hingegen bei 448,93 mNN. Der tatsächliche Wasserspiegel im Berechnungszeitraum lag vermutlich höher als das Ergebnis aus der 2D-Berechnung.
- GWM 09957: Die GWM weist aufgrund des Pumpbetriebes beim nahen Kiesabbau stark schwankende Grundwasserstände auf (s. Abbildung 3). Die Abweichung zwischen gemessenem und berechnetem Grundwasserstand liegt bei 0,28 m. Das betroffene Gebiet ist aufgrund der Lage im nordwestlichen Randbereich des Modells von untergeordneter Bedeutung.
- 09947 (GWM II (Lidl)) und 09935 (N10): Die Abweichungen zwischen gemessenem und berechnetem Grundwasserstand liegt bei -0,28 m bzw. bei 0,28 m. Die betroffenen GWM liegen im Bereich der Bebauung der Stadt Burgau. Hier sind vermutlich lokale Einflüsse durch Wechselwirkungen mit dem Abwasserkanalnetz für die Abweichungen verantwortlich. Der Zustand des Abwasserkanalnetzes und die tatsächliche Aussickerung (Trockenwetterabfluss) sind dort nicht bekannt. Im Bereich der GWM 09931 (N10) lagen zudem keine Informationen über den Verlauf des Kanalnetzes vor.





**Abbildung 3: Gemessene Grundwasserstände an der Messstellen 09957 im Zeitraum 2011 bis 2014**

Die mittlere absolute Abweichung zwischen berechneten und gemessenen Werten, an den im Rahmen der stationären Anpassung berücksichtigten 30 GWM (Anlage 5.1) wurde zu 0,15 m ermittelt. Die maximale Differenz der im Modellraum gemessenen Grundwasserstände beträgt 11,1 m (09926: 455,53 mNN; 09954: 444,43 mNN). Der Quotient aus beiden Größen wird als mittlerer relativer Fehler bezeichnet, er ergibt sich somit zu  $0,15 \text{ m} / 11,1 \text{ m} = 0,013 = 1,3 \%$ .

Gemäß den technischen Regeln DVGW W 107 (A) [6] wird bei einem mittleren relativen Fehler von unter 5% von einer guten, **unter 1% von einer sehr guten stationären Modellanpassung** gesprochen.

Die Grundwasserbilanz für die stationäre Anpassung an den mittleren Grundwasserständen im Zeitraum 03/2011 bis 12/2014 ist aus Tabelle 1 ersichtlich.

**Tabelle 1: Grundwasserbilanz**

<b>Bilanzterm Zustrom</b>	<b>Menge [l/s]</b>	<b>Bilanzterm Abstrom</b>	<b>Menge [l/s]</b>
Grundwasserneubildung Modellraum	40	Grundwasserentnahmen	6
Randzufluss aus dem orohydro- grafischen Einzugsgebiet	70	Aussickerung von Grundwasser in das Kanalnetz	11
Zustrom über den südlichen Modellrand	242	Abstrom über den nördlichen Modellrand	50
Infiltration Gewässer	423	Exfiltration Gewässer	708
<b>Summe Zustrom, rund</b>	<b>775</b>	<b>Summe Abstrom, rund</b>	<b>775</b>

Die Auswertung der Grundwasserbilanz lässt folgende Aussagen zu:

- Die größte Bilanzkomponente stellt erwartungsgemäß der Austausch mit den Oberflächengewässern dar. Einer berechneten Zusickerung von 423 l/s steht eine Aussickerung von 708 l/s gegenüber. Insgesamt ergibt sich hieraus eine Netto-Exfiltration, also Aussickerung von Grundwasser in die Gewässer, von 285 l/s.
- Über den südlichen Modellrand gelangen 242 l/s in das Grundwassermodell, über den nördlichen Modellrand fließen hingegen nur 50 l/s ab. Die im Modellgebiet verbleibenden 192 l/s werden vor allem von den Gewässern aufgenommen.
- Die Bilanzterme Grundwasserneubildung, Grundwasserentnahmen, Randzufluss sowie Zusickerung in das Kanalnetz spielen in der Gesamtbilanz nur eine untergeordnete Rolle.

Zur weiteren Veranschaulichung der Austauschvorgänge zwischen dem Grundwasserbereich und den Oberflächengewässern wurden die an den verschiedenen Gewässern berechneten Austauschmengen differenziert ausgewertet. Die in Tabelle 2 aufgeführten Werte geben den jeweiligen Nettobetrag für das Gewässer bzw. den Gewässerabschnitt wieder. In der Summe ergibt sich wiederum die o.a. Netto-Exfiltration von 285 l/s. Bei den ermittelten Austauschmengen handelt es sich um berechnete Werte.

**Tabelle 2: Austausch Oberflächengewässer mit dem Grundwasserleiter**

<b>Gewässer bzw. Gewässerabschnitt</b>	<b>Netto Infiltration (+) [l/s]</b>	<b>Netto-Exfiltration (-) [l/s]</b>
Mindel bis Abzweig Brühlmindel		- 69
Brühlmindel		-47
Mindel von Zusammenfluss Brühlmindel bis Modellrand		-145
Mindel bzw. Mindelkanal auf Höhe Brühlmindel	9	
Erlenbach	42	
Scheidgraben		-42
Grabensystem östlich Scheidgraben		-15
Grabensystem westlich Mindel im südwestlichen Modellraum		-15
Gräben zwischen Erlenbach und Scheidgraben		
Graben im nordwestlichen Modellraum		-3
Graben östlich Scheppacher Mühle	1	
<b>Summe (netto)</b>	<b>52</b>	<b>-337</b>

Da an den Gewässern keine Abflussmessungen über einen längeren Zeitraum entlang der Gewässerprofile vorlagen, können die Bilanzwerte nicht mit tatsächlichen Messwerten verglichen werden. Die am Stichtag 24./25.05.2015 durchgeführten Abflussmessungen können als Stichprobenmessung nicht als Vergleichswerte herangezogen werden.

Insgesamt ergibt sich hieraus für die stationäre Modellanpassung, dass an den verfügbaren GWM die mittleren Grundwasserstände im Anpassungszeitraum 3/2011 bis 12/2014 überwiegend gut nachgebildet werden. Die ermittelten Zusickerungen von Grundwasser in das Kanalnetz von 11 l/s liegen in etwa in der Größenordnung der von der Stadt Burgau angegebenen 5-6 l/s Fremdwasseranfall.

### 3.2 Sensitivitätsberechnungen

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 Eingangsparemtern reagieren.

Die Auswertung der Ergebnisse der durchgeführten Sensitivitätsberechnungen erfolgt jeweils im Vergleich zu den Ergebnissen im Bezugsfall der stationären Modellanpassung an den Mittelwert 03/2011 bis 12/2014 (s. Kapitel 3.1.2.2).

Die Sensitivitätsanalyse erfolgt für folgende Parameter:

- $k_f$ -Werte:  
Variation um den Faktor 5 bzw. 1/5, zur Verteilung der  $k_f$ -Werte der stationären Anpassung an den Mittelwert 03/2011 bis 12/2014 s. Anlage 6.1.
- Durchlässigkeit der Gewässersohlen (Leakage-Faktoren):  
Variation um den Faktor 10 bzw. 1/10, zur Verteilung der Durchlässigkeit der Gewässersohlen der stationären Anpassung an den Mittelwert 03/2011 bis 12/2014 s. Anlage 6.2
- Grundwasserneubildung

Ausgehend von der Neubildungsverteilung für mittlere Verhältnisse (Modellraum: 39 l/s) erfolgt eine Variation der Neubildung um  $\pm 25\%$ , entsprechend 49 l/s bzw. 29 l/s.

### 3.2.1 Sensitivitätsuntersuchung „ $k_f$ -Werte“

Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zur Variation der Untergrunddurchlässigkeiten ( $k_f$ -Werte) wurden zu Differenzen der berechneten Grundwasserstände gegenüber dem Bezugsfall (stationäre Modellanpassung Mittelwert 03/2011 bis 12/2014) ausgewertet. Die Ergebnisse sind in Anlage 7.1 dargestellt, und insgesamt ist festzustellen:

- Mit Ausnahme der Talränder ergeben sich überwiegend nur geringe Veränderungen.
- Eine Erhöhung der  $k_f$ -Werte um den Faktor 5 führt an der nördlichen Stadtrandgrenze von Burgau zu Absenkungen des Grundwasserstandes von bis zu 0,5 m und im Bereich der Brunnen Frey und ROMA zu einer Aufhöhung des Grundwasserstandes um 0,25 m (s. Anlage 7.1.1)
- Eine Verringerung der  $k_f$ -Werte um den Faktor 1/5 führt im Bereich der Brunnen Frey und ROMA zu einer Aufhöhung des Grundwasserstandes um bis zu 0,5 m. Die Aufhöhung von 0,25 m zieht sich vom nördlichen Stadtgebiet Burgau bis nach Norden.
- Die stärksten Veränderungen sind an den Talrändern festzustellen. Bei der Sensitivitätsberechnung mit dem Faktor 5 ergeben sich vor allem am östlichen Talrand mehrere Meter niedrigere Grundwasserstände. Beim Faktor 1/5 werden hier bereichsweise mehrere Meter höhere Grundwasserstände berechnet. Die starken Grundwasserstandsänderungen liegen in den Randbereichen mit geringer Aquifermächtigkeit und geringer Untergrunddurchlässigkeit.

Die für die betrachteten Sensitivitätsvarianten gegenüber den gemessenen Werten ermittelten Abweichungen sind in Tabelle 3 im Vergleich zum Ergebnis der stationären Modellanpassung an den Mittelwert 03/2011 bis 12/2014 (s. Kapitel 3.1.2.2) zusammen gestellt. Die der Modellanpassung zugrunde liegende Parameterverteilung der  $k_f$ -Werte ergibt das beste Ergebnis.

**Tabelle 3: Sensitivität  $k_f$ -Werte – Abweichungen zwischen berechneten Grundwasserständen und Messwerten**

Abweichung gegenüber den Messwerten [m]	Modellanpassung	Sensitivität Ausgangsverteilung x 5	Sensitivität Ausgangsverteilung x 1/5
Mittelwert Berechnung	0,06	0,37	-0,63
Standardabweichung Berechnung	0,18	0,62	1,43

Die berechneten Austauschmengen zwischen den Oberflächengewässern und dem Grundwasserbereich für die beiden betrachteten Sensitivitätsvarianten sind zusammen mit den entsprechenden Ergebnissen für die stationäre Anpassung in Tabelle 4 gegenüber gestellt.

**Tabelle 4: Sensitivität  $k_f$ -Werte – Austausch Oberflächengewässer mit dem Grundwasserleiter**

Gewässer bzw. Gewässerabschnitt Netto Infiltration (+) Netto Exfiltration (-)	Modellanpassung [l/s]	Sensitivität Ausgangsverteilung x 5	Sensitivität Ausgangsverteilung x 1/5
Mindel bis Abzweig Brühlmindel	-69	-485	-9
Brühlmindel	-47	-144	-24
Mindel von Zusammenfluss Brühlmindel bis Modellrand	-145	-341	-43
Mindel bzw. Mindelkanal auf Höhe Brühlmindel	9	14	6
Erlenbach	42	54	7
Scheidgraben	-42	77	-21
Grabensystem östlich Scheidgraben	-15	66	-56
Gräben zwischen Erlenbach und Scheidgraben	0	0	-1
Grabensystem westlich Mindel im südwestlichen Modellraum	-15	-17	-10
Graben im nordwestlichen Modellraum	-3	-2	-4
Graben östlich Scheppacher Mühle	1	1	1
<b>Summe (netto)</b>	<b>-285</b>	<b>-779</b>	<b>-154</b>

Hieraus ist ersichtlich, dass es bei der betrachteten Parameterbandbreite der Sensitivitätsberechnungen zu sehr starken Veränderungen in den Austauschmengen mit dem Grundwasser kommt. Die stärksten Veränderungen an der Mindel ergeben sich im Abschnitt südlicher Modellrand bis Abzweigung Brühlmindel. Die Netto-Exfiltration nimmt, im Verhältnis zu den Ergebnissen der Modellanpassung, bei einer Erhöhung der  $k_f$ -Werte um den Faktor 5, etwa um das Dreifache zu. Bei einer Verringerung der Durchlässigkeit um 1/5 halbiert sich die Netto-Exfiltration.

### 3.2.2 Sensitivitätsuntersuchung „Durchlässigkeit der Gewässersohlen“

Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zur Durchlässigkeit der Gewässersohlen (Faktor 10 und Faktor 1/10) sind wie folgt dargestellt:

- Differenzen der berechneten Grundwasserstände gegenüber dem Bezugsfall (stationäre Modellanpassung an Mittelwert 03/2011 bis 12/2014) in Anlage 7.2.
- Berechnete Abweichungen gegenüber den gemessenen Werten in Tabelle 5.
- Berechnete Austauschmengen zwischen Oberflächengewässern und dem Grundwasser in Tabelle 6.

Aus den beiden Anlagen 7.2.1 und 7.2.2 ist zu erkennen:

- Insgesamt sind infolge einer Erhöhung der Sohldurchlässigkeiten um eine Zehnerpotenz (Faktor 10) überwiegend nur sehr geringe Veränderungen festzustellen (s. Anlage 7.2.1). Lediglich im Nahbereich der Staustufen (Scheppacher Mühle, Abzweig Brühlmindel und Mindelkanal, Riedmühle) ergeben sich Aufhöhungen des Grundwasserstandes von bis zu 1,5 m. Zudem sind am östlichen Talrand Aufhöhungen sowie auch Absenkungen von bis zu 3 m zu beobachten. Hier reagiert der Talrand mit den geringen Aquifermächtigkeiten und geringen Durchlässigkeiten sehr sensibel auf die Erhöhung der Leakage-Werte.
- Bei einer Verringerung der Sohldurchlässigkeit um eine Zehnerpotenz (Faktor 1/10) sind die stärksten Veränderungen am östlichen Talrand zu beobachten. Hier werden im Südosten Absenkungen von bis zu 2 m berechnet. Am nordöstlichen Talrand sind sowohl Aufhöhungen als auch Absenkungen von bis zu 0,5 m zu verzeichnen. Im zentralen Modellgebiet nördlich der Stadt Burgau sowie im Oberwasser der Mindel kurz vor dem Abzweig der Brühlmindel sind Absenkungen von bis zu 0,5 m zu beobachten. Am südwestlichen Modellrand werden Aufhöhungen von bis zu 0,75 m berechnet.

Aus der Gegenüberstellung der berechneten Abweichungen gegenüber den gemessenen Werten in Tabelle 5 ist ersichtlich, dass die Ergebnisse der Sensitivitätsbetrachtungen etwas stärker von den Messwerten abweichen als der Anpassungszustand.

**Tabelle 5: Sensitivität Durchlässigkeit Gewässersohlen – Abweichungen zwischen berechneten Grundwasserständen und Messwerten**

Abweichung gegenüber den Messwerten [m]	Modellanpassung	Sensitivität Ausgangsverteilung x 10	Sensitivität Ausgangsverteilung x 1/10
Mittelwert Berechnung	0,06	-0,08	0,14
Standardabweichung Berechnung	0,18	0,28	0,26

Die berechneten Austauschmengen zwischen den Oberflächengewässern und dem Grundwasser für die beiden Sensitivitätsvarianten sind zusammen mit den entsprechenden Ergebnissen für die stationäre Anpassung in Tabelle 6 gegenüber gestellt.

**Tabelle 6: Sensitivität Durchlässigkeit Gewässersohlen – Austausch Oberflächengewässer mit dem Grundwasserleiter**

Gewässer bzw. Gewässerabschnitt Netto Infiltration (+) Netto Exfiltration (-)	Modellanpassung [l/s]	Sensitivität Ausgangsverteilung x 10	Sensitivität Ausgangsverteilung x 1/10
Mindel bis Abzweig Brühlmindel	-69	14	-96
Brühlmindel	-47	-98	-30
Mindel von Zusammenfluss Brühlmindel bis Modellrand	-145	-139	-43
Mindel bzw. Mindelkanal auf Höhe Brühlmindel	9	10	8
Erlenbach	42	28	5
Scheidgraben	-42	-70	-7
Grabensystem östlich Scheidgraben	-15	-24	-12
Gräben zwischen Erlenbach und Scheidgraben	0	-8	0
Grabensystem westlich Mindel im südwestlichen Modellraum	-15	-32	-3
Graben im nordwestlichen Modellraum	-3	-4	-3
Graben östlich Scheppacher Mühle	1	6	0
<b>Summe (netto)</b>	<b>-285</b>	<b>-318</b>	<b>-181</b>

Hieraus ist ersichtlich, dass es bei der betrachteten Parameterbandbreite der Sensitivitätsberechnungen zu deutlichen Veränderungen in den Austauschmengen der verschiedenen Gewässerabschnitte mit dem Grundwasser kommt. Bei einer Erhöhung der Durchlässigkeit der Gewässersohlen um den Faktor 10 nimmt die Netto-Exfiltration um etwa 10 % zu, bei einer Verringerung der Durchlässigkeit um den Faktor 1/10 nimmt die Netto-Exfiltration um etwa 35 % ab. Dies weist darauf hin, dass die bei der stationären Anpassung ermittelten Sohldurchlässigkeiten im oberen Bereich des plausiblen Parameterspektrums liegen.

### **3.2.3 Sensitivitätsuntersuchung „Grundwasserneubildung und Randzustrom“**

Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zur Variation der Grundwasserneubildung aus Niederschlag sowie des Randzustromes ( $\pm 25\%$ ) wurden wie folgt ausgewertet:

- In Anlage 7.3 als Differenz der berechneten Grundwasserspiegeldifferenzen gegenüber dem Bezugsfall (stationäre Modellanpassung Mittelwert 03/2011 bis 12/2014).
- In Tabelle 7 als Gegenüberstellung der gegenüber den gemessenen Werten ermittelten Abweichungen gegenüber dem Bezugsfall.
- In Tabelle 8 die aus der Variation der Grundwasserneubildung und des Randzuflusses resultierenden Austauschmengen zwischen den Oberflächengewässern und dem Grundwasser zusammen mit den entsprechenden Ergebnissen für den Bezugsfall.

Aus der Darstellung der berechneten Grundwasserspiegeldifferenzen in den Anlagen 7.3.1 und 7.3.2 ist zu erkennen:

- Infolge einer Erhöhung der Grundwasserneubildung und der Randzuflüsse um 25 % sind in weiten Teilen des Modellgebietes keine Veränderungen der Grundwasserstände festzustellen. Die größten Veränderungen werden am östlichen Talrand ermittelt, dort werden um bis zu 0,75 m höhere Grundwasserstände berechnet.
- Bei einer Verringerung der Grundwasserneubildung und der Randzuflüsse um 25 % ergeben sich ähnliche Veränderung mit umgekehrtem Vorzeichen, d.h. die Grundwasserstände liegen an den o.a. Talrändern um bis zu 0,5 bis 0,75 m tiefer.

Aus den in Tabelle 7 zusammen gestellten, berechneten Abweichungen gegenüber den gemessenen Werten ist ersichtlich, dass eine Zunahme von Grundwasserneubildung und Randzufluss um 25 % die Anpassung des Mittelwertes etwas verbessert, die Standardabweichung jedoch größer wird. Eine Verringerung von Grundwasserneubildung und Randzufluss um 25 % führt zu größeren Abweichungen (Mittelwert und Standardabweichung) im Vergleich zur stationären Anpassung.



**Tabelle 7: Grundwasserneubildung / Randzufluss – Abweichungen zwischen berechneten Grundwasserständen und Messwerten**

Abweichung gegenüber den Messwerten [m]	Modellanpassung	Sensitivität Neubildung/ Randzufluss + 25 %	Sensitivität Neubildung/ Randzufluss – 25 %
Mittelwert Berechnung	0,06	0,03	0,11
Standardabweichung Berechnung	0,18	0,20	0,21

Hinsichtlich der Austauschvorgänge mit den Oberflächengewässern (s. Tabelle 8) ist festzustellen, dass sich die Netto-Exfiltration (d.h. Zusickerung von Grundwasser in die Oberflächengewässer) nur relativ gering gegenüber der Modellanpassung verändert (ca.  $\pm 5\%$ , entsprechend 13 bzw. 15 l/s).

**Tabelle 8: Sensitivität Grundwasserneubildung / Randzufluss – Austausch Oberflächengewässer mit dem Grundwasserleiter**

Gewässer bzw. Gewässerabschnitt Netto Infiltration (+) Netto Exfiltration (-)	Modell- anpassung [l/s]	Sensitivität Neubildung/ Randzufluss + 25 % [l/s]	Sensitivität Neubildung/ Randzufluss – 25 % [l/s]
Mindel bis Abzweig Brühlmindel	-69	-69	-68
Brühlmindel	-47	-48	-46
Mindel von Zusammenfluss Brühlmindel bis Modellrand	-145	-146	-144
Mindel bzw. Mindelkanal auf Höhe Brühlmindel	9	9	9
Erlenbach	42	42	43
Scheidgraben	-42	-43	-40
Grabensystem östlich Scheidgraben	-15	-24	-8
Gräben zwischen Erlenbach und Scheidgraben	0	0	0
Grabensystem westlich Mindel im südwestlichen Modellraum	-15	-16	-14
Graben im nordwestlichen Modellraum	-3	-4	-3
Graben östlich Scheppacher Mühle	1	1	1
<b>Summe (netto)</b>	<b>-285</b>	<b>-298</b>	<b>-270</b>

Unter Berücksichtigung der verfügbaren Datengrundlagen ist im überwiegenden Modellgebiet eine relativ geringe Empfindlichkeit der Modellergebnisse gegenüber einer Variation von Grundwasserneubildung und Randzustrom von  $\pm 25\%$  festzustellen.

### 3.2.4 Gesamtbewertung der Sensitivitätsuntersuchungen

Untergrunddurchlässigkeiten ( $k_f$ -Werte)

- Geringe Sensitivität hinsichtlich der berechneten Grundwasserstände im zentralen Modellgebiet, höhere Sensitivitäten an den Talrändern.
- Sehr starke Veränderungen bei den Austauschmengen zwischen den Oberflächengewässern und dem Grundwasser.

Durchlässigkeit Gewässersohlen (Leakage-Faktoren):

- Geringe Sensitivität hinsichtlich der berechneten Grundwasserstände im zentralen Modellgebiet, höhere Sensitivitäten an den Talrändern und im Bereich der Staustufen.
- Deutliche Veränderungen bei den Austauschmengen zwischen den Oberflächengewässern und dem Grundwasser.

Grundwasserneubildung und Randzufluss:

- Geringe Sensitivität im Hinblick sowohl auf die berechneten Grundwasserstände als auch auf die Austauschmengen Oberflächenwasser-Grundwasser für nahezu das gesamte Modellgebiet.
- Lediglich am östlichen Talrand leichte Änderungen der Grundwasserstände bei Erhöhung bzw. Verringerung des Randzuflusses um 25 %.

## 3.3 Instationäre Modellanpassung (Hochwasser 2013)

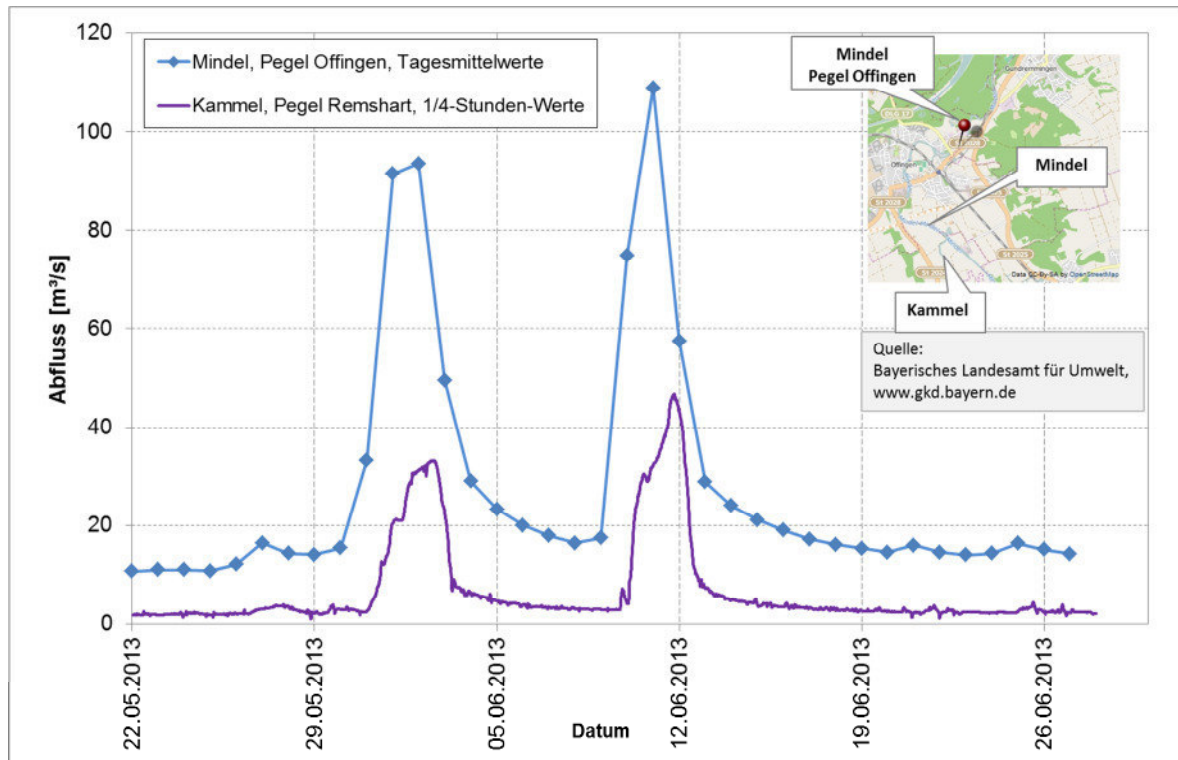
Die instationäre Anpassung des Grundwassermodells erfolgte entsprechend den im HGM abgeleiteten Vorgaben [4] und den mit dem WWA Donauwörth getroffenen Abstimmungen [7] für das Hochwasserereignis an der Mindel im Mai/Juni 2013 (HW 2013), das durch starke Niederschläge im Einzugsgebiet der Mindel und in den EZG ihrer Zuflüsse verursacht wurde.

### 3.3.1 Verfügbare Messdaten

Für das HW 2013 lagen gemessene Wasserstände und Abflüsse an der Mindel (Pegel Offingen) und an der Kammel (Pegel Remshart) vor. Der Pegel Offingen/Mindel befindet sich nördlich der Mündung der Kammel in die Mindel (Mindel-Fl.km 3,19) und damit auch nördlich von Burgau. Der Pegel Remshart/Kammel befindet sich rd. 1,8 km oberstrom der Mündung in die Mindel.

Aus dem zeitlichen Verlauf der beim HW 2013 gemessenen Abflüsse (Abbildung 4) im Zeitraum 25.05.2013 bis 30.06.2013 ist für beide Pegel folgende Abflusscharakteristik erkennbar:

- eine 1. Welle mit dem Scheitel am 02. Juni 2013
- eine darauf folgende, höhere 2. Welle, mit dem Scheitel am 11. Juni 2013.

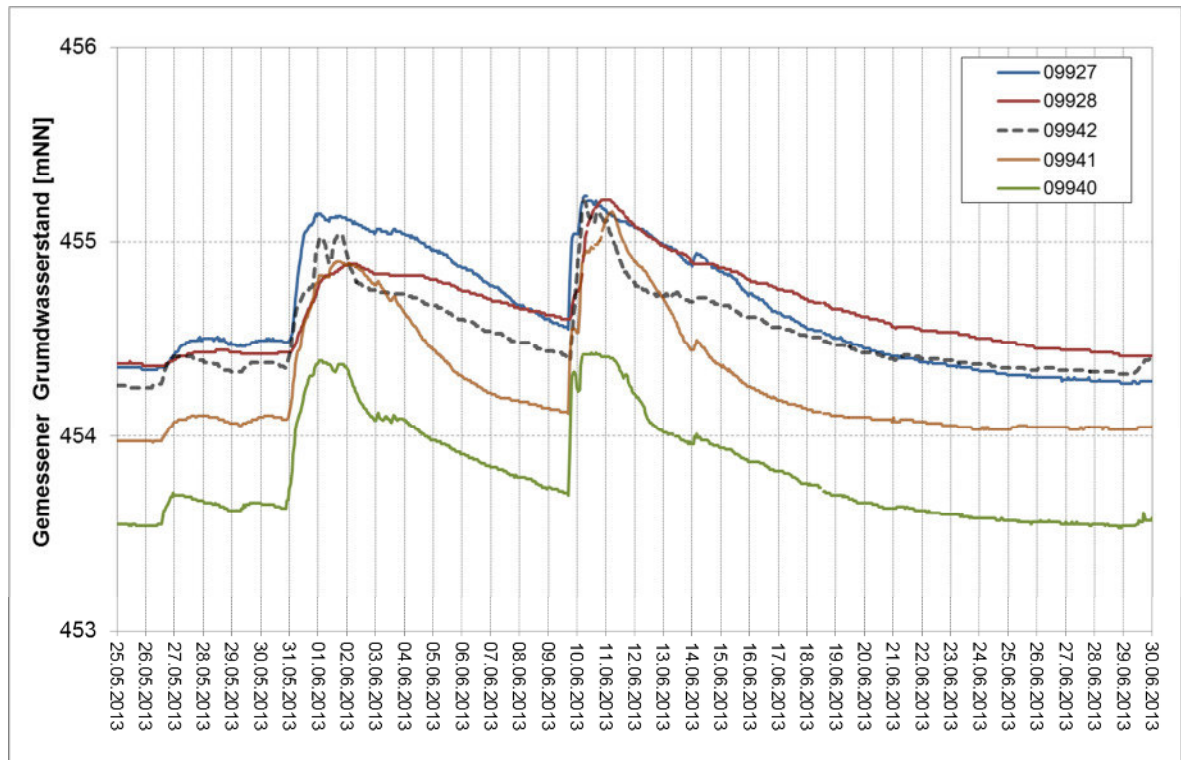


**Abbildung 4: Mindel (Pegel Offingen), Kammel (Pegel Remshart), Abflüsse HW 2013**

Die Schwankungsbreite der Wasserstände an der Mindel (Pegel Offingen) beträgt im Betrachtungszeitraum rd. 2,5 m, am Pegel Remshart/Kammel werden rd. 1,8 m ermittelt.

Zur Beurteilung der Entwicklung der Grundwasserstände beim HW 2013 lagen Messdaten an den 34 GWM des *Sondermessnetzes HWS Burgau* vor. In Abbildung 5 (Seite 24) ist der zeitliche Verlauf im o.a. Zeitraum beispielhaft für 5 ausgewählte GWM dargestellt. Diese GWM befinden sich auf Höhe der südlichen Bebauungsgrenze von Burgau, die Lage ist aus Anlage 8 ersichtlich (Achse I – I'). An allen 5 GWM ist ein ähnlicher Verlauf der Grundwasserstandsganglinien zu erkennen. Dieser ist durch einen 1. Anstieg der Grundwasserstände am 31.05./01.06.2013 gekennzeichnet, im weiteren Verlauf ist dann zunächst ein Rückgang bis annähernd auf das Ausgangsniveau vor dem 1. Anstieg zu erkennen. Der Rückgang verläuft in Abhängigkeit von den örtlichen Entwässerungsmöglichkeiten und dem zeitlichen Verlauf der Wasserstände in benachbarten Gewässern unterschiedlich schnell. Ein 2. Anstieg der Grundwasserstände ist dann am 09./10.06.2013 festzustellen, der maximale Grundwasserstand tritt überwiegend am 10./11.06.2013 auf und liegt i.d.R. höher als beim 1. Anstieg. Die während des HW 2013 gemessenen maximalen Grundwasserstände geben – mit Ausnahme der GWM

09957 - den höchsten Grundwasserstand seit Einrichtung des *Sondermessnetzes HWS Burgau* im Frühjahr 2011 wieder (Stand Datenerfassung: 31. Dezember 2014).



**Abbildung 5: Gemessene Grundwasserstände beim HW 2013 – GWM südlich Burgau**

Die im Zeitraum 25.05.2013 bis 30.06.2013 gemessenen minimalen und maximalen Grundwasserstände an den 34 GWM des *Sondermessnetzes HWS Burgau*, sowie die hieraus abgeleitete Schwankungsbreite im Betrachtungszeitraum ist aus (Tabelle 9) ersichtlich.

Die geringste Schwankungsbreite wird mit 0,6 m für die GWM 09949 östlich der Bahnlinie ermittelt, voraussichtlich ist dieser geringe Wert durch die dämpfende Wirkung der in unmittelbarer Nähe gelegenen Auskiesungsfläche bedingt (Baggersee, teilweise wieder verfüllt). Die größte Schwankungsbreite wurde mit 1,88 m für die GWM 09957 am nördlichen Modellrand festgestellt. Dort hatten sich bereits im Rahmen der Erstellung des HGM [4] Hinweise auf zusätzliche anthropogene Einflüsse ergeben, diese bestehen auch während des HW 2013.

**Tabelle 9: Sondermessnetz HWS Burgau - Schwankungsbreite der Grundwasserstände während des HW 2013**

GWM	minimaler Grundwasserstand [mNN]	maximaler Grundwasserstand [mNN]	Schwankungsbreite [m]
09926	455,44	456,58	1,14
09927	454,27	455,23	0,96
09928	454,36	455,21	0,85
09929	451,35	452,49	1,14
09930	454,42	455,20	0,78
09931	448,86	450,35	1,49
09932	449,31	450,56	1,25
09933	449,24	450,11	0,87
09934	448,02	448,87	0,85
09935	448,65	449,66	1,01
09936	448,01	448,97	0,96
09937	442,20	443,26	1,06
09938	443,03	443,94	0,91
09939	446,30	447,13	0,83
09940	453,53	454,43	0,90
09941	453,97	455,16	1,19
09942	454,25	455,21	0,96
09943	452,82	453,85	1,03
09944	453,12	454,08	0,96
09945	452,53	453,57	1,04
09946	452,46	453,32	0,86
09947	451,35	452,80	1,45
09948	450,46	451,74	1,28
09949	451,50	452,10	0,60
09950	449,84	450,72	0,88
09951	449,22	450,12	0,90
09952	446,46	447,46	1,00
09953	446,25	447,19	0,94
09954	444,38	445,40	1,02
09955	445,13	446,16	1,03
09956	446,75	447,53	0,78
09957	443,66	445,54	1,88
09958	444,07	445,61	1,54
09959	457,12	458,26	1,14

Für die 34 GWM des *Sondermessnetzes HWS Burgau* ergibt sich während des HW 2013 eine mittlere Schwankungsbreite von ca. 1 m. Wie im HGM [4] bereits festgestellt wird hieraus auch die Bedeutung des Gewässersystems für die räumlich unterschiedliche Entwicklung der Grundwasserstände im betrachteten Modellraum ersichtlich.

Niederschlagsdaten lagen im Modellraum nicht vor. Die Niederschlagsentwicklung an der ca. 3 km östlich des Modellraumes gelegenen Station Haldenwang ist in Kap. 3.3.2.4 beschrieben.

### 3.3.2 Randbedingungen für das Grundwassermodell

#### 3.3.2.1 Anpassungszeitraum

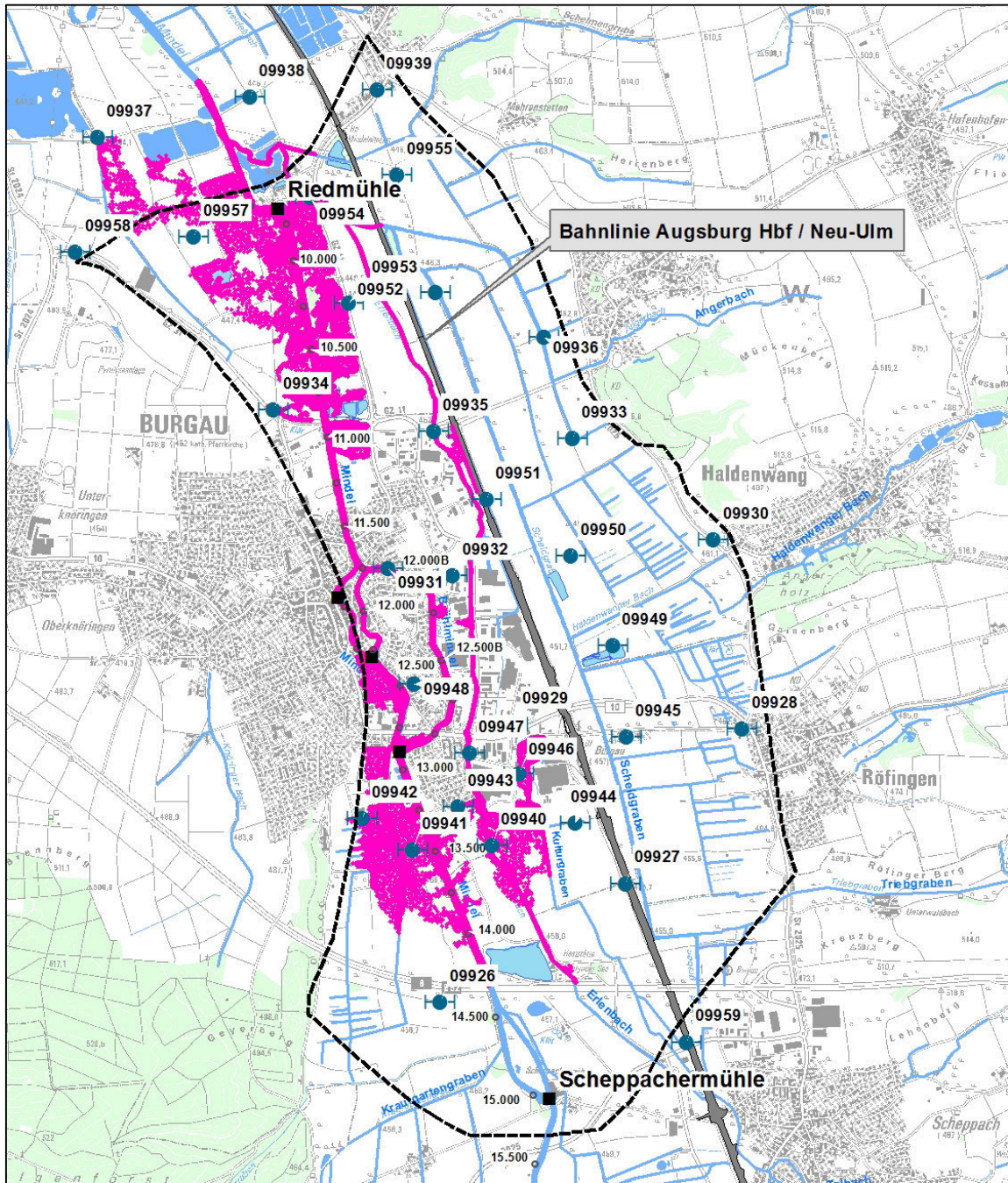
Für die numerische, instationäre Grundwassermodellierung ergeben sich gegenüber den Randbedingungen der stationären Anpassung folgende ergänzende Angaben:

- Als Ausgangswasserstand für die instationäre Modellrechnung wurde die stationäre Anpassung an den Zeitraum März 2011 bis Dezember 2014 herangezogen (s. Kapitel 3.1.2). Die Grundwasserstände am 25.05.2013 entsprachen weitgehend den mittleren Grundwasserständen im Zeitraum 03/2011 bis 12/2014 (mittlere Differenz: -0,04 m).
- Die Berechnungen zur Nachbildung des HW2013 wurden für den Zeitraum vom 25.05.2013 bis 30.06.2013 durchgeführt. Insgesamt ergibt sich somit ein Berechnungszeitraum von ca. 5 Wochen. Dies bedeutet, dass ergänzend zum Zeitraum der beiden Hochwasserwellen (31.05.2013 bis 17.06.2013), folgende Phasen mit berücksichtigt wurden:
  - eine **Vorlaufphase** von 6 Tagen, mit weitgehend stabilen Wasserständen in der Mindel.
  - eine **Nachlaufphase** von etwa 2 Wochen, nach dem Durchgang der 2.Welle (ca. bis zum 17.06.2013). Diese Phase wurde berücksichtigt, um die zeitlich verzögerten Reaktionen im Grundwasser auf den „abfallenden Ast“ der 2. Hochwasserwelle mit abzubilden, bis die Grundwasserstände annähernd wieder die Ausgangssituation vor dem HW 2013 erreichen.
- Die Zeitschrittunterteilung im instationären Grundwassermodell ist variabel und richtet sich nach der zeitlichen Veränderung der Abflüsse in der Mindel und der zeitlichen Auflösung der gemessenen Grundwasserstände an den Grundwassermessstellen im instationären Anpassungszeitraum (Stundenschritte bis Schritte von 5 Tagen, siehe Anlage 9).

#### 3.3.2.2 Eingangsdaten aus 2D-Wasserspiegellagen-Modell

Die mit dem Wasserspiegellagen(2D-WSP)-Modell durchgeführten Berechnungen für das HW 2013 erfolgten mit dem sogenannten *Bestandsmodell* [1]. Die für das HW 2013 recherchierten Verhältnisse an Mindel, Kammel und im Stadtgebiet Burgau, sowie die hieraus abgeleiteten Randbedingungen für das 2D-WSP-Modell (Hydro\_AS-2D), sind in Anlage 9.1 dokumentiert. Die für das Grundwassermodell ausgewählten Zeitschritte sind aus Anlage 9.2 ersichtlich.





**Abbildung 6: Eingangsdaten aus dem 2D-WSP-Modell (maximale Überflutung HW2013)**

Innerhalb des Modellraumes für das Grundwassermodell wurden im *Bestandsmodell* die nachstehend aufgeführten Gewässer berücksichtigt:

- Mindel: nördlich der Autobahn A8 bis Unterwasser Riedmühle
- Erlenbach: nördlich Autobahn A8 bis auf Höhe Riedmühle
- Scheidgraben: der westlich der Bahnlinie Augsburg–Neu-Ulm einmündende Abschnitt
- Überschwemmungsflächen: die westlich der o.a. Bahnlinie an die vorstehenden Gewässer (-abschnitte) angrenzenden ÜSG beim HW 2013.

Die mit dem 2D-WSP-Modell berechnete maximale räumliche Ausdehnung der Überschwemmungsgebiete beim HW 2013 ist aus Abbildung 6 ersichtlich. Die dort für das HW 2013 berechnete zeitlich veränderliche Entwicklung der Wasserstände wurde als instationäre Randbedingung in das Grundwassermodell übernommen [1], [2].

Für den südlich der Autobahn A 8 und innerhalb des Grundwassermodells gelegenen Abschnitt der Mindel - bis zur Scheppacher Mühle - wurden ebenfalls zeitlich variierende Wasserstände angesetzt. Diese wurden aus den mit dem 2D-WSP-Modell für das HW 2013 nördlich der Autobahn A 8 berechneten Wasserständen an der Mindel abgeleitet (Annahme gleicher Schwankungsbreite). Entsprechend wurde für den südlich der A 8 gelegenen Abschnitt des Erlenbaches vorgegangen.

Die Grabensysteme östlich der Bahnlinie (Scheidgraben und östliche Zuflüsse aus dem orohydrografischen EZG) wurden im 2D-WSP-Modell (*Bestandsmodell*) nicht berücksichtigt. **Die hierzu erforderliche Datenlage war beim HW2013 an den östlichen Grabensystemen auch nicht vorhanden**, es lagen dort weder Messdaten zu den während des Hochwassers aufgetretenen Abflüssen, noch zu den entsprechenden aufgetretenen Wasserständen vor.

Entsprechend der stationären Modellanpassung wurden Mindel und Erlenbach, sowie die angrenzenden, beim HW2013 überschwemmten Bereiche im instationären Grundwassermodell, ebenfalls als Leakage-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. Der Leakage-Faktor ist hierbei als der Quotient aus Durchlässigkeit der Sohlschicht und Dicke der hydraulisch wirksamen Sohlschicht definiert ( $L = k_f \text{ Sohle} / \text{Dicke Sohle}$ ).

Im Hochwasserfall kommt den überfluteten Vorlandflächen ebenfalls die Wirkung eines Gewässers mit teildichteter Sohle zu. Der Leakage-Faktor wird dort durch die vertikale Durchlässigkeit und die Mächtigkeit der Deckschichten bestimmt. Bei den östlich der Bahnlinie und nördlich der Konzenberger Straße in 2010 bzw. 2015 durchgeführten Bodenkartierungen nach Pürckhauer, wurden an 16 in den bindigen Deckschichten durchgeführten Sickerversuchen Durchlässigkeitsbeiwerte von  $k_f = 4,4 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$  bis  $2,0 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$  ermittelt [4]. Aus diesen Untersuchungen wurde zudem eine mittlere Deckschichtmächtigkeit von rd. 1,3 m abgeleitet. Hieraus resultiert für die Deckschichten ein mittlerer Leakage-Faktor zwischen  $L = 2,2 \cdot 10^{-7} \text{ 1/s}$  und  $L = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/s}$ . Da an den insgesamt vorliegenden Bohrprofilen im Modellraum bereichsweise auch eine deutlich geringere Deckschichtmächtigkeit ermittelt wurde (0,4 – 0,7 m), wurde für die überschwemmten Gebiete ein Leakage-Faktor  $L = 5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/s}$  festgelegt. Dieser Ansatz liegt, im Hinblick auf die vertikale Zusickerung von Oberflächenwasser aus den überschwemmten Gebieten in das Grundwasser, auf der sicheren Seite der Betrachtung.



### **3.3.2.3 Wasserstände am Grabensystem östlich der Bahnlinie**

Wie vorstehend bereits ausgeführt waren für den östlich der Bahnlinie Hbf. Augsburg/Neu-Ulm gelegenen Scheidgraben, sowie die dort einmündenden Gräben (Triebgraben, Haldenwanger Bach, Angerbach und angeschlossenes weit verzweigtes Grabensystem), keine Messdaten zu den während des HW 2013 aufgetretenen Abflüssen bzw. zu den entsprechenden Wasserständen verfügbar. Daher wurden diese Gewässer im instationären Grundwassermodell zunächst als Leakage-Randbedingung mit konstantem Wasserstand entsprechend der 2. stationären Anpassung angesetzt (s. Kapitel 3.1.2).

Im Rahmen der instationären Anpassung zeigte sich, dass an den östlich der Bahnlinie gelegenen GWM, der gemessene Verlauf der Grundwasserstände voraussichtlich auch durch Änderungen der Wasserspiegel im Scheidgraben und an dem von Osten zufließenden Grabensystem beeinflusst wurde. Daher erfolgte auch dort eine instationäre Veränderung der Wasserspiegellagen. Eine detaillierte Beschreibung zur Ableitung der an diesem Grabensystem zugrunde gelegten Wasserstände beim HW 2013 enthalten die Erläuterungen zum Schritt 2 in Kap. 3.3.4.2.

### **3.3.2.4 Instationäre Grundwasserneubildung**

Innerhalb des Modellraumes befinden sich keine amtlichen Niederschlagsstationen. Die Niederschlagsentwicklung an der ca. 3 km östlich des Modellraumes gelegenen Station Haldenwang, im Zeitraum 25.05. bis 30.06.2013 ist aus Abbildung 7 ersichtlich. Dort mit eingetragen sind die gemessenen Grundwasserstände an der nahe zum östlichen Talrand gelegenen GWM 09933.

Die größten Tagessummen der Niederschläge sind mit 49 mm am 31.05.2013 bzw. mit 65 mm am 10.06.2013 zu verzeichnen. Die Grundwasserstände an der GWM 09933 steigen zeitnah zu den Stark-Niederschlägen um rd. 0,6 m bzw. rd. 0,75 m an.

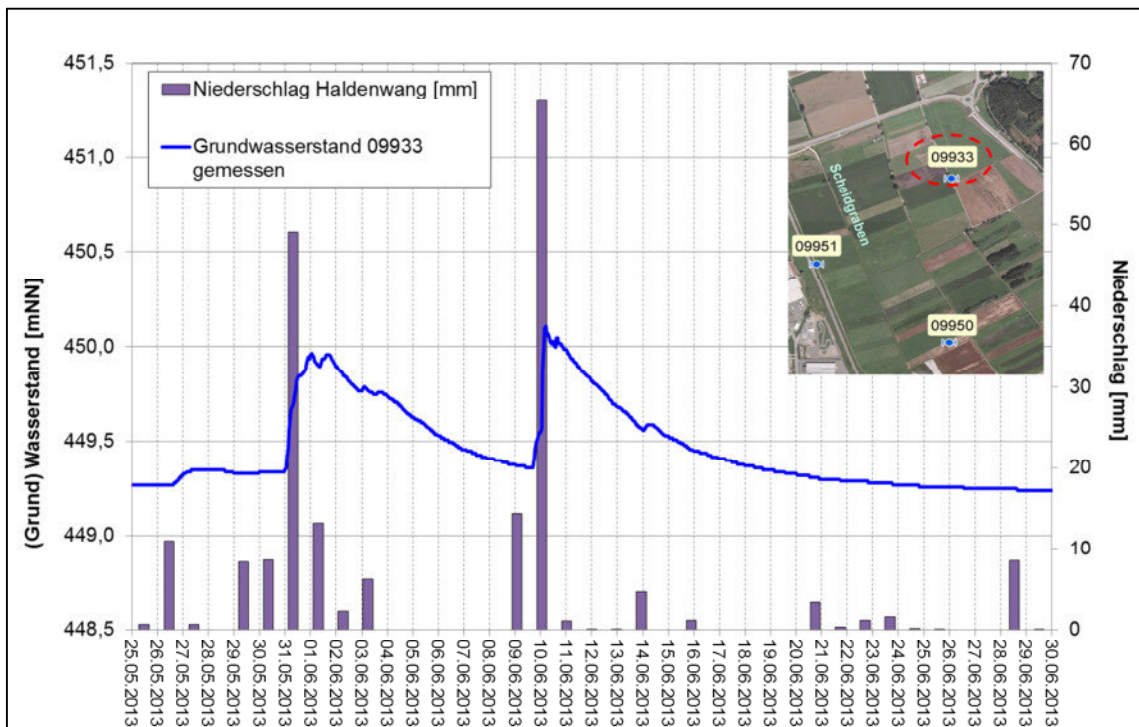


Abbildung 7: Gemessene Grundwasserstände an der GWM 09933, Tagesniederschlag an der Station Haldenwang (Lfl)

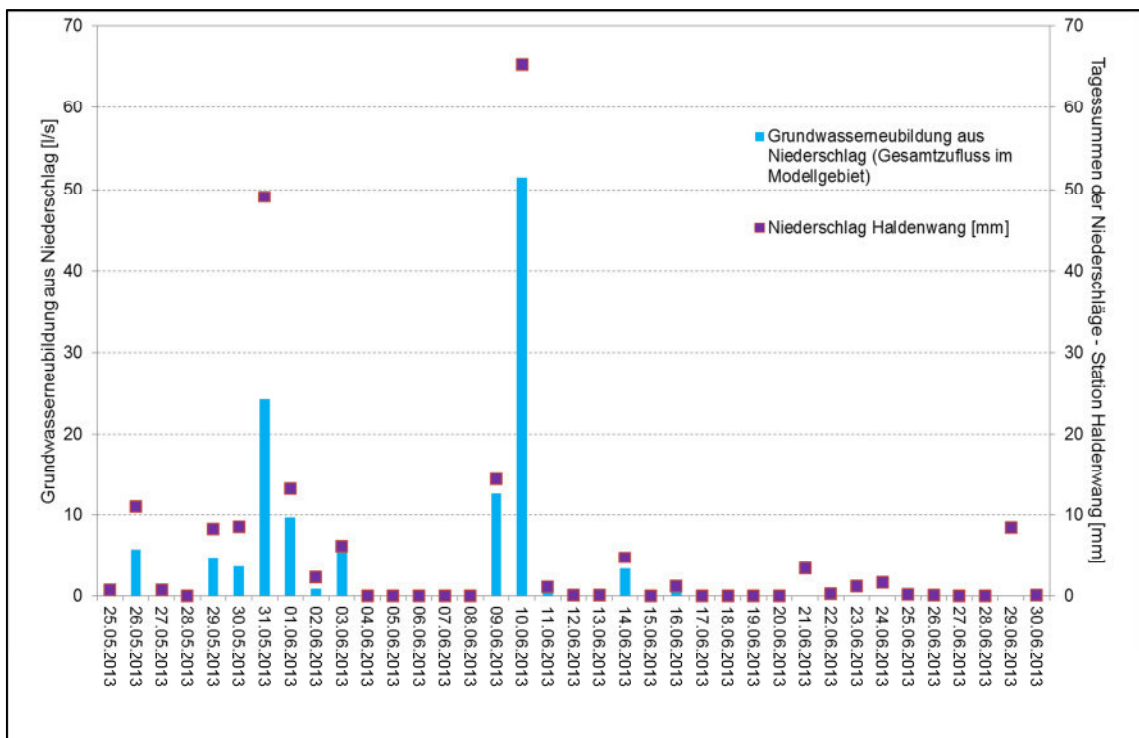


Abbildung 8: Zuflüsse infolge Grundwasserneubildung aus Niederschlag (Modellgebiet) und Tagessummen Niederschlag Station Haldenwang

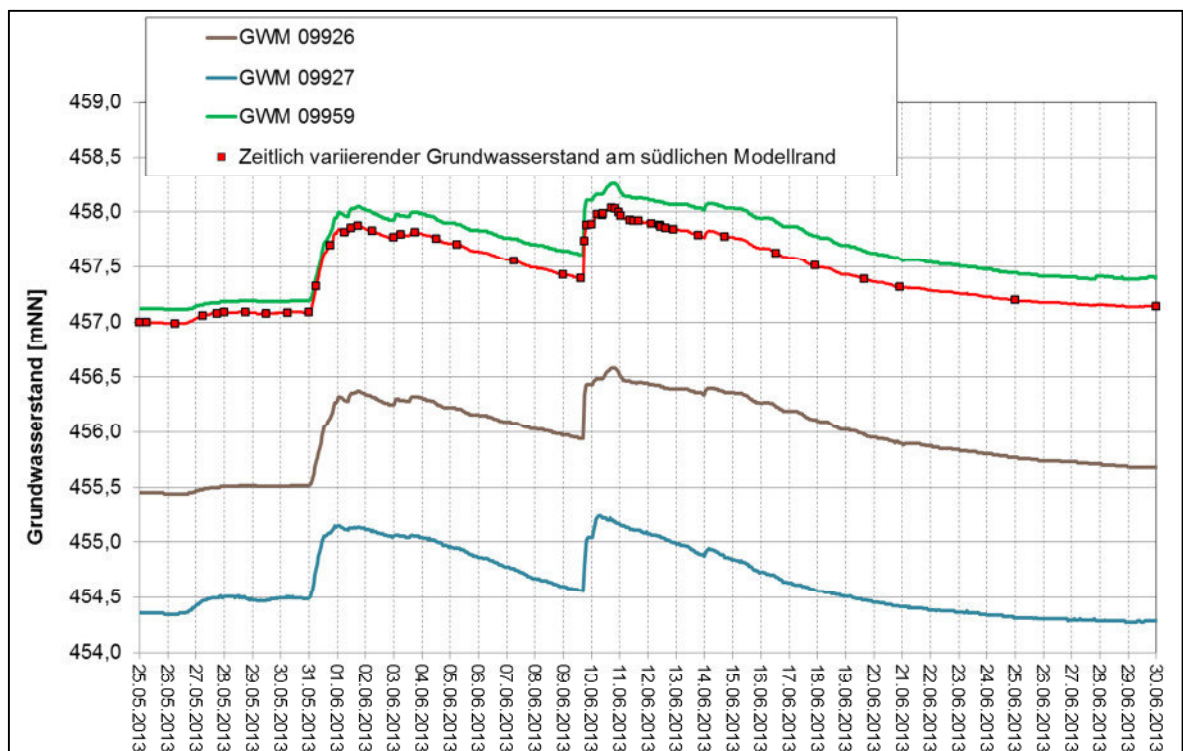
Die zeitliche Änderung der Grundwasserneubildung aus Niederschlag wurde für den betrachteten instationären Zeitraum von BCE mittels eines Wasserhaushaltsmodells (WHMOD) ermittelt ([5], Anlage 11). Die Berechnung erfolgte räumlich differenziert unter Berücksichtigung klimatischer Größen und der Landnutzung. Da im Modellgebiet Burgau selbst keine Niederschlagsstation existiert, wurde für das WHMOD auf die täglichen Niederschläge aus dem RADOLAN-Datensatz des Deutschen Wetterdienstes (DWD) zurückgegriffen. Die im WHMOD zugrunde gelegten Randbedingungen und die auf dieser Grundlage ermittelten Ergebnisse sind in Anlage 11 und Anlage 12 dokumentiert.

Für die instationäre Modellanpassung des Grundwassermodells an das HW 2013 wurden die mit WHMOD berechnete, flächig differenzierte Grundwasserneubildung im Modellraum für den Zeitraum 25.05.2013 bis 30.06.2013 in Tagesschritten angesetzt (Abbildung 8).

### 3.3.2.5 Sonstige Randbedingungen

#### Grundwasserzustrom von Süden/ Grundwasserabstrom im Norden

Am nördlichen und südlichen Modellrand wurde jeweils ein zeitlich variabler Grundwasserstand angesetzt, der aus dem beim HW 2013 gemessenen Verlauf der Grundwasserstände an nahegelegenen GWM abgeleitet wurde. Abbildung 9 zeigt exemplarisch die aus den Messwerten an den GWM 00926, 09927 und 09959 abgeleitete zeitliche Variation der Grundwasserstände für den südlichen Modellrand. In gleicher Weise wurde für den nördlichen Modellrand verfahren.



### **Abbildung 9: Ableitung der instationären Grundwasserstände für den südlichen Modellrand**

#### **Randzustrom am westlichen und östlichen Modellrand**

Der Randzustrom am westlichen und östlichen Modellrand wurde zunächst, entsprechend den Randbedingungen bei der 2. stationären Modellanpassung (Kapitel 3.1.2), zeitlich konstant angesetzt (s. Kapitel 3.1.2). Im Rahmen der instationären Modellanpassung an das HW 2013 zeigte sich, dass insbesondere am östlichen Talrand Hinweise auf zusätzliche Einflüsse auf die Grundwasserstände, infolge erhöhter Zuflüsse aus dem östlichen orohydrografischen EZG, bestehen. Die Ableitung der für das HW 2013 gewählten instationären Randbedingung für den östlichen Randzufluss enthalten die Erläuterungen zum Schritt 3 in Kap. 3.3.4.3.

#### **Grundwasserentnahmen**

Die Grundwasserentnahmen sind für die Verhältnisse beim HW 2013 von untergeordneter Bedeutung und wurden daher, entsprechend den mittleren Entnahmen für den Zeitraum 03/2011 – 12/2014 (Kapitel 3.1.2), zeitlich konstant angesetzt.

#### **Speicherkoeffizienten**

Vorgabe der Deckschichtunterkante im Modellgebiet als Modelloberkante (Erfassung Wechsel von freien zu gespannten Grundwasserverhältnissen). Festlegung der Ausgangsverteilung für die Speicherkoeffizienten entsprechend den Vorgaben im HGM:

- für freie Grundwasserverhältnisse: 20 %
- für (teil)gespannte Grundwasserverhältnisse: 0,5 %

### **3.3.3 Untersuchungsschritte**

Zur Beurteilung der Ergebnisse der instationären Modellanpassung wurden aus dem 34 GWM umfassenden *Sondermessnetz HWS Burgau* 16 GWM ausgewählt, für die Messwerte beim HW 2013 vorlagen. Die Lage der ausgewählten GWM ist aus Anlage 8 ersichtlich, dort sind auch die jeweiligen Auswertungs-Achsen gesondert gekennzeichnet.

Die instationäre Modellanpassung erfolgte schrittweise, um die jeweiligen Auswirkungen auf die Grundwasserstände, infolge der unter Kap. 3.3.2 beschriebenen, verschiedenen instationären Randbedingungen, detailliert erfassen zu können. Insgesamt wurden 3 Haupt-Bearbeitungsschritte durchgeführt, diese beinhalteten teilweise die Durchführung von mehreren Rechenfällen.

#### **Schritt 1: Eingangsdaten 2D-WSP-Modell**

Im Schritt 1 wurden zunächst nur die mit dem 2D-WSP-Modell für das HW 2013 berechneten Wasserstandsänderungen in der Mindel, im Erlenbach und in den überschwemmten Gebieten als instationäre Randbedingung berücksichtigt (siehe auch Abbildung 6 auf Seite 27). Der

Grundwasserzustrom von Süden/Grundwasserabstrom im Norden wurde instationär, entsprechend der Ableitung in Kap. 3.3.2.5 angesetzt.

Die Wasserstände in Scheidgraben und den sonstigen Gräben wurden entsprechend den Randbedingungen der stationären Modellanpassung beibehalten (siehe 2. stationäre Anpassung in Kapitel 3.1.2). Ebenso wurde die Grundwasserneubildung aus Niederschlag entsprechend mittleren Verhältnissen konstant angesetzt.

### **Schritt 2: Zusätzliche Berücksichtigung der instationären Grundwasserneubildung**

Im Schritt 2 wurde, ergänzend zu den Randbedingungen im Schritt 1, auch die zeitliche Variation der flächig differenzierten Zusickerung aus Grundwasserneubildung beim HW 2013 berücksichtigt (s. Kapitel 3.3.2.4).

### **Schritt 3: Zusätzliche Berücksichtigung der sonstigen instationären Randbedingungen**

Im Schritt 3 erfolgte, ergänzend zu den Randbedingungen im Schritt 1 und im Schritt 2, die zusätzliche Berücksichtigung von instationären Wasserständen am östlich der Bahnlinie gelegenen Grabensystem, entsprechend der in Kap. 3.3.4.3 beschriebenen Vorgehensweise. Darüber hinaus wurde der Randzustrom aus dem östlichen orohydrografischen EZG zeitlich variierend in das instationäre Grundwassermodell übernommen (siehe Kap. Kap. 3.3.4.3).

## **3.3.4 Ergebnisse der schrittweisen Anpassung**

Die Ergebnisse der schrittweisen instationären Modellanpassung sind als Gegenüberstellung von gemessenen und berechneten Grundwasserstandsganglinien in Anlage 10.1 bis Anlage 10.3 zusammengestellt. Die Lage der betrachteten GWM ist aus Anlage 8 ersichtlich.

Der Endzustand der instationären Anpassung an das HW 2013 wird durch die Ergebnisse zum Schritt 3 dargestellt. Die Ergebnisse zu den einzelnen Untersuchungsschritten werden in Kap. 3.3.4 erläutert, Kap. 3.3.6 enthält eine Gesamtbewertung der instationären Modellanpassung.

### **3.3.4.1 Schritt 1**

Die Ergebnisse der instationären Modellanpassung im Schritt 1 sind in Anlage 10.1 zusammengestellt. Hieraus ergeben sich folgende Feststellungen:

#### **Achse I – I' (Anlagen 10.1.1 bis 10.1.5):**

- An den westlich der Mindel gelegenen GWM 09941 und 09942 wird ein maximaler Anstieg der Grundwasserstände von rd. 1,1 m bzw. rd. 0,65 m berechnet. Die beim HW 2013 gemessene Schwankungsbreite wird damit um rd. 0,1 m bzw. rd. 0,3 m unterschritten. An der GWM 09941 wird der gemessene Verlauf der Grundwasserstände

insbesondere in den Phasen mit fallenden Grundwasserständen durch die Berechnung gut abgebildet.

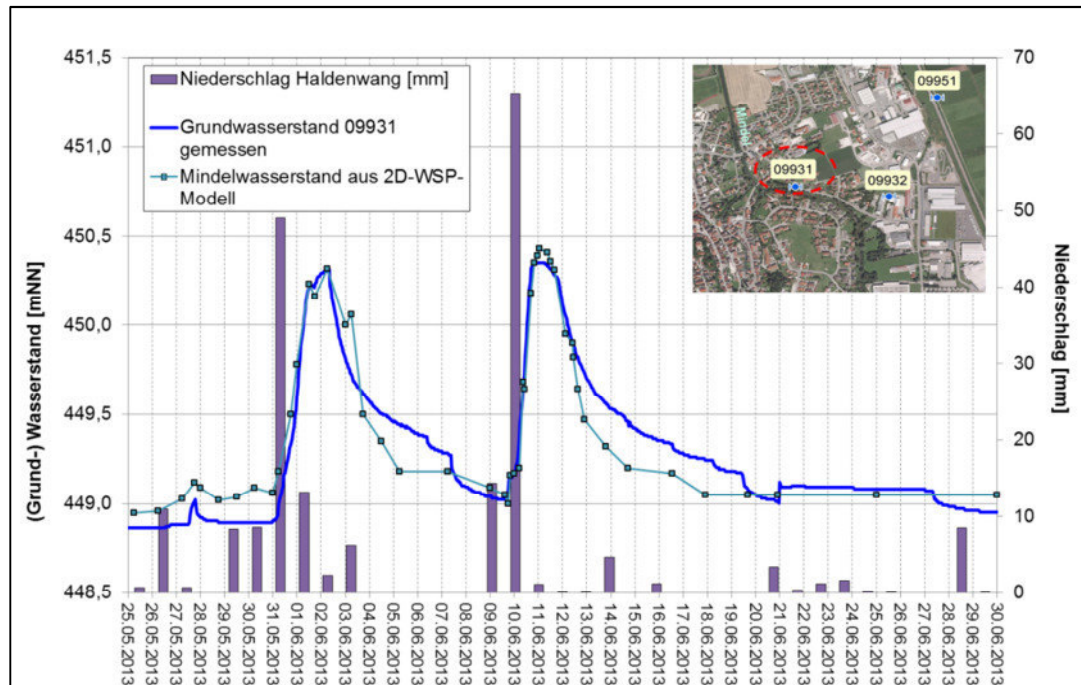
- An der nahe zum Erlenbach gelegenen GWM 09940 werden die wesentlichen Tendenzen im gemessenen Verlauf der Grundwasserstände durch die Berechnung wieder gegeben, allerdings fällt der Anstieg im Scheitel noch zu gering aus. Die berechnete Schwankungsbreite liegt bei rd. 0,6 m und damit rd. 0,3 m unter dem beim HW 2013 gemessenen Wert. Dies weist vermutlich darauf hin, dass die Wechselwirkung zwischen Erlenbach und dem Grundwasser in der Berechnung zu stark gedämpft ist (d.h. Leakage-Faktor Erlenbach zu niedrig).
- An den nahe zur Bahnlinie bzw. östlich davon gelegenen GWM 09927 und 09928 werden nur sehr geringe Reaktion auf die im Modell berücksichtigten Wasserstandsänderungen an Mindel, Erlenbach und den überschwemmten Gebieten ermittelt (berechnete Schwankungsbreite < 0,05 m). Dies erscheint vor dem Hintergrund der Entfernung dieser GWM zu Mindel/Erlenbach und der dämpfenden Wirkung des Gewässersystems östlich der Bahnlinie bei den angesetzten Randbedingungen plausibel.

#### **Achse II – II'** (Anlagen 10.1.6 bis 10.1.9):

- An der zwischen Erlenbach und Bahnlinie gelegenen GWM 09929 (Anlage 10.1.6) werden die wesentlichen Tendenzen durch die Berechnung wieder gegeben. Der Anstieg im Scheitel (2. Anstieg) fällt mit rd. 0,5 m jedoch deutlich geringer aus, als der beim HW 2013 gemessene maximale Gesamtanstieg von rd. 1,15 m (Vermutliche Ursache siehe Erläuterung zu Schnitt I – I': Leakage-Faktor Erlenbach zu niedrig).
- An den östlich der Bahnlinie gelegenen GWM 09945, 09949 und 09930 (Anlage 10.1.7 bis Anlage 10.1.9) werden keine Reaktionen auf die bisher im Modell berücksichtigten Wasserstandsänderungen ermittelt. Auch auf dieser Achse ergibt sich somit der Hinweis, dass sich die Wasserstandsänderungen an Mindel und Erlenbach in diesem Gebiet nicht oder nur in sehr geringem Umfang auswirken.

#### **Achse III – III'** (Anlagen 10.1.10 bis 10.1.13):

- Die Messstelle GWM 09931 befindet sich in einer Entfernung von ca. 10 m zur Brühl-Mindel. Der Verlauf der gemessenen Grundwasserstände wird dort sowohl hinsichtlich der zeitlichen Entwicklung (Anstieg/Rückgang) als auch hinsichtlich des höchsten gemessenen Grundwasserstandes (Amplitude) bereits richtig wieder gegeben (Anlage 10.1.10). Die im Betrachtungszeitraum berechnete Schwankungsbreite (1,48 m) weicht nur 0,01 m von den gemessenen Werten ab (1,49 m).
- In Abbildung 10 sind die gemessenen Grundwasserstände an der GWM 09931 zusammen mit dem an der Brühlmindel auf Höhe der GWM 09931 berechnete Verlauf der Wasserstände (2D-WSP-Modell) und den Tagessummen der Niederschläge an der Station Haldenwang (LfL) dargestellt.



**Abbildung 10: Gemessene Grundwasserstände GWM 09931, Berechnete Wasserstände an der Mindel, Tagesniederschlag an der Station Haldenwang (LfL)**

Die Grundwasserstandsänderung an der GWM 09931 stimmt in Verlauf und Amplitude weitgehend mit dem zeitlichen Verlauf des Wasserstandes an der Brühlmindel überein. Die für das HW 2013 an der Brühlmindel berechneten maximalen Wasserstände und die entsprechenden Scheitelwerte der gemessenen Grundwasserstände an der GWM 09931 treten jeweils 2 Tage bzw. 1 Tag nach den entsprechenden Starkniederschlägen an der Station Haldenwang auf.

Insgesamt ergibt sich hieraus, dass die Grundwasserstände an der nahe zur Brühlmindel gelegenen GWM 09931 erwartungsgemäß maßgeblich durch den Verlauf der Wasserstände am Vorfluter Brühlmindel beeinflusst werden.

- Auch an der ca. 160 m von der Brühl-Mindel entfernten gelegenen GWM 09932 werden die wesentlichen Reaktionen in ihrem zeitlichen Verlauf richtig abgebildet (Anlage 10.1.11). Die berechneten Spitzen der beiden Hochwasserwellen fallen jedoch schwächer aus, als der gemessene Verlauf der Grundwasserstände (1. Welle: 0,3 m niedriger; 2. Welle: 0,5 m niedriger). Dies weist darauf hin, dass die Grundwasserstände am Standort dieser GWM im Betrachtungszeitraum noch durch weitere Einflussgrößen beeinflusst wurden (Wasserstandsänderungen im Grabensystem östlich der Bahnlinie, Grundwasserneubildung aus Niederschlag).



- An den beiden östlich der Bahnlinie gelegenen GWM 09951 und 09933 ergeben sich relativ geringe oder keine berechnete Reaktionen (Anlage 10.1.12 und Anlage 10.1.13). Die an der GWM 09951 berechneten Wasserstandsänderungen von rd. 0,2 m sind auf die berücksichtigten Wasserspiegeländerungen am Erlenbach und die Ausuferungen zwischen Erlenbach und Bahnlinie zurück zu führen (Anlage 10.1.12). Auch dort ist im Betrachtungszeitraum von weiteren Einflussgrößen auf die Grundwasserstände auszugehen (Wasserstände Scheidgraben, Grundwasserneubildung aus Niederschlag).

**Achse IV – IV<sup>f</sup> (Anlagen 10.1.14 bis 10.1.16):**

- An der GWM 09952, die sich zwischen Mindel und Erlenbach an der GZ 11 befindet, wird die gemessene Veränderung der Grundwasserstände durch die Berechnung in wesentlichen Haupttendenzen bereits richtig wieder gegeben (Anlage 10.1.14). Die jeweiligen Scheitelwerte werden jedoch noch nicht erreicht. Der maximale berechnete Grundwasseranstieg im Betrachtungszeitraum (Schwankungsbreite) liegt mit rd. 0,8 m rd. 0,2 m unter dem gemessenen Anstieg (rd. 1 m).
- An den beiden östlich der Bahnlinie gelegenen GWM 09955 und 09956 (Anlage 10.1.15 und 10.1.16) ergeben sich relativ geringe berechnete Reaktionen ( $\leq 0,05$  m). Dort wird die Grundwasserstandsänderung von weiteren Einflussgrößen, wie der Grundwasserneubildung aus Niederschlag oder den Wasserstandsänderungen in Scheidgraben bzw. dem östlich angrenzenden Grabensystem, beeinflusst.

Insgesamt lässt sich für den **Schritt 1** feststellen:

- An der nahe zur Brühlmindel gelegenen GWM 09931 wird die beim HW 2013 gemessene Entwicklung der Grundwasserstände sowohl hinsichtlich des zeitlichen Verlaufes als auch hinsichtlich der aufgetretenen Amplituden (Scheitelwerte) durch die Berechnung sehr gut wiedergegeben. Dies bedeutet, dass die Grundwasserstände an dieser GWM erwartungsgemäß vorrangig durch die Wasserstandsänderungen in der Brühl-Mindel bestimmt werden. Zudem wird hierdurch die für die Brühlmindel zugrunde gelegte hohe Sohdurchlässigkeit bestätigt (Leakage-Faktor  $L = 0,5 \cdot 10^{-3}$  1/s, siehe Anlage 6.2).
- An den zwischen Mindel und Scheidgraben gelegenen GWM fällt der im Schritt 1 berechnete Anstieg um ca. 0,2 bis 0,6 m geringer aus, als aus den Messwerten ableitbar ist. Dieser zusätzliche gemessene Anstieg ist voraussichtlich nicht auf die Wasserstandsänderungen in der Mindel, sondern auf weitere Einflussgrößen in diesem Gebiet beim HW 2013 zurück zu führen (zeitlich veränderliche Grundwasserneubildung aus Niederschlag oder/und instationäre Wasserstandsänderungen im Scheidgraben und am Grabensystem östlich der Bahnlinie).



- Auf die Grundwasserstände an den östlich des Scheidgrabens gelegenen GWM haben die Wasserstandsänderungen an Mindel und Erlenbach voraussichtlich keine oder nur sehr geringe Auswirkungen.

### 3.3.4.2 Schritt 2

Im Schritt 2 wurde zusätzlich zu den Randbedingungen im Schritt 1 die instationäre Grundwasserneubildung berücksichtigt (s. Kapitel 3.3.2.4).

Die in [5] dokumentierten Eingangsdaten und die hieraus resultierenden Berechnungsergebnisse wurden im Rahmen der instationären Kalibrierung bereichsweise in geringem Umfang modifiziert, um im Grundwassermodell plausible Anpassungsergebnisse zu erreichen.

- Eine Eingangsgröße für das WHMOD ist die nutzbare Feldkapazität der durchwurzelten Bodenzone. Diese ergibt sich aus der Multiplikation der angesetzten nFK100 mit der jeweiligen Durchwurzelungstiefe. Im Rahmen der instationären Kalibrierung des Grundwassermodells wurde die nFK100 an den Modellrändern (siehe [5], Anlage 1) den angrenzenden nFK100-Werten angeglichen. Zudem wurden die nFK100-Bereiche von 167 und 194 zusammengelegt und für beide Bereiche eine nFK100 von 200 vergeben (siehe Endverteilung in Anlage 12).
- Die in [5] berechnete Grundwasserneubildung für den Zeitraum 09.06.2013, 0:00 Uhr bis 09.06.2013, 15:00 Uhr führte zu einem Anstieg in den berechneten Grundwasserständen, während die in diesem Zeitraum gemessenen Grundwasserstände eine fallende Tendenz erkennen lassen. Aus diesem Grund wurden die berechnete Grundwasserneubildung vom 08.06.2013, 6:00 Uhr (Neubildung: 0 mm) auch auf diesen Zeitraum (Dauer: 15 Stunden) übertragen. Dies kann damit begründet werden, dass Grundwasserneubildungsberechnungen durch stark instationäre Prozesse im Bodenspeicher gedämpft und zeitlich verzögert abgebildet werden.

Die Ergebnisse der instationären Modellanpassung im Schritt 2 sind in Anlage 10.2 zusammengestellt. Hieraus ergeben sich folgende Feststellungen:

#### **Achse I – I'** (Anlagen 10.2.1 bis 10.2.5):

- An den westlich der Mindel gelegenen GWM 09941 und 09942 (Anlagen 10.2.1 und 10.2.2) werden sowohl der gemessene Anstieg der Grundwasserstände, als auch der Rückgang der Grundwasserstände, nach Erreichen des jeweiligen „Grundwasserscheitel“, durch die Berechnung im zeitlichen Verlauf richtig wieder gegeben.

Auch die berechnete Schwankungsbreite der Grundwasserstände gibt den im Betrachtungszeitraum gemessenen maximalen Anstieg der Grundwasserstände richtig wieder (GWM 09941: gemessen: 1,19 m; berechnet: 1,22 m; GWM 09942: gemessen = be-

rechnet = 0,96 m). Insgesamt ist für dieses Gebiet somit eine gute Abbildung der gemessenen Grundwasserstände durch die Berechnung festzustellen.

- Auch an der nahe zum Erlenbach gelegenen GWM 09940 ist gegenüber dem Schritt 1 (s. Anlage 10.1.3) eine weitere Verbesserung der instationären Anpassung erkennbar (Anlage 10.2.3). Die gemessenen Grundwasserstände werden durch die Berechnung in ihrem Verlauf in den wesentlichen Charakteristiken richtig wieder gegeben. Die berechnete Schwankungsbreite liegt dort mit rd. 1,2 m um rd. 0,3 m höher, als der gemessene Wert (0,9 m).
- An den nahe zur Bahnlinie bzw. östlich davon gelegenen GWM 09927 und 09928 ist gegenüber dem Schritt 1 eine deutliche Zunahme der berechneten Reaktionen im Grundwasser festzustellen, insgesamt fallen diese jedoch noch geringer aus als die Messwerte (Anlagen 10.2.4 und Anlage 10.2.5). Die berechnete Schwankungsbreite im Betrachtungszeitraum wird dort zu rd. 0,75 m (GWM 09927) bzw. rd. 0,55 m (GWM 09928) ermittelt. Der gemessene maximale Anstieg der Grundwasserstände beim HW 2013 wird hierbei um rd. 0,2 m (GWM 09927) bzw. rd. 0,3 m (GWM 09928) unterschritten. Dementsprechend ist für diesen Bereich von zusätzlichen instationären Einflüssen auf die Grundwasserstände auszugehen (Gewässersystem östlich der Bahnlinie).

#### **Achse II – II' (Anlagen 10.2.6 bis 10.2.9):**

- An der zwischen Erlenbach und Bahnlinie gelegenen GWM 09929 werden die wesentlichen Tendenzen im Verlauf der Grundwasserstände durch die Berechnung wieder gegeben (Anlage 10.2.6). Gegenüber Schritt 1 (Anlage 10.1.6) ist eine deutliche Verbesserung der Anpassung, insbesondere im 2. Anstieg zu verzeichnen. Die berechnete Schwankungsbreite erreicht mit rd. 1,0 m annähernd den beim HW 2013 gemessenen maximale Gesamtanstieg der Grundwasserstände von rd. 1,15 m.
- An den östlich der Bahnlinie gelegenen GWM 09945, 09949 und 09930 (Anlage 10.2.7 bis Anlage 10.2.9) werden im Schritt 2 deutlich intensivere Reaktionen der Grundwasserstände berechnet als im Schritt 1.

Dies betrifft insbesondere die nahe zum östlichen Talrand bei Haldenwang gelegenen GWM 09930 (Anlage 10.2.9). Der berechnete maximale Anstieg der Grundwasserstände wird dort zu 0,72 m ermittelt, er liegt damit nur 0,06 m unter der aus den Messwerten abgeleiteten Schwankungsbreite (0,78 m). Dies belegt erwartungsgemäß, dass die Grundwasserstände dort maßgeblich durch Einflüsse infolge Grundwasserneubildung aus Niederschlag geprägt werden.

An den GWM 09945 und 09949 (Anlagen 10.2.7 und 10.2.8) fällt der berechnete Anstieg der Grundwasserstände mit rd. 0,6 m (GWM 09945) bzw. rd. 0,4 m (GWM 09949) um rd. 0,45 m bzw. rd. 0,2 m geringer aus, als aus den Messwerten ablesbar.

Dementsprechend ist auch dort von zusätzlichen instationären Einflüssen auf die Grundwasserstände auszugehen (Gewässersystem östlich der Bahnlinie).

**Achse III – III'** (Anlagen 10.2.10 bis 10.2.13):

- An der nahe an der Mindel gelegenen GWM 09931 ergeben sich durch die im Schritt 2 zusätzlich berücksichtigte Grundwasserneubildung erwartungsgemäß nur geringfügige Veränderungen in den Berechnungsergebnissen. Es liegt dort weiterhin eine gute Nachbildung der gemessenen Werte durch die Berechnung vor (Anlage 10.2.10).
- Auch an der ca. 160 m von der Brühl-Mindel entfernten gelegenen GWM 09932 werden im Schritt 2 die gemessenen Reaktionen ebenfalls gut abgebildet (Anlage 10.2.11). Der Gesamtanstieg bis zum Scheitelwert in der 2. Welle fällt mit rd. 1,4 m etwas intensiver aus als die aus den Messwerten abgeleitete Schwankungsbreite von 1,25 m. Insgesamt bedeutet dies, dass die gewählten Modellparameter auf der sicheren Seite der Betrachtung liegen.
- An den östlich des Scheidgrabens gelegenen GWM 09951 und 09333 (Anlage 10.2.12 und Anlage 10.2.13) werden im Schritt 2 insgesamt intensivere Reaktionen berechnet. Die gemessenen Scheitelwerte werden durch die Berechnung jedoch noch nicht erreicht. An der GWM 09931 liegt die für den Betrachtungszeitraum berechnete Schwankungsbreite mit 0,83 m nur 0,07 m unter dem aus den Messwerten ableitbaren Wert (0,90 m). An der GWM 09333 fällt der berechnete Wert mit 0,54 m ca. 0,3 m geringer aus, als die Messwerte ergeben (0,87 m).

Dies ist dadurch bedingt, dass die Grabenwasserspiegel in diesem Gebiet im Schritt 2 noch als zeitlich unverändert angesetzt sind, was zu einer Dämpfung der berechneten Auswirkungen im Grundwasser führt. Dementsprechend ist auch dort von zusätzlichen instationären Einflüssen auf die Grundwasserstände auszugehen (Gewässersystem östlich der Bahnlinie).

**Achse IV – IV'** (Anlagen 10.2.14 bis 10.2.16):

- An der GWM 09952, die sich zwischen Mindel und Erlenbach an der GZ 11 befindet, wird die gemessene Veränderung der Grundwasserstände durch die Berechnung in den Haupttendenzen richtig wieder gegeben (Anlage 10.2.14). Die Scheitelwerte werden durch die Berechnungsergebnisse weiterhin nicht erreicht. Nach dem 2. Anstieg der Grundwasserstände ist in der Berechnung – im Vergleich zu den Messwerten - ein sehr schneller, d.h. steiler Rückgang der Grundwasserstände zu verzeichnen. Der geringere Rückgang in den Messwerten weist darauf hin, dass dort zusätzliche instationäre Einflüsse wirksam sind.
- An den beiden östlich der Bahnlinie gelegenen GWM 09955 und 09956 (Anlage 10.2.15 und 10.2.16) fallen die berechneten Reaktionen intensiver aus als im Schritt 1:

- GWM 09955: berechnete Schwankungsbreite rd. 0,6 m, gemessen rd. 1 m.
- GWM 09956: berechnete Schwankungsbreite rd. 0,1 m, gemessen rd. 0,8 m.

Der Verlauf der Grundwasserstände wird dort demzufolge von weiteren Einflussgrößen bestimmt (Wasserstandsänderungen in Scheidgraben bzw. dem östlich angrenzenden Grabensystem).

Insgesamt lässt sich für den **Schritt 2** feststellen:

- An den zwischen westlichem Talrand und dem Erlenbach gelegenen GWM (09931, 09931, 09940 bis 09942, Lage siehe Anlage 8) wird insgesamt eine gute Anpassung erreicht. Die berechneten Grundwasserstände bilden die gemessenen Werte im zeitlichen Verlauf und in den Amplituden gut nach.

Auch an den weiter östlich bis zur Bahnlinie bestehenden GWM (09929, 09940) wird bereits überwiegend eine gute Anpassung erreicht.

Dies bestätigt, dass die Grundwasserstände in diesem Gebiet vorrangig durch Wasserstandsänderungen an (Brühl-)Mindel und Erlenbach sowie die flächige Grundwasserneubildung aus Niederschlag geprägt werden.

- Die insgesamt gute Nachbildung der Phasen mit ansteigenden und abfallenden Grundwasserständen zeigt zudem, dass das natürliche Verhalten des Grundwasserleiters, d.h. das Auffüllen und die Entleerung des Porenraumes, durch die gewählten Modellparameter (Speicherkoeffizienten) in der Größenordnung richtig wieder gegeben wird.
- Östlich der Bahnlinie fallen die berechneten Reaktionen noch geringer aus als aus den Messwerten ablesbar ist. Dementsprechend ist für diesen Bereich von zusätzlichen instationären Einflüssen auf die Grundwasserstände auszugehen (Gewässersystem östlich der Bahnlinie).

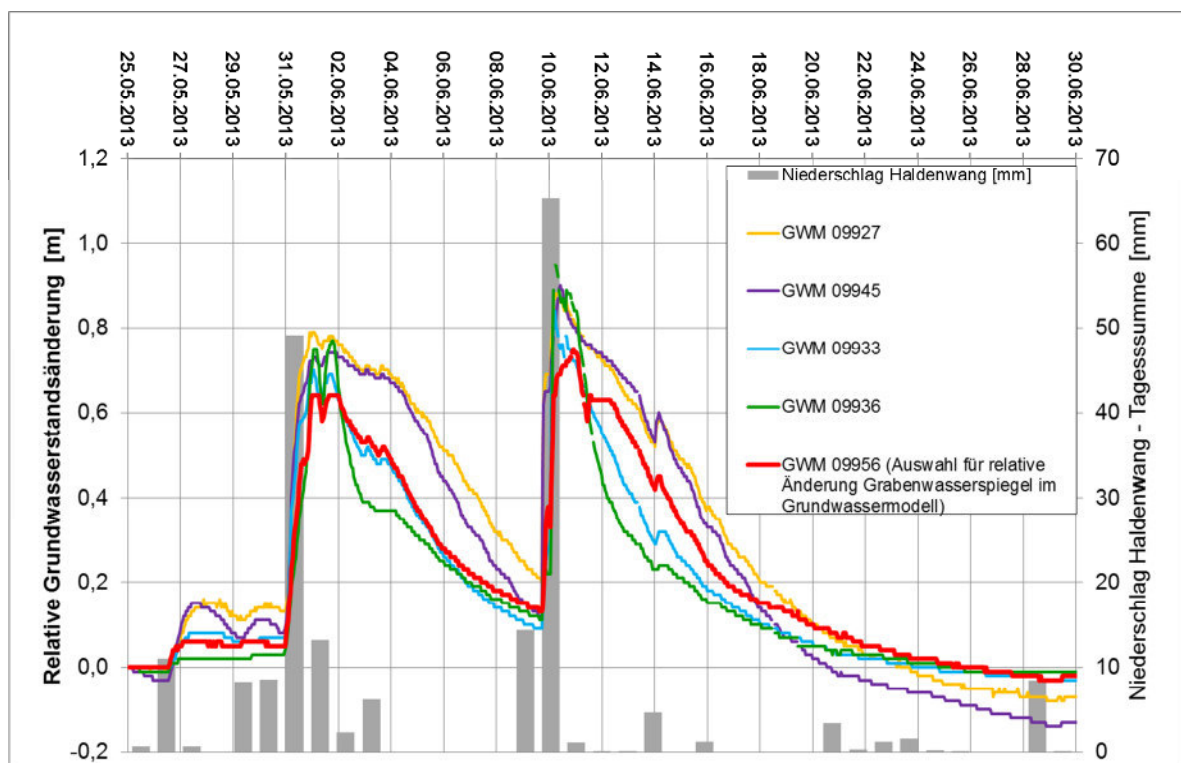
### 3.3.4.3 Schritt 3

Die Im Rahmen der durchgeführten Schritte 1 und 2 ermittelten Ergebnisse zeigen für das modellgebiet westlich der Bahnlinie weitgehend gute Anpassungsergebnisse.

Aus dem gemessenen Verlauf der Grundwasserstände an den östlich der Bahnlinie gelegenen GWM ergaben sich Hinweise, dass die Grundwasserstände dort durch Änderungen der Wasserspiegel im Scheidgraben und an dem von Osten zufließenden Grabensystem beeinflusst wurden. Für dieses Gebiet lagen jedoch keine Messdaten zu den während des HW 2013 aufgetretenen Wasserständen/Abflüssen vor, es wurde daher im vorliegenden 2D-WSP-Modell (Bestandsmodell) auch nicht abgebildet.

Für die Untersuchungen mit dem Grundwassermodell erfolgte daher eine **größenordnungsmäßige Abschätzung** des voraussichtlichen Verhältnisse beim HW 2013 am Scheidgraben und an den Gräben östlich der Bahnlinie. Grundlage für die gewählte Vorgehensweise war die Überlegung, dass sich Wasserstandsänderungen in den Gräben in gedämpfter Form an benachbarten GWM bemerkbar machen. Die an den GWM östlich der Bahnlinie beim HW 2013 gemessenen Grundwasserstände geben vermutlich sowohl hinsichtlich des zeitlichen Verlaufes, als auch hinsichtlich der Größenordnung die beim HW 2013 aufgetretenen Schwankungen der Wasserstände an den dortigen Gräben wieder. Diese indirekte Ableitung ist möglich, da in diesem Gebiet eine intensive Wechselwirkung zwischen den Gräben und dem Grundwasser besteht. Die Gräben östlich der Bahnlinie fungieren bereits bei mittleren hydrologischen Verhältnissen als Vorfluter für das Grundwasser (siehe HGM [4]).

Zur Beurteilung der Verhältnisse im Bereich des Scheidgrabens und dem östlich angrenzenden Grabensystem wurden die gemessenen Grundwasserstände an den GWM 09927, 09933, 09936, 09945 und 09956 herangezogen. In Abbildung 11 sind die gemessenen, relativen Änderungen der Grundwasserstände - jeweils gegenüber der Ausgangssituation vor dem HW 2013 (25.05.2013) – an den betrachteten GWM dargestellt. Zusätzlich mit eingetragen ist die Niederschlagsentwicklung an der Wetterstation Haldenwang (LfL).



**Abbildung 11: Relative Änderung der Grundwasserstände an ausgewählten GWM im Gebiet östlich der Bahnlinie und Niederschlag Station Haldenwang**

Hieraus lässt sich ableiten:

- Der zeitliche Verlauf der Grundwasserstände korrespondiert mit der Niederschlagsentwicklung an der Wetterstation Haldenwang, die sich im östlichen orohydrografischen EZG der Grabensysteme befindet. An Tagen mit ausgeprägten Niederschlägen von ca. 50 – 65 mm (31.05.2013 bzw. 10.06.2013) ist jeweils ein deutlicher Anstieg der Grundwasserstände um ca. 0,8 m zu erkennen. In den jeweils darauf folgenden Phasen, mit Tagen ohne Niederschlag bzw. täglichen Niederschlagssummen überwiegend < 10 mm, ist ein Rückgang der Grundwasserstände bis annähernd auf das Ausgangsniveau vor dem HW 2013 festzustellen.

In Abhängigkeit von den jeweiligen örtlichen Verhältnissen und der Vorflutsituation zu den benachbarten Gräben, verläuft dieser Rückgang unterschiedlich schnell. Am Ende der „1. Welle“ und damit vor dem größten Anstieg der Grundwasserstände am 10.06.2013, liegen die Grundwasserstände an den betrachteten GWM um ca. 0,1 m bis 0,2 m höher als beim Ausgangsniveau vor dem HW 2013.

- An den am östlichen Talrand auf Höhe von Konzenberg (Lage siehe Anlage 8) nahe zum Angerbach gelegenen **GWM 09933 und 09936** ist nach dem Auftreten der „Grundwasserscheitel“ am 02.06.2013 und 11.06.2013, jeweils ein relativ schneller und damit steiler Rückgang der Grundwasserstände auf das Ausgangsniveau zu erkennen.

Dies weist auf den dominierenden Einfluss der Niederschläge auf die Grundwasserstände und damit indirekt auch auf die Grabenwasserstände in diesem Gebiet hin (Zuflüsse aus dem angrenzenden orohydrografischen Einzugsgebiet des Angerbaches). Die Zuflüsse können offensichtlich ohne wesentliche Verzögerung über die benachbarten Gräben abgeführt werden, was sich in einem schnellen Rückgang der Wasserstände in den Gräben und einem entsprechend schnellen Rückgang der korrespondierenden Grundwasserstände bemerkbar macht.

- An den nahe zum Scheidgraben gelegenen **GWM 09927 und 09945** (Lage siehe Anlage 1) ist - bei einem gegenüber den vorstehend genannten GWM sehr ähnlichen maximalen Anstieg der Grundwasserstände - ein zeitlich verzögerter Rückgang der Grundwasserstände auf das Ausgangsniveau erkennbar. Aufgrund der nahen Lage zum Vorfluter Scheidgraben ist davon auszugehen, dass der Verlauf der Grundwasserstände dort durch den Verlauf der Wasserstände im Scheidgraben mit geprägt wird.

Der verzögerte Rückgang der Grundwasserstände weist somit auf einen entsprechenden verzögerten Rückgang der Wasserstände im Scheidgraben hin. Dies erscheint plausibel, da dem Scheidgraben dort eine übergeordnete Vorfluter-Funktion für die von Osten zufließenden Gräben und Bäche zu kommt (Gesamtabfluss aus Triebgraben, Röfing Bach, etc.). Infolgedessen kommt es im Scheidgraben zu einer Überlagerung

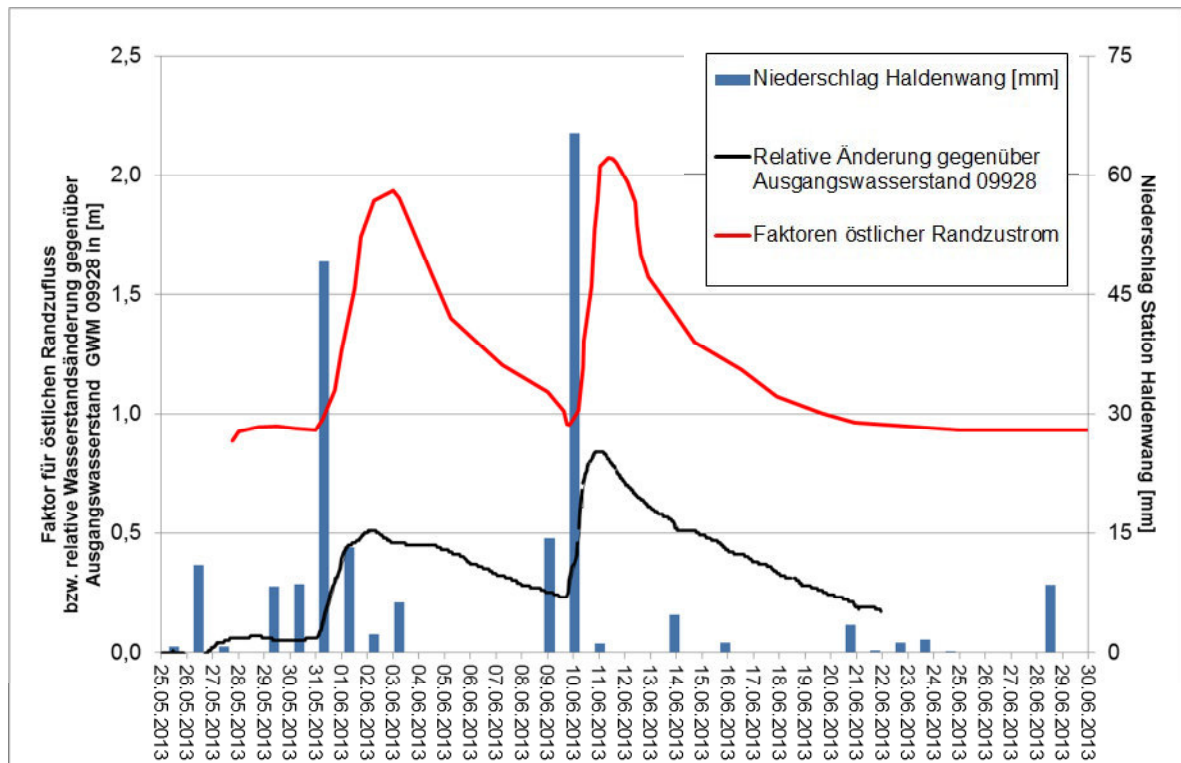
der Abflüsse aus den östlichen Teil-EZG, dies resultiert voraussichtlich in einem zeitlich „gestreckten“ Abfluss-Scheitel im Scheidgraben.

- Die **GWM 09956** gibt den zeitlichen Verlauf der Grundwasserstände auf Höhe von Konzenberg und nahe zum Scheidgraben wieder. Sie charakterisiert somit die Grundwasserverhältnisse am Scheidgraben, nach Zufluss der weiteren Gräben aus dem östlichen orohydrografischen EZG (Haldenwanger Bach, Angerbach, etc.).

In der Spitze der beiden Scheitelwerte am 31.05.2013 und 10.06.2013 sind an der GWM 09956 - im Spektrum der ermittelten Schwankungsbreiten - tendenziell die niedrigen Werte festzustellen. Im zeitlichen Verlauf der beiden „abfallenden Ästen“ nach Erreichen der jeweiligen Scheitelwerte charakterisieren die Messwerte annähernd einen mittleren Verlauf zwischen dem schnellem und dem langsamen Abfallen an den anderen betrachteten GWM.

Vor diesem Hintergrund wurde die an der GWM 09956 gemessene zeitliche Veränderung der Grundwasserstände beim HW 2013 als charakteristisch für den Verlauf der Grundwasserstände im Gebiet östlich der Bahnlinie und damit indirekt auch für den entsprechenden zeitlichen Verlauf der Grabenwasserstände im dort bestehenden Grabensystem ausgewählt. Dementsprechend wurden der Scheidgraben und das östlich angrenzende Grabensystem mit einer zeitlichen Veränderung der Wasserstände entsprechend den relativen Veränderungen der Grundwasserstände an der GWM 09956 in Abbildung 11 belegt (Seite 41). **Dieser Ansatz stellt eine größenordnungsmäßige, abschätzende Betrachtung dar.**

Darüber hinaus wurde der, im Rahmen der Aufstellung des HGM [4] abgeleitete Randzustrom aus dem östlichen orohydrografischen EZG (57 l/s), zeitlich variierend in das instationäre Grundwassermodell übernommen.



**Abbildung 12: Faktoren zur zeitlichen Veränderung des östlichen Randzuflusses**

Die Festlegung erfolgte entsprechend der Darstellung in Abbildung 10 unter Berücksichtigung des zeitlichen Verlaufes der Niederschläge an der Wetterstation Haldenwang und der zeitlich verzögerten Reaktion der Grundwasserstände am östlichen Talrand, beispielhaft dargestellt anhand der relativen Grundwasserstandsänderungen an der GWM 09928 (0,8 bis 2,1-fache des stationären Zuflusses).

Die Ergebnisse der instationären Modellanpassung im **Schritt 3** sind in Anlage 10.3 zusammengestellt. Hieraus ergeben sich folgende Feststellungen:

**Achse I – I' (Anlagen 10.3.1 bis 10.3.5):**

- An den GWM 09940 und 09942 (Anlagen 10.3.1 bis 10.3.3) ergeben sich im Schritt 3 der instationären Anpassung erwartungsgemäß keine Veränderungen gegenüber den Ergebnissen im Schritt 2.

An allen 3 GWM werden sowohl der gemessene Anstieg der Grundwasserstände, als auch der Rückgang, nach Erreichen des jeweiligen „Grundwasserscheitel“, durch die Berechnung im zeitlichen Verlauf richtig wieder gegeben. Auch die berechnete Schwankungsbreite der Grundwasserstände gibt den im Betrachtungszeitraum gemessenen maximalen Anstieg der Grundwasserstände in der Größenordnung richtig wieder.



- An den nahe zur Bahnlinie bzw. östlich davon gelegenen GWM 09927 und 09928 (Anlagen 10.3.4 bis 10.3.5) tritt durch die zusätzliche Berücksichtigung der instationären Änderungen in Schritt 3 eine deutliche Verbesserung der Modellanpassung ein. Der aus den Messwerten ersichtliche zeitliche Verlauf der Grundwasserstände wird durch die Berechnung in den wesentlichen Tendenzen richtig wieder gegeben. Dies betrifft insbesondere auch die Dynamik der Grundwasserstandsänderungen in der Anstiegsphase und beim Rückgang der Grundwasserstände.  
Die berechnete Schwankungsbreite der Grundwasserstände beim HW 2013 fällt dort mit rd. 1,3 m (GWM 09927) bzw. 1,0 m (GWM 09928) um rd. 0,4 m bzw. rd. 0,2 m höher aus, als aus den Messwerten im Betrachtungszeitraum abgeleitet wurde. Die für das östlich der Bahnlinie gelegene Grabensystem gewählten Modellparameter und Randbedingungen liegen somit im Hinblick auf die Abbildung der Einflüsse aus dem Grabensystem auf der sicheren Seite der Betrachtung.

#### **Achse II – II' (Anlagen 10.3.6 bis 10.3.9):**

- An der zwischen Erlenbach und Bahnlinie gelegenen GWM 09929 (Anlage 10.3.6) wurde im Schritt 3 eine weitere Verbesserung der Anpassung erreicht. Die berechnete Schwankungsbreite erreicht mit rd. 1,12 m nahezu den beim HW 2013 gemessenen maximalen Gesamtanstieg der Grundwasserstände von 1,14 m.
- An den östlich der Bahnlinie gelegenen GWM 09945, 09949 und 09930 (Anlage 10.3.7 bis Anlage 10.3.9) wird im Schritt 3 ebenfalls eine deutliche Verbesserung und eine insgesamt gute Anpassung der Berechnung an den zeitlichen Verlauf der Messwerte erreicht. Die berechnete Schwankungsbreite (maximaler Anstieg beim HW 2013) liegt an diesen 3 GWM um rd. 0,1 m bis 0,25 m höher als sich aus den Messwerten ergibt.  
Hinsichtlich der GWM 09949 ist diesbezüglich festzustellen, dass die Messwerte dort eine Begrenzung des Anstieges auf ca. 452,0 bis 452,1 mNN erkennen lassen, mit einem phasenweise nicht plausiblen horizontalen Verlauf der Grundwasserstände. Vermutlich ist diese Messwertverfälschung durch das Aufschwimmen der Drucksonde bis in das Aufsatzrohr der GWM (ca. Höhe GOK) bedingt.

#### **Achse III – III' (Anlagen 10.3.10 bis Anlagen 10.3.13):**

- An der nahe an der Mindel gelegenen GWM 09931 ergeben sich durch die im Schritt 3 zusätzlich berücksichtigte Grundwasserneubildung erwartungsgemäß nur geringfügige Veränderungen in den Berechnungsergebnissen. Es liegt dort weiterhin eine gute Nachbildung der gemessenen Werte durch die Berechnung vor (Anlage 10.3.10).
- Auch an der ca. 160 m von der Brühl-Mindel entfernten gelegenen GWM 09932 werden im Schritt 2 die gemessenen Reaktionen ebenfalls gut abgebildet (Anlage 10.2.11). Der Gesamtanstieg bis zum Scheitelwert in der 2. Welle fällt mit rd. 1,5 m etwas intensiver aus als die aus den Messwerten abgeleitete Schwankungsbreite von

1,25 m. Insgesamt bedeutet dies, dass die gewählten Modellparameter auf der sicheren Seite der Betrachtung liegen.

- An den östlich des Scheidgrabens gelegenen GWM 09951 und GWM 09333 (Anlage 10.2.12 und Anlage 10.2.13) wird im Schritt 3 ebenfalls eine gute Abbildung des wesentlichen Tendenzen im Verlauf der gemessenen Grundwasserstände durch die Berechnung erreicht. Die berechnete Schwankungsbreite liegt im Betrachtungszeitraum mit rd. 1,1 m (GWM 09951) bzw. rd. 1,2 m (GWM 09333) um 0,2 m bis rd. 0,35 m höher als die aus den Messwerten abgeleitete Schwankungsbreite (siehe auch Tabelle 9 auf Seite 25).

Hinsichtlich der Beurteilung der Messwerte an der GWM 09951 ist festzustellen, dass in beiden Anstiegsphasen, ab einem Wasserstand von ca. 449,92 mNN, ein nicht plausibler, linearer ansteigender Verlauf der Grundwasserstände bis zum identischen Scheitelwert von rd. 450,12 mNN zu erkennen ist. Der gemessene Scheitelwert liegt rd. 0,5 m unter der Messstellenkappe und damit oberhalb der GOK am Standort der GWM 09951. Dies weist darauf hin, dass der gemessene Scheitelwert vermutlich durch das Aufschwimmen der Drucksonde bis in das oberirdische Messstellenrohr beeinflusst wurde.

#### **Achse IV – IV<sup>f</sup> (Anlagen 10.3.14 bis 10.3.16):**

- An der GWM 09952, die sich zwischen Mindel und Erlenbach an der GZ 11 befindet, wird die gemessene Veränderung der Grundwasserstände durch die Berechnung in den Haupttendenzen richtig wieder gegeben (Anlage 10.2.14). Die berechnete Schwankungsbreite gibt den aus den Messwerten abgeleiteten maximalen Anstieg der Grundwasserstände genau wieder (rd. 1 m) allerdings werden die gemessenen Scheitelwerte durch die Berechnungsergebnisse weiterhin nicht erreicht.
- An den beiden östlich der Bahnlinie gelegenen GWM 09955 und 09956 (Anlage 10.3.15 und 10.3.16) wird im Schritt 3 eine gute Anpassung der Berechnung an die Messwerte erreicht. Dies betrifft sowohl den zeitlichen Verlauf der gemessenen Entwicklung der Grundwasserstände, als auch die Dynamik in den jeweiligen Phasen. Zudem wird mit Abweichungen von < 0,1 m auch die gemessene Schwankungsbreite durch die Berechnung gut abgebildet.

Insgesamt lässt sich für den **3. Schritt** feststellen:

- An den 16 ausgewählten GWM, die auf repräsentativen Achsen im Modellgebiet ausgewählt wurden, wird insgesamt eine gute Anpassung der instationären Anpassung an die Messwerte während des HW 2013 erreicht.
- Die berechneten Grundwasserstände bilden die gemessenen Werte sowohl im zeitlichen Verlauf als auch in den Amplituden überwiegend gut nach. An den 16 betrachte-

ten GWM liegt die mittlere Abweichung zwischen gemessener Schwankungsbreite und berechnete Schwankungsbreite bei 0,14 m. Die gemessene Schwankungsbreite wird folglich (insbesondere im 2. Anstieg) durch die Berechnung tendenziell überzeichnet. Die gewählten Modellparameter liegen somit im Hinblick auf die Auswirkungen auf die Grundwasserstände auf der sicheren Seite der Betrachtung.

- Die insgesamt gute Nachbildung der Phasen mit ansteigenden und abfallenden Grundwasserständen zeigt zudem, dass durch die gewählten Modellparameter das natürliche Verhalten des Grundwasserleiters (Auffüllung und Entleerung des Porenraumes) in der Größenordnung richtig wieder gegeben wird.
- Die in der Größenordnung und in der Dynamik gute Wiedergabe der gemessenen GWST an den GWM östlich der Bahnlinie belegt, dass mit dem gewählten Ansatz die im dortigen Grabensystem beim HW 2013 bestehenden Verhältnisse in ihren wesentlichen Charakteristiken 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.

Insgesamt ergibt sich hieraus, dass im **Schritt 3** die bei dem HW 2013 gemessenen Grundwasserstände durch die Berechnung in den wesentlichen Reaktionen und in der Größenordnung richtig nachgebildet werden. Der Schritt 3 stellt somit den Endfall der instationären Anpassung an das HW 2013 dar.

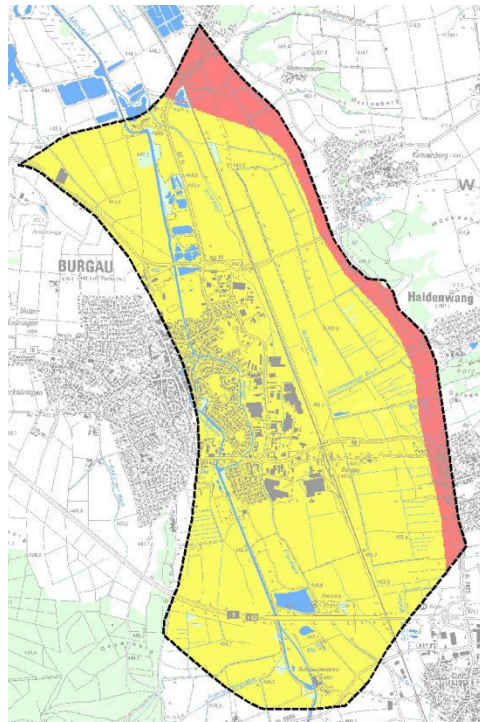
### 3.3.5 Endverteilung Modellparameter

#### Anpassungen an den Nebengewässern:

- Im Rahmen der instationären Modellanpassung erfolgte schrittweise eine Modifikation der Leakage-Faktoren am Erlenbach im Bereich nördlich der GWM 09932 und dem nördlichen Modellrand (Erhöhung von  $L = 1 \cdot 10^{-4}$  1/s auf  $L = 1 \cdot 10^{-3}$  1/s).
- Weiterhin wurden für den Haldenwanger Bach südlich der GWM 09930 am östlichen Modellrand der Leakage-Faktor modifiziert (Verringerung von  $L = 1 \cdot 10^{-4}$  1/s auf  $L = 1 \cdot 10^{-6}$  1/s).

#### Anpassung von Untergrundkennwerten:

Am östlichen Talrand bei Haldenwang und Röfingen, im Übergang zum tertiären Hügelland, nimmt die Deckschichtmächtigkeit auf mehrere Meter zu. Es werden dort überwiegend stark schluffige Feinsande angetroffen. Auch in den quartären Sedimenten ist ein zum Talrand zunehmender Anteil an sandigen und schluffigen Bestandteilen festzustellen [4]. Vor diesem Hintergrund wurde der Speicherkoeffizient für (teil-)gespannte Grundwasserverhältnisse am östlichen Talrand höher angesetzt, als im übrigen Modellgebiet.



**Abbildung 13: Regionalisierung des Speicherkoeffizienten für (teil-)gespannte Grundwasserhältnisse (rot: 10 %, gelb: 0,2 %)**

Im Rahmen der Modellanpassung ermittelte Speicherkoeffizienten:

- für freie Grundwasserhältnisse: 15 %
- für (teil)gespannte Grundwasserhältnisse (s. Abbildung 13):
  - Schmäler Streifen am östlichen Talrand (rot): 10 %
  - Übriges Modellgebiet (gelb): 0,2 %

#### **Berechnete Grundwasserneubildung/nutzbare Feldkapazität:**

Die bei der Berechnung der instationären Grundwasserneubildung (Kap. 3.3.2.4) zugrunde gelegte Endverteilung der nutzbaren Feldkapazität ist aus Anlage 12 ersichtlich.

### **3.3.6 Gesamtbewertung**

Gemäß den einschlägigen technischen Regeln (DVGW W 107 (A), [6]) 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 (Wasserstand Mindel, Wasserstand Gräben, Niederschlag, Randzufluss, vermutlich auch AW-Kanalnetz), die zu komplexen Wechselwirkungen mit dem Grundwasser führen.
- Die Berücksichtigung der instationären Grundwasserneubildung aus Niederschlag erfolgte durch zusätzliche numerische Berechnungen [5], die als Randbedingung an das Grundwassermodell übergeben wurde.
- Einige Einflussgrößen konnten nur abgeschätzt werden (Entwicklung der Wasserstände an den Gräben östlich der Bahnlinie, Randzufluss), da keine Messdaten für die Verhältnisse beim HW 2013 vorlagen.

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 östlich der Bahnlinie). Insgesamt liegen die gewählten Ansätze damit auf der sicheren Seite der Betrachtung.

**Mit dem stationär und instationär angepassten Grundwassermodell liegt ein prognosefähiges Instrument für die Planungsberechnungen zum HWS Burgau vor.** Eine Verifizierung der instationären Anpassung an das HW 2013 kann durch eine Vergleichsanpassung (Modelltest gemäß [6]) an ein weiteres Hochwasserereignis mit geeigneter Datengrundlage erfolgen. Zum Zeitpunkt der Berichtserstellung lagen entsprechende geeignete Vergleichsdaten nicht vor.

Projektbearbeitung:  
Dipl.-Ing. D. Knötschke  
Dipl.-Geoök. S. Sinico

Koblenz, im Dezember 2016  
Björnsen Beratende Ingenieure GmbH  
Niederlassung Augsburg

Dr.-Ing. Michael Probst







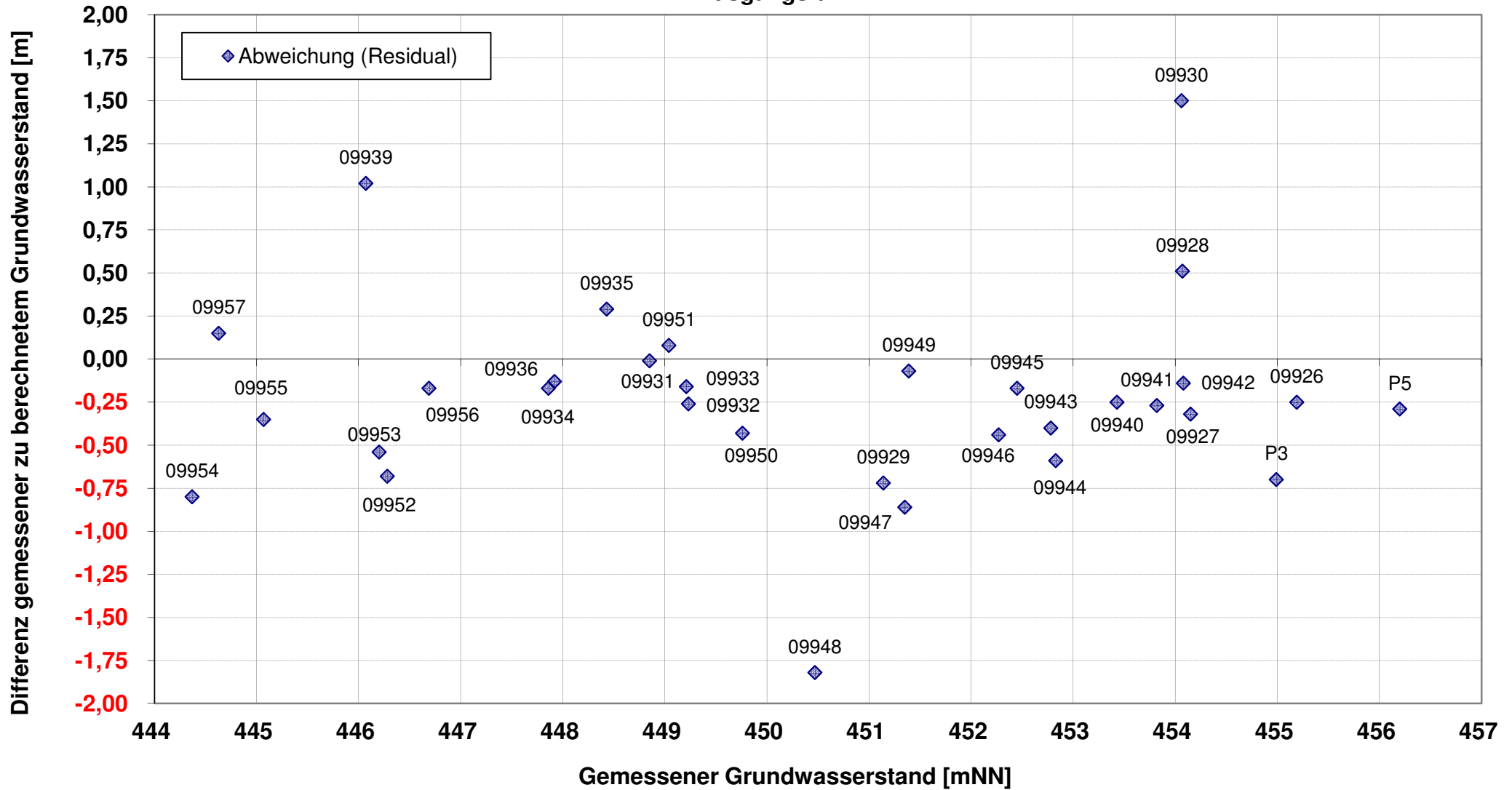
**Gegenüberstellung gemessener und berechneter Grundwasserstände  
Stationäre Anpassung an Stichtagsmessung 24./25.05.2011 - Ausgangsfall**

Messstelle - amtliche Bezeichnung	Messstelle - bisherige Bezeichnung bzw. Arbeitsbezeichnung	Grundwasserstand gemessen [mNN]	Grundwasserstand berechnet [mNN]	Differenz berechnet zu gemessen [m]
09926	N1	455,19	455,44	-0,25
09927	N2	454,15	454,47	-0,32
09928	N3	454,07	453,56	0,51
09929	N4	451,14	451,86	-0,72
09930	N5	454,06	452,56	1,50
09931	N6	448,85	448,86	-0,01
09932	N7	449,23	449,49	-0,26
09933	N8	449,21	449,37	-0,16
09934	N9	447,86	448,03	-0,17
09935	N10	448,43	448,14	0,29
09936	N11	447,92	448,05	-0,13
09939	N14	446,07	445,05	1,02
09940	GWM2	453,43	453,68	-0,25
09941	BK 8A/08	453,82	454,09	-0,27
09942	BK 4/08	454,08	454,22	-0,14
09943	BK 14/08	452,78	453,18	-0,40
09944	GWM1 (suedlich Burgau)	452,83	453,42	-0,59
09945	GWM4 Weh	452,45	452,62	-0,17
09946	GWM-IG1	452,27	452,71	-0,44
09947	GWM II (Lidl)	451,35	452,21	-0,86
09948	GWM I (Im unteren Bruehl)	450,47	452,29	-1,82
09949	GWM4	451,39	451,46	-0,07
09950	GWM1	449,76	450,19	-0,43
09951	BK 42/08	449,04	448,96	0,08
09952	BGW 2	446,28	446,96	-0,68
09953	BGW 4	446,20	446,74	-0,54
09954	BGW 8	444,37	445,17	-0,80
09955	BGW 11	445,07	445,42	-0,35
09956	BGW 13	446,69	446,86	-0,17
09957	BGW 106	444,63	444,48	0,15
P3	P3	454,99	455,69	-0,70
P5	P5	456,20	456,49	-0,29

<b>Mittelwert</b>		450,45	450,68	-0,23
<b>Maximum</b>		456,20	456,49	1,50
<b>Minimum</b>		444,37	444,48	-1,82
<b>Standardabweichung</b>		3,43	3,46	0,57

**Differenz positiv:** berechneter Wert niedriger als Messwert  
**Differenz negativ:** berechneter Wert höher als Messwert

**Gegenüberstellung gemessener und berechneter Grundwasserstände**  
**Stationäre Anpassung Stichtagsmessung 24./25. Mai 2011**  
**- Ausgangsfall -**





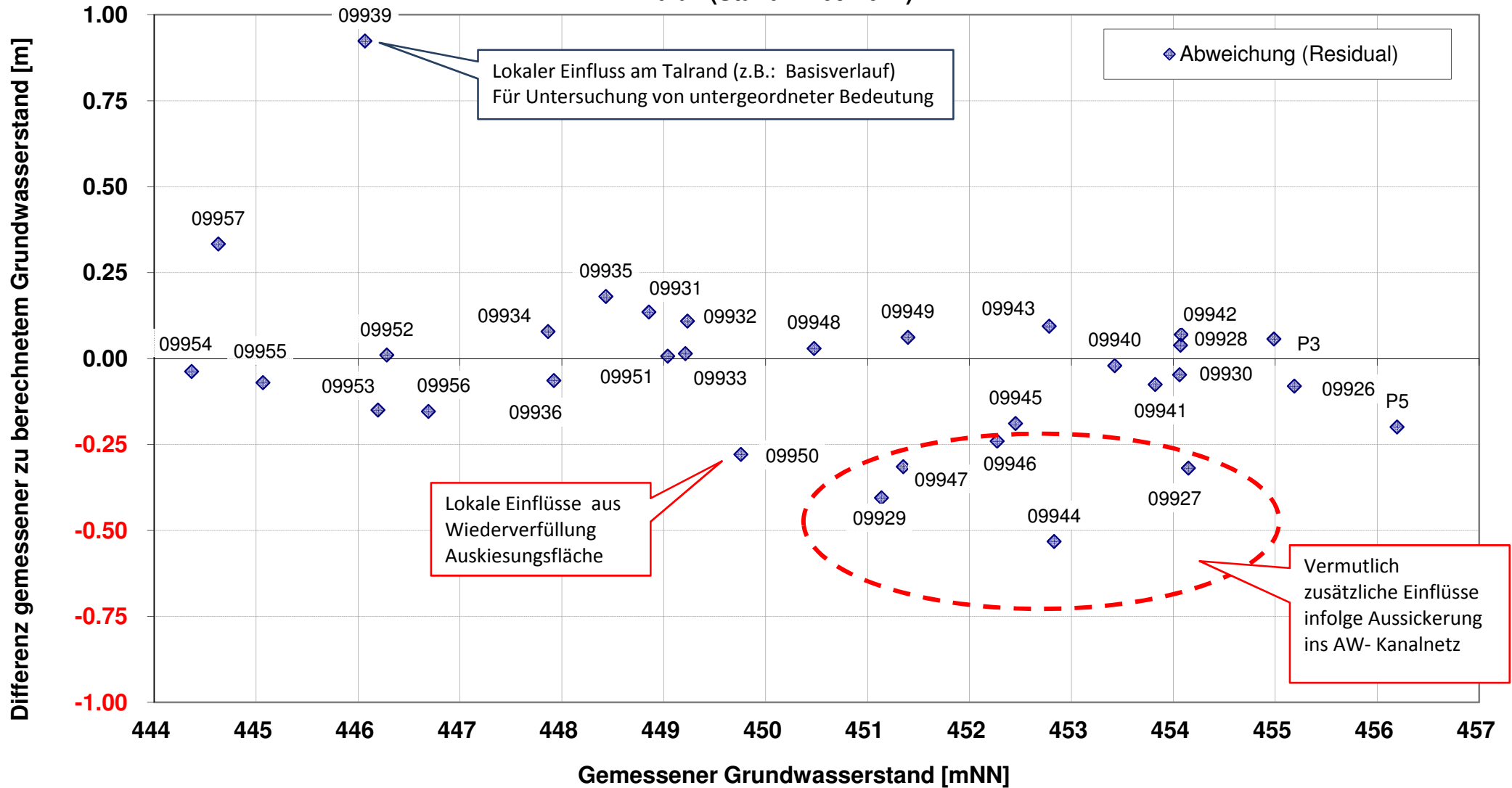
**Gegenüberstellung gemessener und berechneter Grundwasserstände**  
**Stationäre Anpassung an Stichtagsmessung 24./25.05.2011 - Endfall (Stand 17.09.2014)**

Messstelle - amtliche Bezeichnung	Messstelle - bisherige Bezeichnung bzw. Arbeitsbezeichnung	Grundwasserstand gemessen [mNN]	Grundwasserstand berechnet [mNN]	Differenz gemessen zu berechnet [m]
09926	N1	455.19	455.27	-0.08
09927	N2	454.15	454.47	-0.32
09928	N3	454.07	454.03	0.04
09929	N4	451.14	451.54	-0.40
09930	N5	454.06	454.11	-0.05
09931	N6	448.85	448.72	0.14
09932	N7	449.23	449.12	0.11
09933	N8	449.21	449.20	0.01
09934	N9	447.86	447.79	0.08
09935	N10	448.43	448.25	0.18
09936	N11	447.92	447.98	-0.06
09939	N14	446.07	445.14	0.92
09940	GWM2	453.43	453.45	-0.02
09941	BK_8A/08	453.82	453.90	-0.08
09942	BK_4/08	454.08	454.01	0.07
09943	BK_14/08	452.78	452.69	0.09
09944	GWM1_suedlich_Burgau	452.83	453.36	-0.53
09945	GWM4_Weh	452.45	452.64	-0.19
09946	GWM-IG1	452.27	452.51	-0.24
09947	GWM II Lidl	451.35	451.66	-0.31
09948	GWM I Im unteren Bruehl	450.47	450.44	0.03
09949	GWM4	451.39	451.33	0.06
09950	GWM1	449.76	450.04	-0.28
09951	BK_42/08	449.04	449.03	0.01
09952	BGW_2	446.28	446.27	0.01
09953	BGW_4	446.20	446.35	-0.15
09954	BGW_8	444.37	444.40	-0.04
09955	BGW_11	445.07	445.14	-0.07
09956	BGW_13	446.69	446.84	-0.16
09957	BGW_106	444.63	444.30	0.33
P3		454.99	454.93	0.06
P5		456.20	456.39	-0.19
<b>Mittelwert</b>		450.45	450.48	-0.03
<b>Maximum</b>		456.20	456.39	0.92
<b>Minimum</b>		444.37	444.30	-0.53
<b>Standard- abweichung</b>		3.43	3.52	0.25

**Differenz positiv:**  
**Differenz negativ:**

berechneter Wert niedriger als Messwert  
 berechneter Wert höher als Messwert

**Gegenüberstellung gemessener und berechneter Grundwasserstände**  
**Stationäre Anpassung Stichtagsmessung 24./25. Mai 2011**  
**- Endfall (Stand 17.09.2014) -**

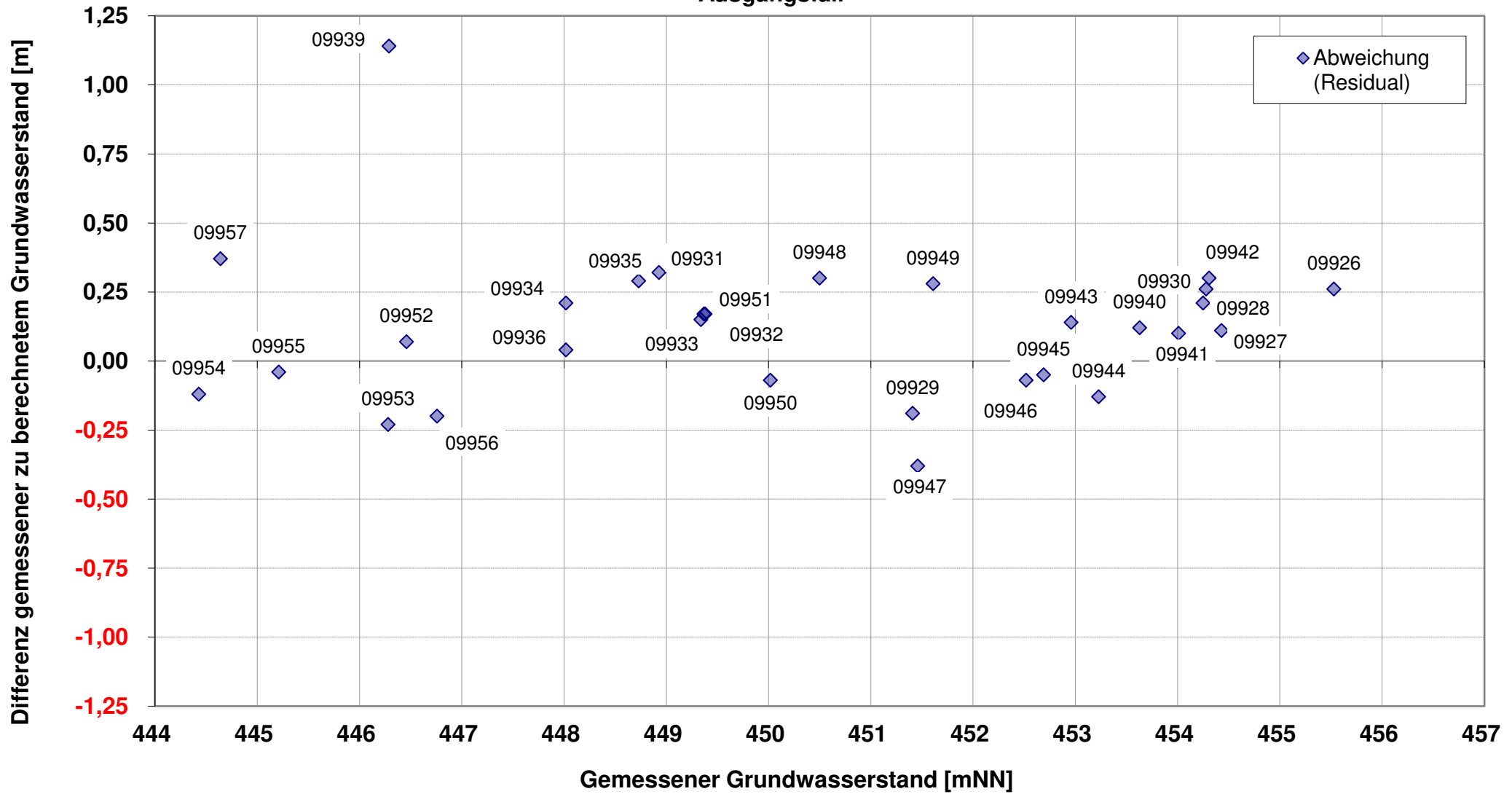


**Gegenüberstellung gemessener und berechneter Grundwasserstände  
Stationäre Anpassung Mittelwert 03/2011 - 12/2014 - Ausgangsfall**

Messstelle - amtliche Bezeichnung	Messstelle - bisherige Bezeichnung bzw. Arbeitsbezeichnung	Grundwasserstand gemessen [mNN]	Grundwasserstand berechnet [mNN]	Differenz gemessen zu berechnet [m]
09926	N1	455,53	455,27	0,26
09927	N2	454,43	454,32	0,11
09928	N3	454,28	454,02	0,26
09929	N4	451,41	451,60	-0,19
09930	N5	454,25	454,04	0,21
09931	N6	448,93	448,61	0,32
09932	N7	449,37	449,20	0,17
09933	N8	449,34	449,19	0,15
09934	N9	448,02	447,81	0,21
09935	N10	448,73	448,44	0,29
09936	N11	448,02	447,98	0,04
09939	N14	446,29	445,15	1,14
09940	GWM2	453,63	453,51	0,12
09941	BK_8A/08	454,01	453,91	0,10
09942	BK_4/08	454,31	454,01	0,30
09943	BK_14/08	452,96	452,82	0,14
09944	GWM1_suedlich_Burgau	453,23	453,36	-0,13
09945	GWM4_Weh	452,69	452,74	-0,05
09946	GWM-IG1	452,52	452,59	-0,07
09947	GWM II Lidl	451,46	451,84	-0,38
09948	GWM I Im_unteren_Bruehl	450,50	450,20	0,30
09949	GWM4	451,61	451,33	0,28
09950	GWM1	450,02	450,09	-0,07
09951	BK_42/08	449,38	449,21	0,17
09952	BGW_2	446,46	446,39	0,07
09953	BGW_4	446,28	446,51	-0,23
09954	BGW_8	444,43	444,55	-0,12
09955	BGW_11	445,21	445,25	-0,04
09956	BGW_13	446,76	446,96	-0,20
09957	BGW_106	444,64	444,27	0,37
<b>Mittelwert</b>		450,29	450,17	0,12
<b>Maximum</b>		455,53	455,27	1,14
<b>Minimum</b>		444,43	444,27	-0,38
<b>Standard- abweichung</b>		3,31	3,33	0,27

**Differenz positiv:** berechneter Wert niedriger als Messwert  
**Differenz negativ:** berechneter Wert höher als Messwert

**Gegenüberstellung gemessener und berechneter Grundwasserstände**  
 Stationäre Anpassung Mittelwert 03/2011 bis 12/2014  
 - Ausgangsfall -

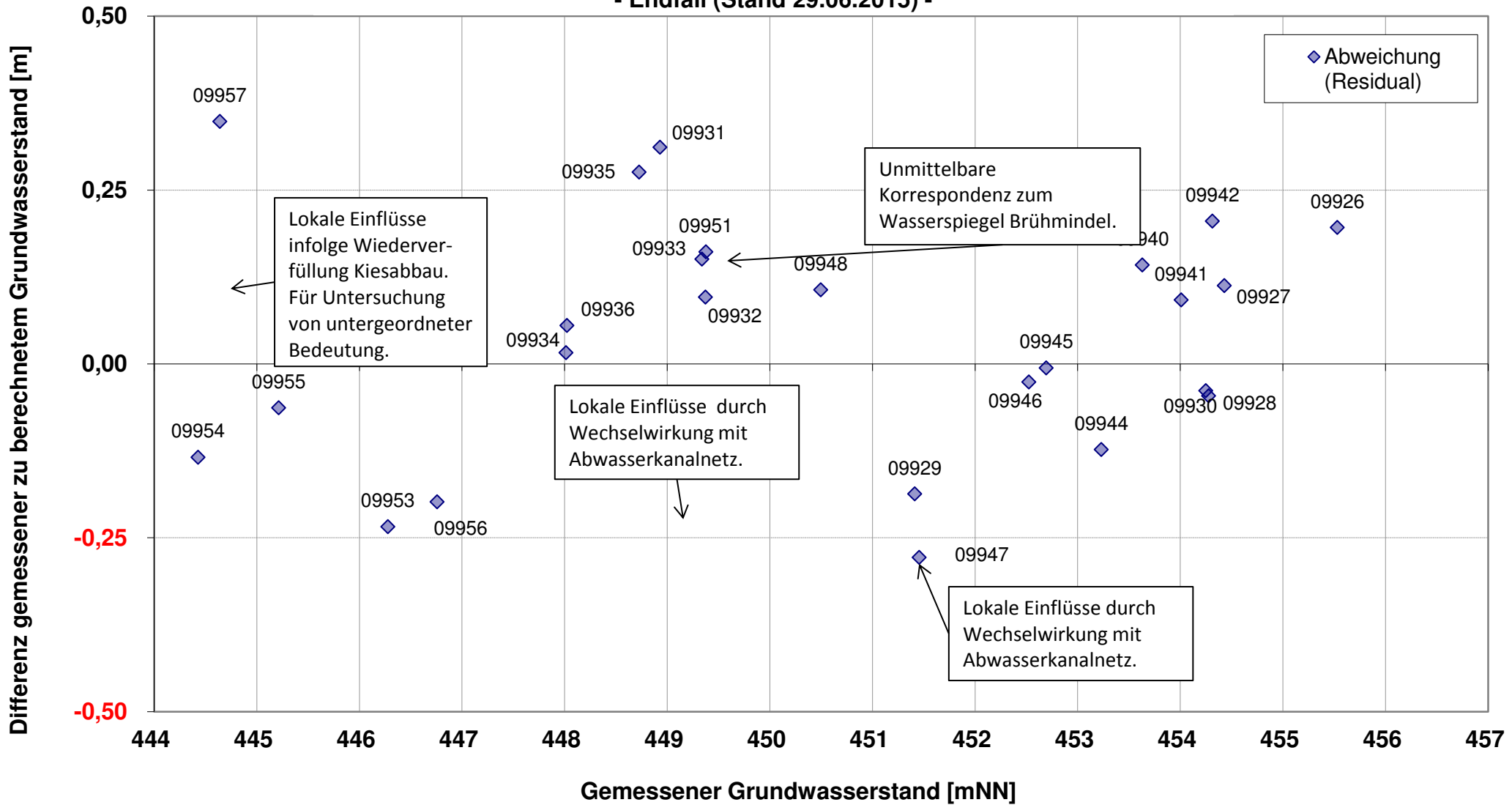


**Gegenüberstellung gemessener und berechneter Grundwasserstände**  
**Stationäre Anpassung Mittelwert 03/2011 - 12/2014 - Endfall (Stand 29.06.2015)**

Messstelle - amtliche Bezeichnung	Messstelle - bisherige Bezeichnung bzw. Arbeitsbezeichnung	Grundwasserstand gemessen [mNN]	Grundwasserstand berechnet [mNN]	Differenz gemessen zu berechnet [m]
09926	N1	455,53	455,34	0,20
09927	N2	454,43	454,32	0,11
09928	N3	454,28	454,32	-0,05
09929	N4	451,41	451,60	-0,19
09930	N5	454,25	454,29	-0,04
09931	N6	448,93	448,62	0,31
09932	N7	449,37	449,28	0,10
09933	N8	449,34	449,19	0,15
09934	N9	448,02	448,00	0,02
09935	N10	448,73	448,45	0,28
09936	N11	448,02	447,97	0,06
09939	N14	446,29	446,17	0,12
09940	GWM2	453,63	453,49	0,14
09941	BK_8A/08	454,01	453,92	0,09
09942	BK_4/08	454,31	454,11	0,21
09943	BK_14/08	452,96	452,71	0,26
09944	GWM1_suedlich_Burgau	453,23	453,35	-0,12
09945	GWM4_Weh	452,69	452,70	-0,01
09946	GWM-IG1	452,52	452,55	-0,03
09947	GWM_II_Lidl	451,46	451,73	-0,28
09948	GWM_I_Im_unteren_Bruehl	450,50	450,39	0,11
09949	GWM4	451,61	451,36	0,25
09950	GWM1	450,02	450,09	-0,07
09951	BK_42/08	449,38	449,22	0,16
09952	BGW_2	446,46	446,40	0,06
09953	BGW_4	446,28	446,51	-0,23
09954	BGW_8	444,43	444,56	-0,13
09955	BGW_11	445,21	445,28	-0,06
09956	BGW_13	446,76	446,96	-0,20
09957	BGW_106	444,64	444,29	0,35
<b>Mittelwert</b>		450,29	450,24	0,05
<b>Maximum</b>		455,53	455,34	0,35
<b>Minimum</b>		444,43	444,29	-0,28
<b>Standardabweichung</b>		3,31	3,29	0,17

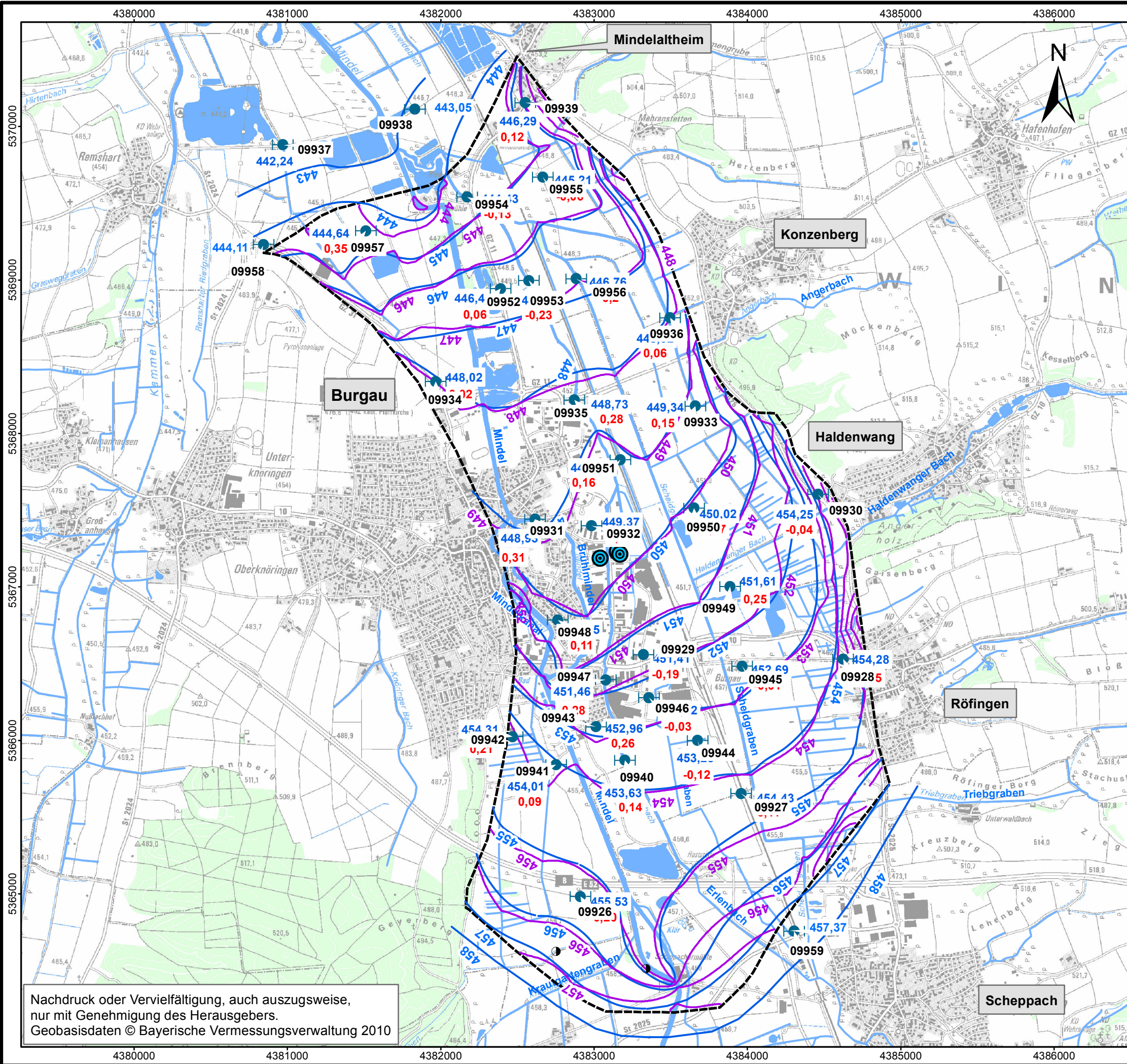
**Differenz positiv:** berechneter Wert niedriger als Messwert  
**Differenz negativ:** berechneter Wert höher als Messwert

**Gegenüberstellung gemessener und berechneter Grundwasserstände**  
Mittelwert 03/2011 bis 12/2014  
- Endfall (Stand 29.06.2015) -





19.06.2015 13:20:45 Uhr, M 1:25000.knoetschke  
 P:\bur1013036\gis\map201506\_GWM\Anlage\_5\_3\_GWgleichen.mxd, 40,0cm x 27,7cm



### Zeichenerklärung

- Modellraum
- ⊙ Entnahmebrunnen
- ⊕ Infiltrationsbrunnen

Grundwassermessstellen

- ⊕ Sondermessnetz HWS Burgau
- Sonstige

454,43 Gemessener Grundwasserstand [mNN]  
 Mittelwert 03/2011 - 12/2014

Stationäre Anpassung 03/2011 bis 12/2014

- 0,06 Differenz gemessener zu berechnetem Grundwasserstand [m]
- 0,12 Differenz gemessener zu berechnetem Grundwasserstand [m]

positiver Wert: berechnet < gemessen  
 negativer Wert: berechnet > gemessen

- 447 Gemessene Grundwassergleichen [mNN]
- 447 Berechnete Grundwassergleichen [mNN]

0 500 1.000 1.500  
m

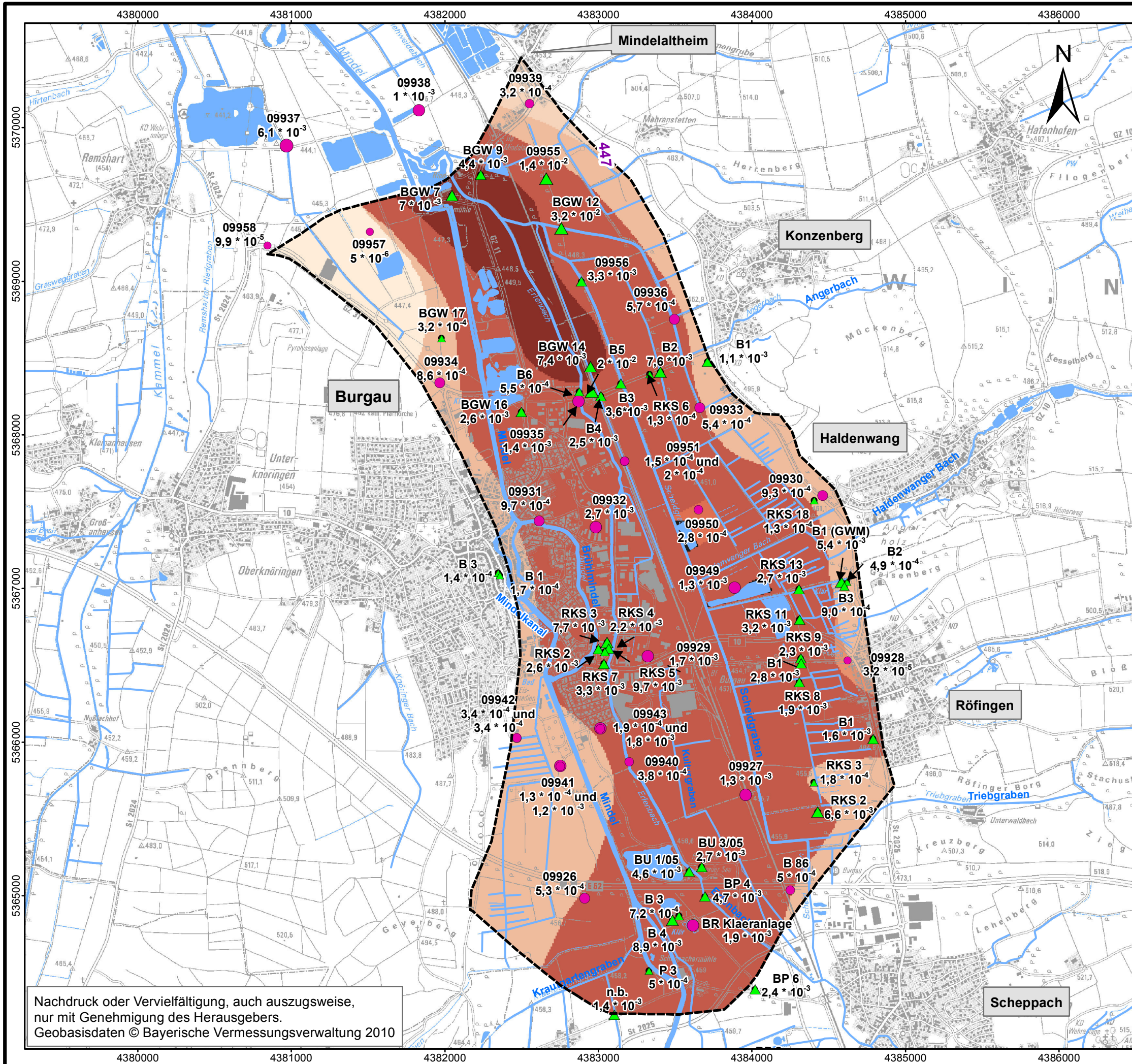
B.ÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE

Gegenüberstellung gemessener und berechneter Grundwassergleichen  
 Mittel 03/2011 bis 12/2014

M.: 1:25000	Nov. 2016	bur1013036
-------------	-----------	------------

Nachdruck oder Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
 nur mit Genehmigung des Herausgebers.  
 Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung 2010





**Zeichenerklärung**

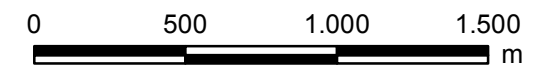
Modellraum

Untergrunddurchlässigkeiten im quartären Grundwasserleiter (kf-Werte) in [m/s]:

- aus Sieblinienanalyse (Korngrößenverteilung)
- aus Pumpversuchen
- $< 1 \cdot 10^{-4}$
- $1 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-4}$
- $5 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-3}$
- $1 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-3}$
- $5 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-2}$
- $1 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10^{-2}$

kf-Werte, Endverteilung [m/s]

- $6 \cdot 10^{-5}$
- $1 \cdot 10^{-4}$
- $2 \cdot 10^{-4}$
- $5 \cdot 10^{-4}$
- $2 \cdot 10^{-3}$
- $2.5 \cdot 10^{-3}$
- $7.5 \cdot 10^{-3}$



**BCE**  
 B.ÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE

Untergrunddurchlässigkeiten (kf-Werte) im quartären Grundwasserleiter - Endverteilung -

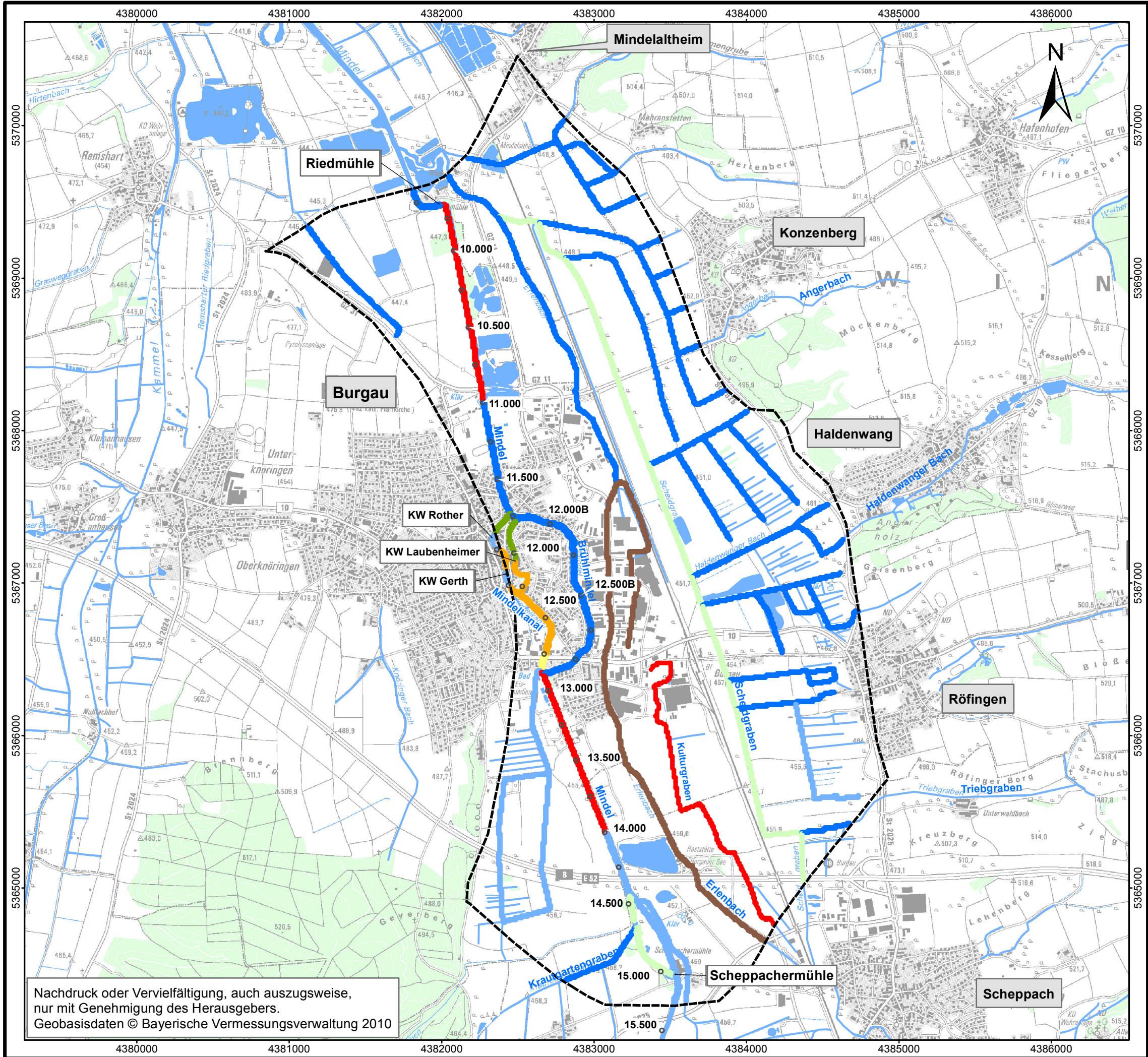
M.: 1:25000	Nov. 2016	bur1013036
-------------	-----------	------------

Nachdruck oder Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des Herausgebers.  
 Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung 2010

17.06.2015 13:16:19 Uhr, M 1:25000, knoetschke P:\bur1013036\gis\map\201506\_GWM\Anlage\_6\_1.mxd, 40,0cm x 27,7cm



17.06.2015 13:18:59 Uhr, M 1:25000, knoetschke  
 P:\bur1013036\gis\map\201506\_GWM\Anlage\_6\_2.mxd, 40,0cm x 27,7cm



**Zeichenerklärung**

Modellraum

**Leakage-Faktoren Oberflächengewässer Endverteilung**

- $1,0 \cdot 10^{-7}$
- $0,5 \cdot 10^{-6}$
- $1,0 \cdot 10^{-6}$
- $0,5 \cdot 10^{-5}$
- $1,0 \cdot 10^{-5}$
- $1,0 \cdot 10^{-4}$
- $0,5 \cdot 10^{-3}$
- $1,0 \cdot 10^{-3}$



**BCE**  
 BJÖRNSEIBERATENDE INGENIEURE

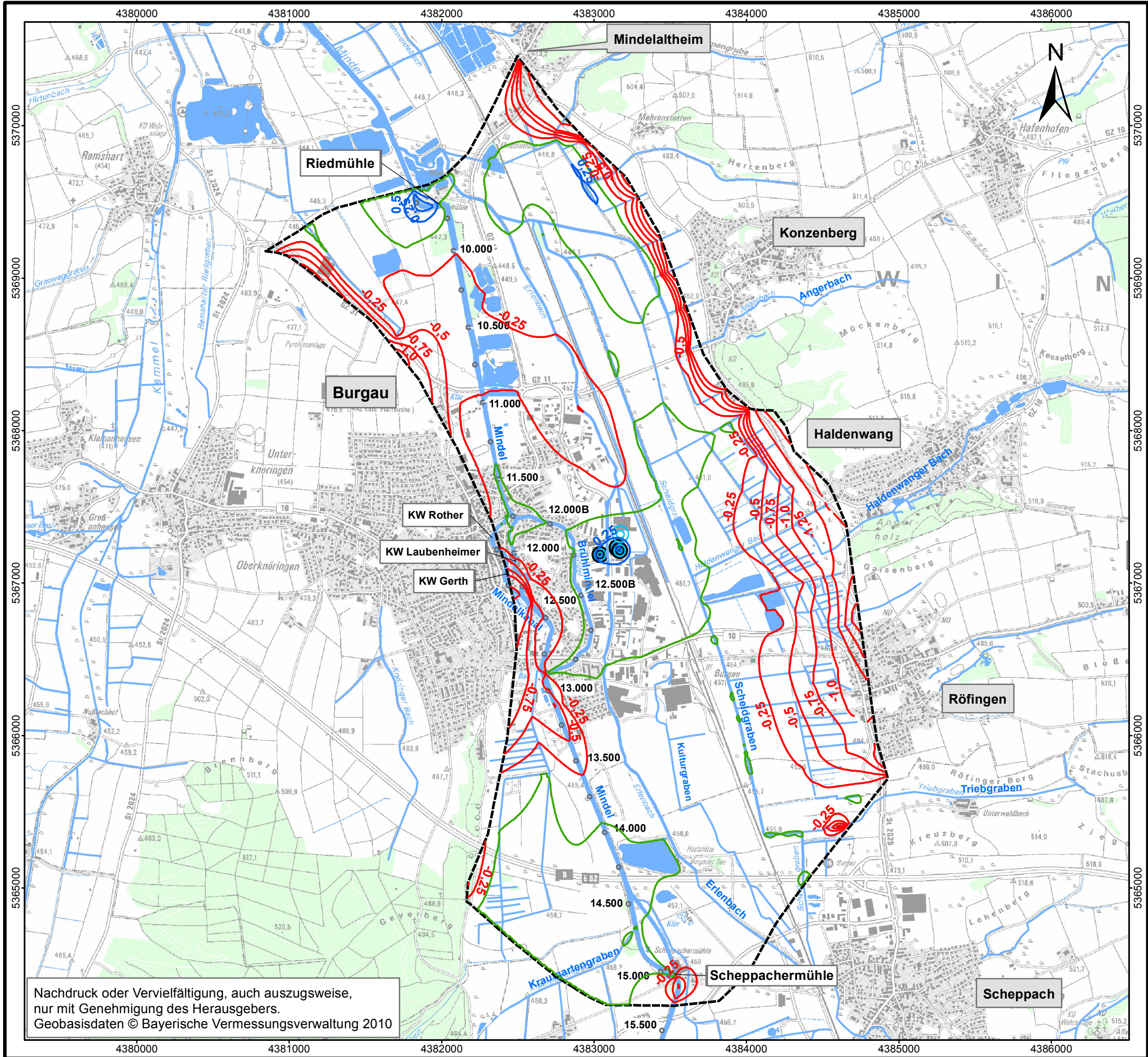
Durchlässigkeit der Gewässersohlen  
 (Leakage-Faktoren)  
 - Endverteilung -

M.: 1:25000    Nov. 2016    bur1013036

Nachdruck oder Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
 nur mit Genehmigung des Herausgebers.  
 Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung 2010



22.06.2015 10:01:03 Uhr, M 1:25000, knoetschke  
 P:\bur1013036\gis\map\201506\_GWM\Anlage\_6\_1\_1.mxd, 40,0cm x 27,7cm

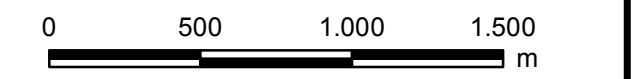


**Zeichenerklärung**

- Modellraum
- Entnahmebrunnen
- Infiltrationsbrunnen

Berechnete Grundwasserspiegeldifferenzen [m]

- 0,25 Absenkung Grundwasserspiegel bzw. Druckwasserspiegel
- Null-Linie
- 0,25 Aufhöhung Grundwasserspiegel bzw. Druckwasserspiegel



**BCE**  
 B.ÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE

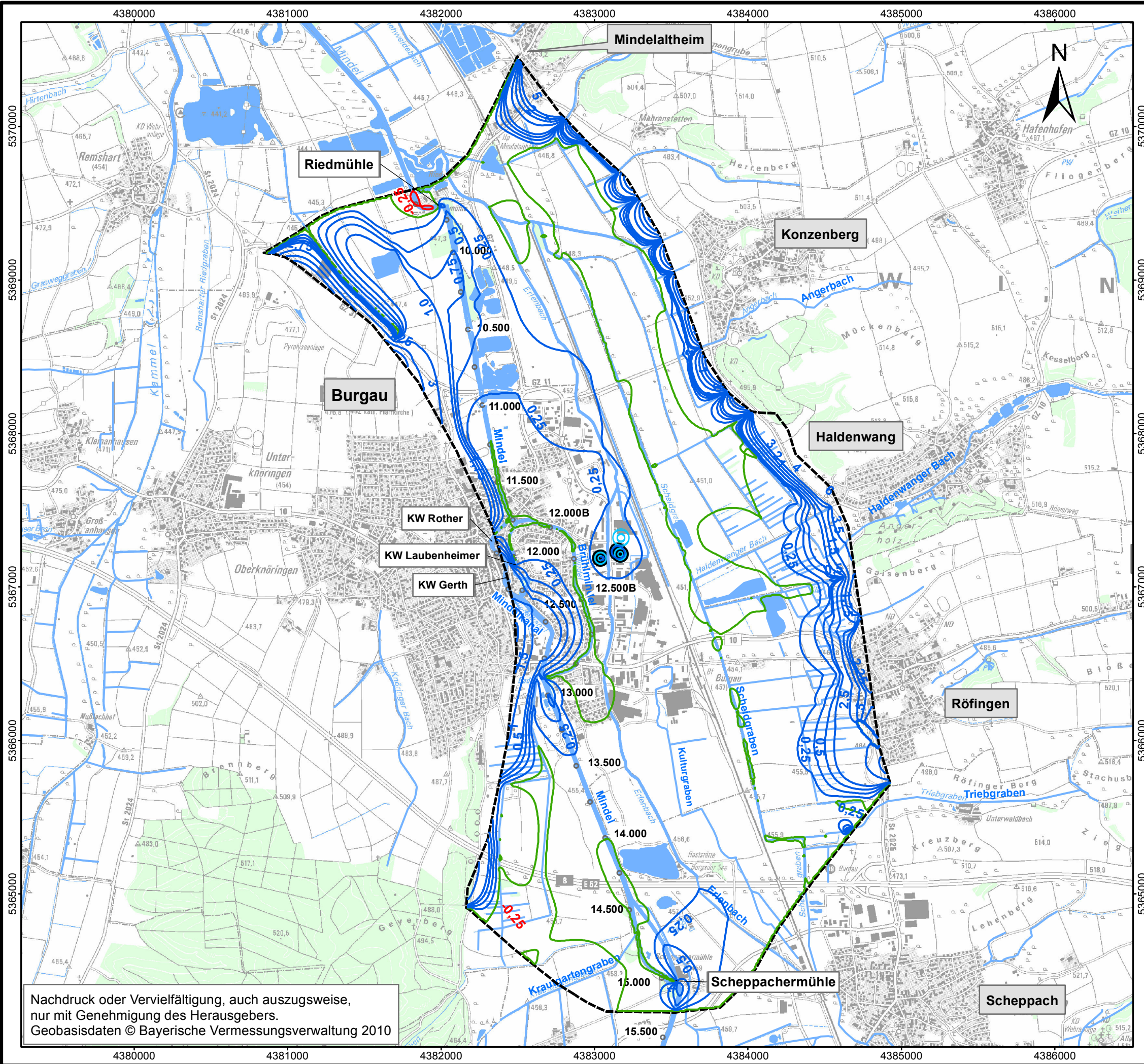
Sensitivitätsanalyse kf-Werte:  
 Faktor 5  
 Berechnete Grundwasserspiegeldifferenzen

M.: 1:25000	Nov. 2016	bur1013036
-------------	-----------	------------

Nachdruck oder Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des Herausgebers.  
 Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung 2010



22.06.2015 10:06:32 Uhr, M 1:25000, knoetschke  
 P:\bur1013036\gis\map\201506\_GWM\Anlage\_6\_1\_2.mxd, 40,0cm x 27,7cm



**Zeichenerklärung**

- Modellraum
- Entnahmebrunnen
- Infiltrationsbrunnen

Berechnete Grundwasserspiegel-differenzen [m]

- 0,25 Absenkung Grundwasserspiegel bzw. Druckwasserspiegel
- Null-Linie
- 0,25 Aufhöhung Grundwasserspiegel bzw. Druckwasserspiegel

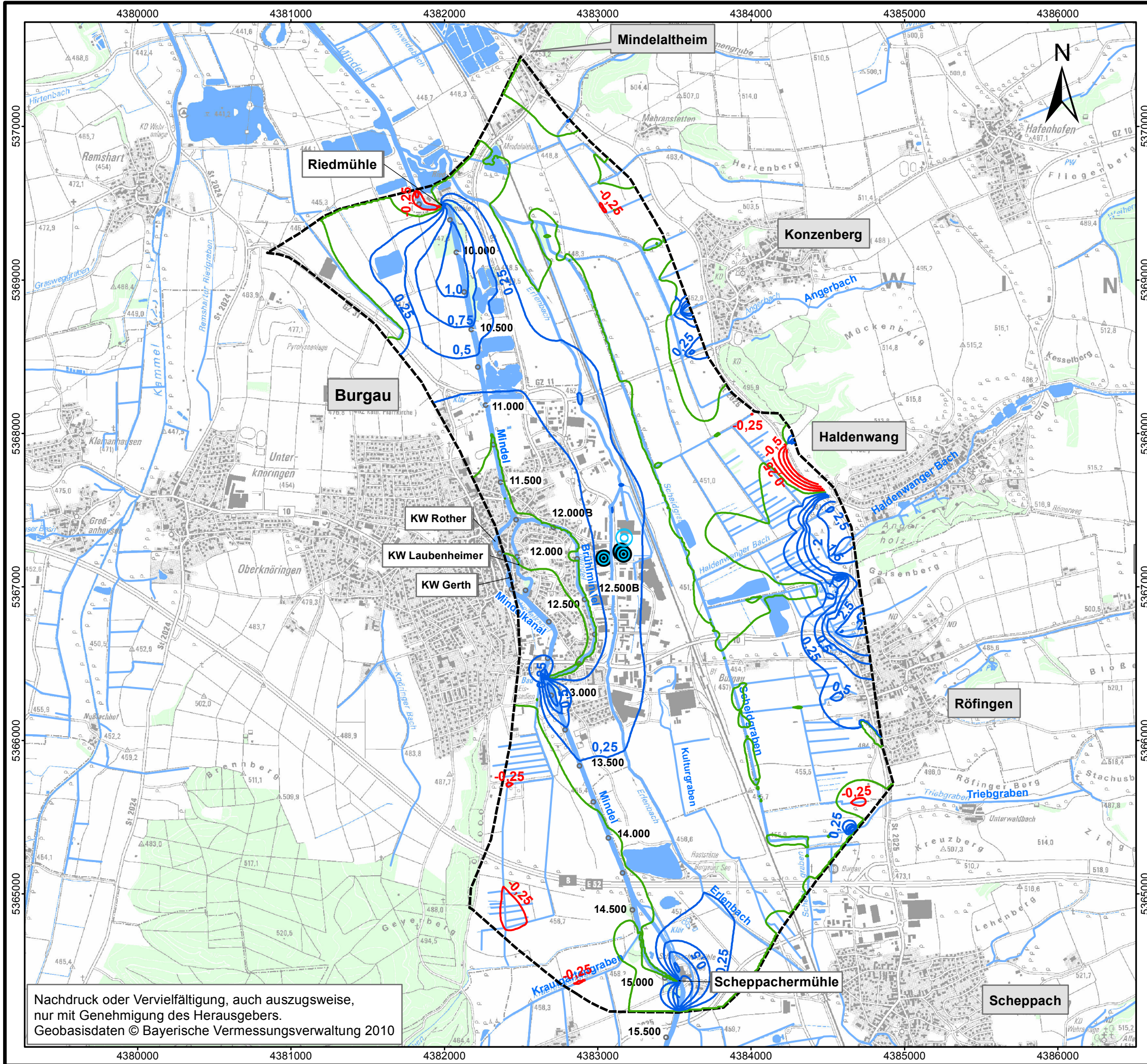


<b>BCE</b>		
B.ÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE		
Sensitivitätsanalyse kf-Werte: Faktor 1/5 Berechnete Grundwasserspiegeldifferenzen		
M.: 1:25000	Nov. 2016	bur1013036

Nachdruck oder Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
 nur mit Genehmigung des Herausgebers.  
 Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung 2010



22.06.2015 13:29:54 Uhr, M 1:25000, knoetschke  
 P:\bur1013036\gis\map\201506\_GWM\Anlage\_7\_2\_1.mxd, 40,0cm x 27,7cm

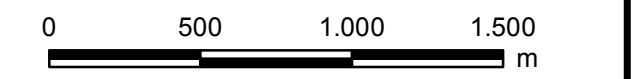


**Zeichenerklärung**

- Modellraum
- Entnahmekbrunnen
- Infiltrationsbrunnen

**Berechnete Grundwasserspiegel-differenzen [m]**

- 0,25 Absenkung Grundwasserspiegel bzw. Druckwasserspiegel
- Null-Linie
- 0,25 Aufhöhung Grundwasserspiegel bzw. Druckwasserspiegel



**BCE**

B.ÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE

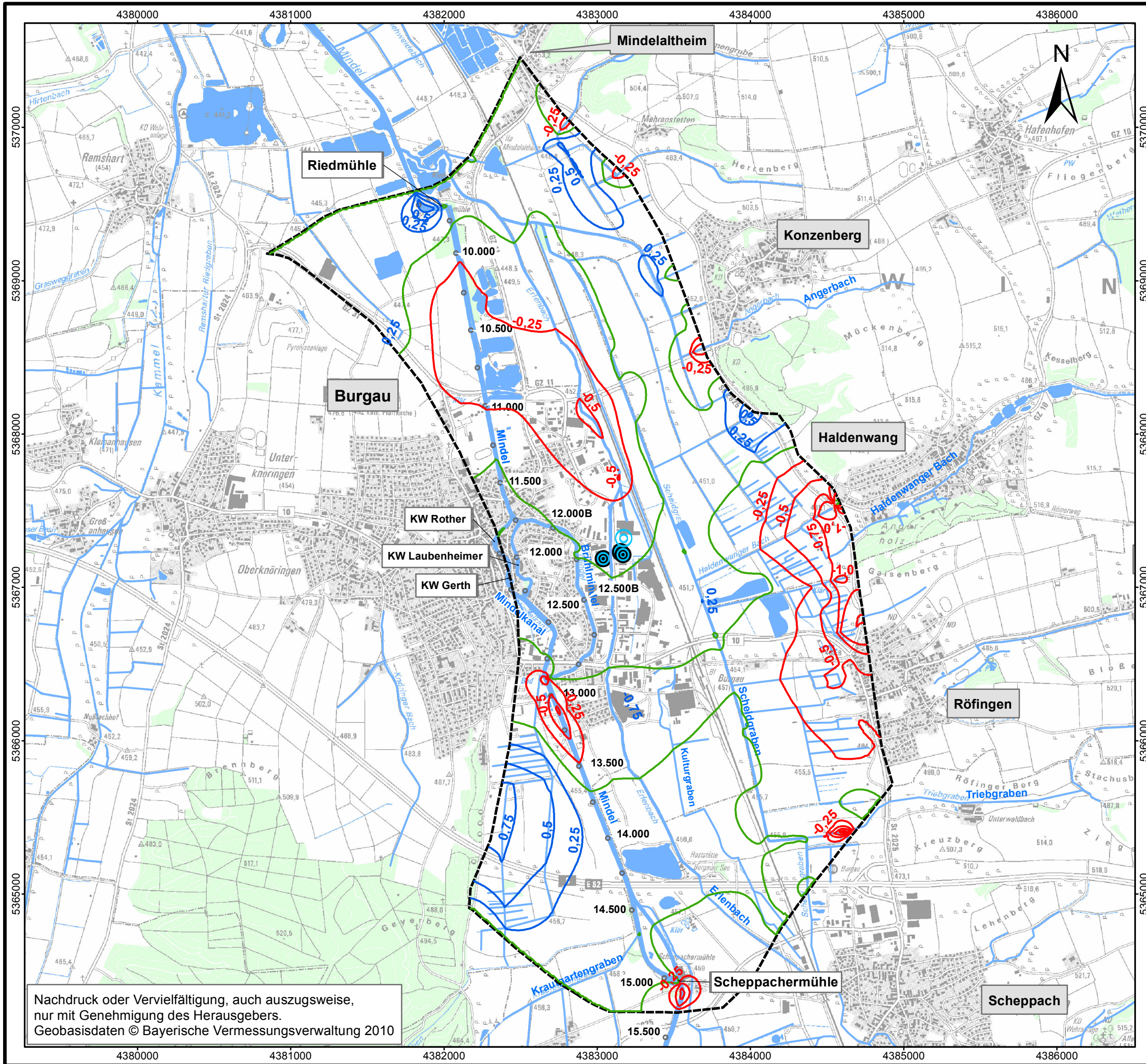
Sensitivitätsanalyse Durchlässigkeit  
Gewässersohlen: Faktor 10  
Berechnete  
Grundwasserspiegeldifferenzen

M.: 1:25000	Nov. 2016	bur1013036
-------------	-----------	------------

Nachdruck oder Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
 nur mit Genehmigung des Herausgebers.  
 Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung 2010



22.06.2015 13:31:13 Uhr, M 1:25000, knoetschke  
 P:\bur1013036\gis\map201506\_GWM\Anlage\_7\_2\_2.mxd, 40,0cm x 27,7cm

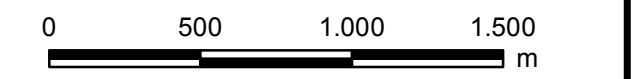


**Zeichenerklärung**

- Modellraum
- Entnahmekbrunnen
- Infiltrationsbrunnen

Berechnete Grundwasserspiegeldifferenzen [m]

- 0,25 Absenkung Grundwasserspiegel bzw. Druckwasserspiegel
- Null-Linie
- 0,25 Aufhöhung Grundwasserspiegel bzw. Druckwasserspiegel



**BCE**  
 B.ÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE

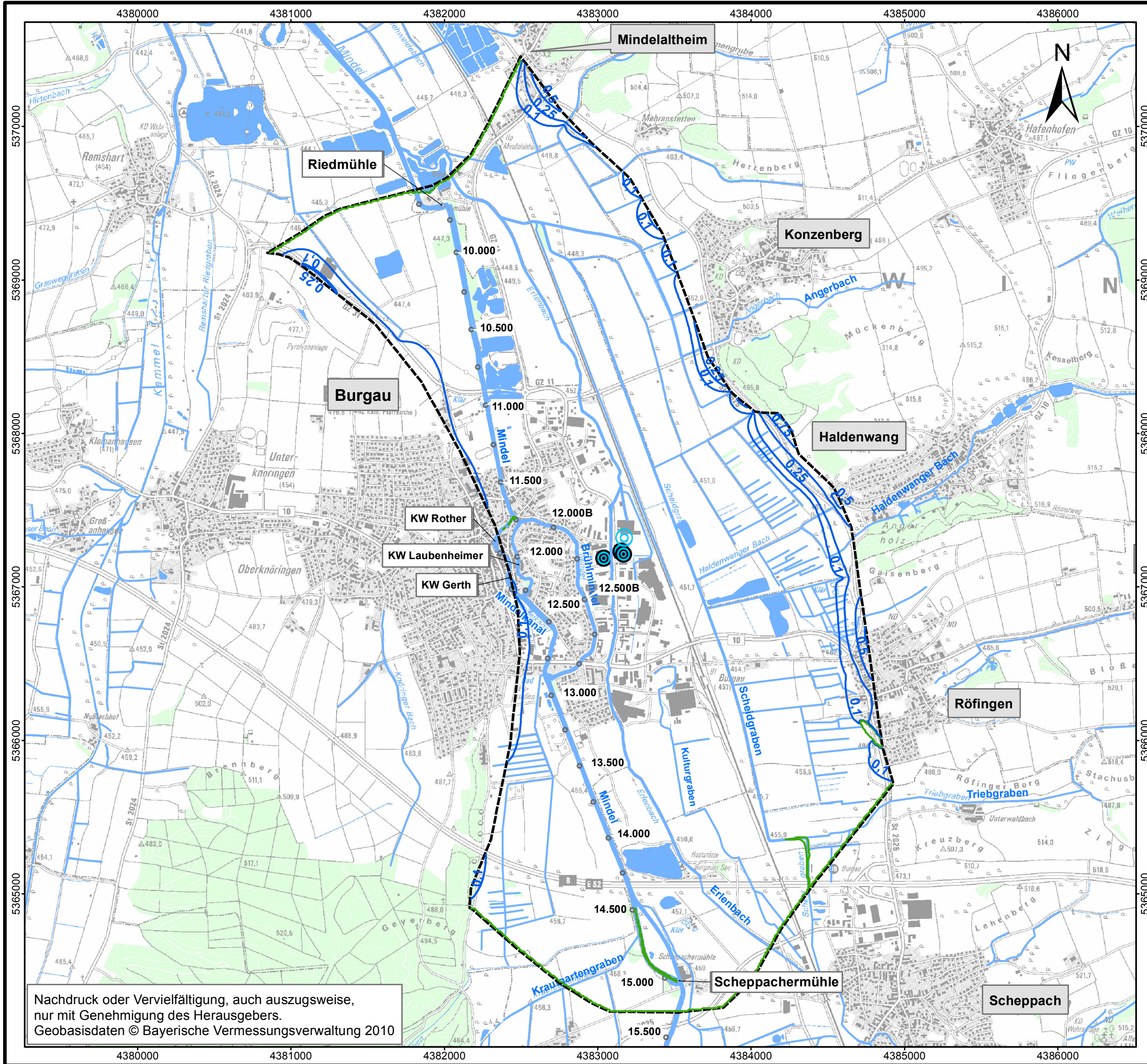
Sensitivitätsanalyse Durchlässigkeit  
 Gewässersohlen: Faktor 1/10  
 Berechnete Grundwasserspiegeldifferenzen

M.: 1:25000	Nov. 2016	bur1013036
-------------	-----------	------------

Nachdruck oder Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des Herausgebers.  
 Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung 2010



22.06.2015 13:29:28 Uhr, M 1:25000, knoetschke  
 P:\bur1013036\gis\map\201506\_GWM\Anlage\_7\_3\_1.mxd, 40,0cm x 27,7cm

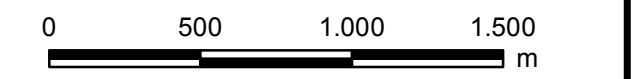


**Zeichenerklärung**

- Modellraum
- Entnahmebrunnen
- Infiltrationsbrunnen

Berechnete Grundwasserspiegel-differenzen [m]

- 0,25 Absenkung Grundwasserspiegel bzw. Druckwasserspiegel
- Null-Linie
- 0,25 Aufhöhung Grundwasserspiegel bzw. Druckwasserspiegel



**BCE**

B.ÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE

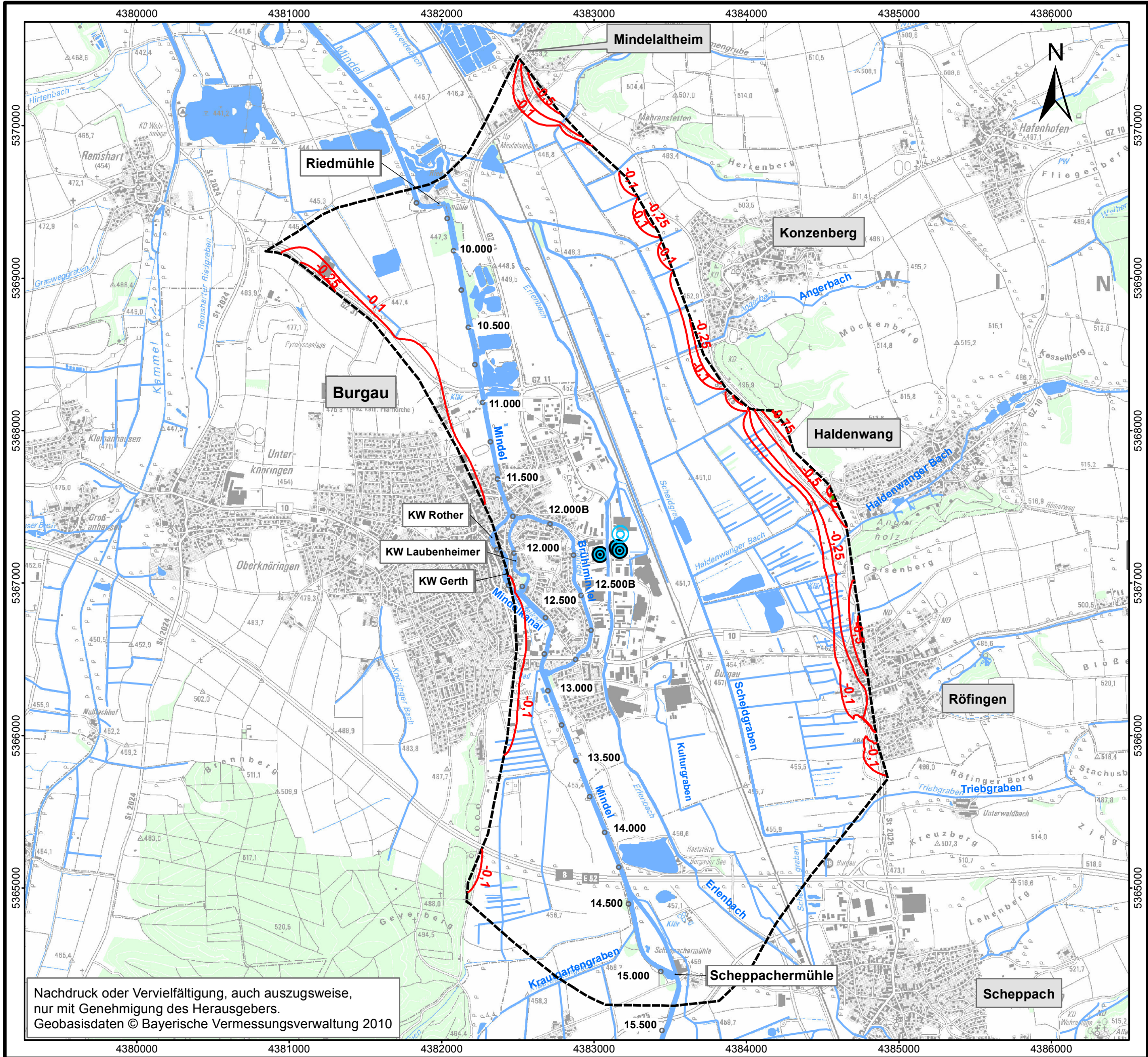
Sensitivitätsanalyse Grundwasser-  
neubildung / Randzufluss: + 25 %  
Berechnete  
Grundwasserspiegeldifferenzen

M.: 1:25000	Nov. 2016	bur1013036
-------------	-----------	------------

Nachdruck oder Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
 nur mit Genehmigung des Herausgebers.  
 Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung 2010



22.06.2015 13:28:54 Uhr, M 1:25000, knoetschke  
 P:\bur1013036\gis\map\201506\_GWM\Anlage\_7\_3\_2.mxd, 40,0cm x 27,7cm

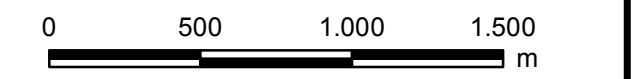


**Zeichenerklärung**

- Modellraum
- Entnahmekbrunnen
- Infiltrationsbrunnen

Berechnete Grundwasserspiegel-differenzen [m]

- 0,25 Absenkung Grundwasserspiegel bzw. Druckwasserspiegel
- Null-Linie
- 0,25 Aufhöhung Grundwasserspiegel bzw. Druckwasserspiegel



**BCE**  
 B.ÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE

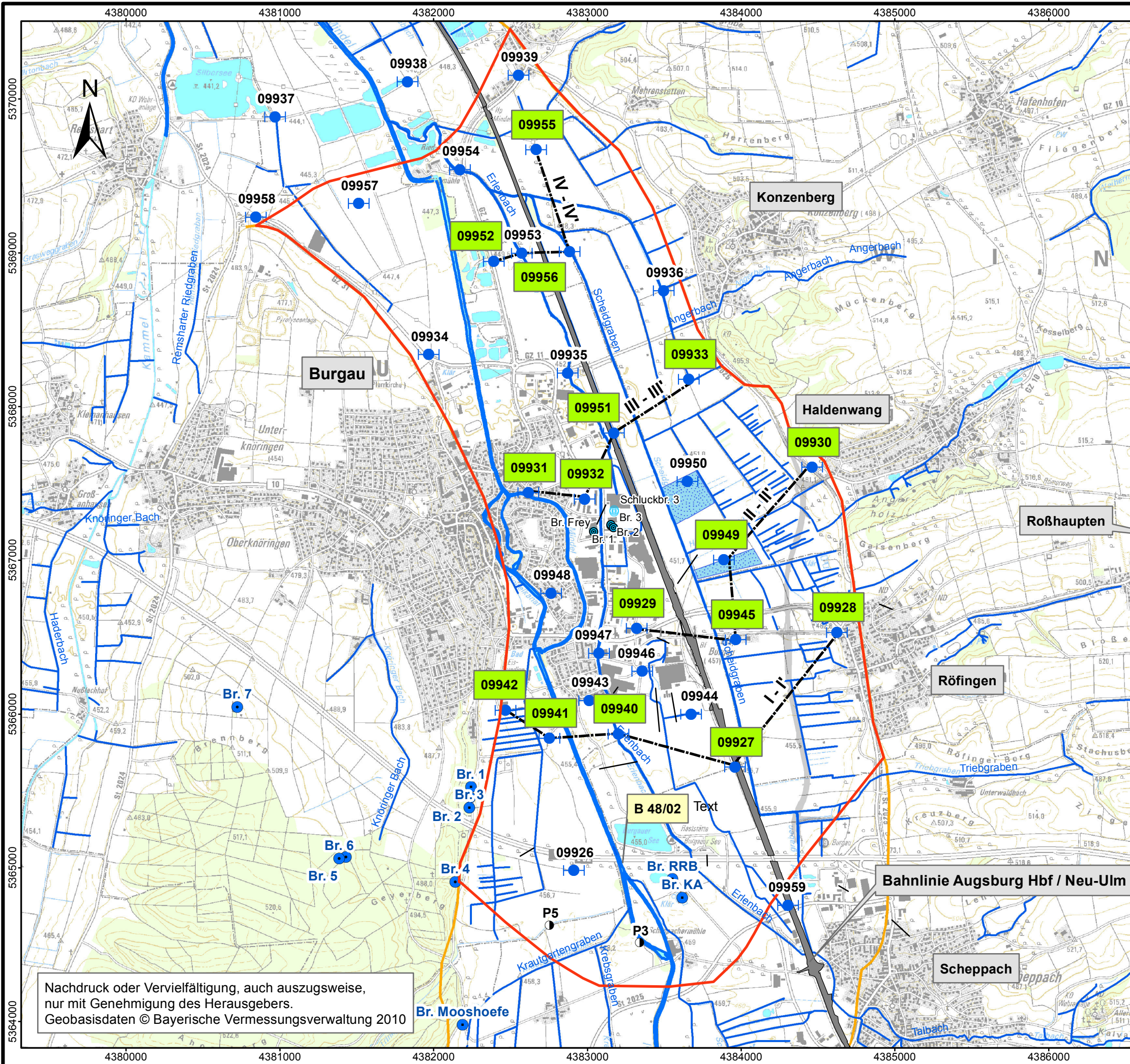
Sensitivitätsanalyse Grundwasser-neubildung / Randzufluss: - 25 %  
 Berechnete Grundwasserspiegeldifferenzen

M.: 1:25000	Nov. 2016	bur1013036
-------------	-----------	------------

Nachdruck oder Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des Herausgebers.  
 Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung 2010



23.12.2016 16:04:57 Uhr, M 1:25000, knoetschke  
P:\bur1013036\gis\Map2016-12\_Teil\_2\_GWM\Anlage\_8\_Auswahl\_GWM\_HW2013.mxd, 40,0cm x 27,7cm



Nachdruck oder Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
 nur mit Genehmigung des Herausgebers.  
 Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung 2010

**Zeichenerklärung:**

- Grenze Modellraum
- Talrand
- Entnahmebrunnen (Trinkwasser)
- ◎ Entnahmebrunnen (Brauchwasser)
- Infiltrationsbrunnen (Brauchwasser)
- Genehmigte Kiesabbauflächen (Abbau bereichsweise abgeschlossen und bereits wiederverfüllt)

**Sondermessnetz HWS Burgau**

- **09931** Grundwassermessstelle im Sondermessnetz
- **P3** Sonstige Grundwassermessstelle nicht im Sondermessnetz

**Instationäre Anpassung HW 2013**

- Achse mit ausgewerteten GWM
- Instationäre Anpassung HW 2013
- 09930 Grundwassermessstelle mit Gegenüberstellung gemessener und berechneter Werte in Anlage 10.1 bis Anlage 10.3



**BCE**

BJÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE

Lageplan  
Auswahl Messstellen für instationäre  
Anpassung HW 2013

M.: 1:25000	Dez 2016	bur1013036
-------------	----------	------------



## Nachrechnung Hochwasser der Mindel vom Juni 2013 in Burgau

### 1. Datengrundlage DGM

Berechnungsmodell wurde in 2010/2011 von OPB erstellt mit folgenden Grundlagen

- DGM Landesvermessungsamt übermittelt durch WWA in 2010, Datenstand 27.02.2007 (kein neuerer Datenstand verfügbar)
- Vermessung Mindel mit Nebengewässern Schallenmüller+Will (S+W) aus 2010/2011
- ATKIS-Datensatz Landesvermessungsamt übermittelt durch WWA in 2010

### 2. Beobachtungen der freiwilligen Feuerwehr Burgau zum Hochwasser im Juni 2013

(Auszug aus dem Aktenvermerk vom 19.06.2013 zur Durchsprache der Hochwasserbeobachtungen mit dem Wasserwirtschaftsamt und der freiwilligen Feuerwehr Burgau)

- Außer der Angerwiese gab es keine wesentlichen Überflutungen und Ausuferungen innerhalb des Siedlungsgebiets durch die Mindel und ihre Nebenarme.
- Die Mindel ist zwischen BAB A8 und dem Siedlungsgebiet Burgau hauptsächlich auf der Westseite übergetreten und hat den Schwarzgraben beaufschlagt. Darauf ist die Überflutung der Kleingartenanlage zurückzuführen. Überflutungen auf der Ostseite der Mindel sind hauptsächlich auf das Überlaufen des Burgauer Sees durch Zuflüsse aus dem Erlenbach zurückzuführen.
- Der Erlenbach wäre ohne die Überleitungen in den Burgauer See wohl übergelaufen. So gab es im Stadtgebiet nur einzelne Ausuferungen.
- Die Angerwiese ist beim Hochwasser vollgelaufen und hat einen Wasserstand von ca. 454.00 m ü. NN erreicht.
- Alle Wehre am Wilden Wehr und am Riedwehr wurden während des Hochwassers von den Betreibern Mittelmeier und Rother vollständig geöffnet.
- An der Brühlmindel gab es keine Ausuferungen. Bei den festgestellten Wasserflächen auf den Wiesen zwischen Industriestraße 27 und Haldenwanger Str. 18, östlich der Brühlmindel, handelt es sich um Druck- bzw. Stauwasser.
- Die Überflutungen, die südlich von Burgau (landwirtschaftliche Flächen, Kleingartenanlage, Tennisplätze) aufgetreten sind, stimmen nach den Beobachtungen der Stadt Burgau und der FFW Burgau ungefähr mit den Flutflächen überein, die sich in Zusammenhang mit der HRB-Bemessung aus der 2d-hydraulischen Berechnung bei einem Mindelabfluss von 70 bzw. 74 m<sup>3</sup>/s ergeben haben.  
**Demzufolge ist der mit ca. ca. 65 bis 70 m<sup>3</sup>/s geschätzte Spitzenabfluss des Hochwassers vom 10./11. Juni 2013 realistisch.**
- Lt. Dokumentation zum Einsatzverlauf der freiwilligen Feuerwehr wurden bis 10.06.2013 keine Aufzeichnungen gemacht. Beobachtungen zum Hochwasser liegen ab dem 10.06.2013 vor. D. h. die erste „Hochwasserwelle“ im Zeitraum zwischen 25.05.2013 und 10.06.2013 führte zu keinen Problemen (vgl. Abbildung der Ganglinien auf S.2).

# Hochwasserschutz Burgau Nachrechnung Hochwasser Juni 2013 mit 2d-Modell



Kurzdokumentation

Projekt-Nr. 16356 / Seite2/4

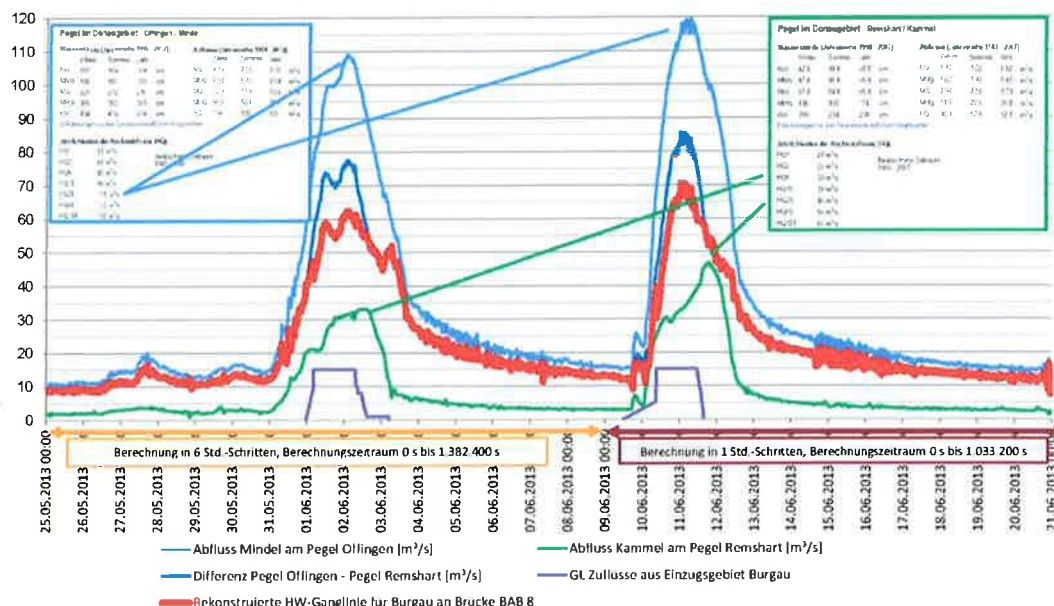
## 3. Pegelbeobachtungen des HND Bayern

(Auszug aus dem Aktenvermerk vom 19.06.2013 zur Durchsprache der Hochwasserbeobachtungen mit dem Wasserwirtschaftsamt und der freiwilligen Feuerwehr Burgau)

- Anhand der Aufzeichnungen der Pegel Offingen für die Mindel und Pegel Remshart für die Kammel, wird eine Hochwasserspitze am 11.06.2013 von rd. 70 bis 75 m<sup>3</sup>/s für die Mindel in Burgau abgeschätzt. Dabei wird der Abfluss der Kammel berücksichtigt und der Abflussanteil aus dem Einzugsgebiet des Erlenbachs und dem Gebiet zwischen Burgau und Offingen mit bis ca. 15 m<sup>3</sup>/s geschätzt.
- In der folgenden Grafik der Hochwasserganglinien des HND wird die Ermittlung der Abflussganglinie der Mindel in Burgau, die für die Nachrechnung des Hochwassers vom Juni 2013 angesetzt wird, verdeutlicht:

	hellblaue Linie	Abfluss Mindel am Pegel Offingen
Abzgl.	grüne Linie	Abfluss Kammel am Pegel remshart
	mittelblaue Linie	Differenz zwischen Pegel Offingen und Remshart
Abzgl.	lilafarbene Linie	Geschätzte Abflussanteile aus Einzugsgebiet Erlenbach und dem Gebiet zwischen Burgau und Offingen
	Rote Linie	Rekonstruierte Hochwasserganglinie für Burgau an der BAB 8

**Ganglinien Hochwasser Mai / Juni 2013 an Mindel und Kammel**  
mit Vorschlag rekonstruierter Ganglinie für Nachrechnung des Hochwasserereignisses Juni 2013



#### 4. Nachrechnung des Hochwassers von Juni 2013 im 2d-Berechnungsmodell

- Die o. g. rote, rekonstruierte Ganglinie wird an der Brücke der BAB 8 über die Mindel in das Berechnungsmodell zugegeben; eine Berücksichtigung des Abflusses im Erlenbaches erfolgt nicht, da zum Erlenbach keine auswertbaren Pegeldata vorliegen.

- Die Berechnung erfolgt in 2 Zeitabschnitten

##### 1. Vom 25.05.2013 00:00 Uhr bis 11.06.2013 12:00 Uhr:

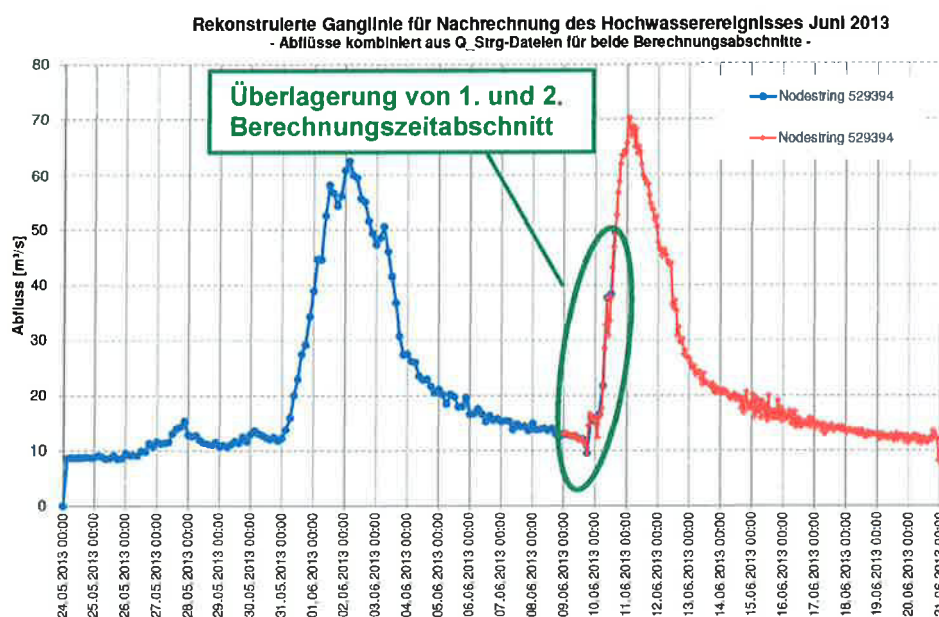
Auf Wunsch von BCE wird dem 1. Zeitschritt über eine Dauer von 24 Std ein konstanter Abfluss, der dem Mittelwasserabfluss der Mindel entspricht ( $Q=8,8 \text{ m}^3/\text{s}$ ) vorgeschaltet.

Auf Wunsch von BCE werden die Ergebnisdaten des ersten Berechnungszeitabschnittes in 6 Stunden-Schritten ausgegeben.

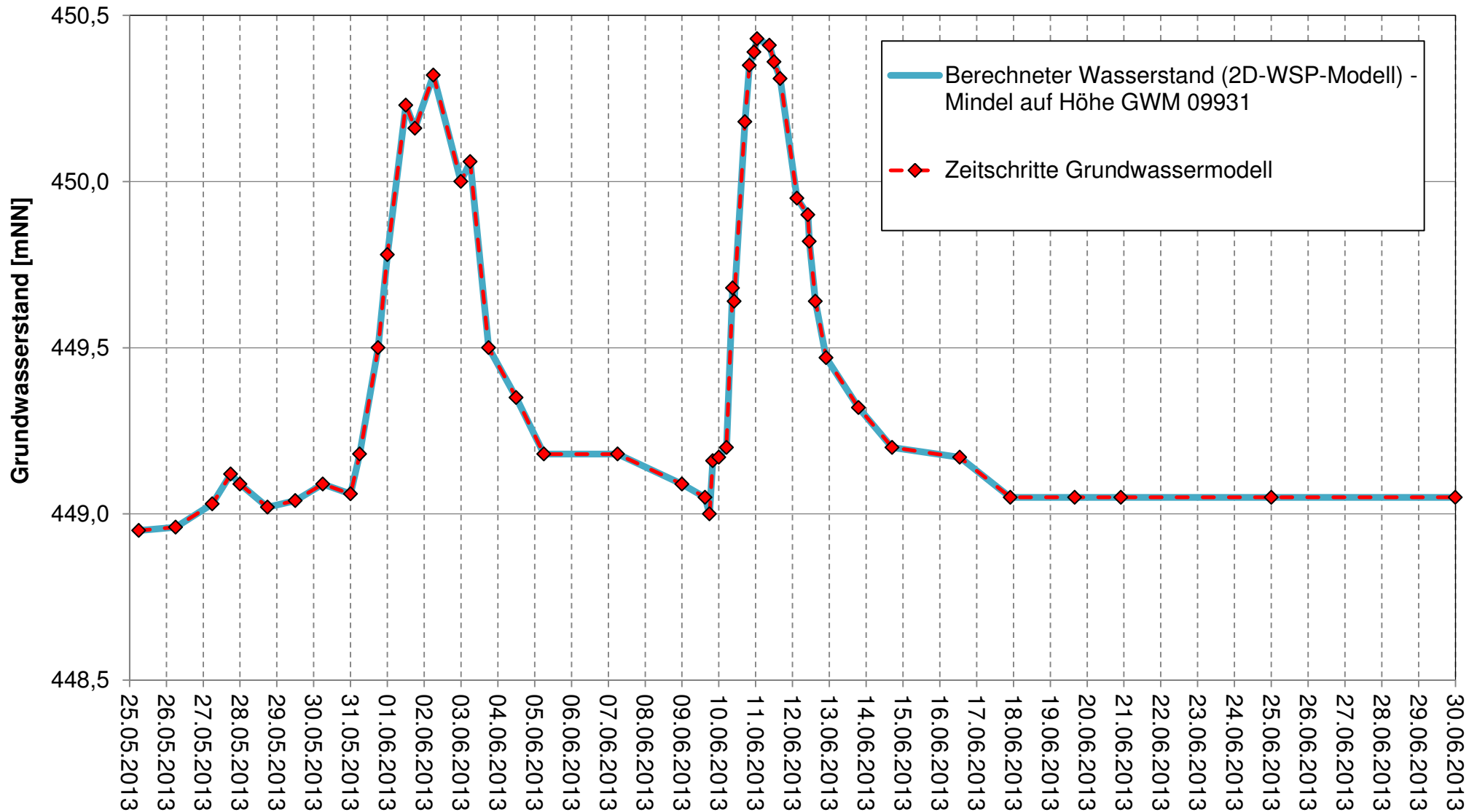
##### 2. Vom 09.06.2013 00:00 Uhr bis 20.06.2013 23:45 Uhr:

Der zweite Zeitabschnitt überlagert sich zwischen dem 09.06.2013 00:00 Uhr bis 11.06.2013 12:00 Uhr, um im 2. Berechnungszeitabschnitt die 2. Hochwasserwelle korrekt zu berechnen.

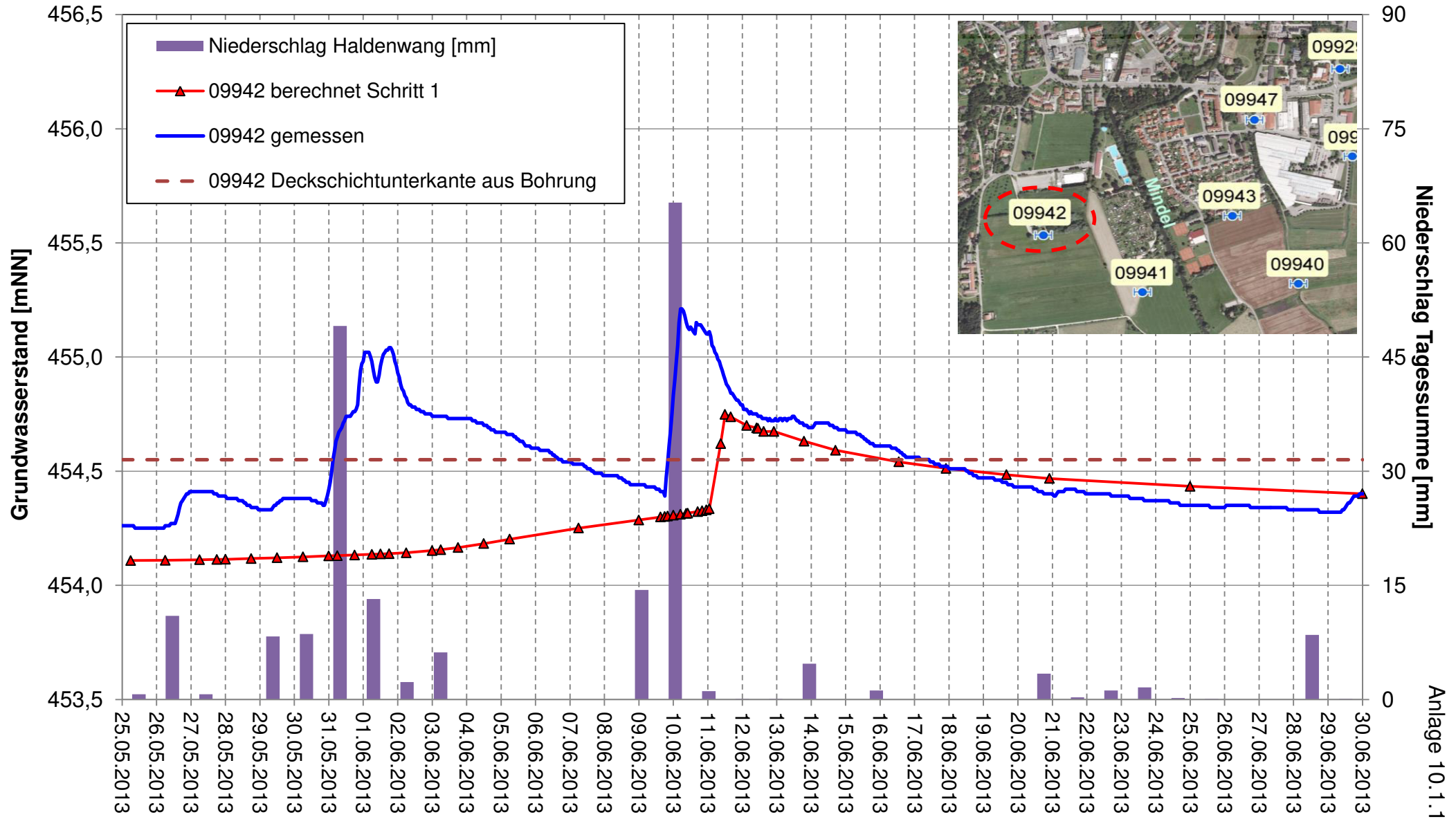
Auf Wunsch von BCE werden die Ergebnisdaten des zweiten Berechnungszeitabschnittes in 1 Stunden-Schritten ausgegeben.



### Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013

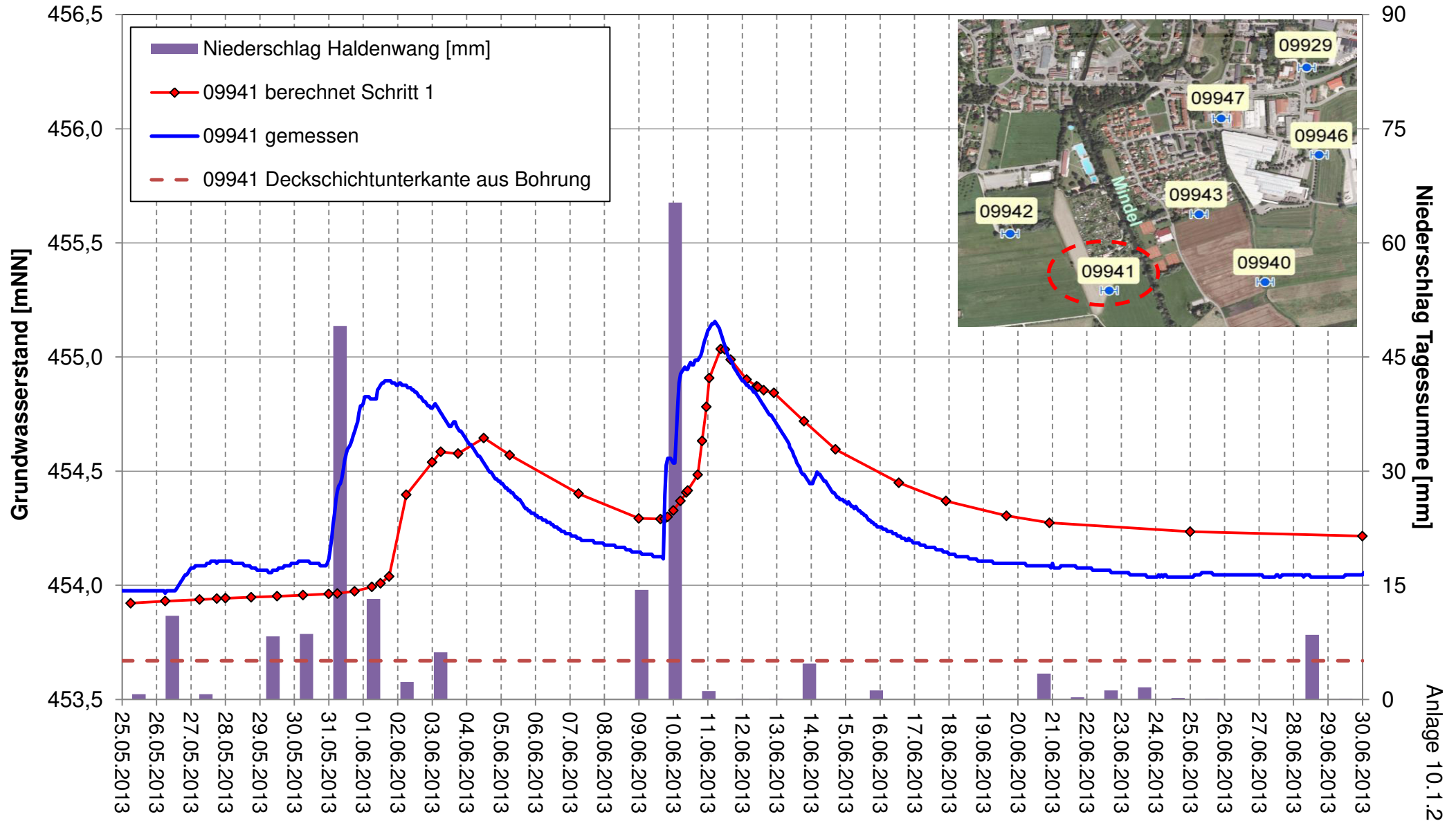


## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände

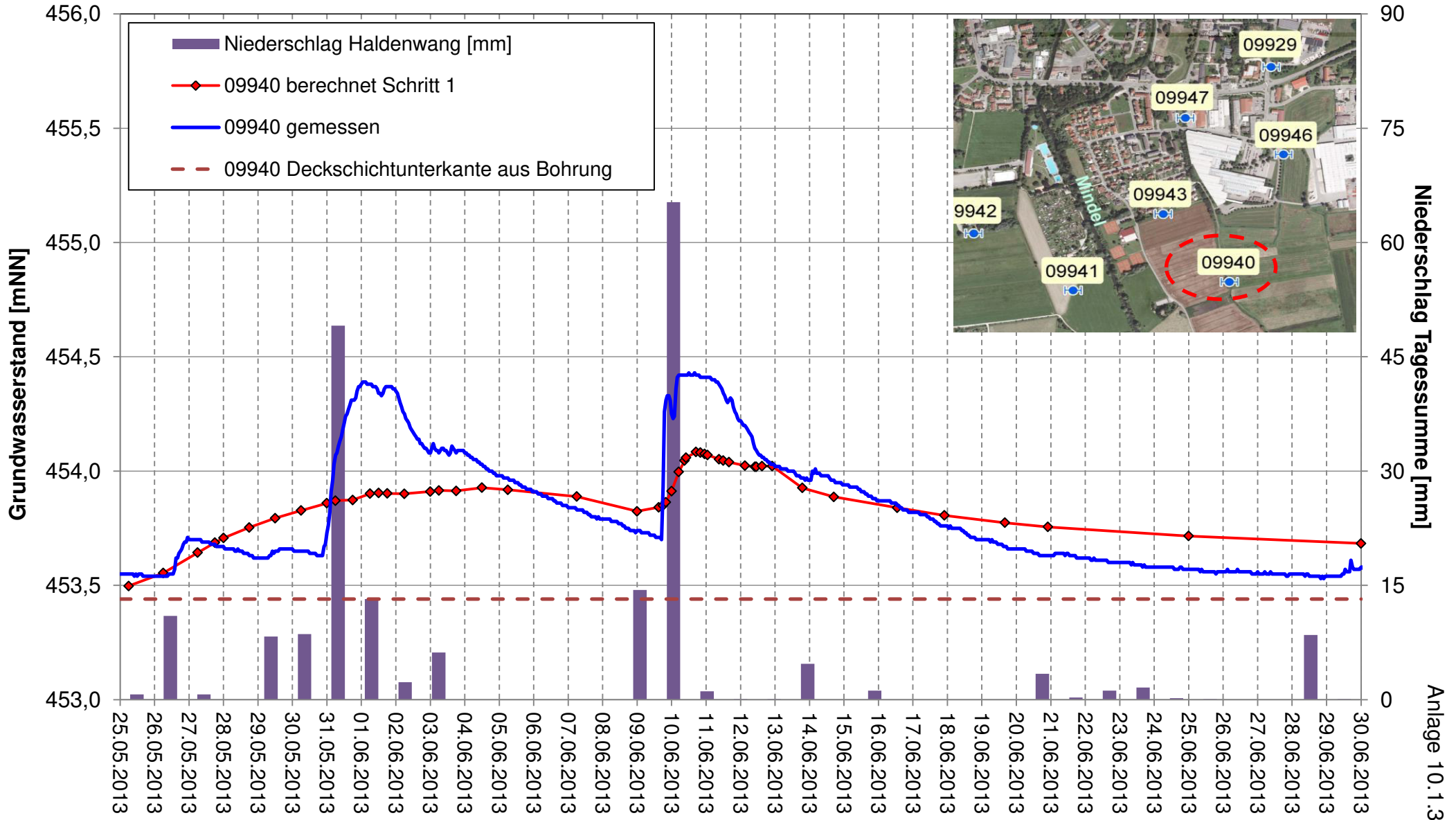




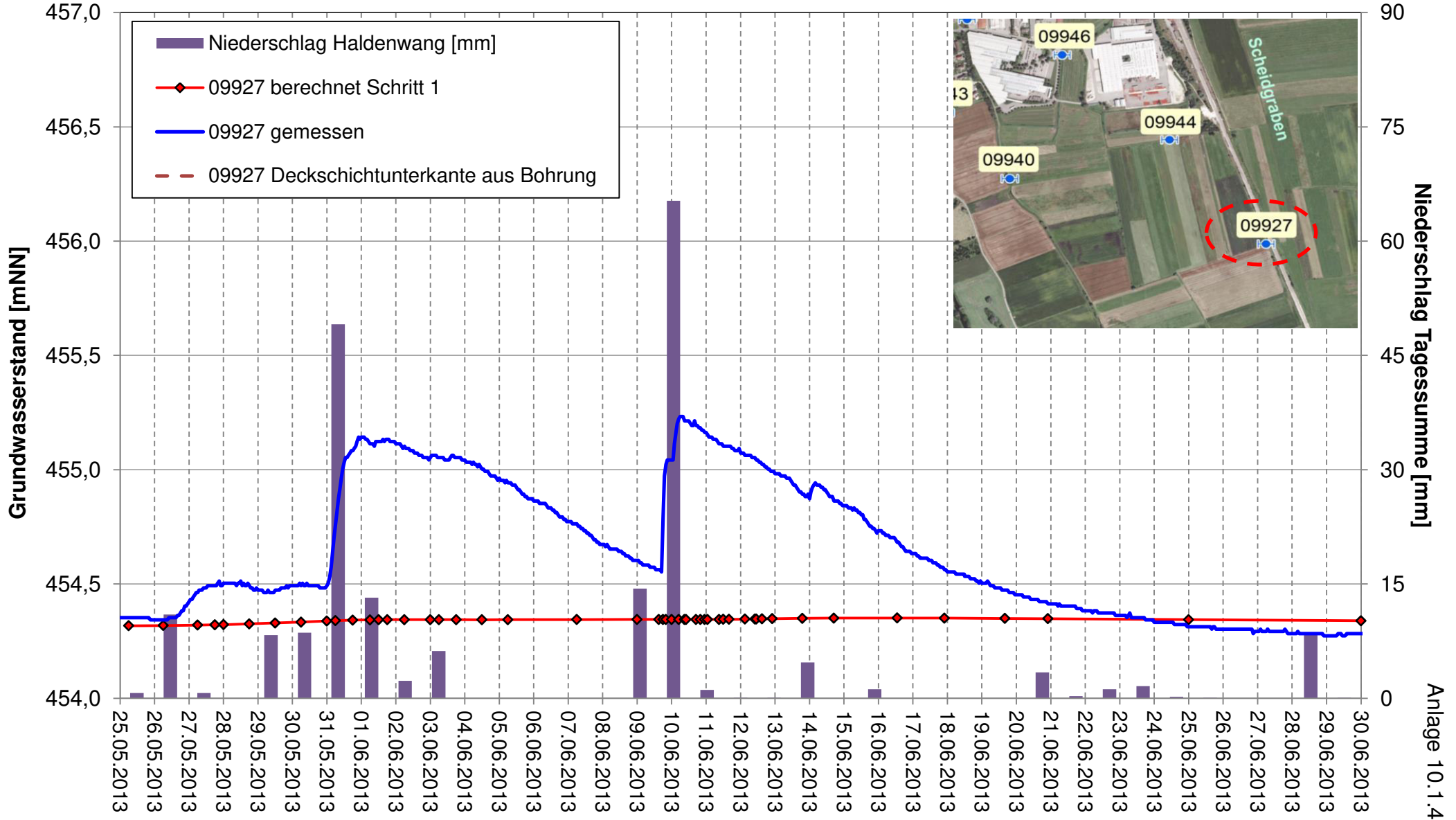
## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände



## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände

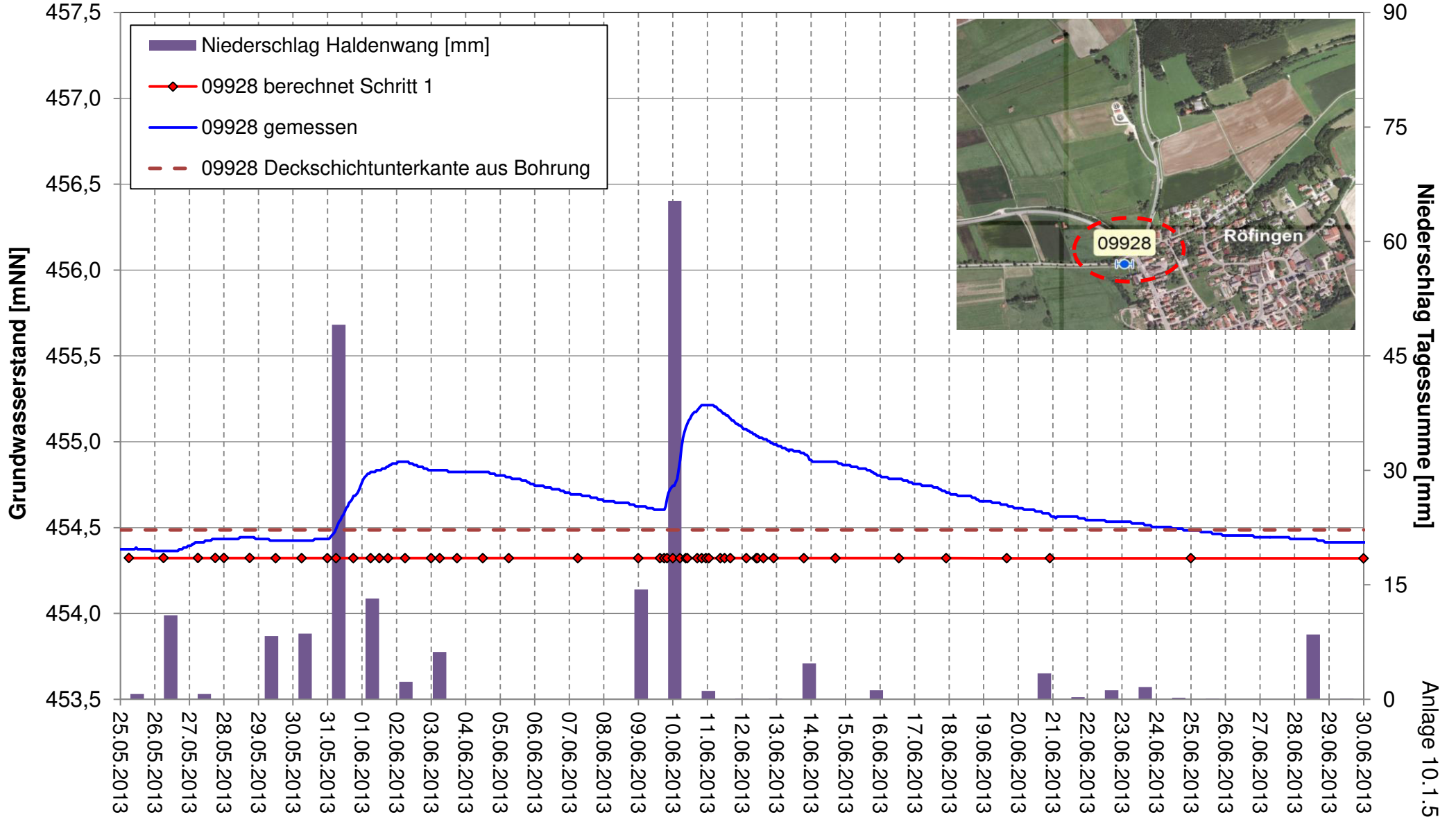


## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände

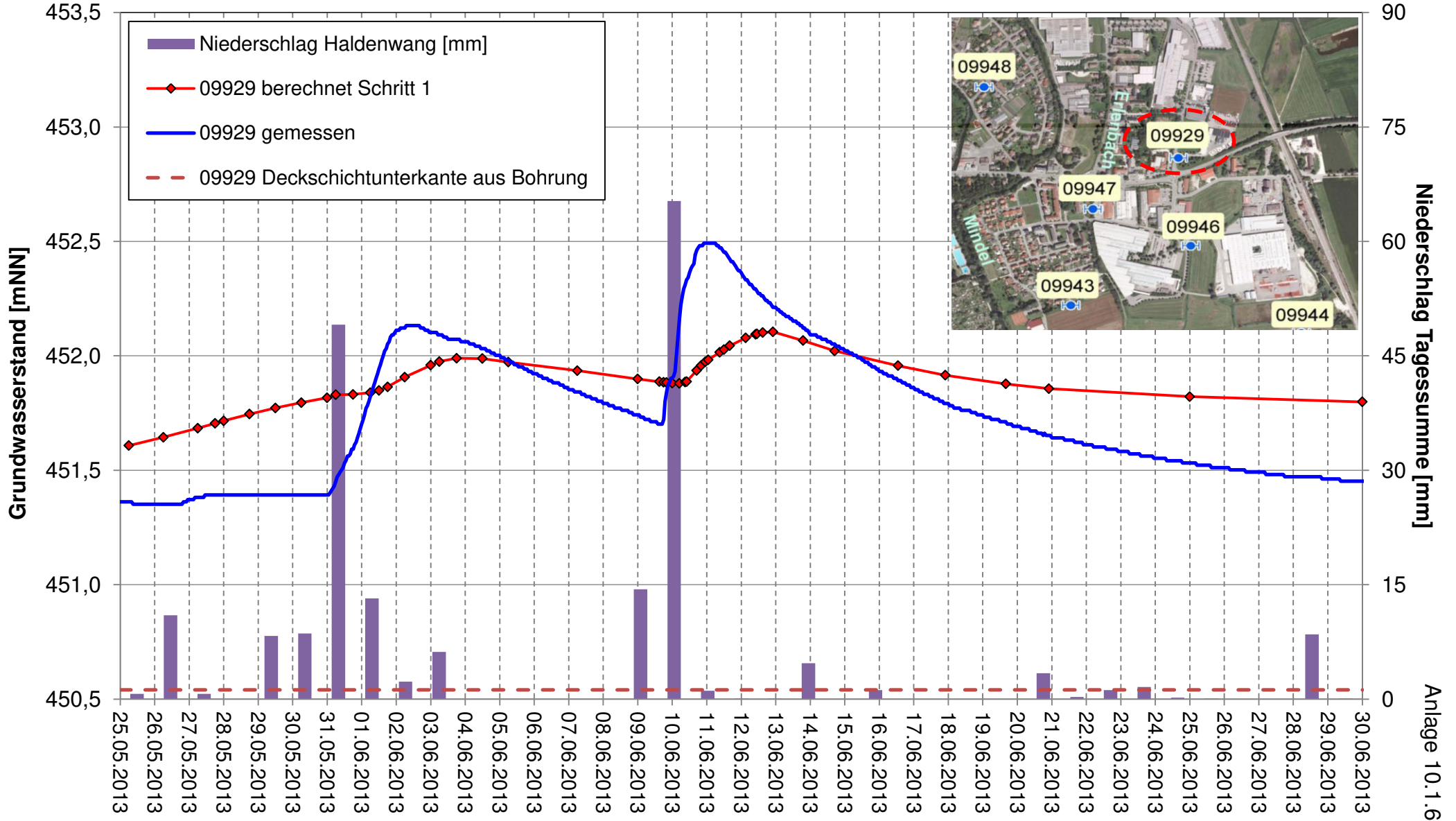




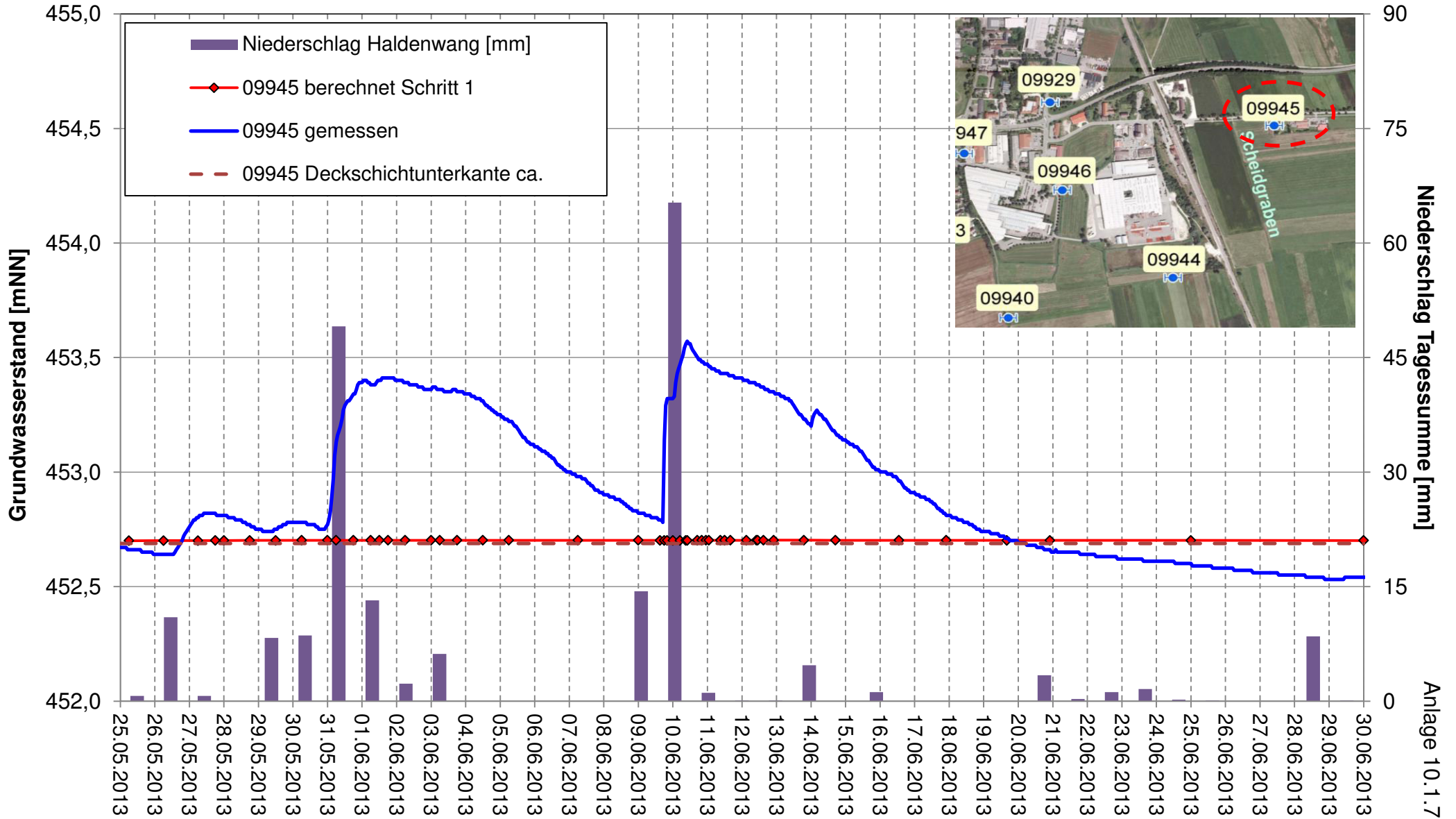
## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände



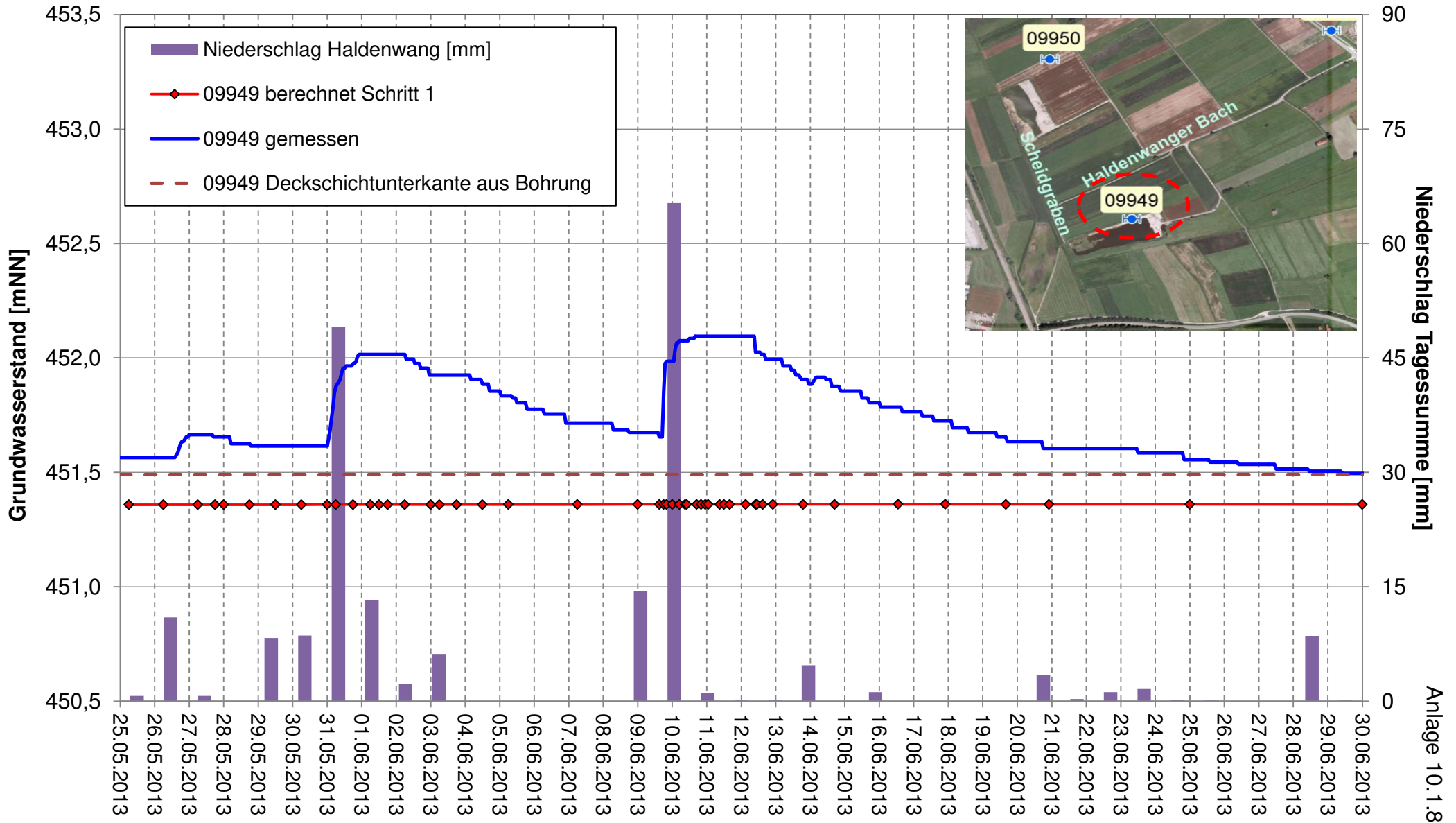
## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände



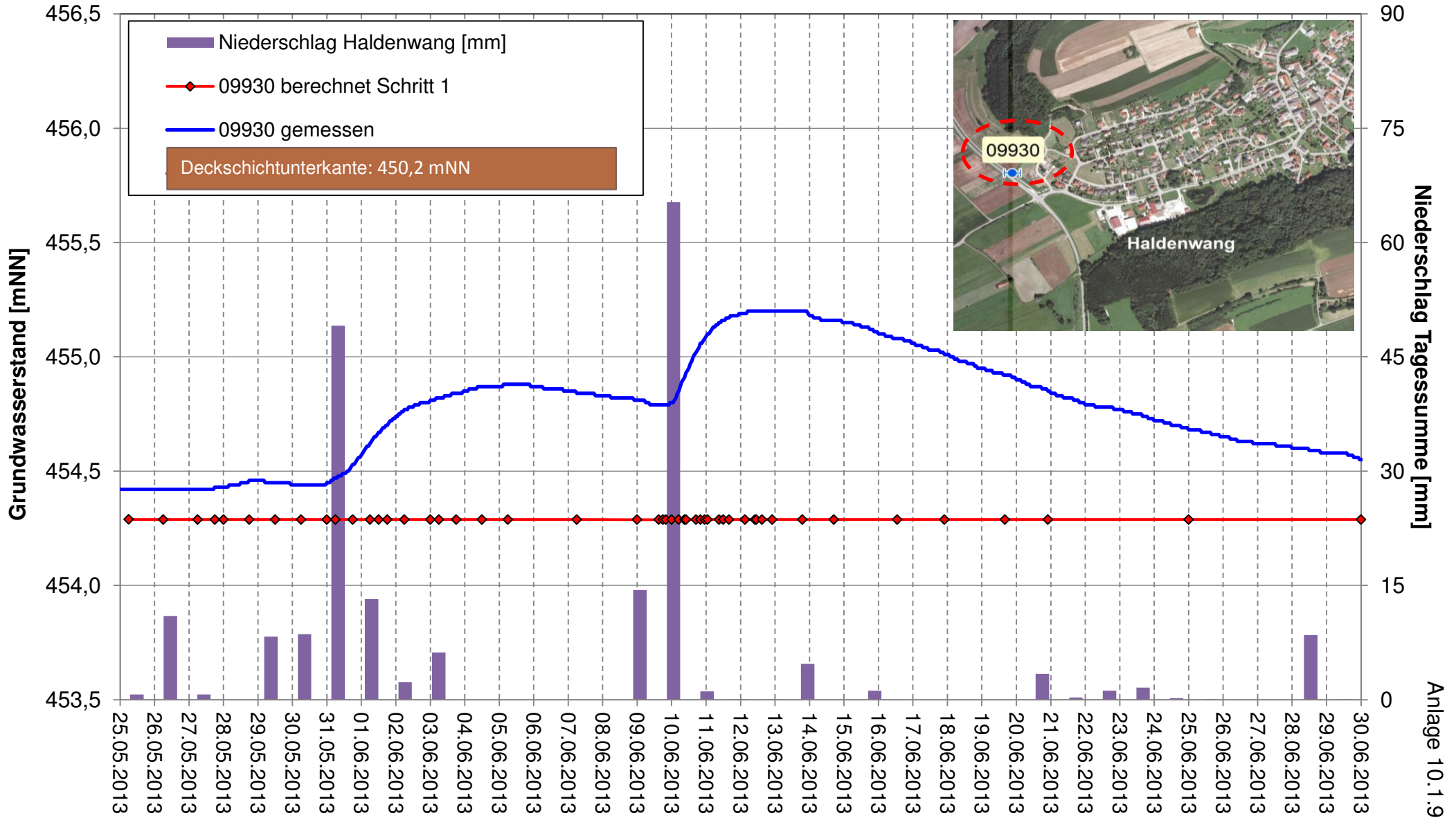
### Instationäre Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände



## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände

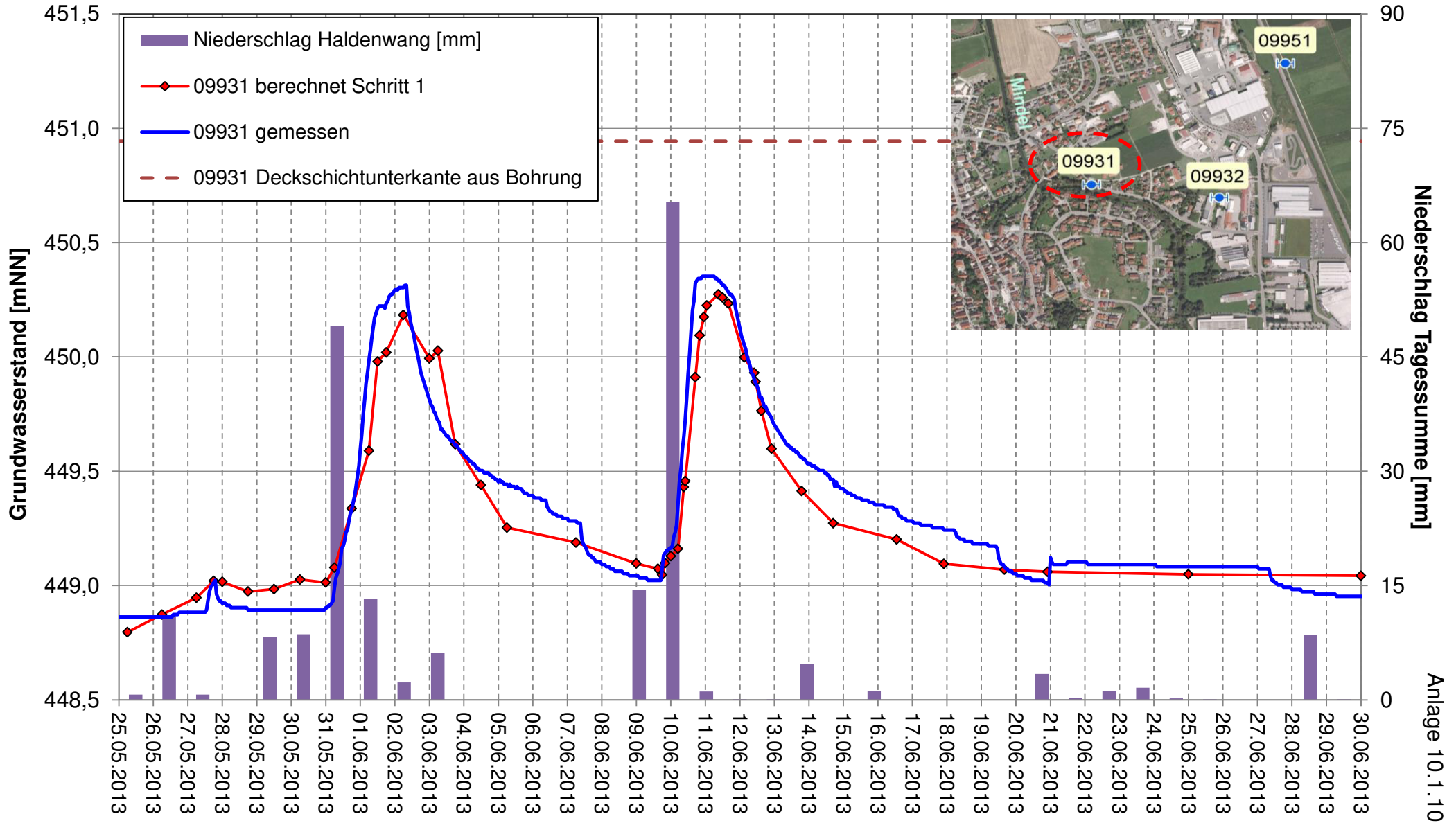


## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände

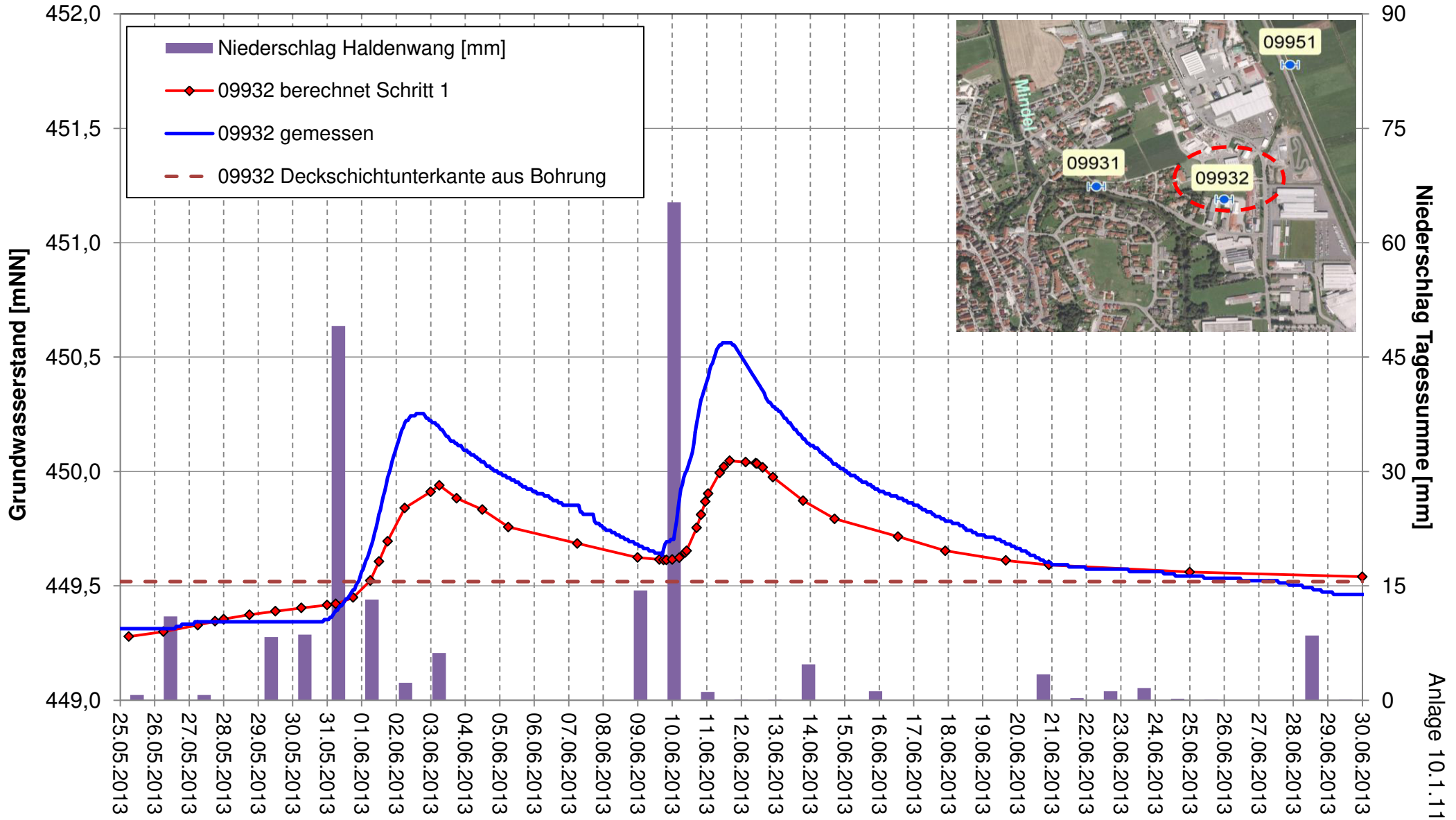




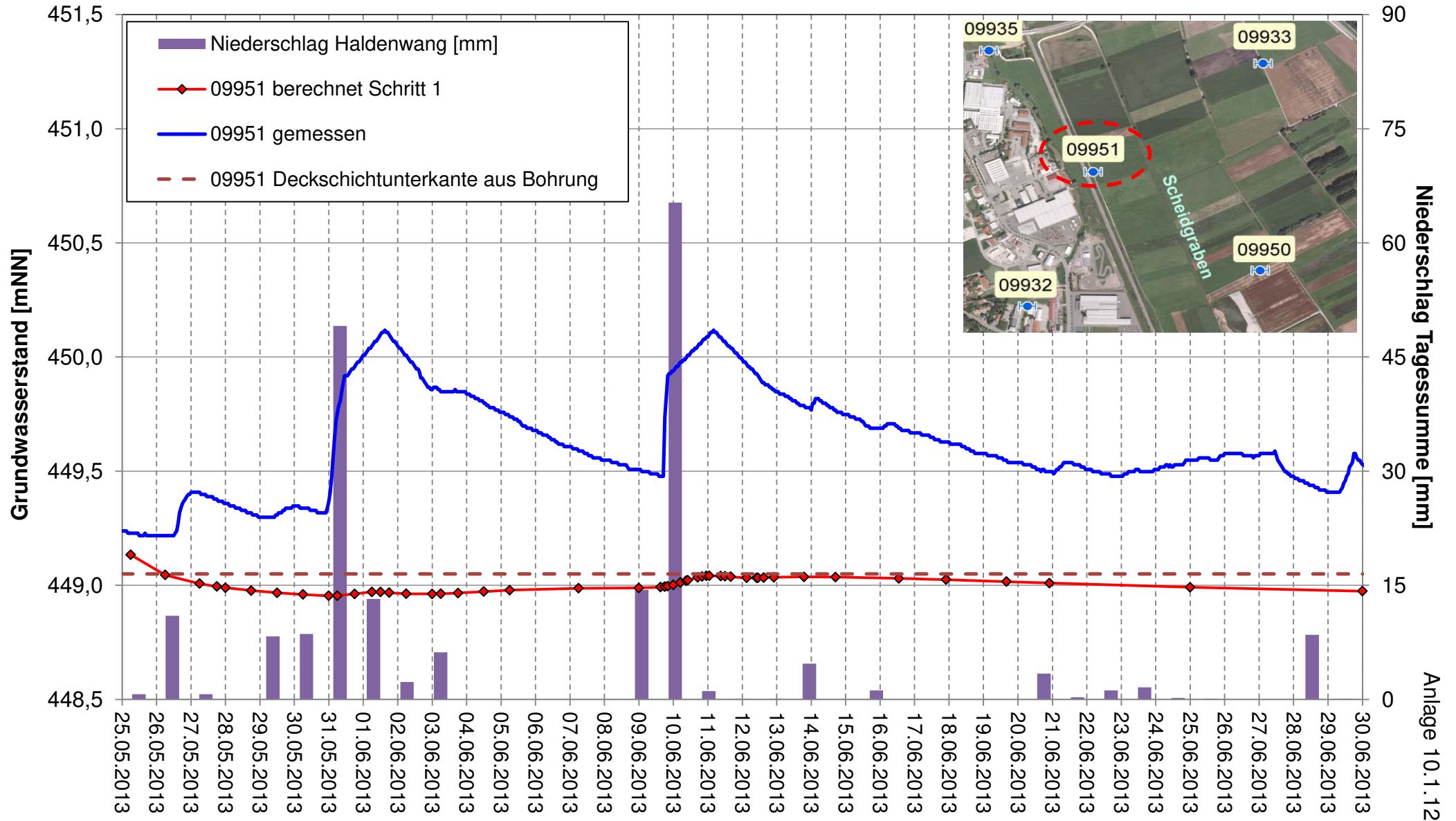
## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände



## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände

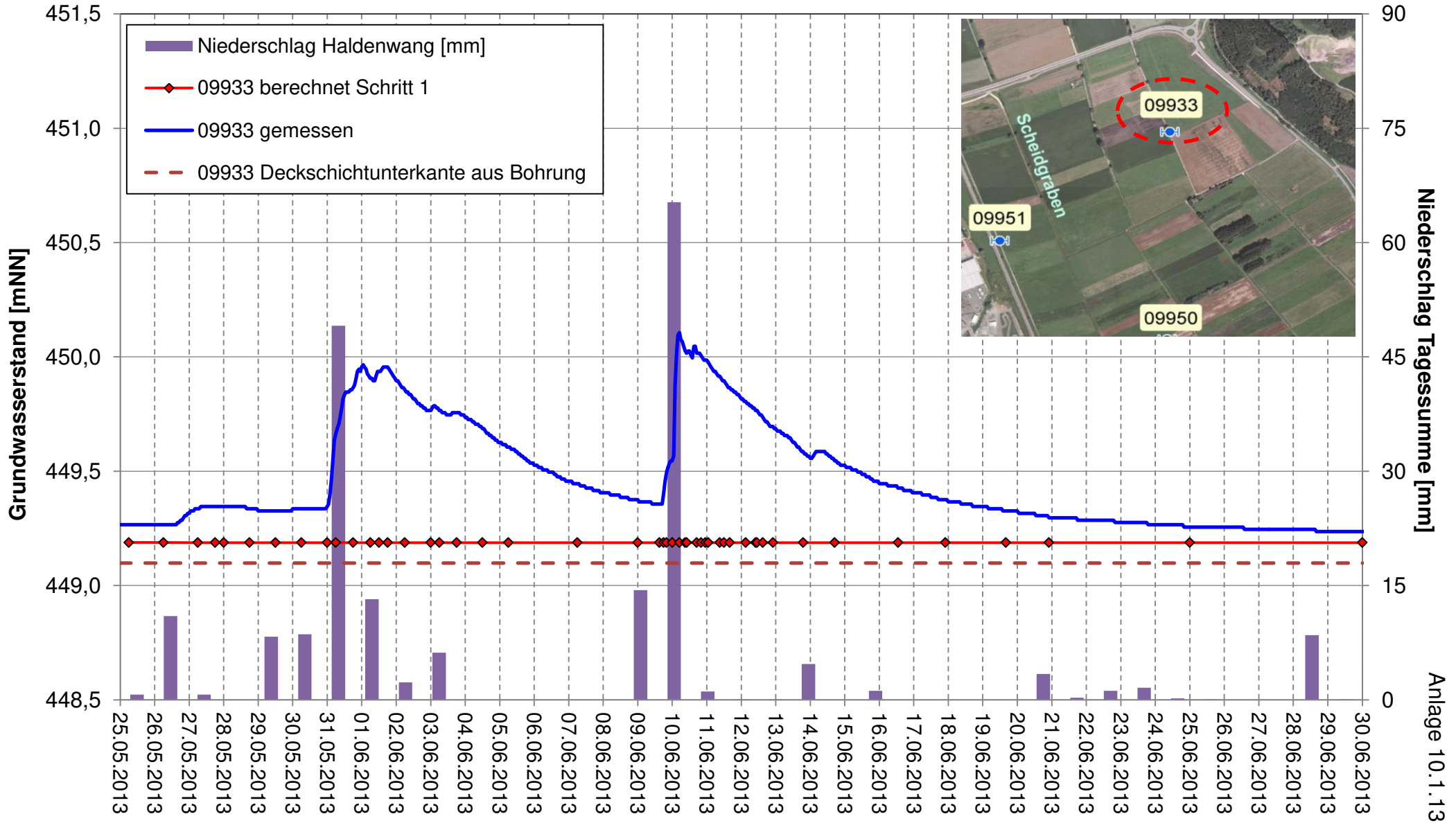


## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände

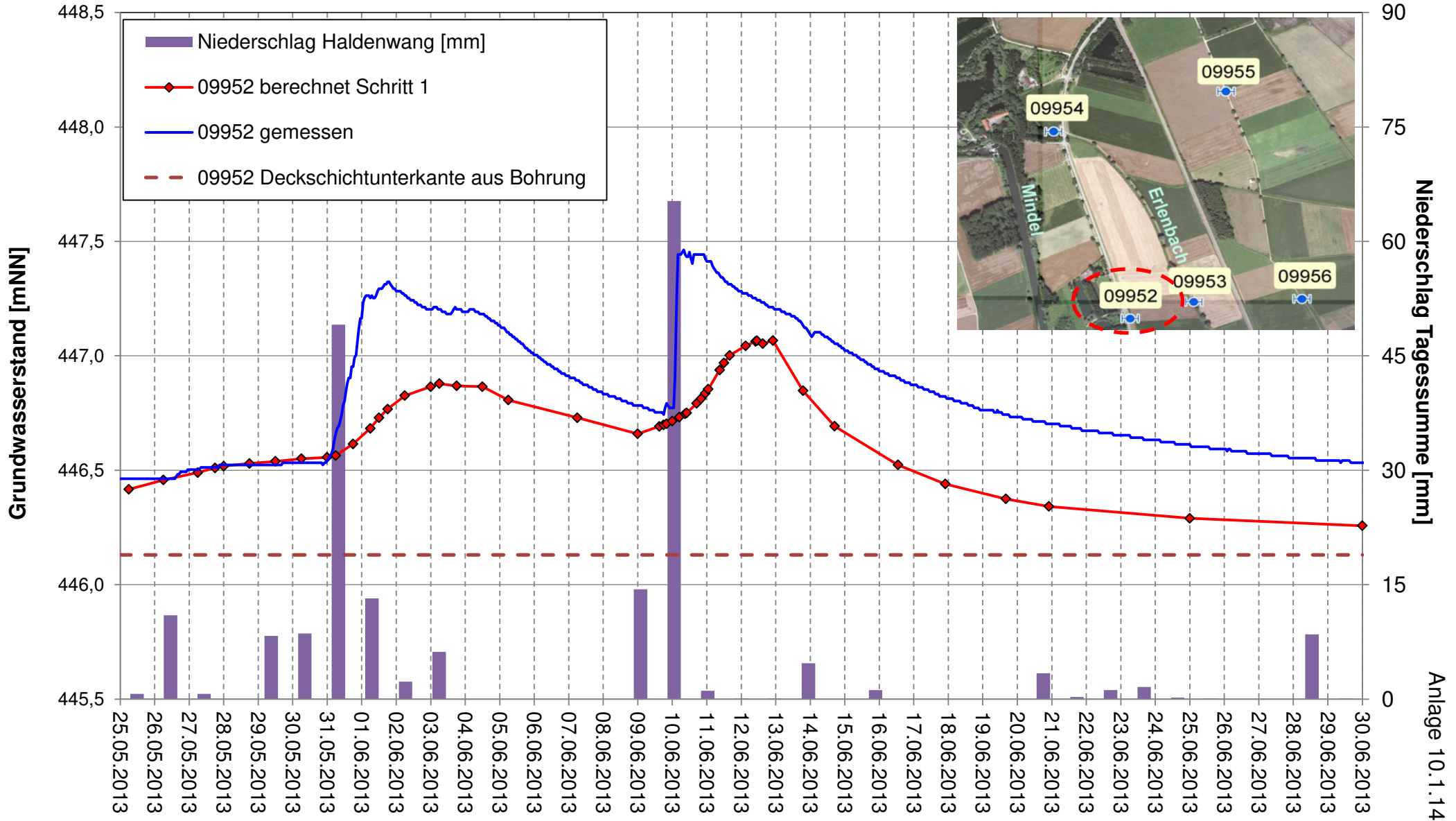




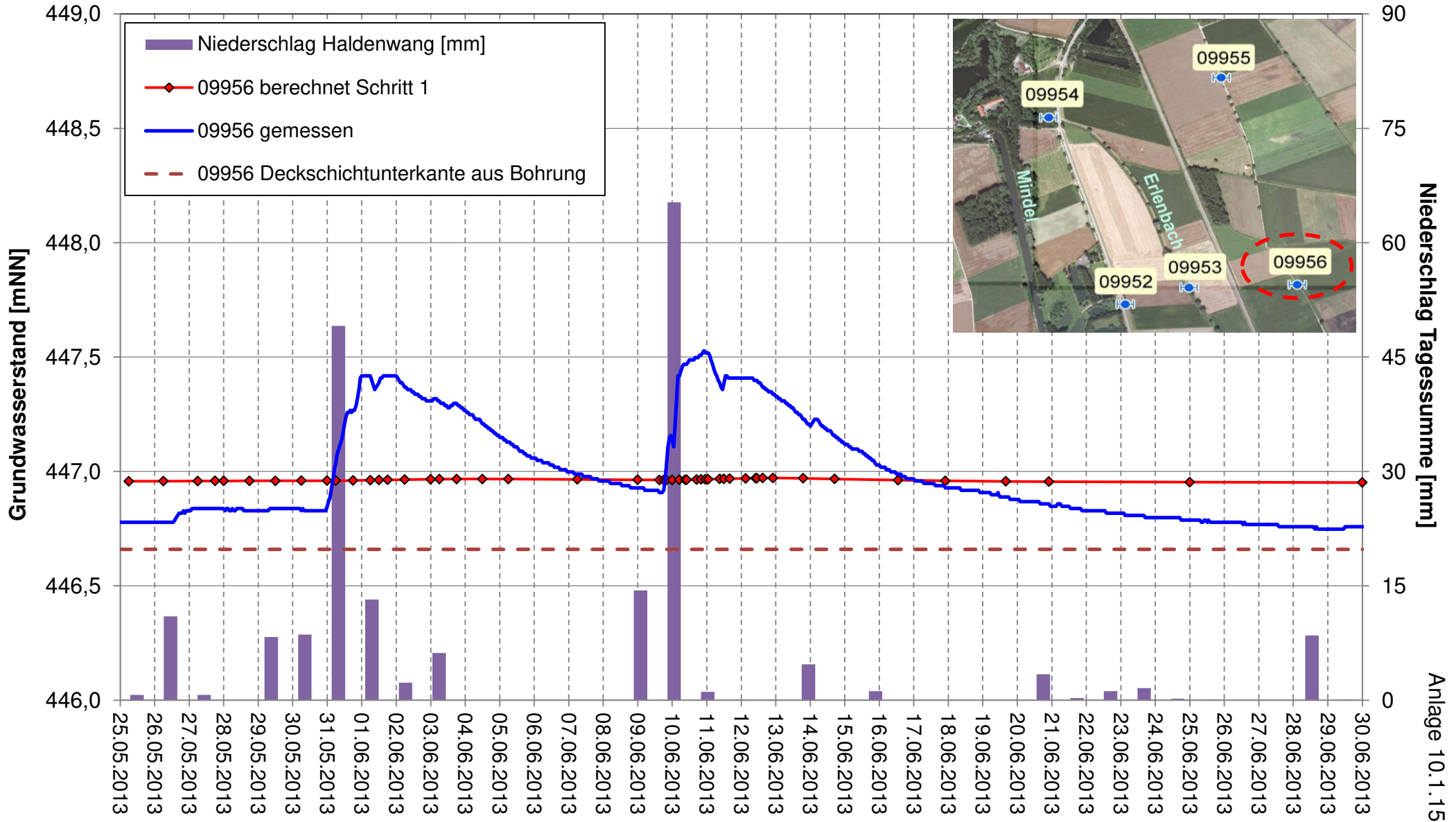
## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände



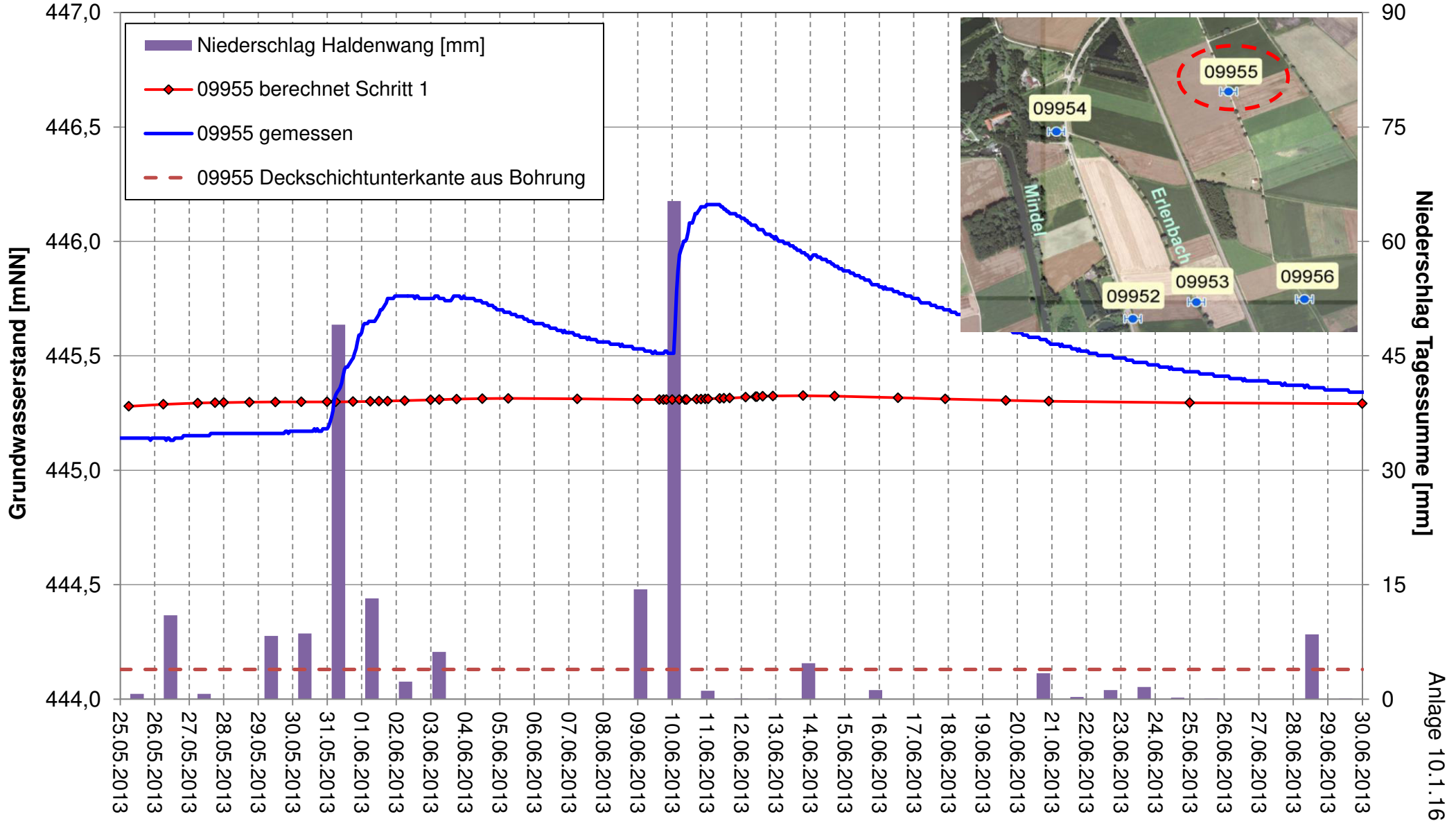
## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände



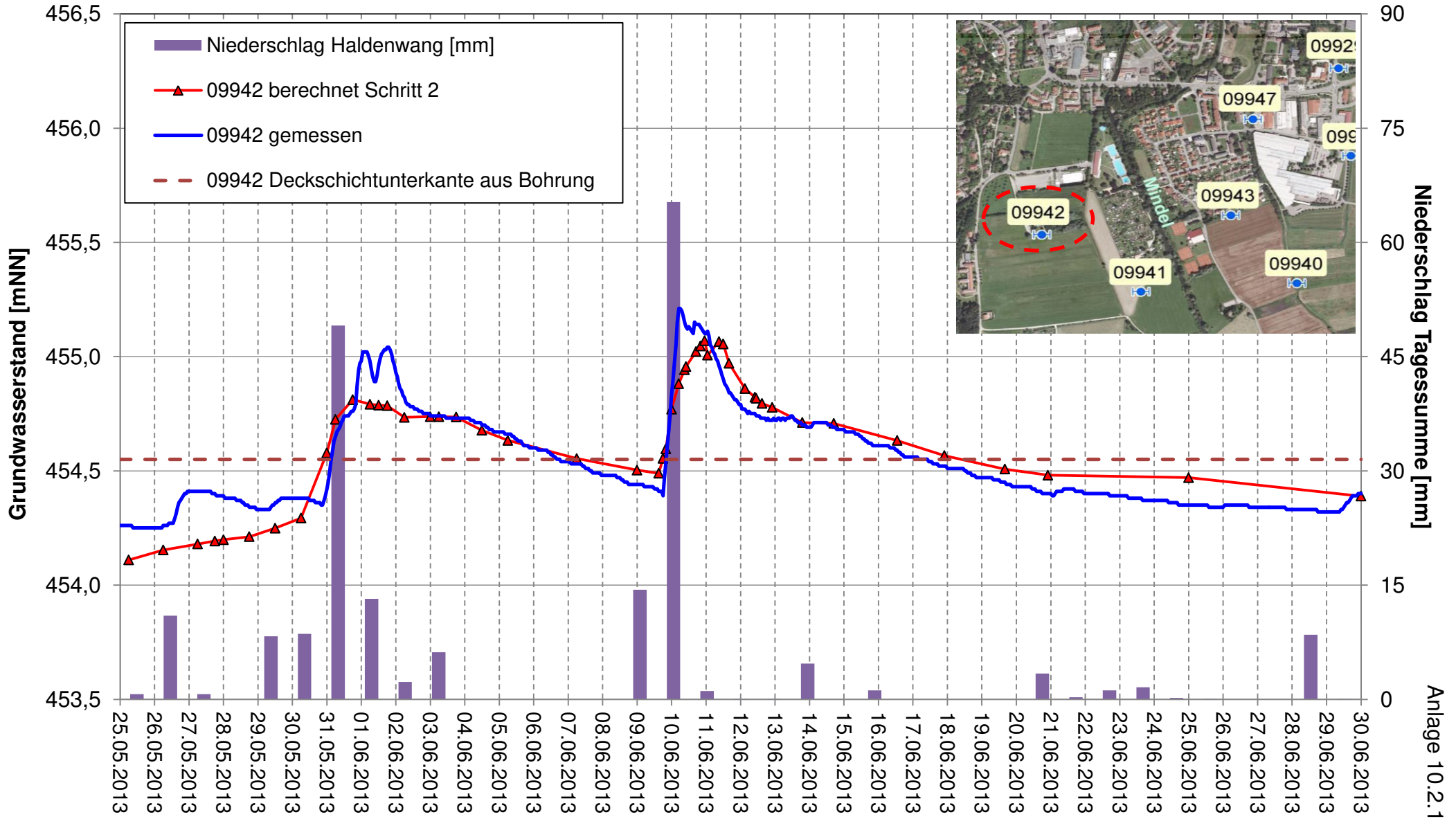
### Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände



## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände

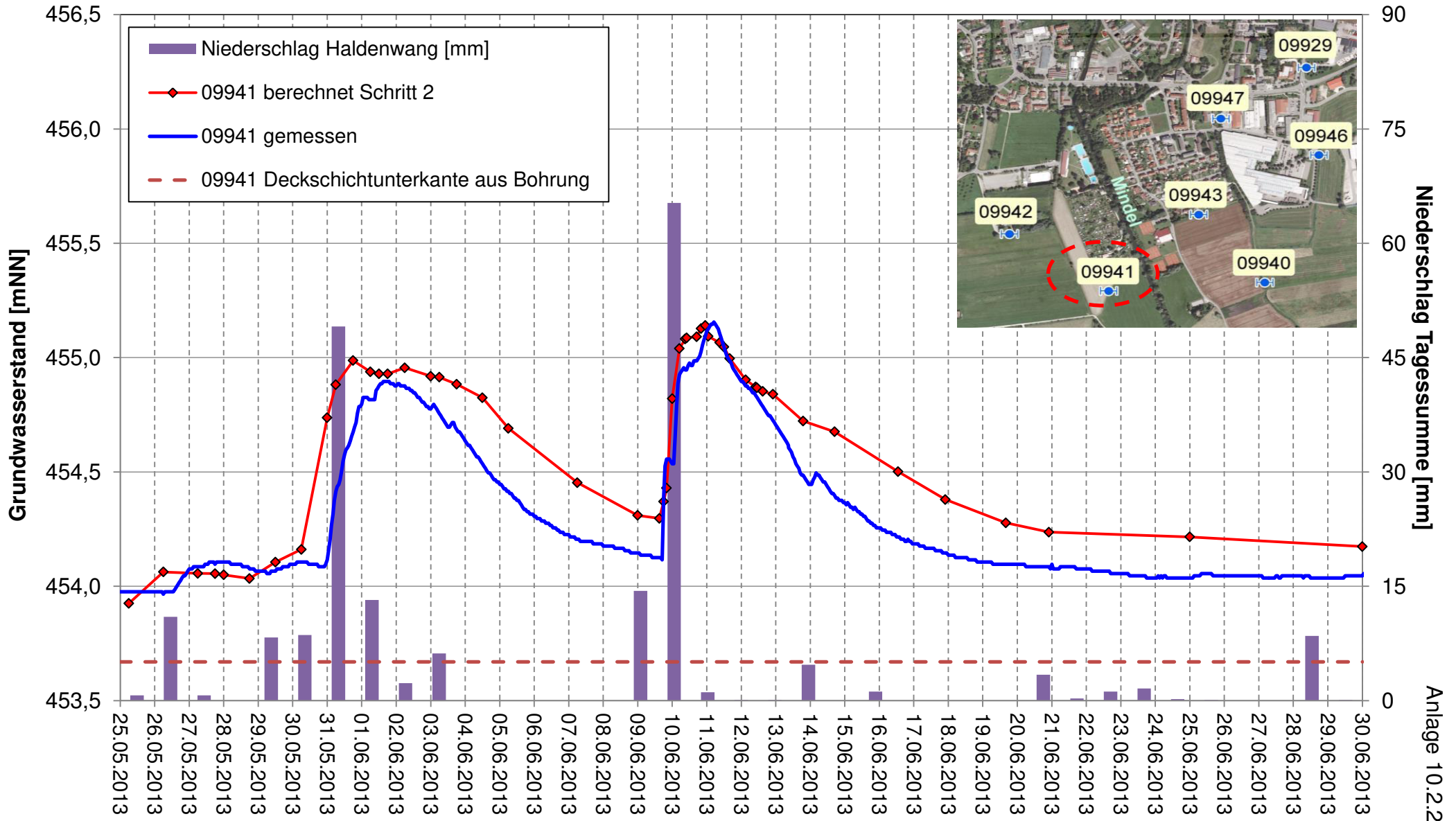


## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände

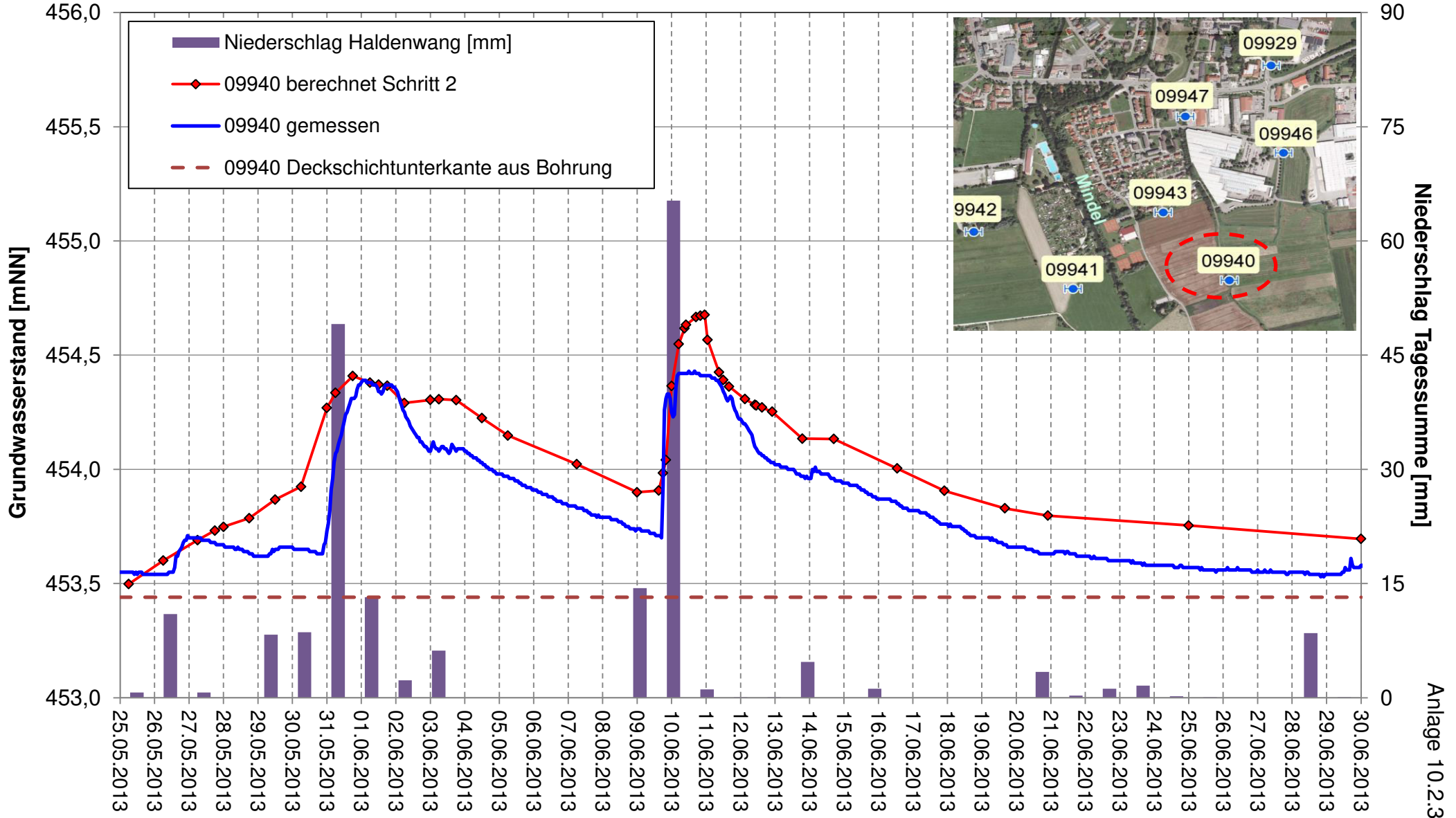




## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände

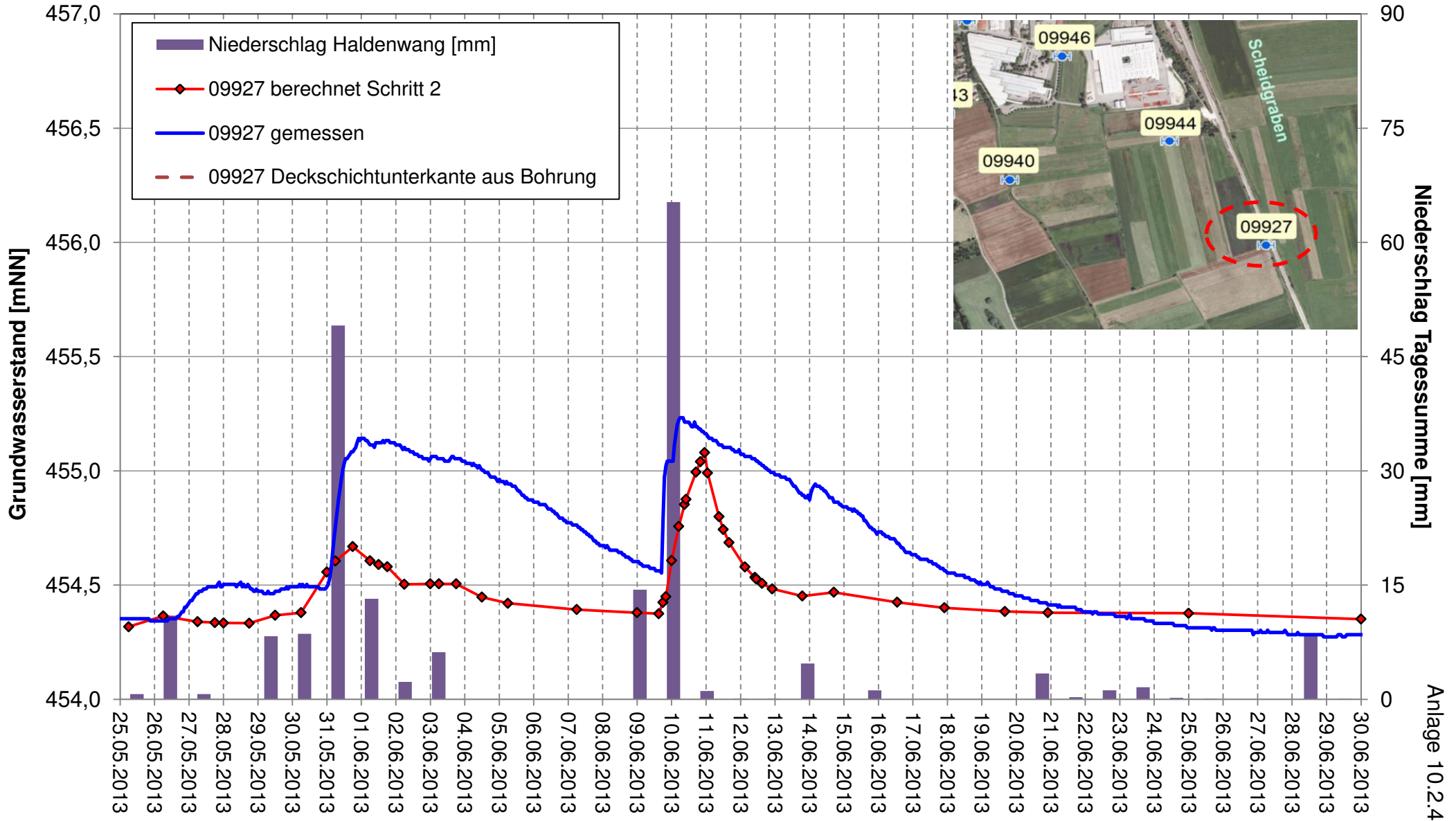


## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände

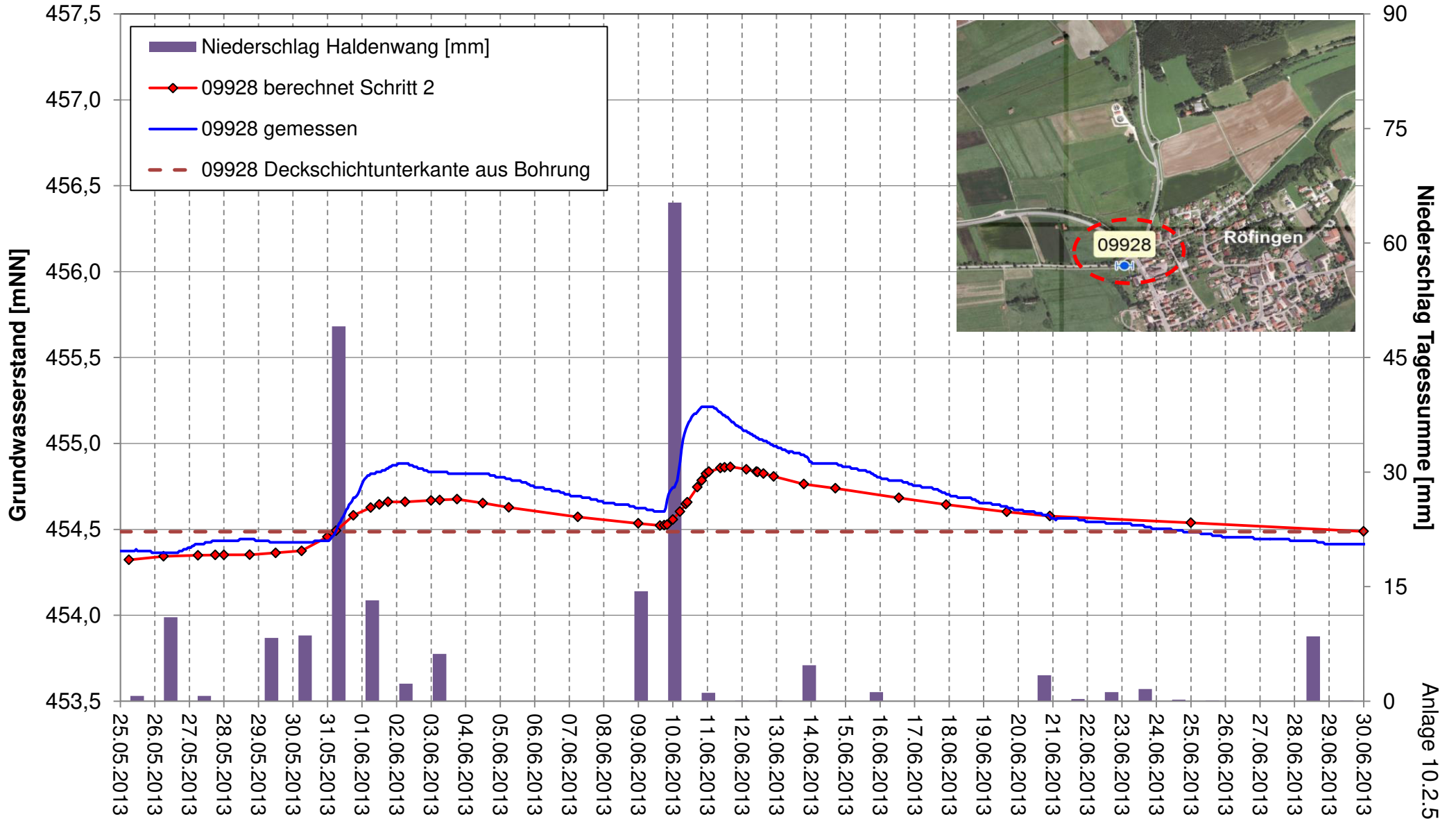




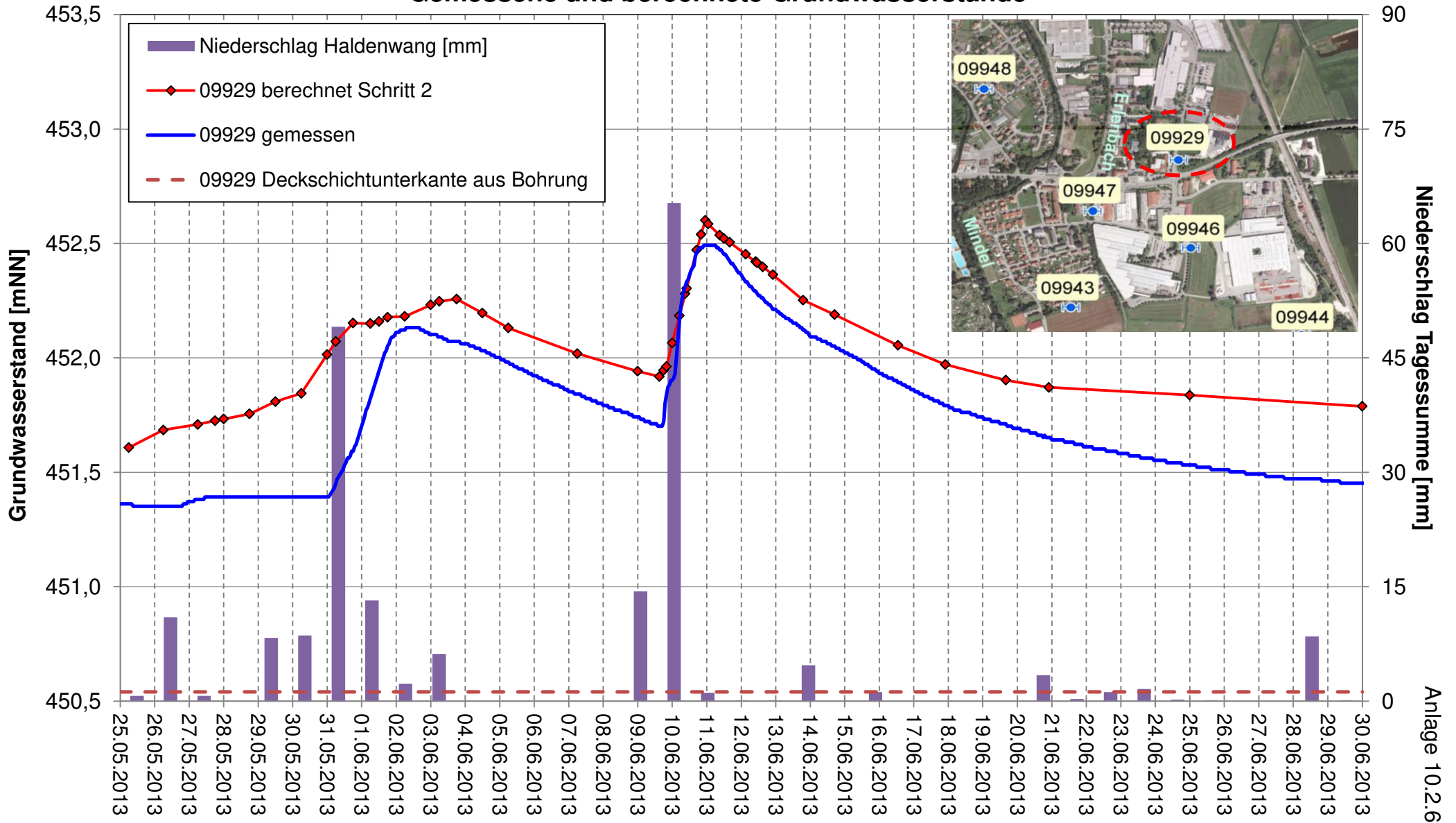
## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände



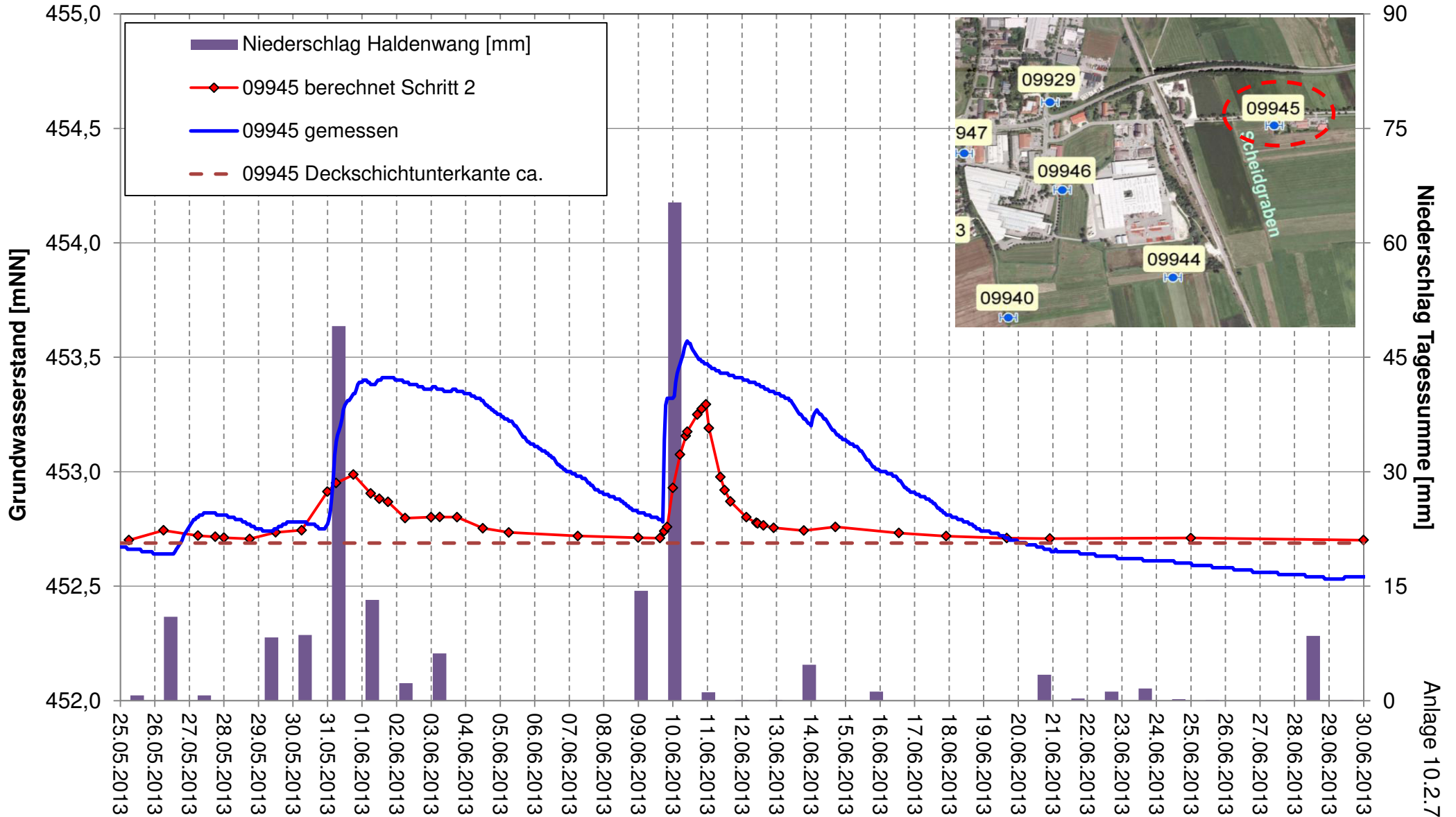
## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände



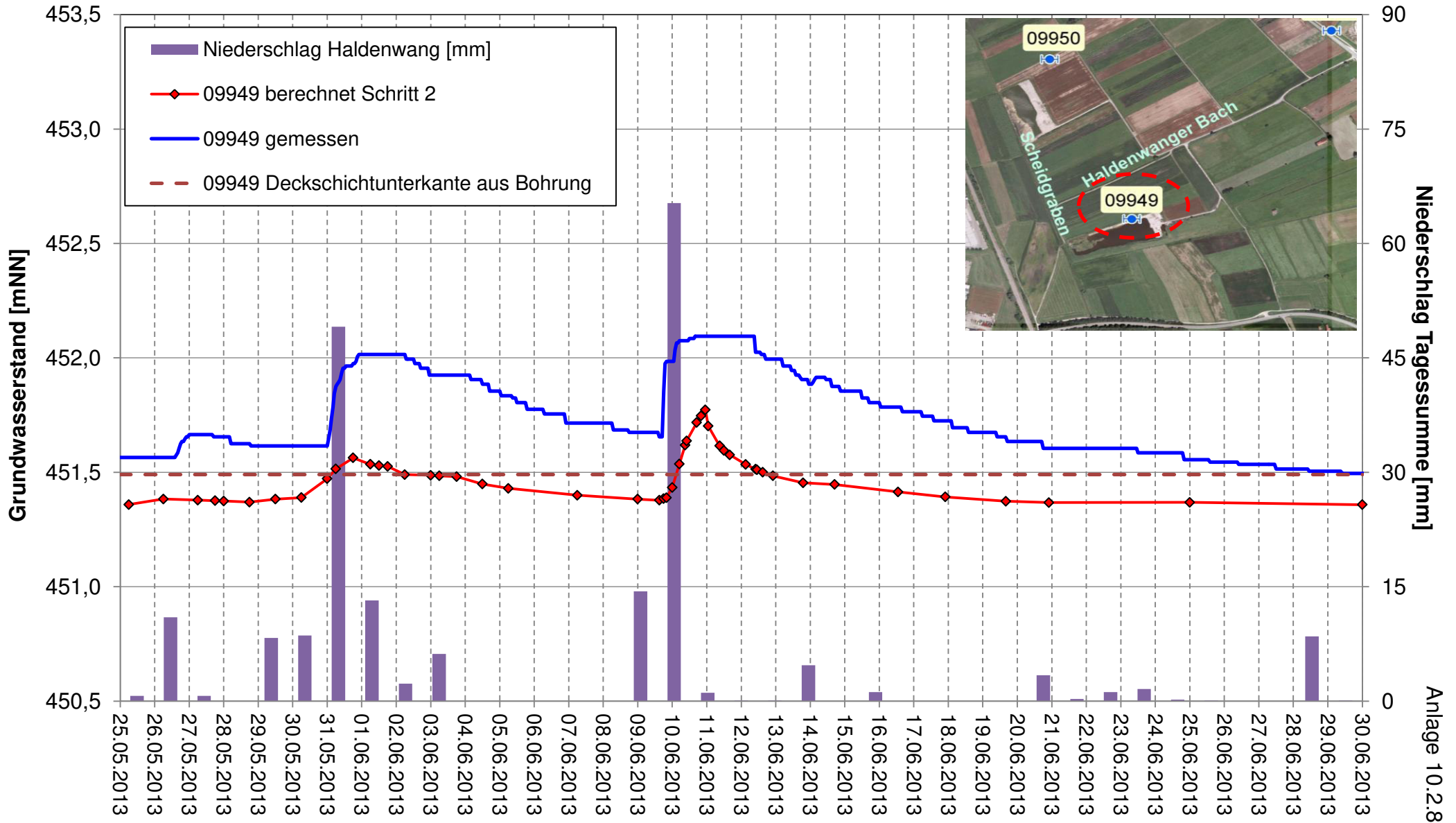
## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände



### Instationäre Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände

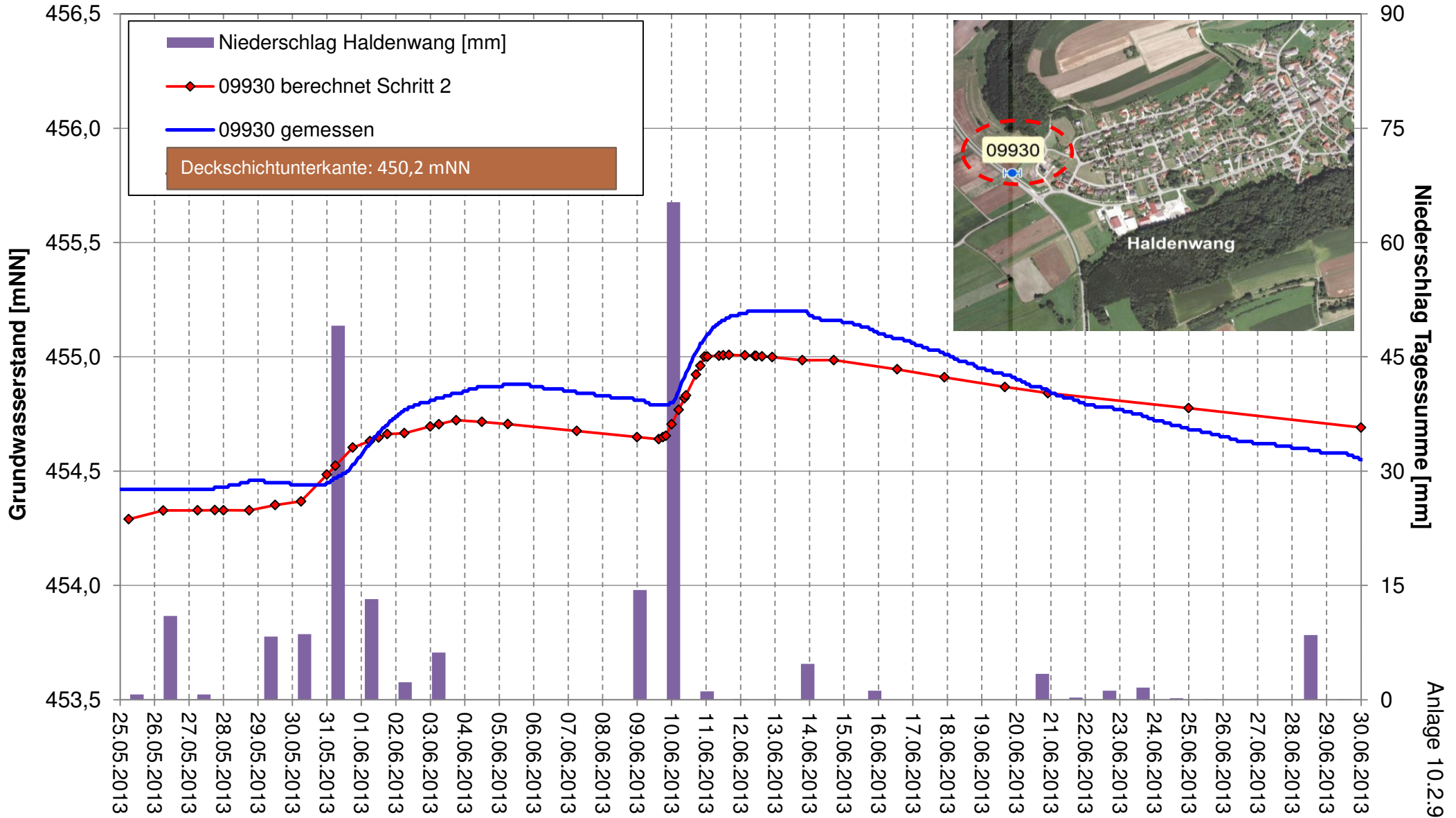


## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände



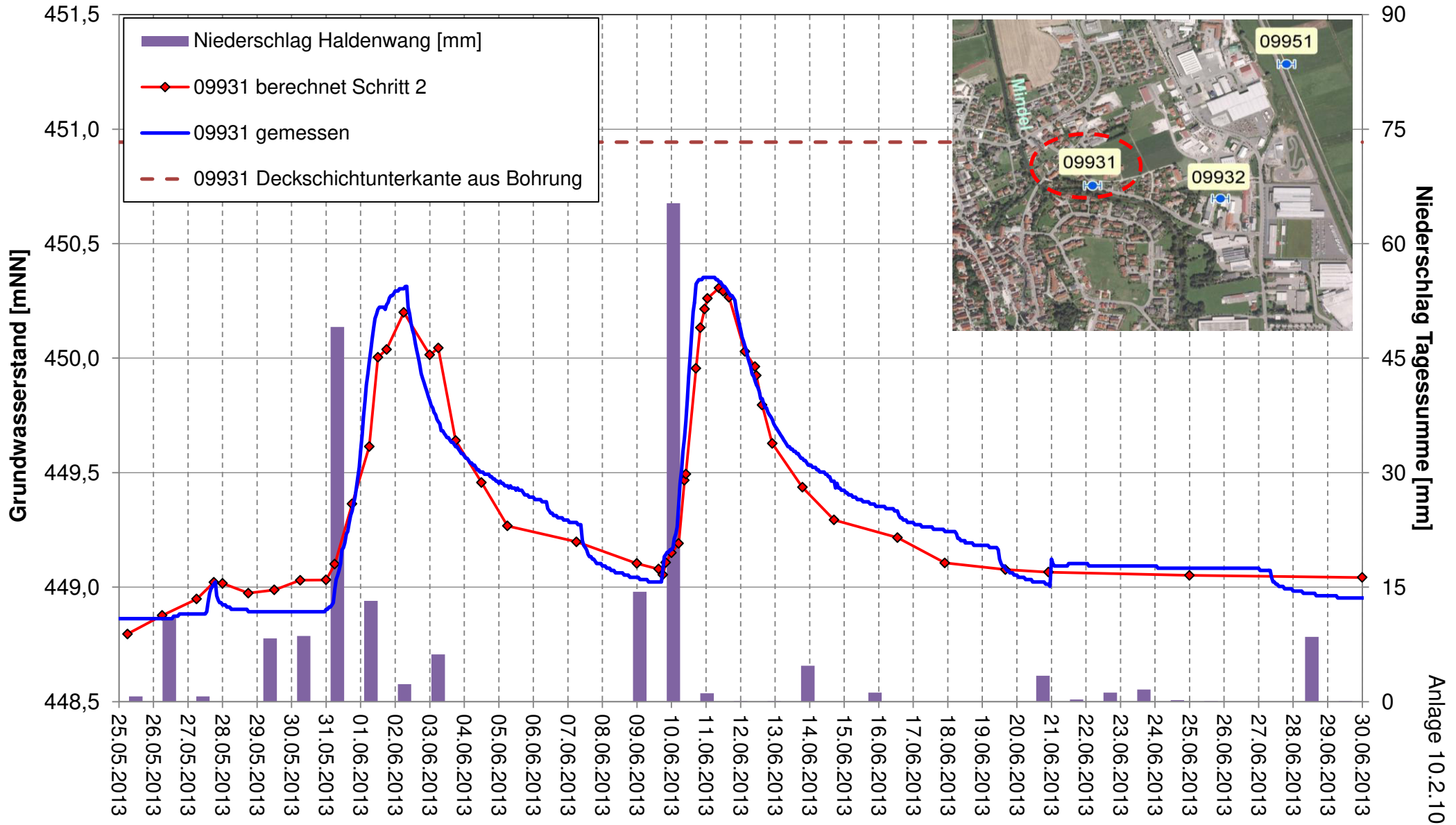


## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände

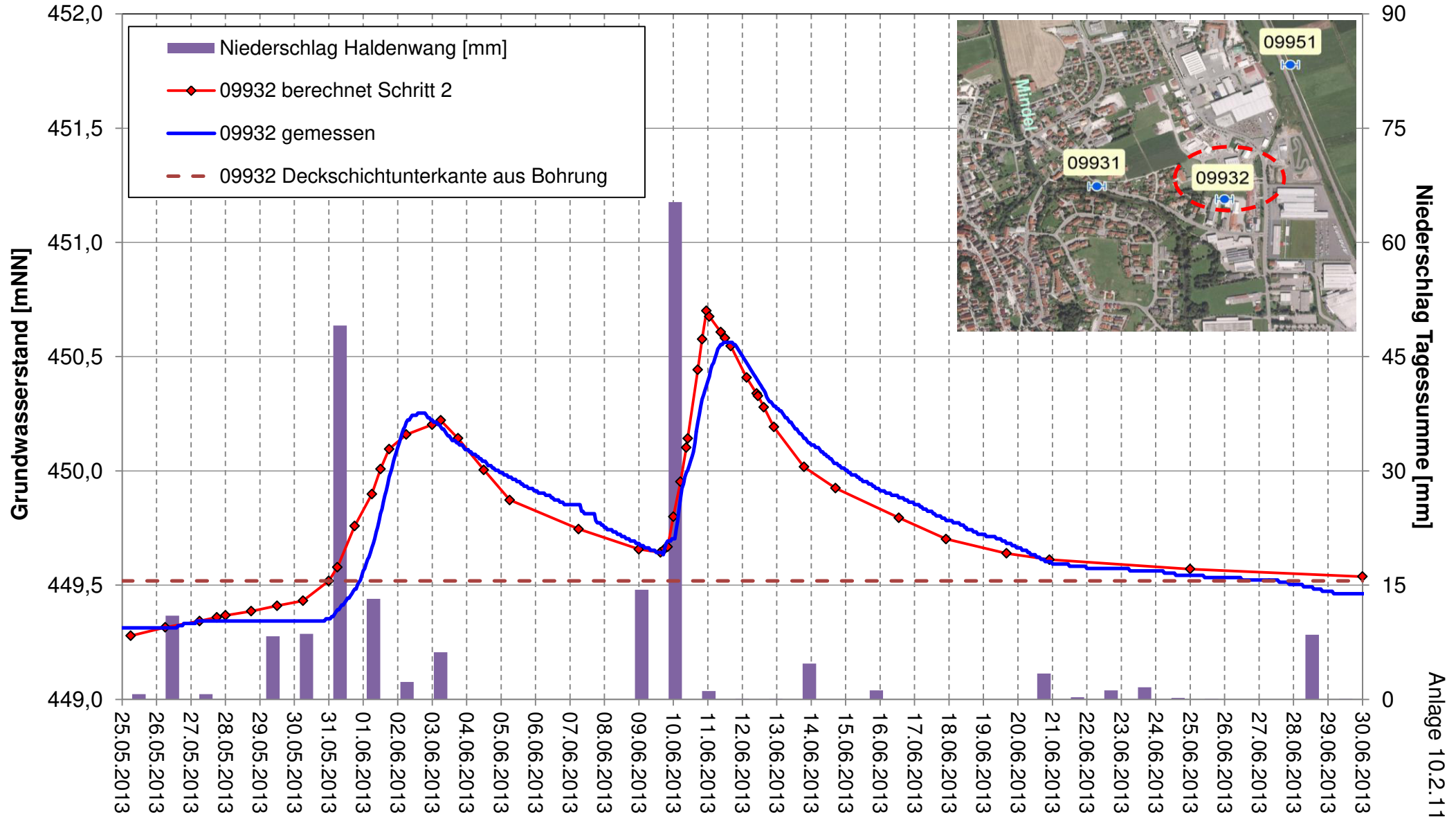




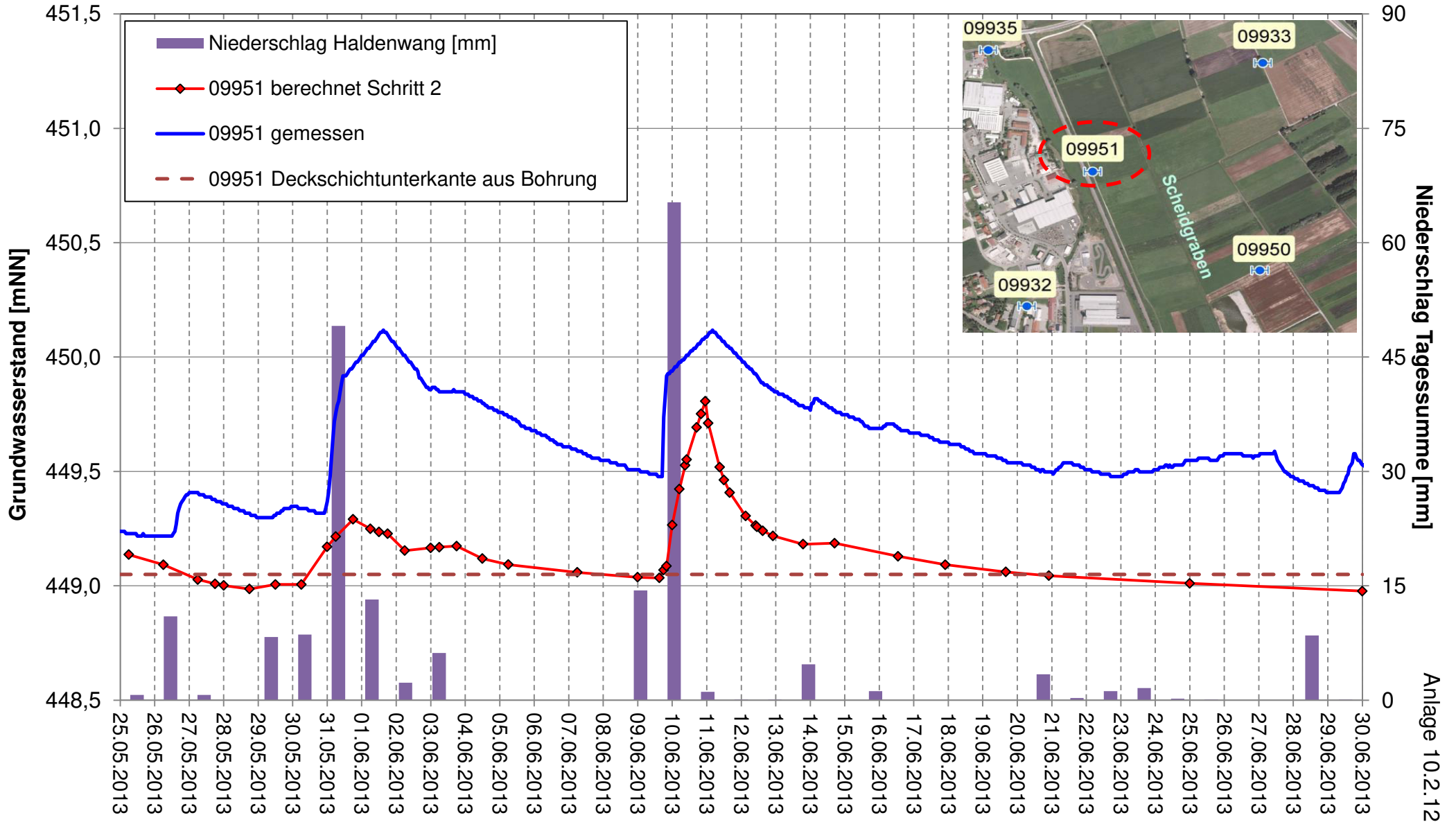
## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände



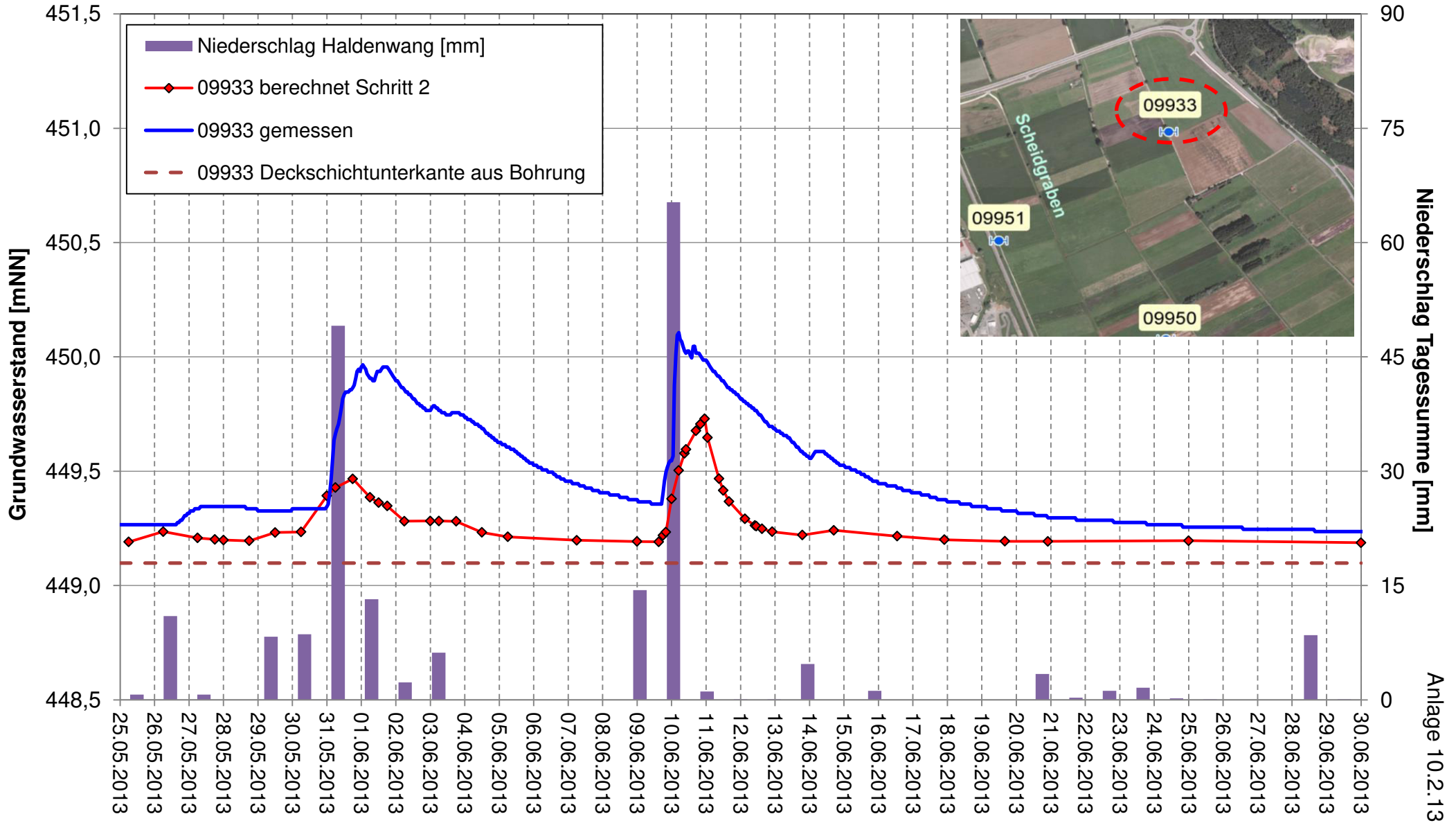
## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände



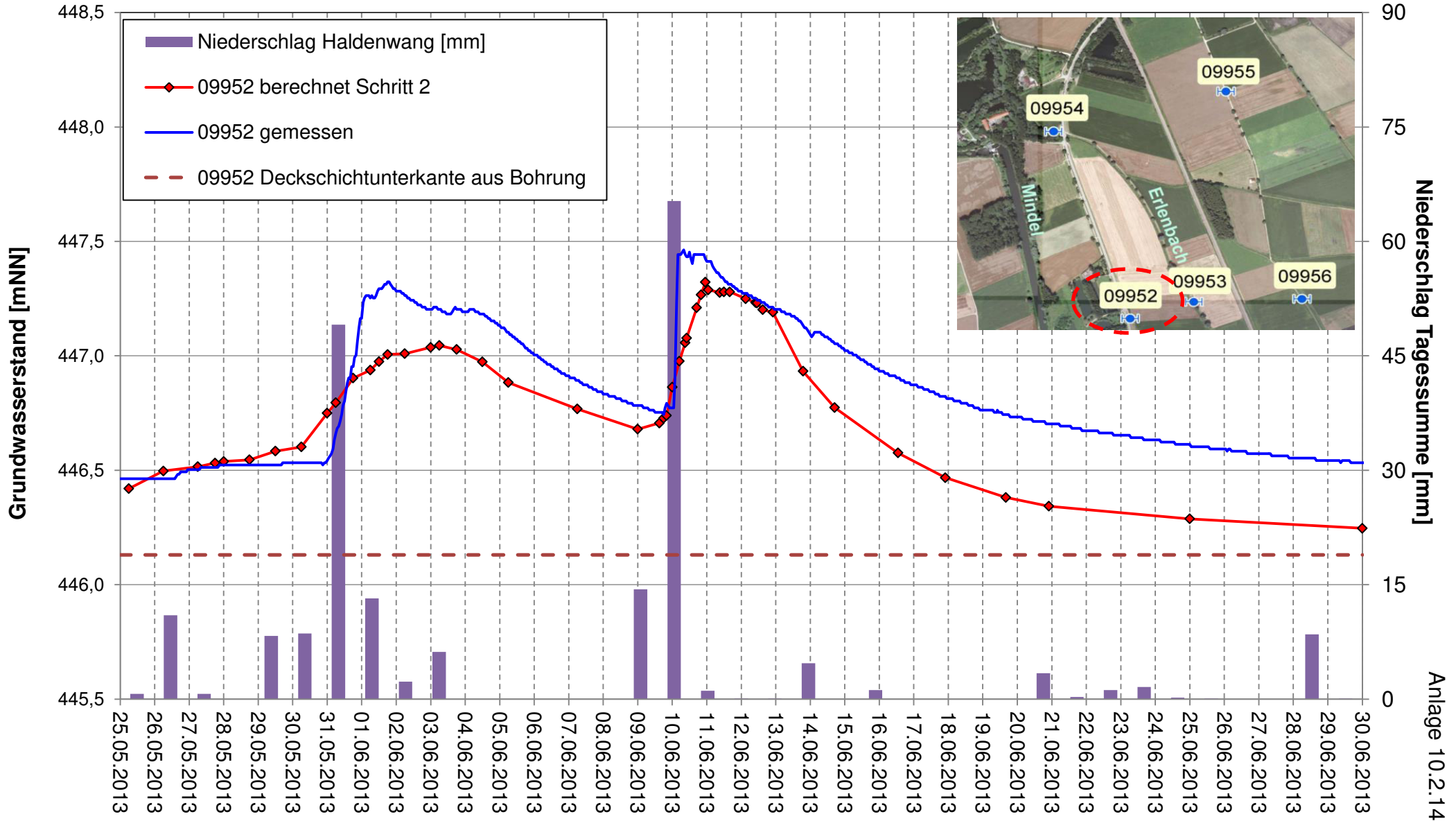
## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände



## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände

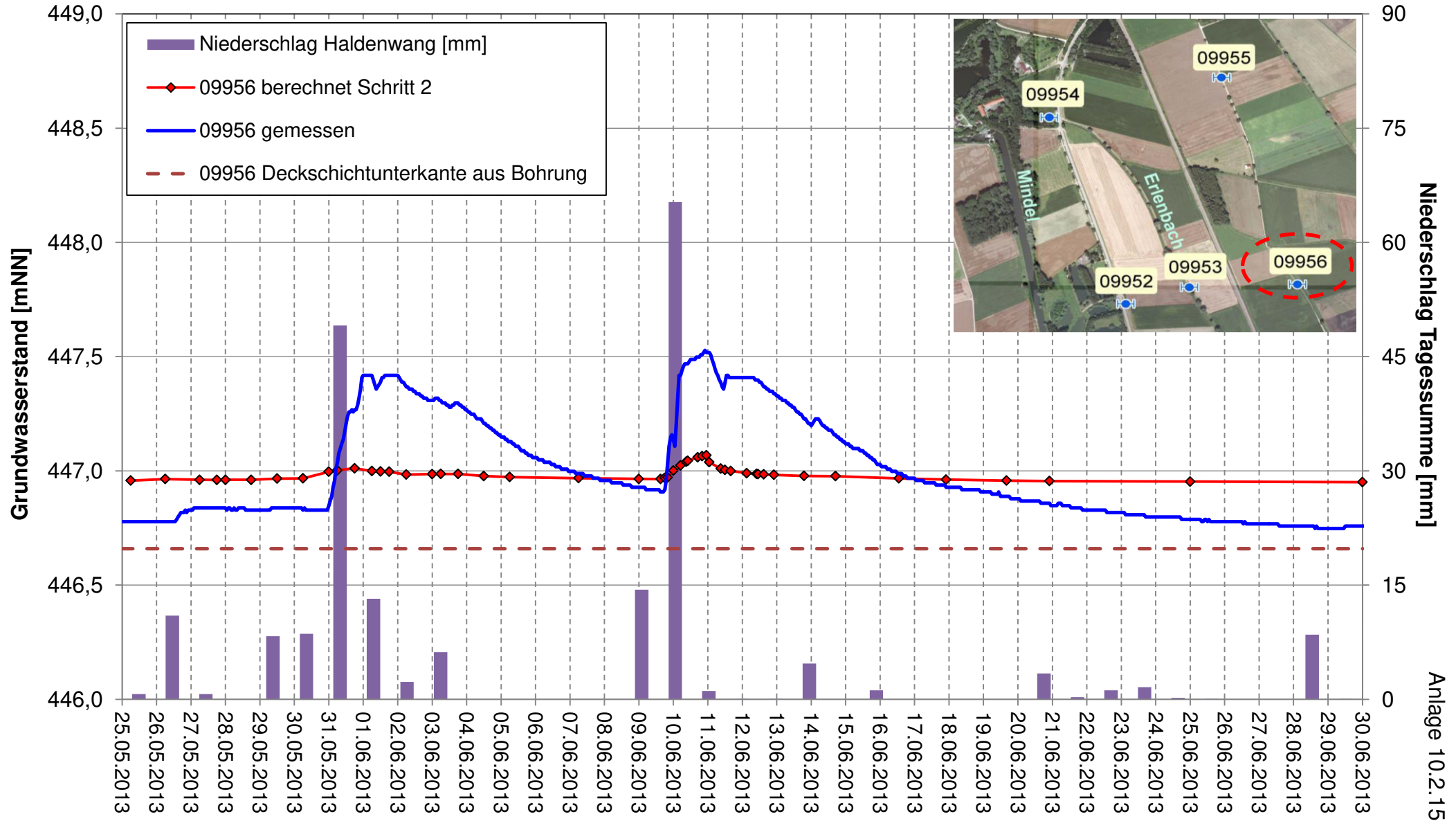


## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände



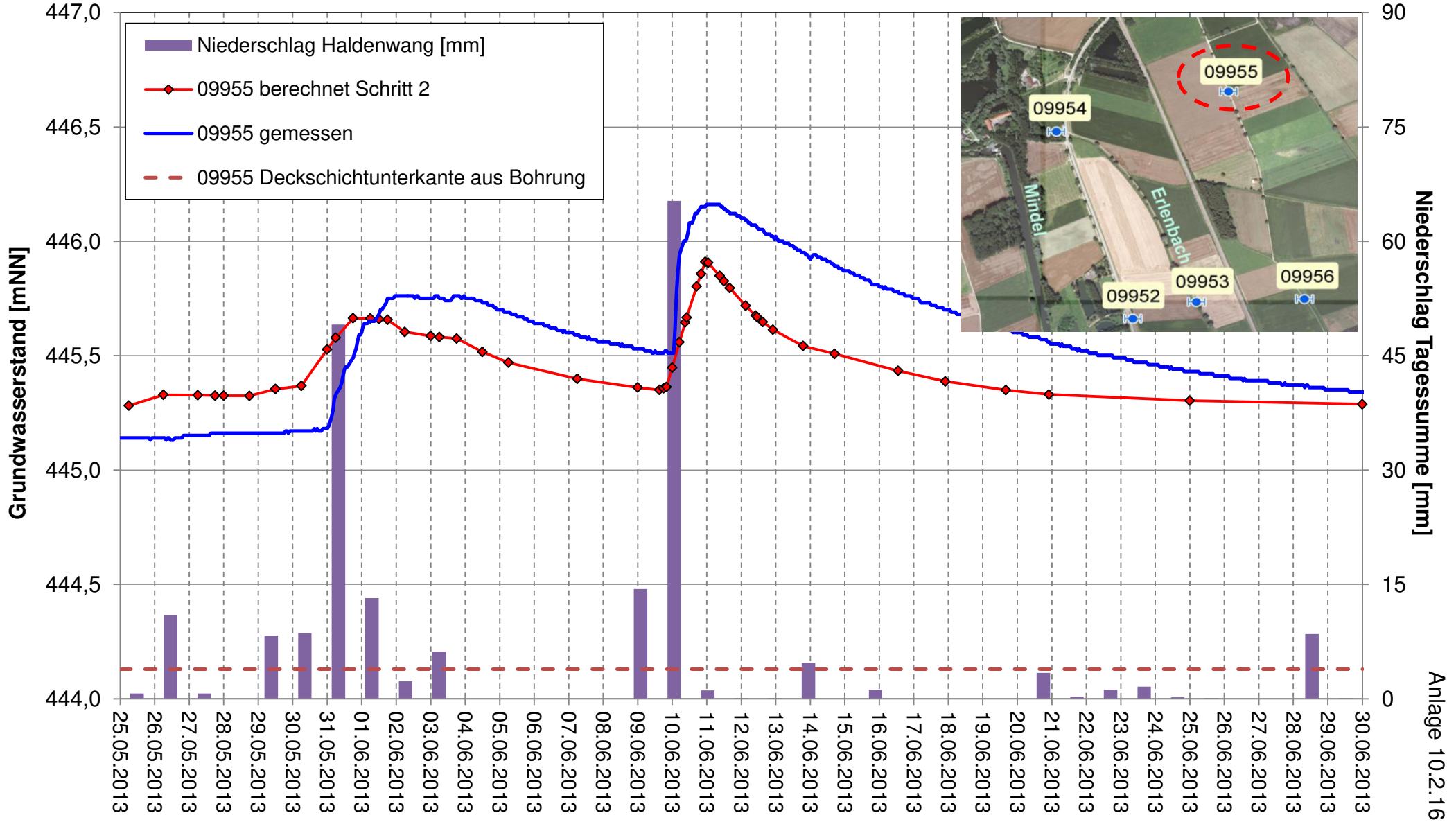


## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände

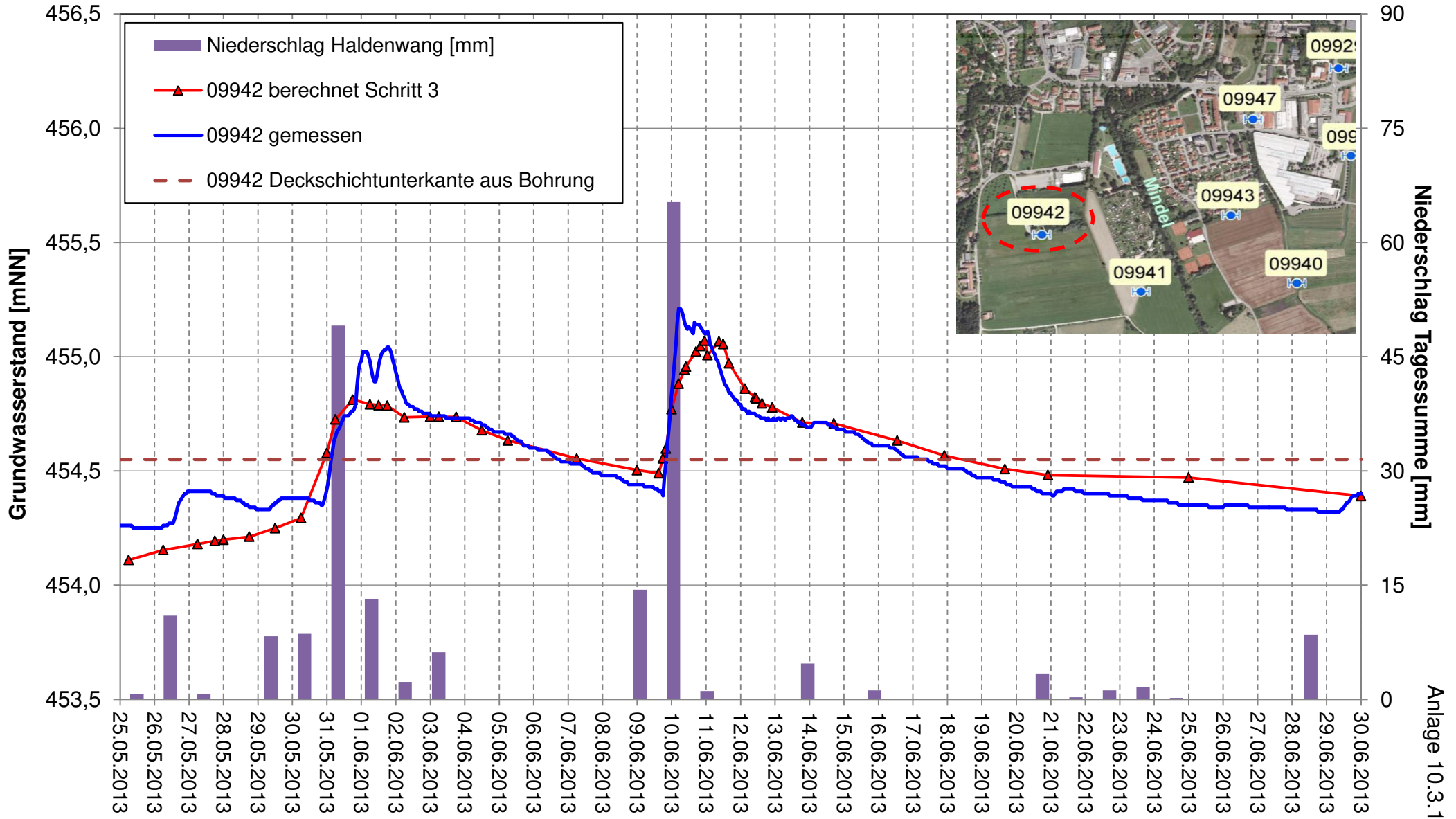




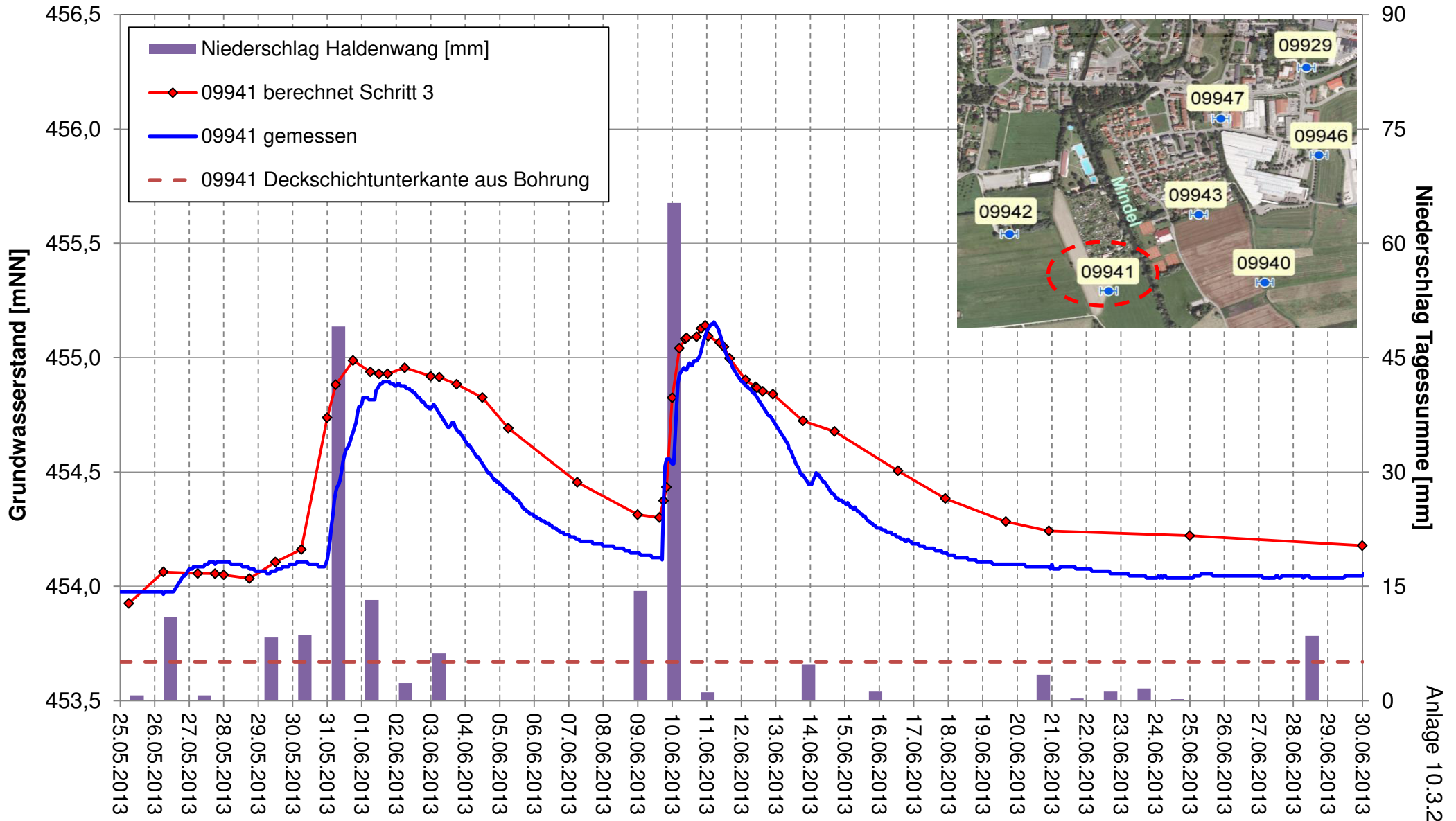
### Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände



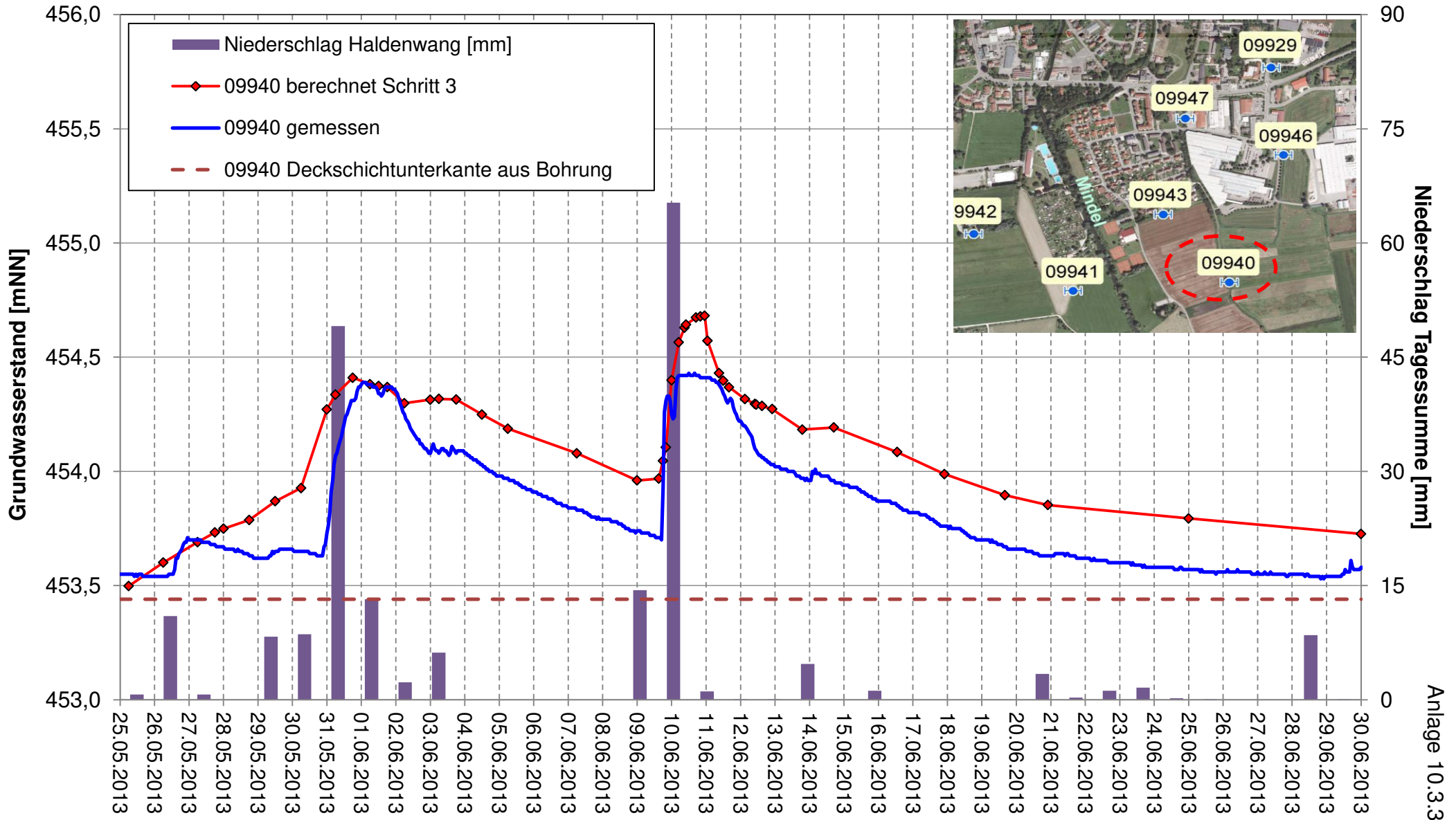
## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände



## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände

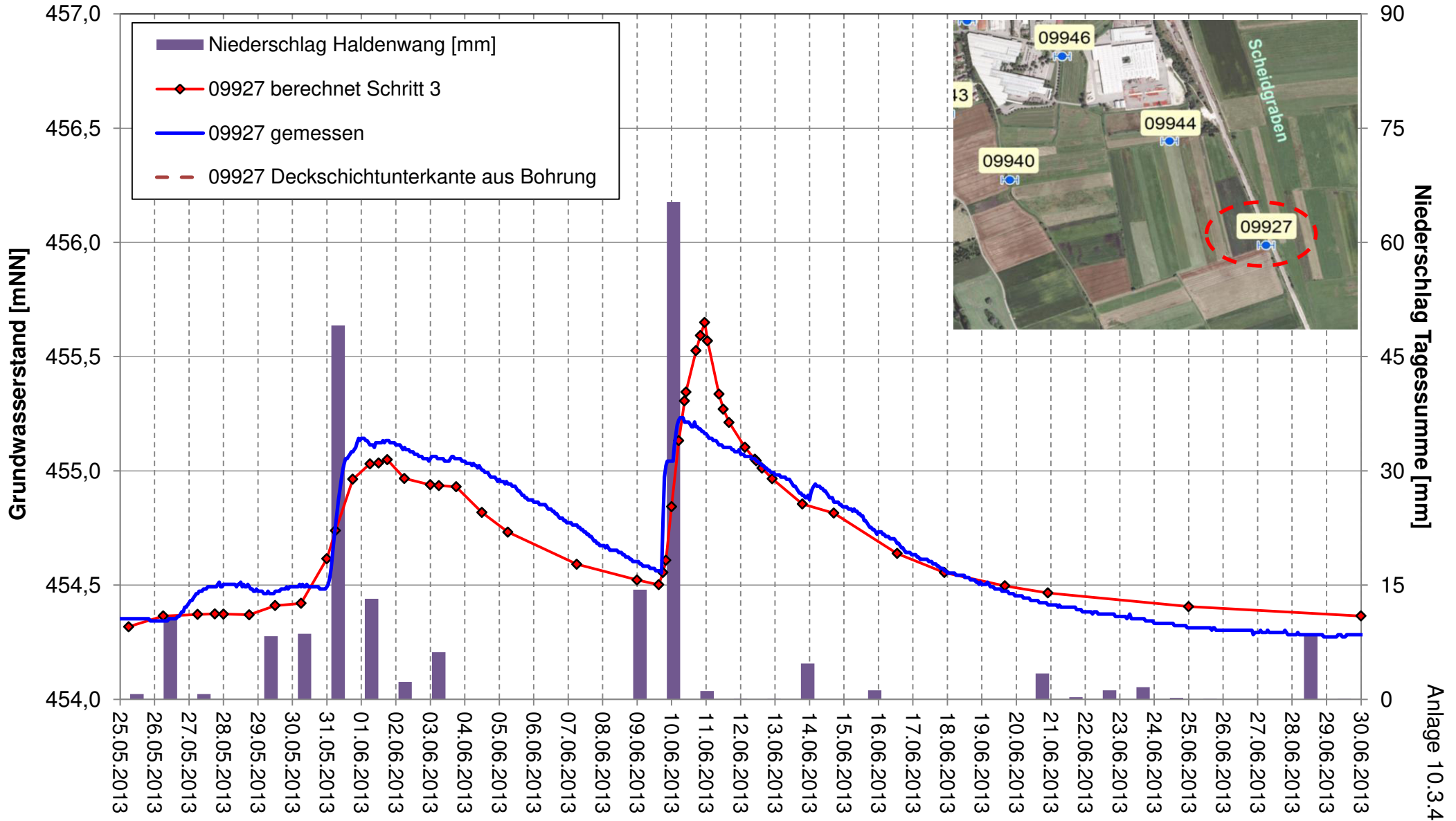


## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände

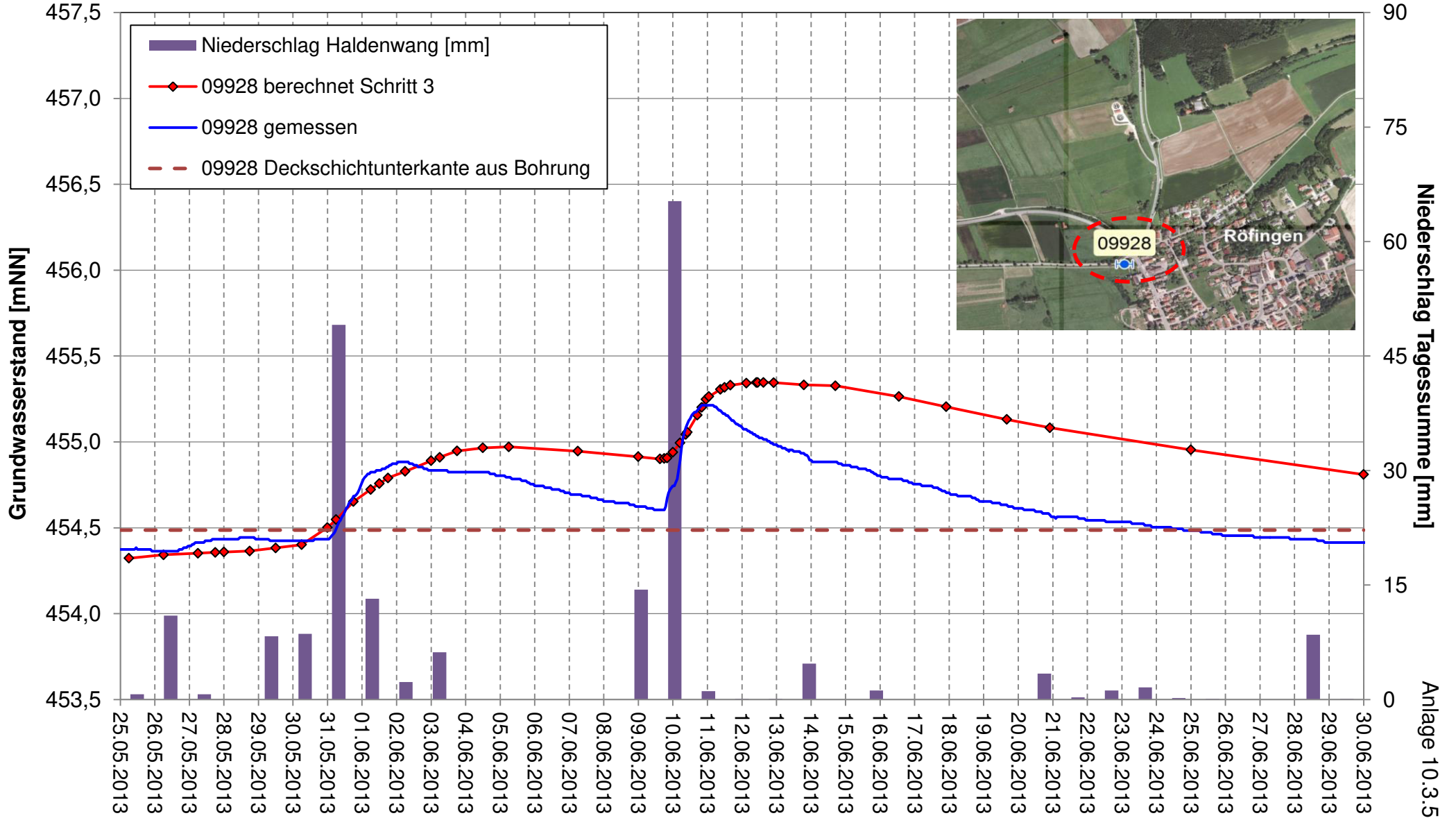




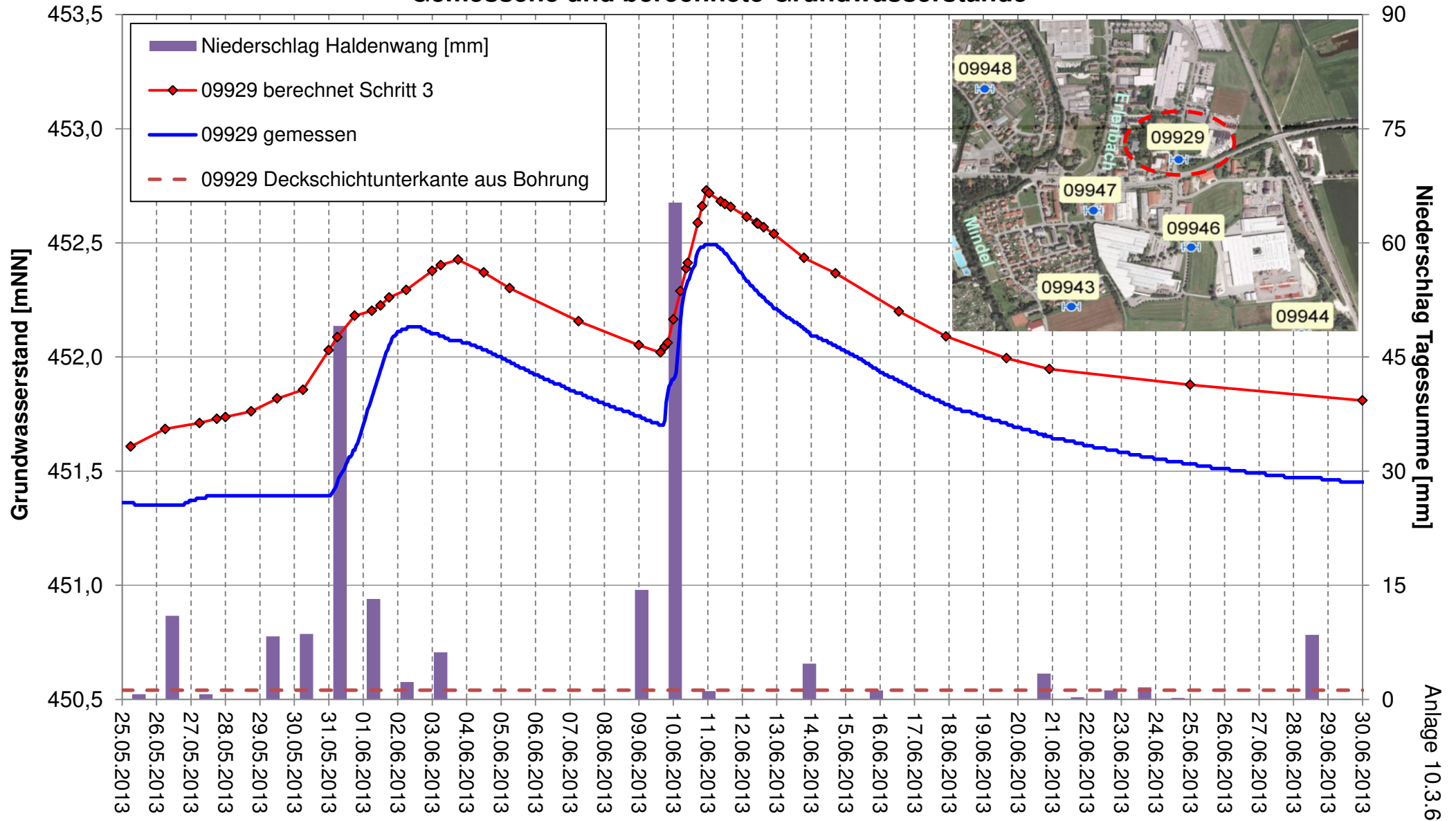
## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände



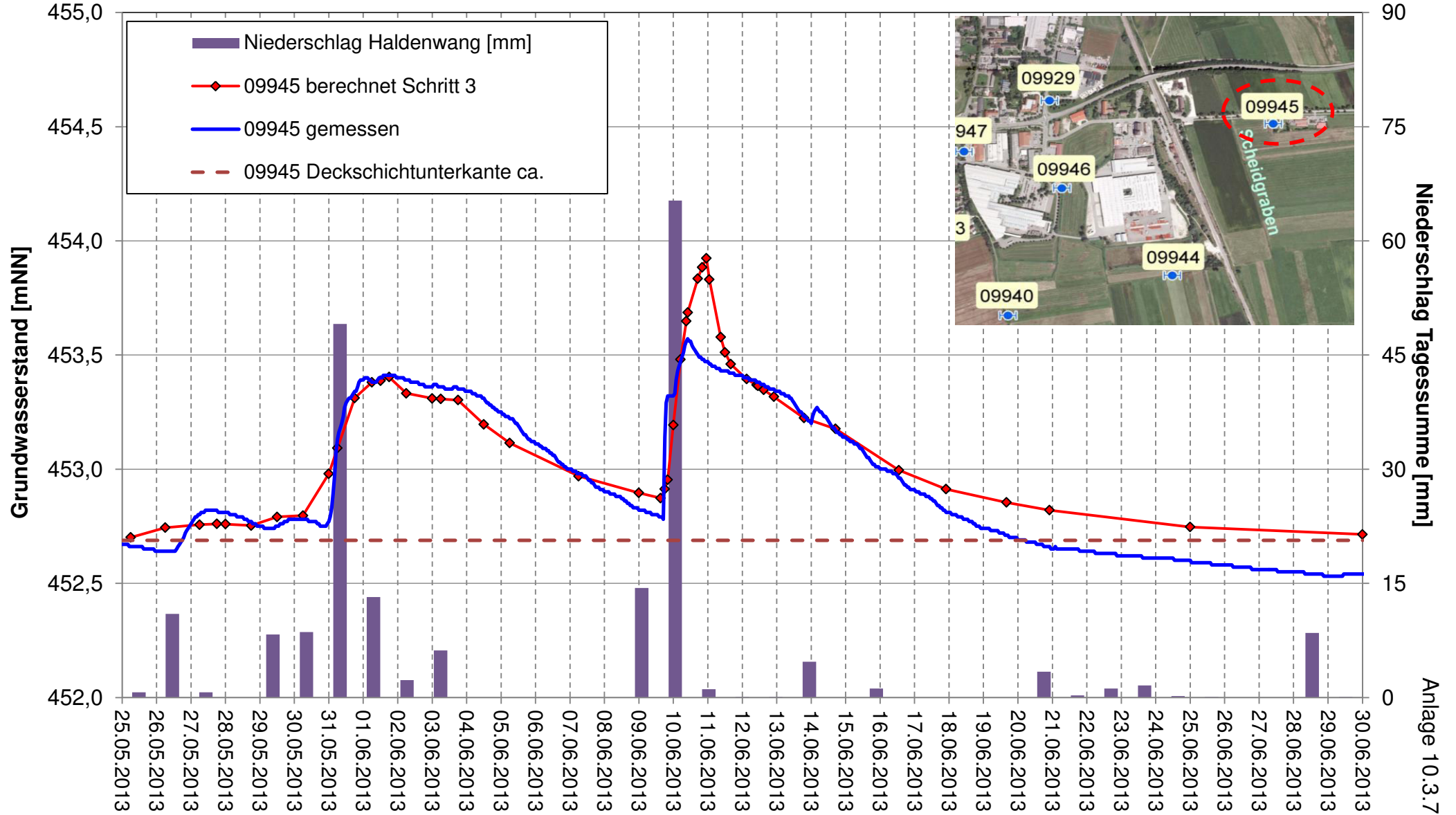
## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände



## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände

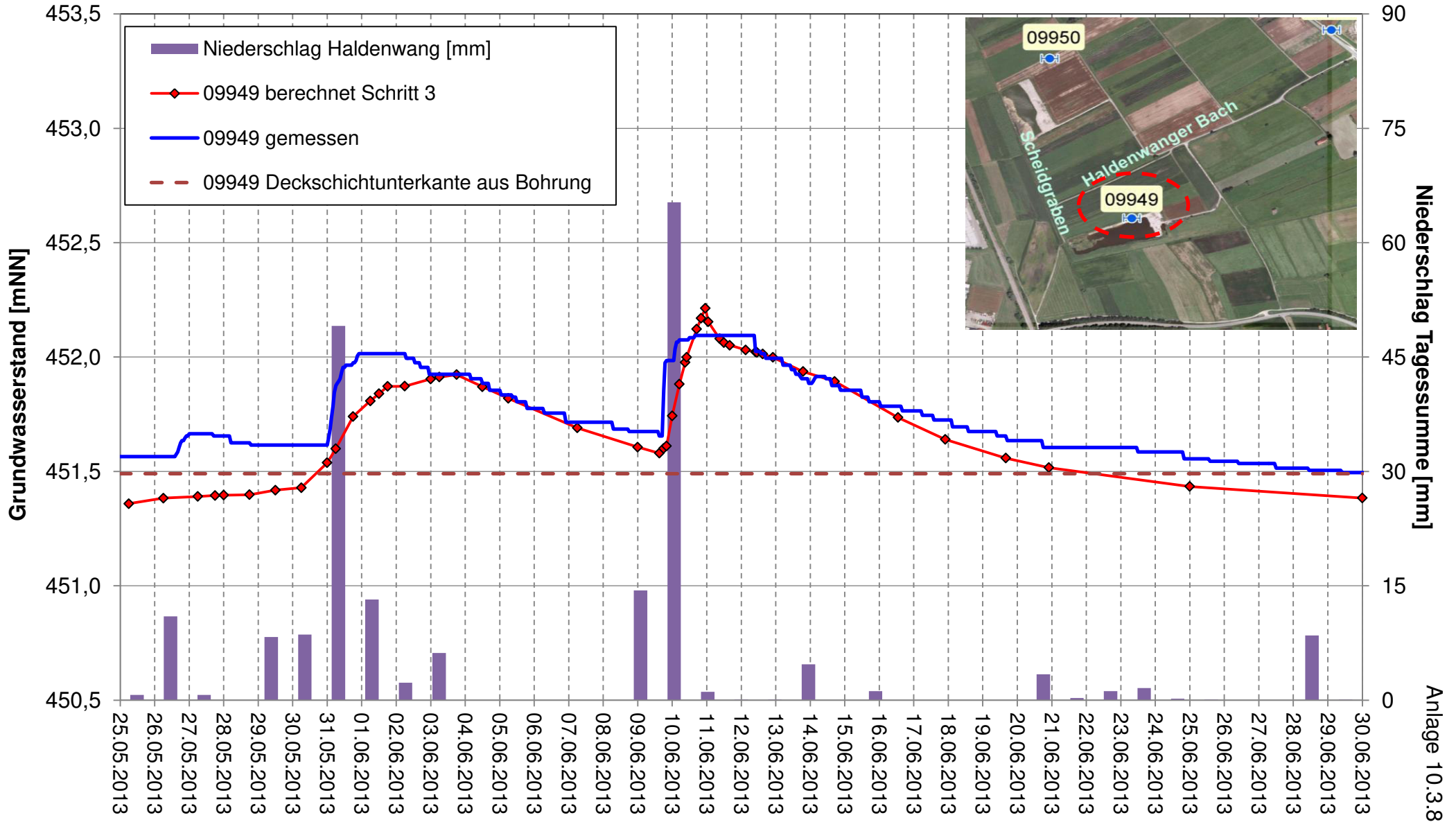


### Instationäre Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände

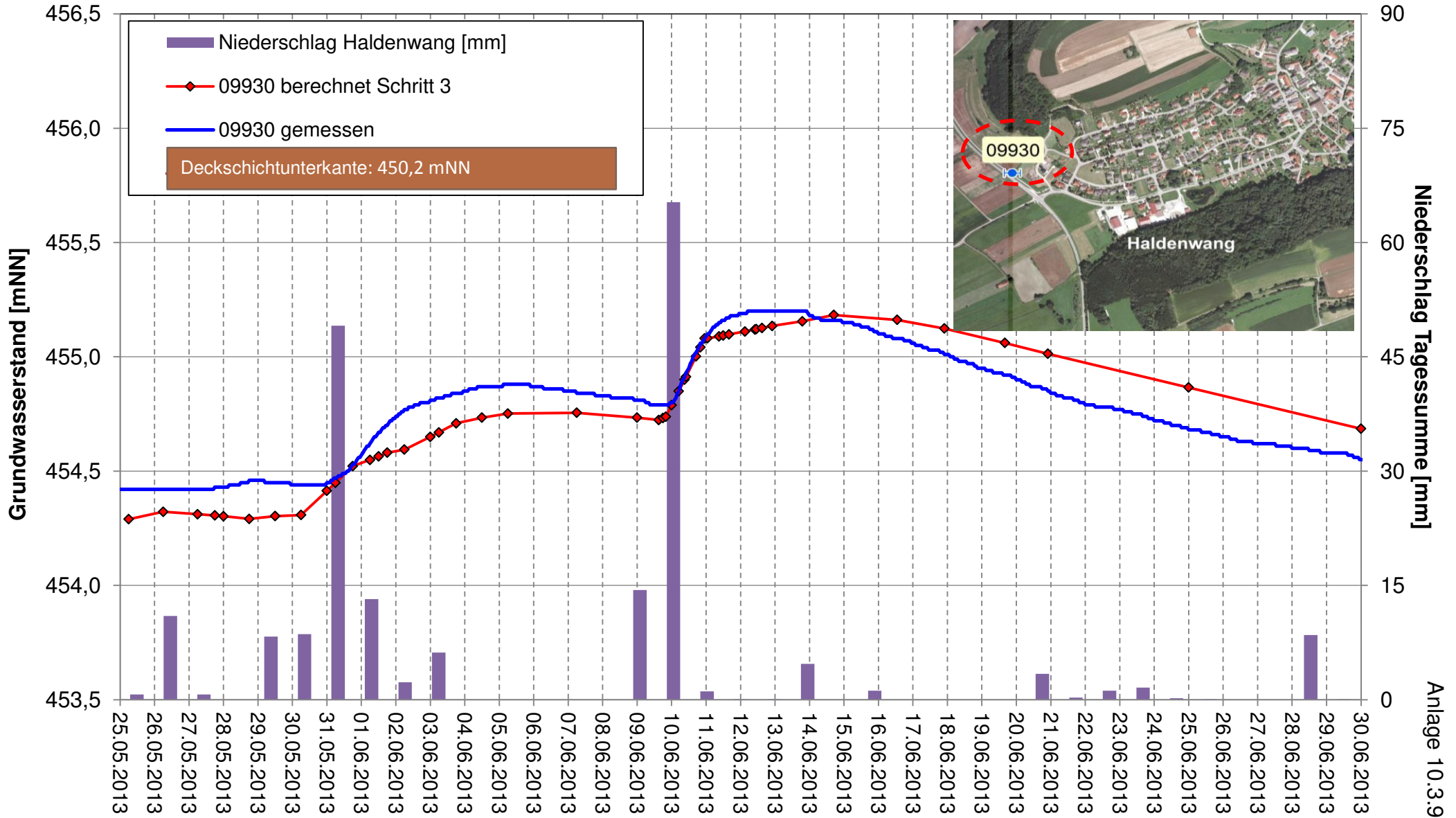




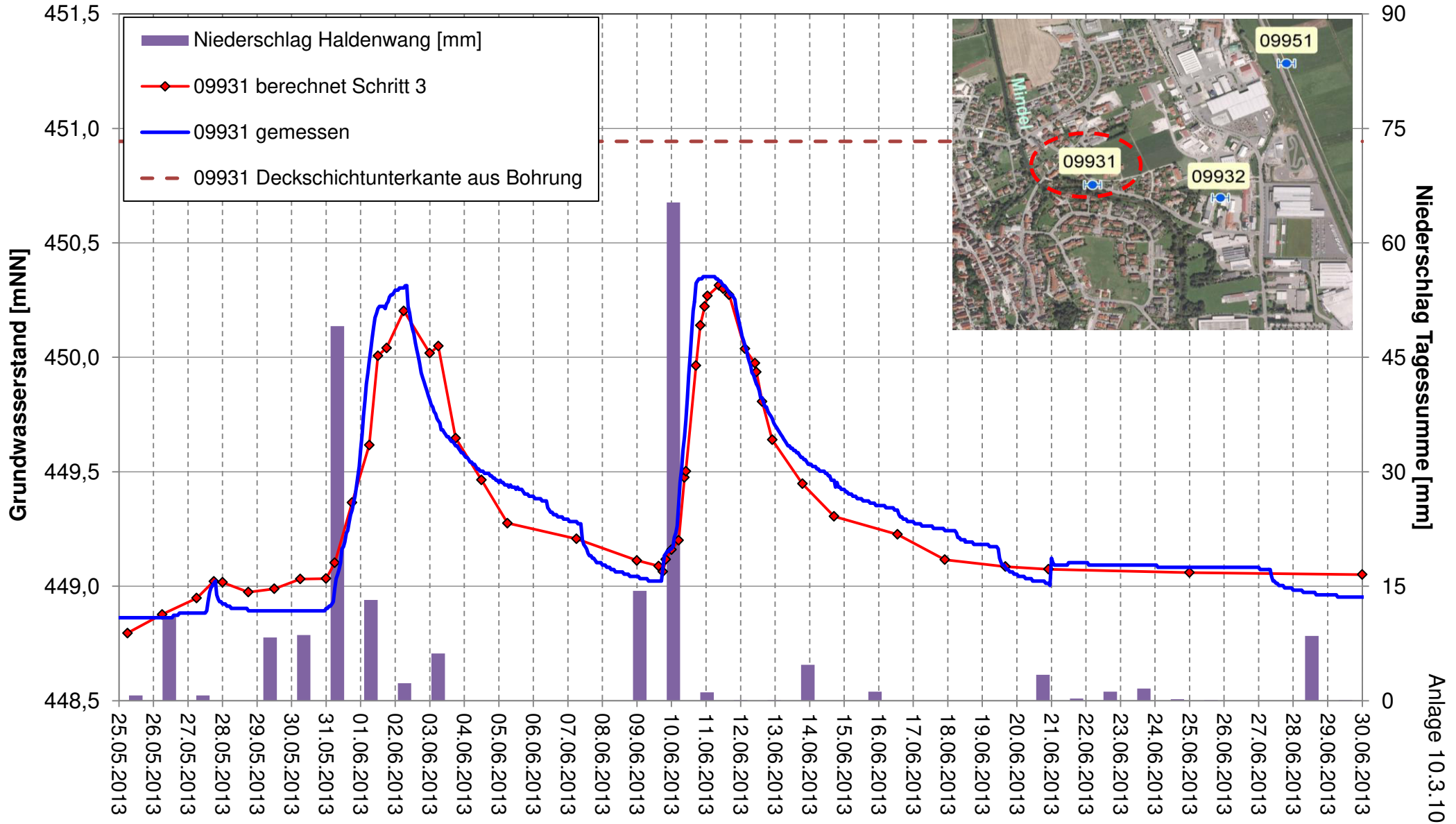
## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände



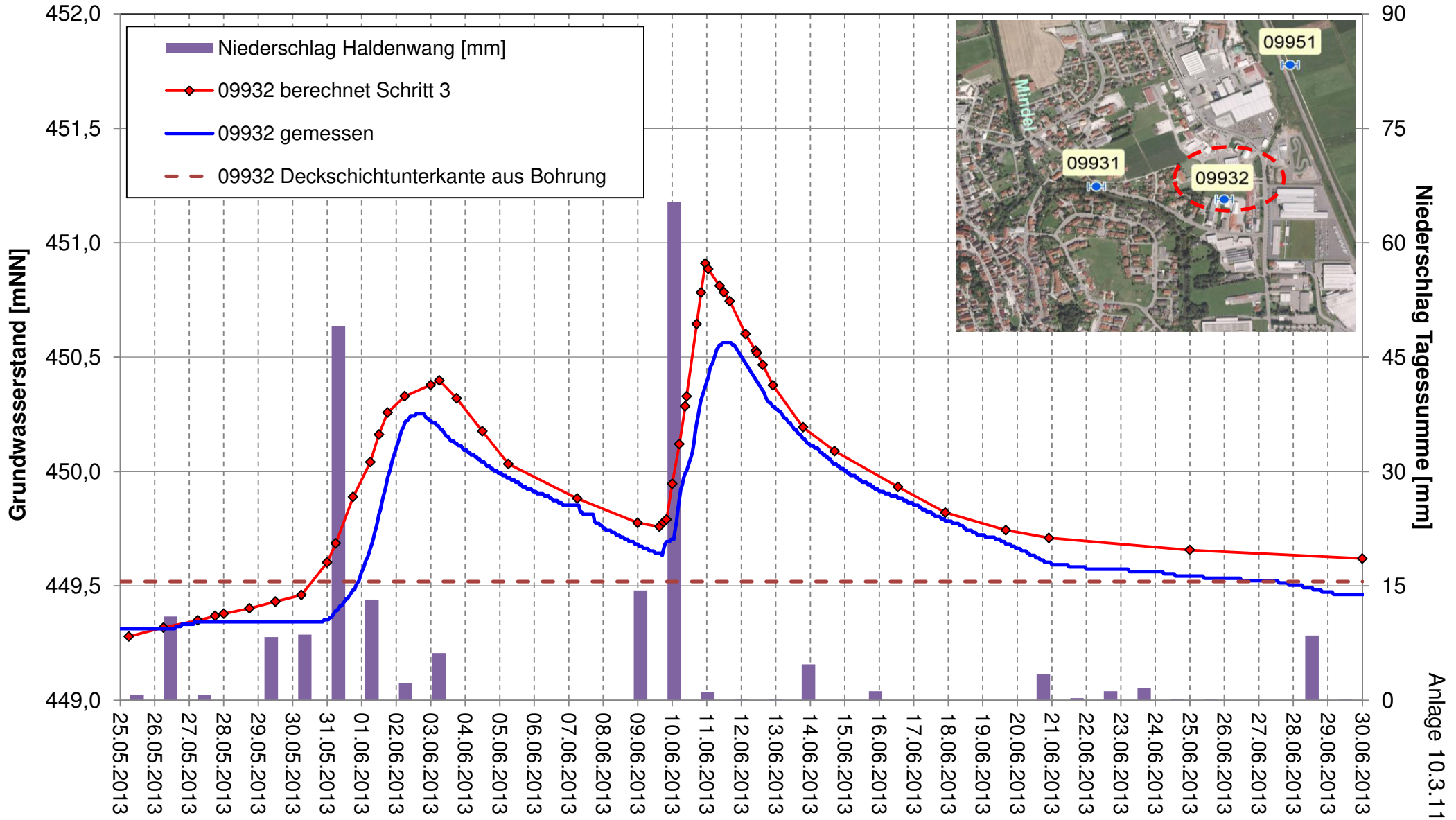
## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände



## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände

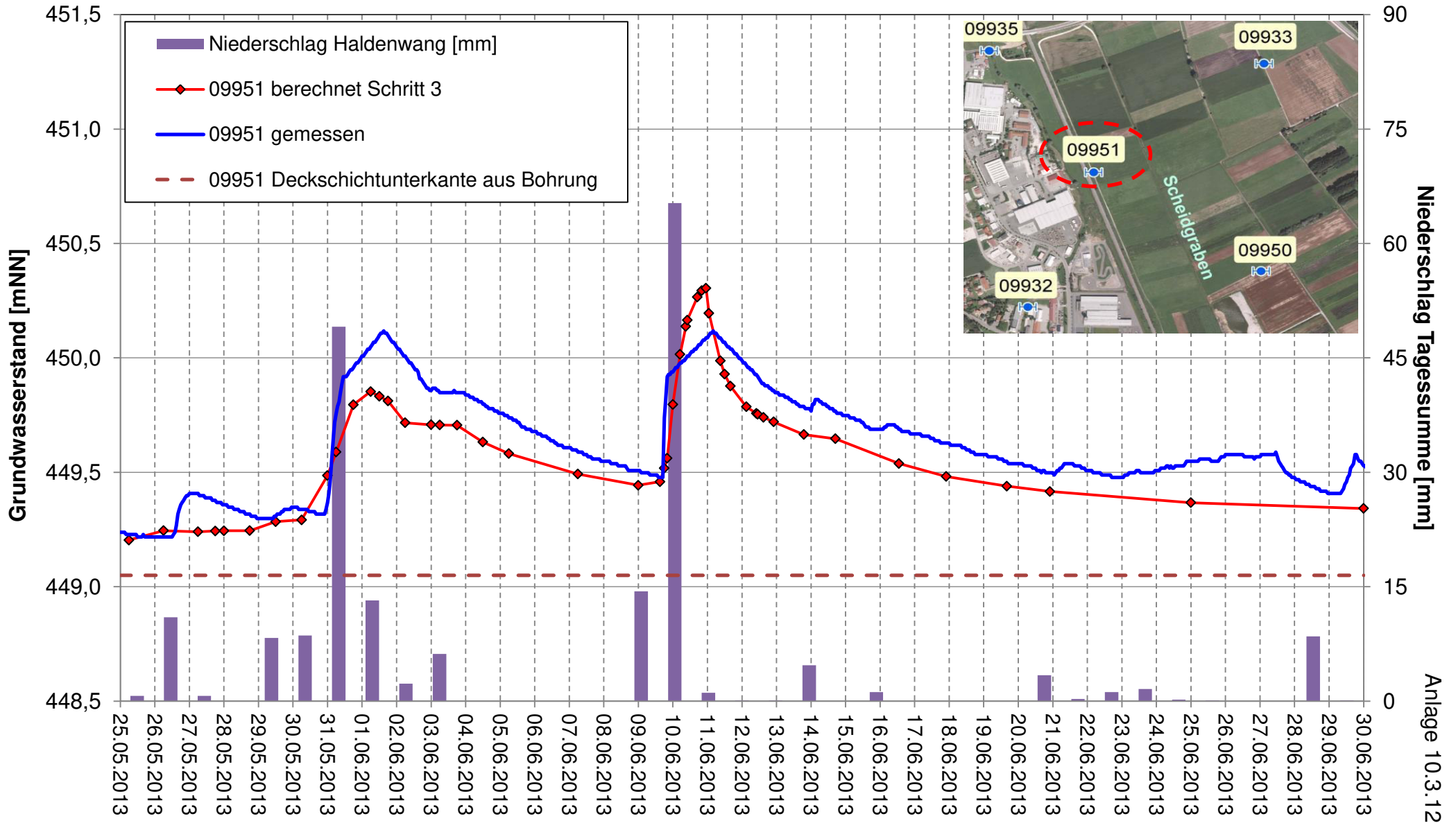


## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände

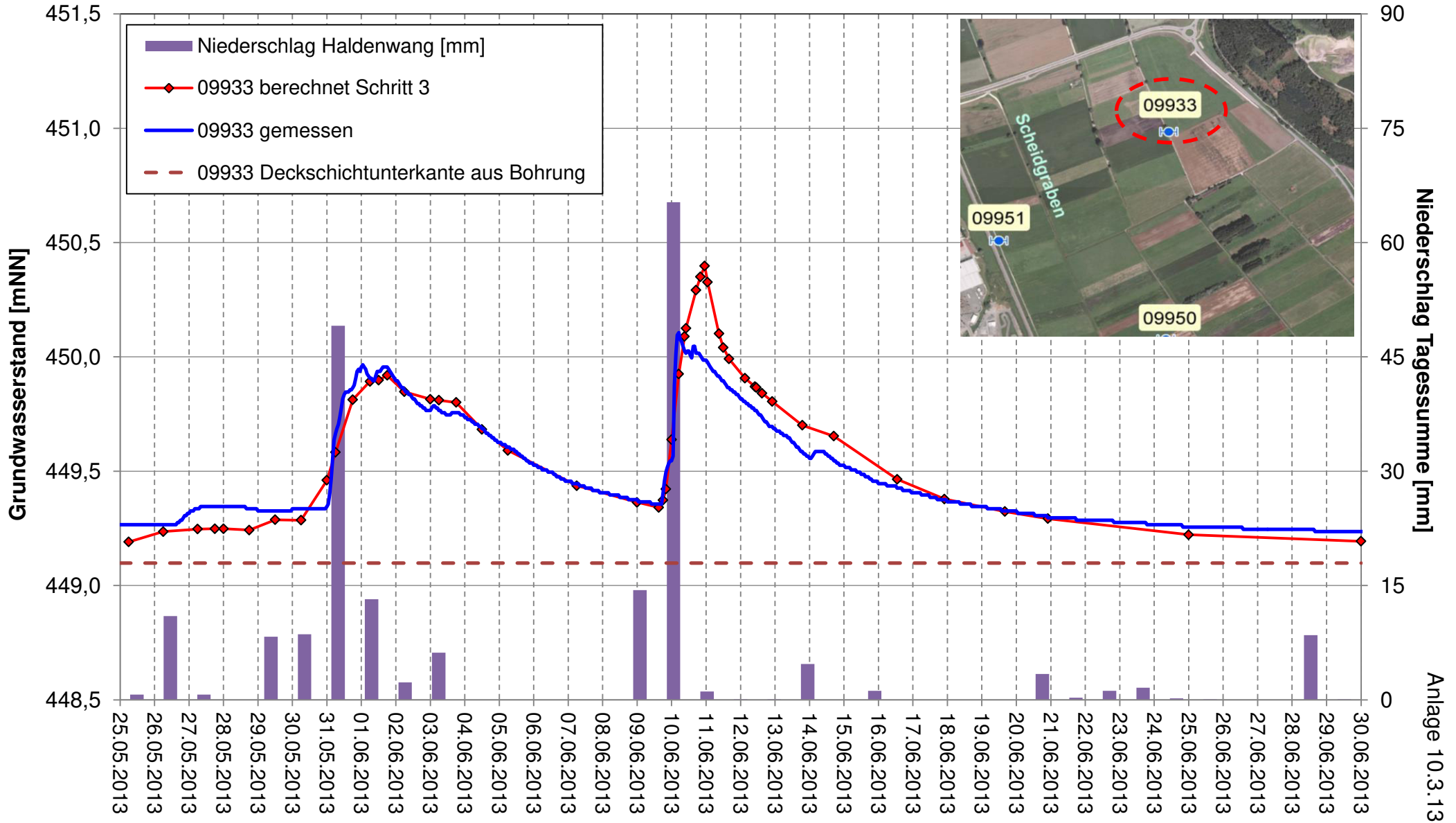




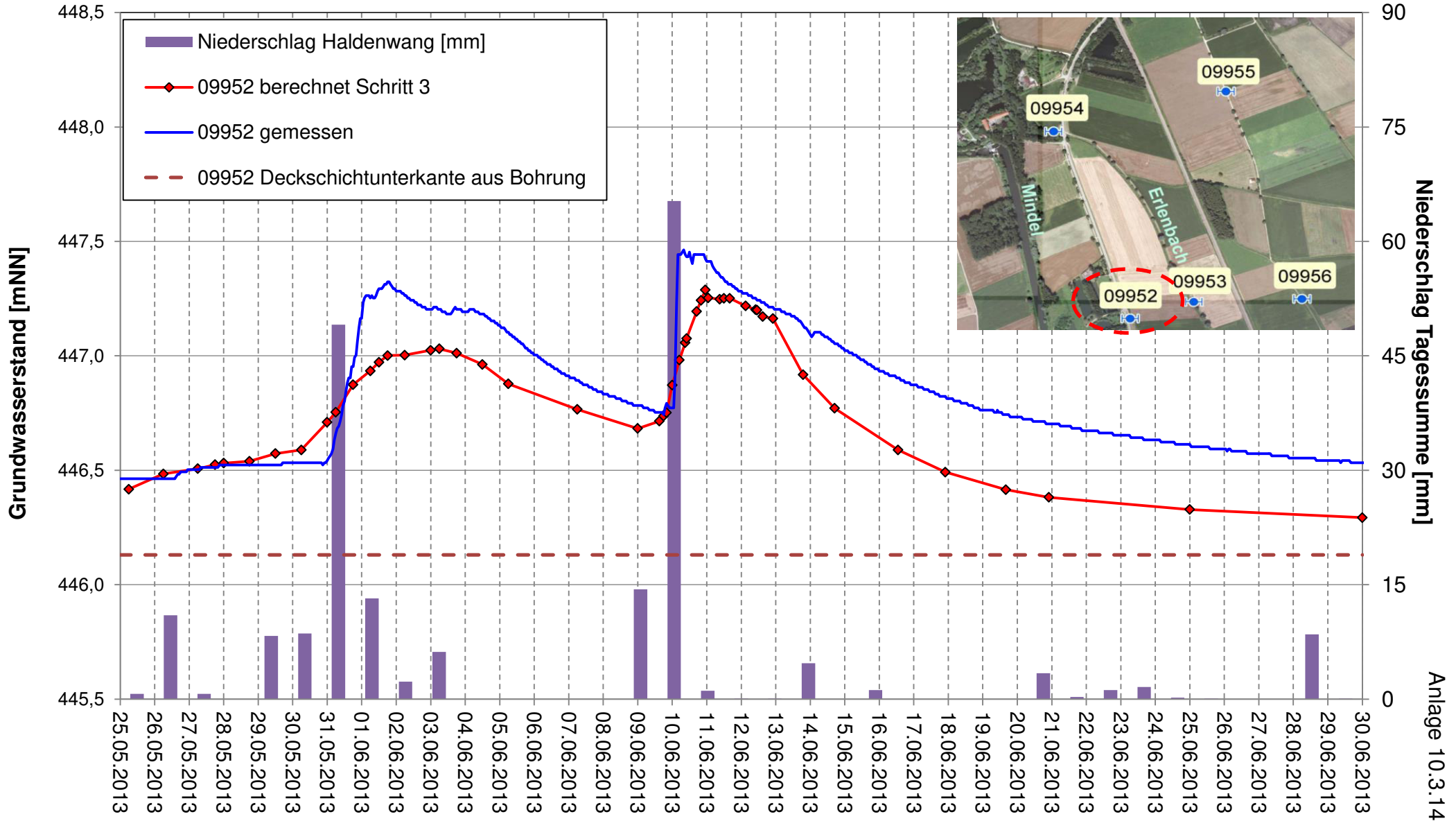
## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände



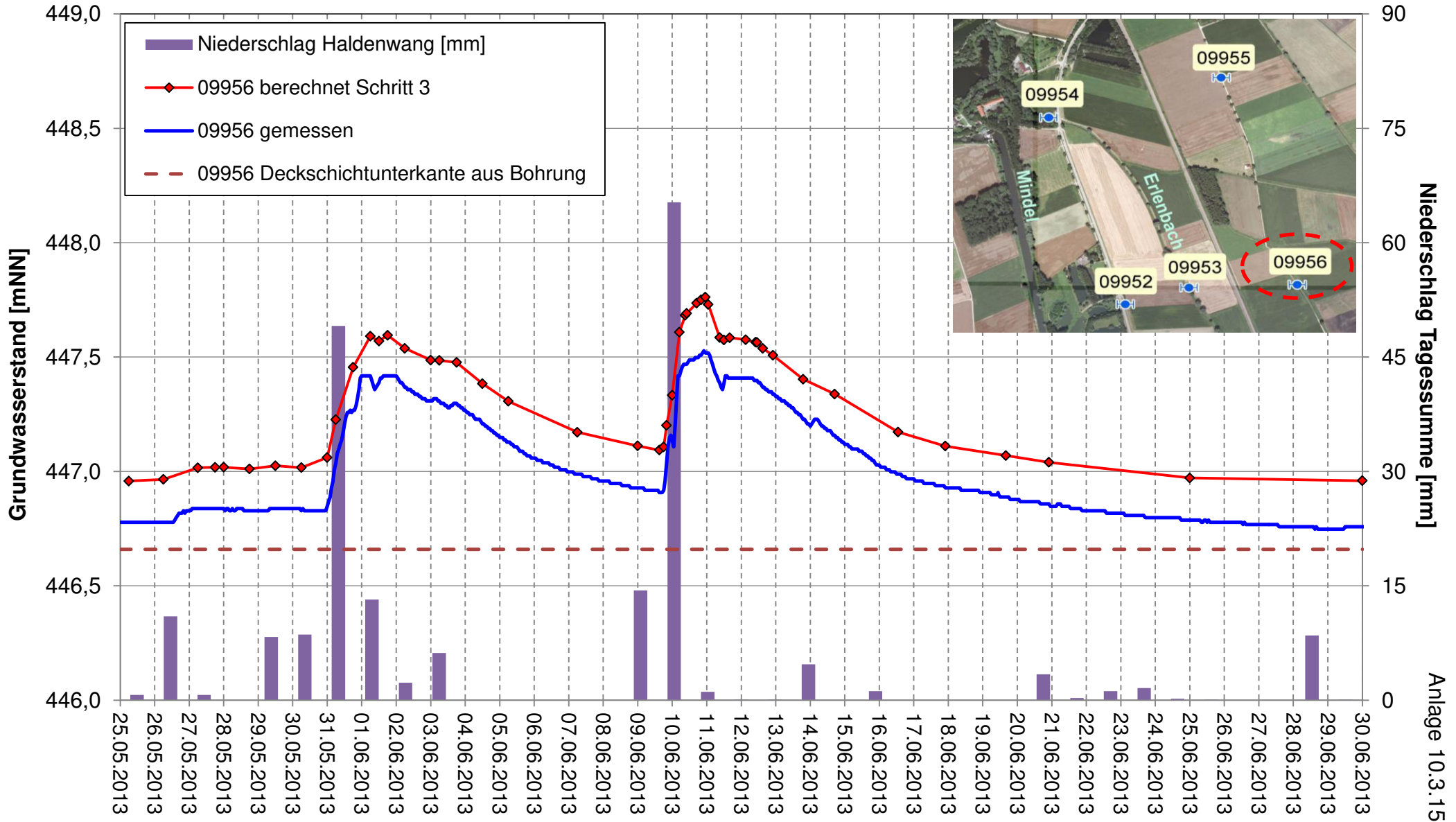
## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände



## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände

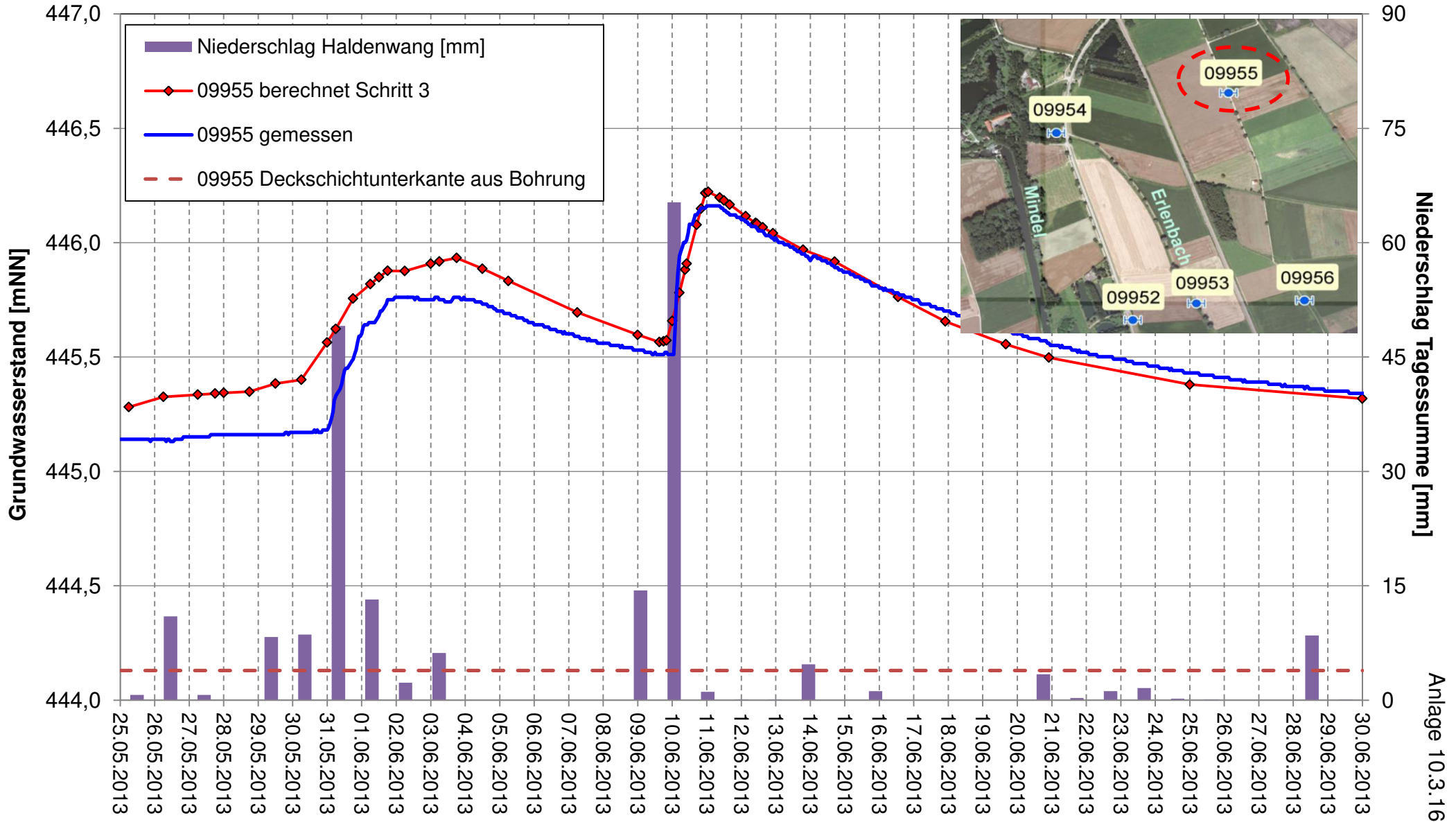


## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände





## Instationäres Grundwassermodell Anpassung Hochwasser Mai / Juni 2013 Gemessene und berechnete Grundwasserstände



# **ANLAGE 11**

**Berechnung der Grundwasserneubildung  
mit dem Wasserhaushaltsmodell WHMOD**

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>Erläuterungsbericht</b>		<b>Seite</b>
1	Allgemeines	1
2	Grundlagen der Grundwasserneubildungsberechnung im WHMOD	1
3	Modellstruktur und erforderliche Eingangsdaten	4
4	Eingangsdaten der Modelluntersuchung	6
5	Ergebnisse der Modellberechnung	8
5.1	Stationäre Berechnung	8
5.2	Instationäre Berechnung	9

## **Anlagen**

1. Nutzbare Feldkapazität der durchwurzelten Bodenzone (nFK100)
2. Mittlerer Flurabstand (03/2011 – 12/2014)
3. Landnutzung nach WHMOD-Klassifizierung
4. Berechnung der mittleren Grundwasserneubildung für den Zeitraum 03/2011 bis 12/2014



## **Spezielle Literatur im Zusammenhang mit dem Programmsystem WHMOD**

AG Boden, 1994: Bodenkundliche Kartieranleitung, Hrsg.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Geologische Landesämter, 4. Aufl., Hannover

Allen R.G., Smith M., Perrier A., Pereira L.S., 1994: An update for definition of reference evapotranspiration – ICID Bulletin 43, No. 2, 1-34

Armbruster V., Leibundgut C., Menzel L., 2000: Modellierung der detaillierten Grundwasserneubildung im Lockergestein mit einem SVAT-Modell – Wasser & Boden, 52/11, 24–28, Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin

ATV-DVWK M504, Entwurf, 2001: Verdunstung in Bezug zu Landnutzung, Bewuchs und Boden

Disse M., 1995: Modellierung der Verdunstung und der Grundwasserneubildung in ebenen Einzugsgebieten - Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft der Universität Karlsruhe, Heft 53

Dommermuth H., Trampf W., 1990: Die Verdunstung in der Bundesrepublik Deutschland, Zeitraum 1951-1989 – Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main

Haude W., 1952 a: Zur Möglichkeit der nachträglichen Bestimmung der Wasserbeanspruchung durch die Luft und ihrer Nachprüfung an Hand von Topversuchen und Abflussmessungen – Berichte des Deutschen Wetterdienstes US-Zone, 32: 27-34

Haude W., 1952 b: Verdunstungsmenge und Evaporationskraft eines Klimas – Berichte des Deutschen Wetterdienstes US-Zone, 42: 225-229

Haude W., 1954: Zur praktischen Bestimmung der aktuellen und potentiellen Evaporation und Evapotranspiration – Mitteilungen des Deutschen Wetterdienstes, Nr. 8

Haude W., 1955: Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichste einfache Weise – Mitteilungen des Deutschen Wetterdienstes, Nr. 11

Haude W., 1958: Über die Verwendung verschiedener Klimafaktoren zur Berechnung der potentiellen Evaporation und Evapotranspiration – Meteorologische Rundschau (11), 96-99

Herrmann A., Kuhn M., 1996: Schnee und Eis – in: Lehrbuch der Hydrologie Band 1, Quantitative Hydrologie, Hrsg.: Baumgartner A., Liebscher H.-J., 2. Auflage, Gebrüder Bornträger Verlag, Berlin und Stuttgart

Probst M., 2002: Der Einfluss des Grundwasserhaushalts auf das Abflussverhalten kleiner Einzugsgebiete im Festgesteinsbereich der Mittelgebirge – Dissertation eingereicht am Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft der Universität Kaiserslautern, Januar 2002

Richter D., 1995: Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Messfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers – Berichte des Deutschen Wetterdienstes, Nr. 194, Offenbach am Main

## 1 Allgemeines

Als Randbedingung für den Modelleinsatz wird die Grundwasserneubildung für das Modellgebiet Burgau berechnet. Für die Grundwasserneubildungsberechnung wird das Programmsystem WHMOD eingesetzt. Die Berechnung erfolgt in Tagesschritten für den Zeitraum 05/2006 bis 12/2014. Die räumliche Auflösung der Berechnung erfolgt in einem gleichförmigen Raster von 10 m Kantenlänge.

## 2 Grundlagen der Grundwasserneubildungsberechnung im WHMOD

Beim Modellsystem WHMOD handelt es sich um ein sogenanntes „SVAT-Model“ (**S**oil-**V**egetation-**A**tmospere-**T**ransfer), das die Beschreibung der wesentlichen Prozesse des Wasserumsatzes im System Boden-Pflanze-Atmosphäre erlaubt. Der Einfluss der klimatischen, meteorologischen sowie pflanzen- und bodenspezifischen Randbedingungen, die den Wasserhaushalt prägen, wird darin durch bestehende Modellansätze der wesentlichen Teilprozesse abgebildet. Dabei wurden gezielt solche Modellansätze ausgewählt, die die prinzipiellen Abhängigkeiten basierend auf den bei praktischen Fragestellungen üblicherweise vorliegenden Daten beschreiben können (PROBST 2002). Dies sind im Einzelnen:

➤ **Niederschlagskorrektur (RICHTER 1995)**

Die an den Hellmann-Sammlern gemessenen Niederschlagshöhen sind grundsätzlich kleiner als die tatsächlichen Niederschläge, was im Wesentlichen durch Verwehungseffekte sowie untergeordnet durch Benetzungsverluste am Sammler begründet ist. Im Jahresmittel liegt der tatsächliche Niederschlag um 11 bis 14 % über den gemessenen Werten. Die als Schnee fallenden Niederschläge werden durch die Verwehung besonders stark verfälscht (Fehler von über 30% sind möglich). Das von RICHTER (1995) entwickelte Verfahren stellt entsprechende Korrekturgrößen in Abhängigkeit von der Exponiertheit des Sammlers bereit. Die früher vor allem in der ehemaligen DDR übliche Niederschlagskorrektur ist durch die Arbeit von RICHTER (1995) nun auch in den alten Bundesländern zu einem üblichen Verfahren geworden (siehe z.B. aktueller Hydrologischer Atlas von Deutschland). An die von RICHTER (1995) genannten Abhängigkeiten wurden Regressionsfunktionen angepasst, die die Korrektur basierend auf Tageswerten des Niederschlages erlaubt.

➤ **Schneespeicher (HERRMANN & KUHN 1996)**

Die Akkumulation von Niederschlägen im Schneespeicher und deren oft kurzfristig erfolgende Abgabe kann zu hohen Grundwasserneubildungsraten führen. Dieser Prozess wird über das Gradtagfaktorverfahren berücksichtigt, das die Freisetzung aus dem Schneespeicher in Abhängigkeit vom Tagesmittelwert der Lufttemperatur beschreibt. Als Gradtag-

faktor wird der von HERRMANN & KUHN (1996) genannte Mittelwert von  $4,5 \text{ mm}/(\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{K})$  verwendet.

➤ **Interzeption (DOMMERMUTH & TRAMPF 1990)**

Da die Berechnung der potentiellen Verdunstung nach HAUDE erfolgt (siehe unten), ist bei allen Kulturen außer Laub- und Nadelwald der Einfluss der Interzeption bereits in den Haundefaktoren enthalten. Dementsprechend erfolgt eine getrennte Berücksichtigung der Interzeption nur für Wälder unter Ansatz des Verfahrens nach DOMMERMUTH & TRAMPF (1990).

➤ **Bodenspeicher mit Makroporeninfiltration (ARMBRUSTER et al. 2000)**

Entgegen der weit verbreiteten Betrachtung des Bodenspeichers als Überlaufspeicher, aus dem Wasser erst bei Überschreitung der nutzbaren Feldkapazität der durchwurzelten Bodenzone absickert, weisen natürliche Böden bereits bei Bodenfeuchten unterhalb der nutzbaren Feldkapazität eine Versickerung und damit eine Grundwasserneubildung auf. Das Verfahren nach ARMBRUSTER et. al. (2000) beschreibt diese prinzipielle Abhängigkeit der ungesättigten Strömung im Sinne eines konzeptionellen Modells. Die Reduktion der für eine physikalisch begründete Modellierung erforderlichen Vielzahl schwierig zu ermittelnder Parameter und Abhängigkeiten auf die nutzbare Feldkapazität der durchwurzelten Bodenzone macht diesen Ansatz für praktische Untersuchungen sehr interessant.

➤ **Potentielle Verdunstung (HAUDE 1952 a, 1952 b, 1954, 1955, 1958)**

Der Ansatz nach HAUDE berücksichtigt den Energiekomplex und die molekulare Diffusion des Wasserdampfes über die Größen Sättigungsdampfdruck und relative Luftfeuchte. Die potentielle Evapotranspiration, d.h. die Wassermenge, die eine Pflanze bei unbegrenzter Wassernachlieferung aus dem Bodenspeicher verdunsten kann, ergibt sich aus der Differenz von Sättigungsdampfdruck und aktuellem Dampfdruck um 14 Uhr sowie dem monatlich variierenden, nutzungsabhängigen Haundefaktor. Die nutzungsabhängigen Haundefaktoren werden nach DOMMERMUTH & TRAMPF (1990) angesetzt.

➤ **Aktuelle Verdunstung (DISSE 1995)**

Die aktuelle Verdunstung ist aufgrund verschiedener Randbedingungen praktisch immer kleiner als die potentielle Verdunstung. Wesentlichste Einflussgröße ist dabei die Verdunstungsregulierung der Pflanzen als Schutz vor Austrocknung bei abnehmender Bodenfeuchte. Diese Abminderung der potentiellen Verdunstung nach HAUDE erfolgt mit dem durch DISSE (1995) vorgeschlagenen Ansatz.

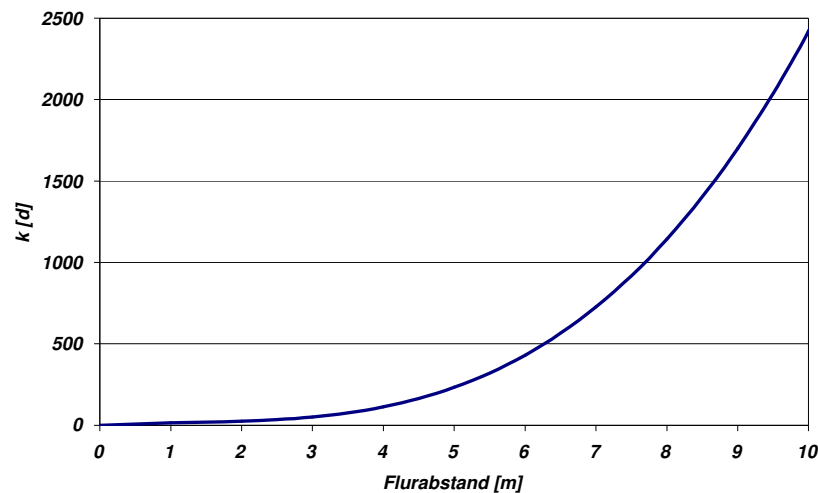
➤ **Kapillarer Aufstieg**

Bei kleinen Flurabständen wird durch den kapillaren Aufstieg gegebenenfalls Grundwasser in die durchwurzelte Bodenzone eingebracht, das der Vegetation zur Verfügung steht. Vereinfachend wird im Modell WHMOD davon ausgegangen, dass ein kapillarer Aufstieg

in der Größenordnung der potentiellen Verdunstung (maximal 5 bis 6 mm/d) über eine Strecke von 0,5 m möglich ist (vereinfacht nach AG BODEN 1994).

➤ **Zeitliche Verzögerung bei der Durchsickerung der ungesättigten Zone**

Das Bodenwasserhaushaltsmodell berechnet die Absickerung aus der durchwurzelten Bodenzone. In Abhängigkeit vom Flurabstand sowie der Ausbildung der ungesättigten Zone muss eine zeitliche Verzögerung berücksichtigt werden. Dieser Einfluss wird durch einen Linearspeicher berücksichtigt, wobei die Speicherkonstante in Abhängigkeit vom Flurabstand angesetzt wird (vgl. Abbildung 1). Der funktionale Zusammenhang ergab sich aus Anpassungen an Messdaten in anderen Projekten.



**Abbildung 1: Speicherkonstante des Einzellinearspeichers zur Beschreibung der Verzögerung zwischen der Absickerung aus der durchwurzelten Bodenzone und der Zusickerung zum gesättigten Grundwasserbereich in Abhängigkeit vom Flurabstand**

Aufgrund der geringen Flurabstände im Modellgebiet wurde dieser Einfluss im vorliegenden Fall nicht berücksichtigt.



### 3 Modellstruktur und erforderliche Eingangsdaten

Das Modell WHMOD stellt eine Verknüpfung GIS-basierter Auswertungen mit externen Berechnungsroutinen dar. GIS-basiert werden folgende Informationen bearbeitet und verwaltet:

- Nutzbare Feldkapazität der Böden
- Landnutzung
- Flurabstand für mittlere hydrologische Verhältnisse
- Abgrenzung des Modellgebietes

Aus den genannten Informationen werden alle vorkommenden Kombinationen nutzbare Feldkapazität / Nutzung und Flurabstand innerhalb des Modellgebietes extrahiert. Zur Berechnung sind weitere gebietsspezifische Daten erforderlich, die als ASCII-Datensätze gehalten werden.

Dies sind:

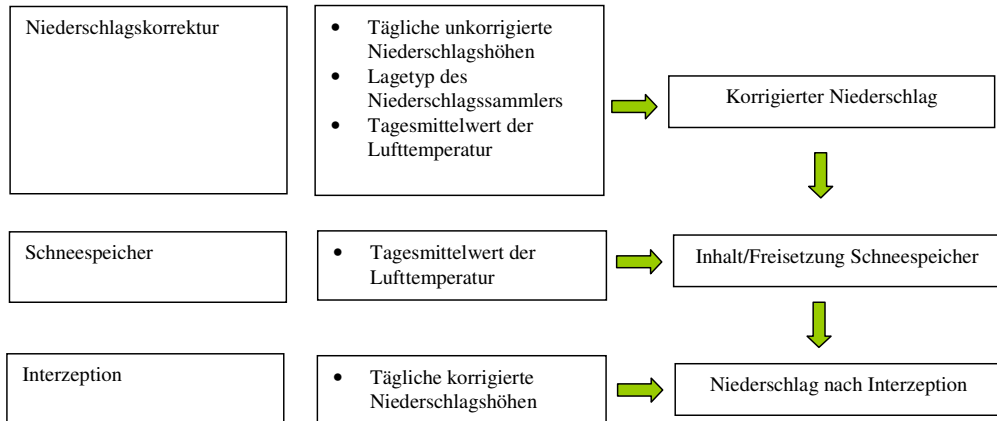
- Tägliche Niederschläge aller Niederschlagssammler
- 14-Uhr-Werte relative Luftfeuchte
- 14-Uhr-Werte Lufttemperatur
- Tagesmittelwerte Lufttemperatur

Neben diesen gebietsspezifischen Informationen müssen zusätzliche gebietsunabhängige Größen zur Verfügung gestellt werden:

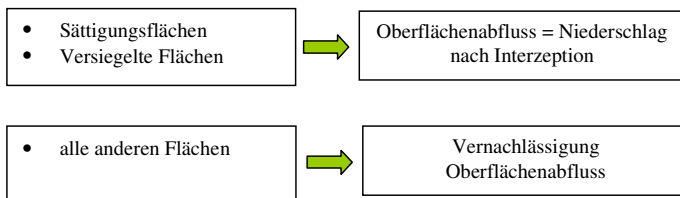
- Haundefaktoren zur Berechnung der potentiellen Verdunstung (pflanzenpezifisch)
- Faktoren zur Reduzierung der potentiellen auf die aktuelle Verdunstung nach Disse (pflanzenpezifisch)
- Angaben zur Zusammensetzung von Nutzungen durch Pflanzentypen, für die eine Berechnung der Verdunstung möglich ist
- Typische Durchwurzelungstiefen dieser Nutzungen
- Angaben zum Versiegelungsgrad (insbesondere bebaute Bereiche)
- Angaben zur zeitlichen Verzögerung der Grundwasserneubildung durch die Durchsickerung der ungesättigten Zone (Speicherkonstanten des Einzellinearspeichers)

Nach Bereitstellung aller genannten Eingangsdaten erfolgt die Berechnung des Wasserhaushaltes für jeden Bereich in Tagesschritten, was insbesondere aufgrund des großen Einflusses kurzzeitiger Starkniederschläge auf die Grundwasserneubildung erforderlich ist. Die Berechnung beginnt zum Ende des Winterhalbjahres (1. April), wobei davon ausgegangen wird, dass der Bodenspeicher zu diesem Zeitpunkt aufgefüllt ist (aktuelle Bodenfeuchte entspricht maximaler Bodenfeuchte). In Tagesschritten werden die Zu- und Abflüsse zum Bodenfeuchtespeicher „durchwurzelte Bodenzone“ bilanziert. Dabei werden alle Informationen in die Ergebnisdatei herausgeschrieben (z.B. Niederschlagskorrektur, Inhalt Schneespeicher, Bodenfeuchte etc.). Die Tageswerte können zu Summen über beliebige Zeiträume aggregiert und ausgegeben werden. Einen Überblick über das Berechnungsmodell gibt Abbildung 2.

**Systemeingangsgröße Niederschlag**

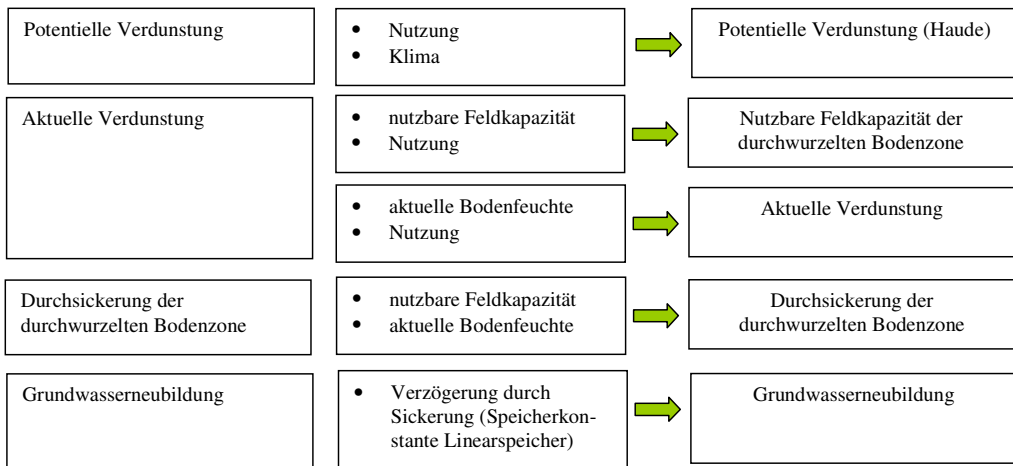


**Oberflächenabfluss**

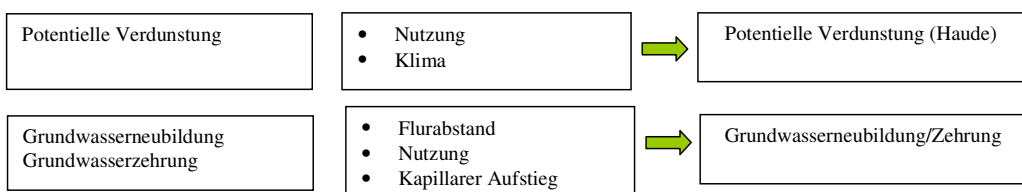


**Grundwasserneubildung**

**a) keine Wechselwirkung Grundwasser / Vegetation**



**b) Wechselwirkung Grundwasser / Vegetation**



**Abbildung 2: Überblick Wasserhaushaltsmodell WHMOD**

## 4 Eingangsdaten der Modelluntersuchung

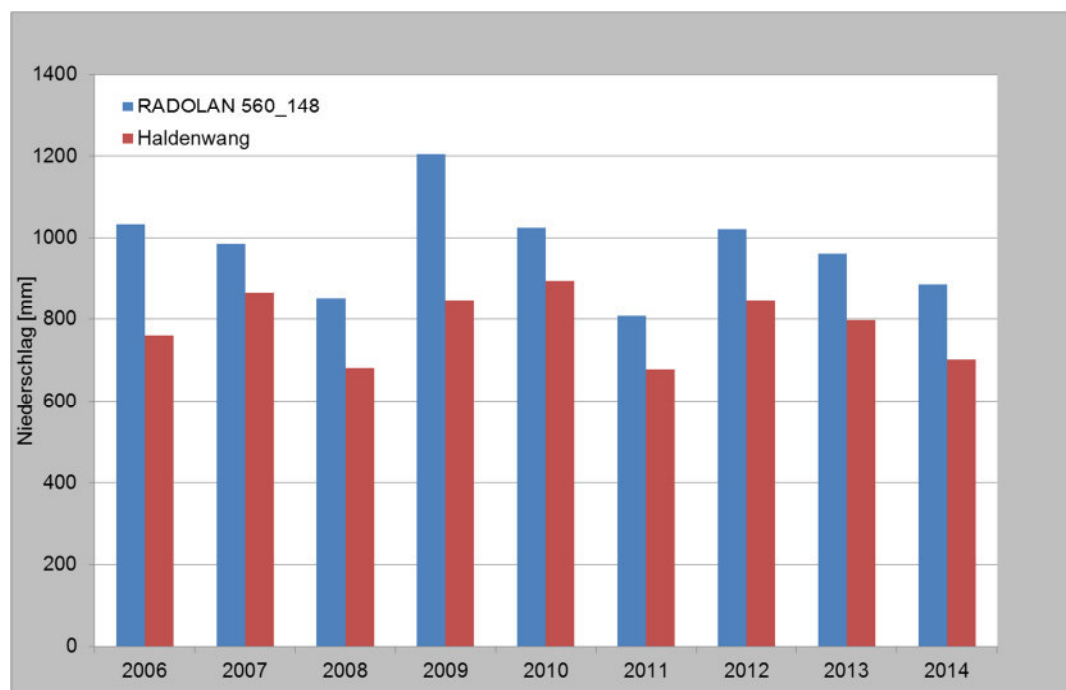
Für die dokumentierten Berechnungen wurden folgende Daten verwendet:

### ➤ Niederschlagsdaten

Da im Modellgebiet Burgau keine Niederschlagsstation existiert, wurde auf die täglichen Niederschläge aus dem RADOLAN-Datensatz des Deutschen Wetterdienstes (DWD) zurückgegriffen. Die Kombination aus den punktuell an den Niederschlagsstationen gemessenen stündlichen Werten mit der flächendeckenden Niederschlagserfassung der 16 Wetterradars liefert angeeichte stündliche Niederschlagshöhen für jeden Quadratkilometer in Deutschland. Für das Modellgebiet Burgau wurden die Daten von 25 RADOLAN-Stationen verwendet.

Zum Vergleich wurden die täglichen Niederschlägen an der Wetterstation Nr. 102 Haldenwang der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) ausgewertet. Die Station liegt östlich der Ortschaft Haldenwang ca. 2,8 km vom östlichen Modellrand entfernt. Sie wurde im Oktober 2005 eingerichtet und sie liegt 510 m über dem Meeresspiegel.

Ein Vergleich der RADOLAN-Station 560\_148, die im Bereich der Wetterstation Haldenwang liegt, zeigt, dass die RADOLAN-Station einen um ca. 25 % höheren Niederschlag ausgibt als an der Wetterstation Haldenwang gemessen. Daher wurden die RADOLAN-Daten pauschal um 25 % nach unten korrigiert.



**Abbildung 3: Vergleich der RADOLAN-Niederschlagsdaten mit den Daten an der Wetterstation Haldenwang für den Zeitraum 2006 bis 2014**

- Tägliche Klimadaten (Tagesmittel und 14-Uhr-Wert Lufttemperatur, 14-Uhr-Wert relative Luftfeuchte) der LFL-Station Haldenwang für den Zeitraum 11/2005 bis 12/2014.
- Digitale Übersichtsbodenkarte 1:25.000 für das Modellgebiet mit Informationen zu den relevanten Bodenprofilen und deren nFK100. Eingangsgröße für das WHMOD ist die nutzbare Feldkapazität der durchwurzelten Bodenzone. Diese ergibt sich aus der Multiplikation der angesetzten nFK100 mit der jeweiligen Durchwurzelungstiefe (siehe Tabelle 2). Anlage 1 zeigt die Verteilung der nFK100 für das Modellgebiet. Die im Modellgebiet zu den größten Flächenanteilen vorkommenden Werte der nFK100 sind 167 mm, 194 mm und 404 mm. Diese Angaben entsprechen mittleren und sehr hohen nFK100-Werten (s. Tabelle 1)

**Tabelle 1. Klassifizierung der nFK100**

nFK100 [mm]	Bezeichnung
0 - 60	sehr gering
> 60 - 140	gering
> 140 - 220	mittel
> 220 - 300	hoch
> 300	sehr hoch

- Flurabstand für mittlere hydrologische Verhältnisse: Zur Ermittlung der Flurabstände für mittlere hydrologische Verhältnisse wurde das Digitale Höhenmodell verwendet (Berücksichtigung des amtlichen DGM1) und mit den mittleren Grundwasserständen (mittlere hydrologische Verhältnisse aus stationärer Modellanpassung 03/2011 bis 12/2014) verschnitten (Anlage 2).
- Die pflanzenspezifischen Haundefaktoren (Interzeption) werden nach Dommermuth & Trampf angesetzt.
- Die pflanzenspezifischen Faktoren zur Reduzierung der potentiellen auf die aktuelle Verdunstung werden nach Disse angesetzt.
- Die Verdunstungsberechnung nach Haude ist für verschiedene „Pflanzentypen“ möglich. Derzeit berücksichtigt werden Gras, Sommerweizen, Winterweizen, Mais, Laubwald, Nadelwald, versiegelte Flächen sowie Wasserflächen. Aus diesen „Pflanzentypen“ werden entsprechende Nutzungen zusammengesetzt (Tabelle 2).



- Die Landnutzung wurde aus ATKIS-Datensätzen aufbereitet. Die ATKIS-Daten wurden im Shape-Format bereitgestellt und im GIS verarbeitet. Im WHMOD werden die Nutzungen Laubwald, Mischwald, Nadelwald, Ackerland, Grünland, Weinbau, Gehölz, dichte Bebauung, lockere Bebauung und Wasserfläche unterschieden. Dabei wurde eine Zuordnung dieser Nutzungen zu der ATKIS-Klassifizierung entwickelt, so dass eine automatisierte Bearbeitung typischer digitaler Informationen möglich ist. Die Landnutzung nach WHMOD-Klassifizierung ist in Anlage 3 dargestellt.
- Den Nutzungen werden typische Durchwurzelungstiefen zugewiesen. In Tabelle 2 sind die angesetzten mittleren Durchwurzelungstiefen zusammengestellt.
- Für bebaute Bereiche werden typische Versiegelungsgrade abgeschätzt (Tabelle 2).

**Tabelle 2: Zusammensetzung der Nutzungen sowie typische Durchwurzelungstiefen**

Nutzung	„Pflanzentypen“	Durchwurzelungstiefen [m]
Laubwald	100% Laubwald	2,5
Mischwald	50 % Nadelwald, 50 % Laubwald	2,5
Nadelwald	100% Nadelwald	2,5
Ackerland	40% Sommer-, 40% Winterweizen, 20% Mais	1,0
Grünland	100% Gras	1,0
Gehölz	50% Gras, 50% Laubwald	1,0
dichte Bebauung	20% Gras, 80% Versiegelung	1,0
lockere Bebauung	40% Gras, 60% Versiegelung	1,0
Wasserfläche	100% Wasser	0,0

## 5 Ergebnisse der Modellberechnung

### 5.1 Stationäre Berechnung

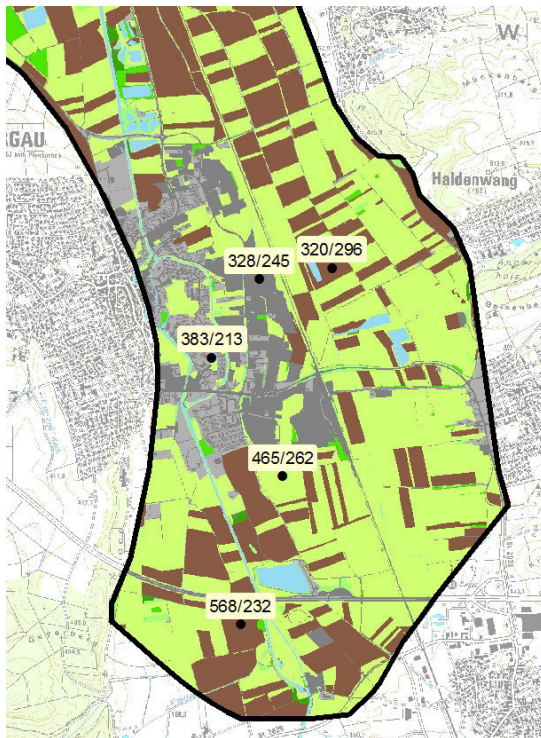
Die mittlere Grundwasserneubildung für den Zeitraum 03/2011 bis 12/2014 ist in ihrer räumlichen Verteilung in Anlage 4 dargestellt. Unter den gewählten Ansätzen liegt die Grundwasserneubildung im Modellgebiet im Mittel bei 4,3 l/s·km<sup>2</sup>. Dies entspricht für das gesamte Modellgebiet einer Neubildung von 53 l/s. Im Vergleich dazu lag der gewählte Ansatz im Hydrogeologischen Modell bei ca. 40 l/s. Aus der HGK 500 lässt sich eine Grundwasserneubildung für das Modellgebiet von ca. 62 l/s ableiten.

## 5.2 Instationäre Berechnung

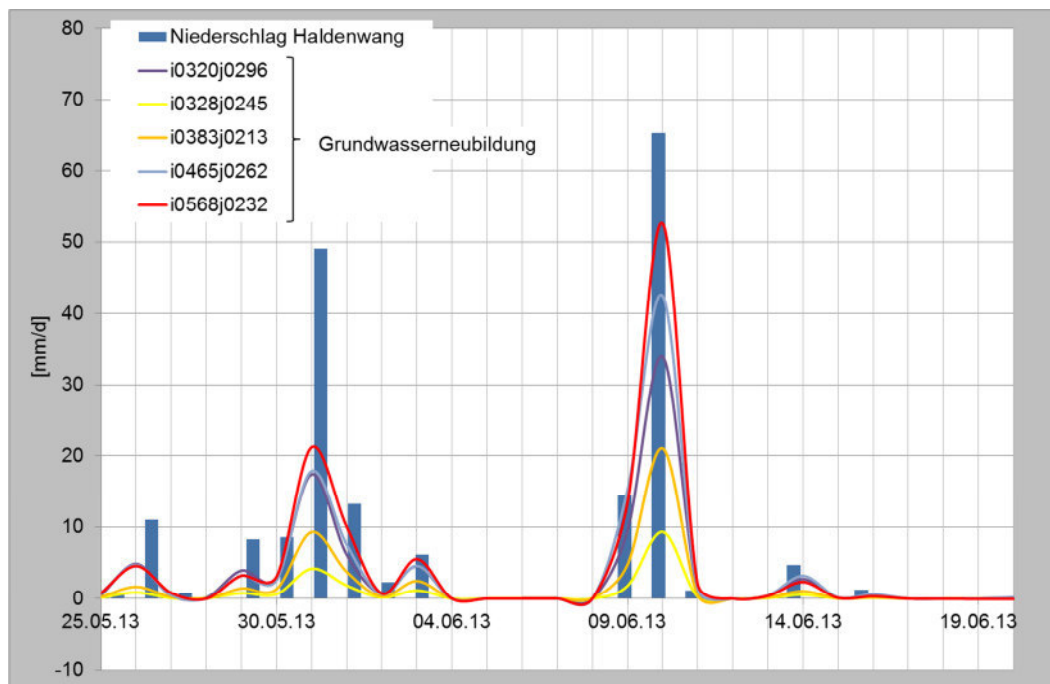
Die instationäre Berechnung der Grundwasserneubildung wurde für den Zeitraum 25.05.2013 bis 20.06.2013 durchgeführt. An einigen ausgewählten Knotenpunkten wurden Tagesganglinien herausgeschrieben (Lage s. Abbildung 4):

**Tabelle 3:** *Knotenpunkte mit WHMOD-Nutzung und nFK100*

Knotenpunkt	WHMOD-Nutzung	nFK100 [mm]
320/296	Acker	404
328/245	Dichte Bebauung	194
383/213	Lockere Bebauung	167
465/262	Wiese	404
568/232	Acker	167



**Abbildung 4:** *Lage der Beobachtungspunkte für die Tagesganglinien*



**Abbildung 5: Grundwasserneubildung an ausgewählten Knotenpunkten und Niederschlag an der Station Haldenwang**

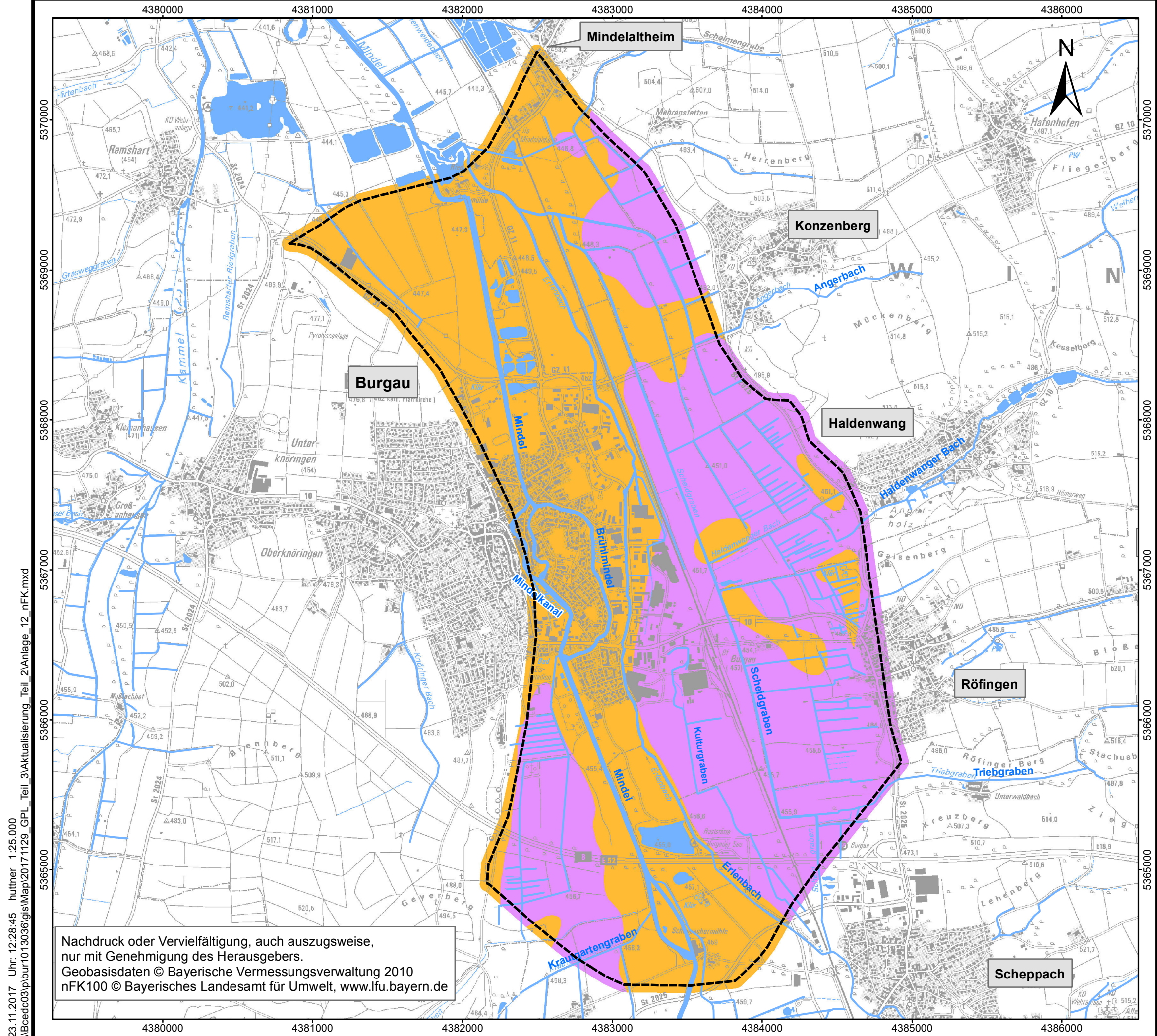
Es zeigt sich, dass die Grundwasserneubildung stark von der Flächennutzung und der nFK100 abhängig ist. So ist die Grundwasserneubildung am Knotenpunkt 568/232 am größten, hier ist die Flächennutzung Acker und die nFK100 mit 167 mm im mittleren Bereich. Bei gleicher Flächennutzung und einer nFK100 von 404 mm ist die Grundwasserneubildung am Knotenpunkt 320/296 zumindest während des zweiten Starkregenereignisses deutlich geringer. Unter dichter Bebauung ist die Grundwasserneubildung am geringsten (328/245), unter lockerer Bebauung etwas höher (383/213). Unter Wiese ist die Grundwasserneubildung trotz der hohen nFK100 von 404 mm sehr hoch (465/206).

Weiterhin ist zu erkennen, dass die Grundwasserneubildung während des zweiten Regenereignisses am 9/10.06.2013 prozentual einen deutlich höheren Anteil am Niederschlag ausmacht. Zu dem Zeitpunkt war der Boden bereits durch das erste Regenereignis stark gesättigt, so dass die Grundwasserneubildung höher ausfällt.

Aufgestellt:

Dipl.-Geoök. Simone Sinico





Zeichenerklärung

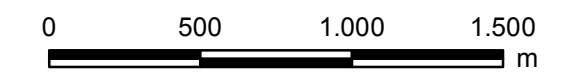
Modellraum

Nutzbare Feldkapazität [mm]

nFK100

200

404



**BCE**

BJÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE

Nutzbare Feldkapazität  
der durchwurzelten Bodenzone  
(nFK100)

M.: 1:25000	Nov 2016	bur1013036
-------------	----------	------------

Nachdruck oder Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
nur mit Genehmigung des Herausgebers.  
Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung 2010  
nFK100 © Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.lfu.bayern.de

23.11.2017 Uhr: 12:28:45 hutner 1:25.000  
\\Bcedc03\pbur1013036\gis\Map\2017\1129\_GPL\_Teil\_3\Aktualisierung\_Teil\_2\Anlage\_12\_nFK.mxd