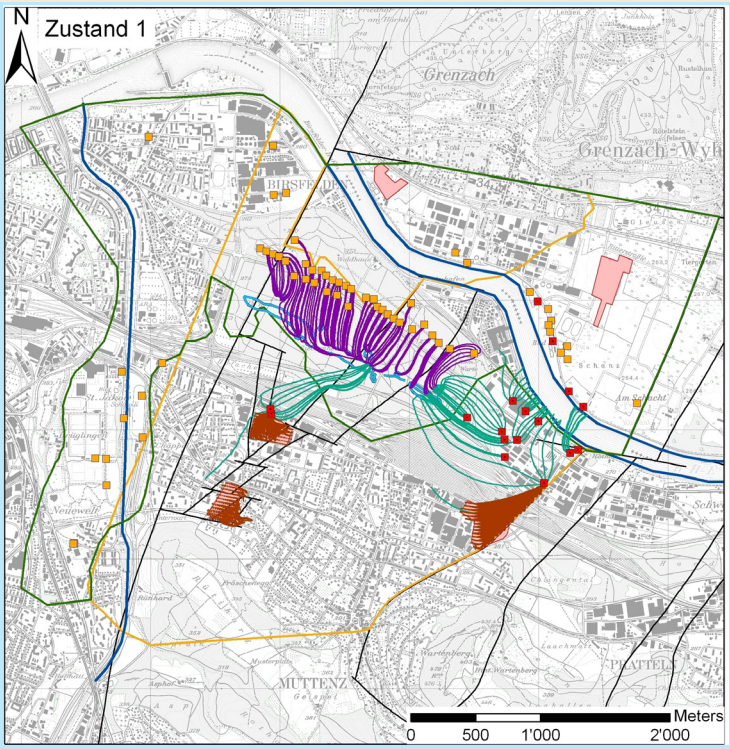
Geologisches Institut der Universität Basel
Abteilung Angewandte und Umweltgeologie



Grundwassermodell Unteres Birstal - Rhein - Muttenz

Evaluation der Zuströmbereiche der Trinkwasser-fassungen Muttenz und Hardwasser AG

Technischer Bericht

Basel, 22. September 2010

BGA BL-155

UNI BASEL

Berichtsnummer: Baugrundarchiv (BGA), BL-155

Auftraggeber	Kanton Basellandschaft Amt für Umweltschutz und Energie Rheinstrasse 29 Postfach 4410 Liestal	Gemeinde Muttenz Kirchplatz 18 4132 Muttenz 1	Hardwasser AG Rheinstr. 87 4133 Pratteln

Datum: 22. September 2010

Adresse Angewandte und Umweltgeologie
Departement Umweltwissenschaften
Universität Basel
Bernoullistrasse 32, 4056 Basel
T: 061 267 34 45 / F: 061 267 29 98
pages.unibas.ch/aug

Sachbearbeiter: Dipl. Natw. ETH Annette Affolter
Dr. Eric Zechner (Projektleitung)
Prof. Dr. Peter Huggenberger

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung 1

2 Ausgangslage 1

3 Auftrag und Zielsetzung 2

4 Modellbeschreibung 3

4.1 Geologie 3

4.2 Aufbau des Grundwassermodells 6

4.3 Randbedingungen 6

Schotteraquifer 6

Felsaquifer 6

Grundwasserneubildung 8

Grundwasserentnahmen 8

Grundwasseranreicherung 9

Fluss-Grundwasser-Interaktion 10

Aquiferzonierung 11

Grundwasserbeobachtung 12

4.4 Kalibrierung 12

4.5 Resultate der Kalibration 14

5 Modellszenarien 18

5.1 Definition der Szenarien 18

5.2 Resultate 19

Reale und Extrem-Situationen 19

Zustand 1: mittlere Pumpraten 21

Zustand 2: kleine Pumpraten, fünf Tage ohne Anreicherung 23

Zustand 3: grosse Pumpraten 25

Szenario 1: Ohne Anreicherung ohne industrielle GW-Nutzung 27

Szenario 2: Ohne Anreicherung mit maximaler GW-Nutzung 29

Szenario 3: Mit Anreicherung ohne industrieller GW-Nutzung 31

Szenario 4: Mit mittlerer Anreicherung und mittleren Pumpraten, ohne Pumpbetrieb Florin Brunnen 33

Beantwortung spezifischer Fragen 35

6 Schlussfolgerungen 36

7 Literatur 38

Verzeichnisse 39
Abbildungen 39
Tabellen 41
Beilagen 42

1 Zusammenfassung

Mit einem instationär kalibrierten 3D Grundwassermodell konnten konkrete Fragestellungen zur potentiellen hydraulischen Gefährdung der Trinkwasserbrunnen von Muttenz und der Hardwasser AG durch die Deponien Feldreben, Margelacker und Rothausstrasse beantwortet werden. Mit Simulationen von verschiedenen Betriebszuständen und Szenarien, welche in Absprache mit dem AUE BL, der Gemeinde Muttenz und der Hardwasser AG festgelegt wurden, wurden die Zuströmbereiche zu den Trinkwasserbrunnen von Muttenz und der Hardwasser AG, sowie der Abstrom aus den Deponien Feldreben, Margelacker und Rothausstrasse dargestellt.
Dabei wurde festgestellt, dass in allen vier simulierten Betriebszuständen, welche aktuell realistische hydraulische Randbedingungen darstellen, weder eine Gefährdung der Trinkwasserbrunnen der Hardwasser AG, noch derjenigen der Gemeinde Muttenz erfolgt. In den Szenarien, welche die Anreicherung der Hardwasser AG für 3 Monate unterbrechen, entstehen hingegen Gefährdungen der Trinkwasserversorgung durch den Abstrom aus der Deponie Feldreben, welcher in Trinkwasserbrunnen im mittleren Teil der Hardwasser endet. Wenn die Brunnen Schweizerhalle ebenfalls ausser Betrieb sind, kann zusätzlich Abstrom aus den Deponien Rothausstrasse und untergeordnet Margelacker zum Muttenzer Pumpwerk Obere Hard gelangen, dazu dehnt sich der Zustrombereich der PW Auweg und Obere Hard auf die Areale des Muttenzer Auhafens, bzw. der Clariant aus. Ein westlich-nordwestlicher Abstrom der Deponie Feldreben in das Birstal ist bei normalen Betriebszuständen und beim aktuellen Kenntnisstand des Untergrundes nicht nachzuweisen. Hingegen kann ein angenommener Unterbruch der Wasserentnahmen im Florin-Brunnen zu einer Abstromkomponente in Richtung Birstal führen. Dieser Abstrom fliesst mit rund 400m Abstand westlich der westlichsten Brunnen der Hardwasser AG ab. In den Szenarien, welche die Anreichung Hardwasser für 3 Monate unterbrechen, schneidet zudem der Zustrombereich der westlichen Brunnen das Gebiet des vorgängig berechneten Abstroms der Deponie Feldreben. Die simulierten Szenarien zeigen, dass ein regelmässiger Betrieb der Florinbrunnen, sowie eine kontinuierliche und gleichmässige Anreicherung wie bisher im Hardwassersystem von zentraler Bedeutung sind, um einen Stofftransport zu den westlichen Brunnen der Hardwasser AG auszuschliessen.

2 Ausgangslage

Die Abteilung Angewandte und Umweltgeologie an der Universität Basel hat im Auftrag des Kantons BL die Grundwassermodelle „Muttenz-Pratteln“ (BGA-BL 142, 2007) und „Unteres Birstal“ (BGA-BL 126C, 2007) erstellt, welche im Bereich von Birsfelden dicht nebeneinander liegen (Abbildung 1). Mit dem Modell Muttenz-Pratteln wurden im Frühjahr 2006 vordefinierte Szenarien im Rahmen der technischen Untersuchung der Deponie Feldreben in Muttenz simuliert (Muttenz 173, 2006). Eine der Schlussfolgerungen war, dass ein Teil des Abstroms aus dem Bereich der Deponie Feldreben über den westlichen Modellrand ins Birstal erfolgt. Dieser westliche Abstrom wurde auch in der neusten Technischen Untersuchung der Deponie Feldreben, 2. Etappe, (Sieber Cassina, 2007), sowie in einer folgenden Gesamtdarstellung des aktuellen Wissenstands durch Matousek, Baumann & Niggli AG (2008) vermutet. Sieber Cassina (2007) vermuten aufgrund der geologischen Verhältnisse, dass die nach Westen abströmende Grundwassermenge im Verhältnis zur nach Südosten abfliessenden Menge eher gering sei, können diese aber nicht quantifizieren. Ein folgender Bericht durch Matousek, Baumann & Niggli AG (2009), welcher neue Grundwasserdaten berücksichtigte, kann einen Abstrom Richtung NW

aus Feldreben auch nach dem Beginn der Hardwasseranreicherung im 1958, d.h. unter dem aktuellen Grundwasserfliessmuster, „nicht ganz ausschliessen“. Eine Verbindung zum westlichen Hardwald, und damit zu den westlichen Trinkwasserfassungen der Hardwasser, halten die Autoren wegen des Fehlens schlüssiger Beweise hingegen für „unwahrscheinlich“.
Die Frage nach der Beeinflussung von im Birstal gelegenen Trinkwasserfassungen, oder eines Zurückströmens über den Modellrand hinweg aus dem Birstal in nordöstlicher Richtung zu den westlichen Trinkwasserfassungen der Hardwasser AG, konnte mit den bis jetzt vorhandenen Modellen nicht beantwortet werden. Im Fall des Modells Unteres Birstal (Abschnitt Münchenstein – Birsfelden) gab es im Norden des östlichen Modellrands (ungefähr zwischen Rütihard und St. Jakob Bad) Unsicherheiten. Dieser Modellrand ist dabei von besonderer Bedeutung, da dort zwei Trinkwasserbrunnen der Wasserversorgung Muttenz liegen (PW Birsland, 21.A.101, und PW Schanz, 21.A.103), die täglich zusammen über 2500 m^3 Trinkwasser fördern.

3 Auftrag und Zielsetzung

Im Juni 2007 hat die Angewandte und Umweltgeologie der Universität Basel dem Amt für Umweltschutz und Energie BL ein Konzept zur Verbindung der bestehenden Grundwassermodelle „Muttenz-Pratteln“ und „Unteres Birstal“ unterbreitet, das instationär die beiden Gebiete vereint und als Instrument für die Beurteilung des planerischen Grundwasserschutzes dient. Unmittelbar nördlich des Modells Unteres Birstal, bzw. nordwestlich anschliessend an das Modell Muttenz-Pratteln folgt der etwa 2.5 km^2 grosse nördlichste Teil des unteren Birstals, welcher vor allem die Gemeinde Birsfelden umfasst und von welchem vorgängig noch kein Grundwassermodell existierte. Mit dieser zusätzlichen Modellerweiterung des Untersten Birstals können Fragestellungen der Wechselwirkung Birs- Grundwasser-Rhein unter dem Einfluss des Stauwehrs, aber auch der mögliche Zustrom aus dem Untersten Birstal zu den westlichsten Trinkwasserbrunnen der Hardwasser beantwortet werden.
Für die Modellentwicklung wurden folgende Schwerpunkte definiert:

- Geologische und Strömungsmodell-Erweiterung Unterstes Birstal (Birsfelden) inkl. Übergänge zum bestehenden Modell Muttenz-Pratteln (Amt für Umweltschutz und Energie BL).
- Verfeinerung des geologischen Modells im Bereich des südlichen Hardgrabens aufgrund der neuesten hydrogeologischen Daten der Technischen Untersuchung Feldreben (Sieber Cassina, 2007), mit anschliessender Verfeinerung des numerischen Modellgitters im Bereich Muttenz-Rheingrabenflexur-Münchestein-St. Jakob (Gemeinde Muttenz);
- Verfeinerung des numerischen Modellgitters im Bereich Hardwald-Rheingrabenflexur-Birsfelden, sowie räumliche und zeitliche Verfeinerung der hydraulischen Randbedingungen für eine stationäre und instationäre Simulation mit Kalibration an Grundwasserspiegelmessungen der Stichtagsmessung 8.8.2003, bzw. über einen Zeitraum von einem Jahr (zeitliche Auflösung von einem Tag).

Mit dem stationär kalibrierten Modell wurden im 2009 im Rahmen eines Zusatzauftrags vom AUE BL die historische Entwicklung des Grundwasserregimes seit den 50iger Jahren bis heute simuliert zur Abschätzung der Schadstoffverteilung der Deponien in Muttenz (BGA Muttenz 197).

Mit dem instationär kalibrierten Grundwassermodell sollten folgende Fragestellungen unter verschiedenen hydraulischen Randbedingungen simuliert werden („Situationen“ und „Szenarien“):

- Simulationen zur Ausscheidung der Zuströmbereiche bei verschiedenen Grundwasserständen zu den Trinkwasserbrunnen von Muttenz und der Hardwasser AG:
- Simulationen des Abstroms aus den Deponien Feldreben, Margelacker und Rothausstrasse bei verschiedenen Grundwasserständen.
- Simulationen zu konkreten Fragestellungen wie mögliche Belastungen der Muttenzer Pumpwerke Auweg und Hard, möglicher Zustrom zu den Hardwasserbrunnen aus dem Birstal oder der Flexurzone, möglicher westlich-nordwestlicher Abstrom der Deponie Feldreben, sowie minimale Pumpraten in Schweizerhalle zur Sicherung des Hardgrundwassers im heutigen Rahmen.

4 Modellbeschreibung

4.1 Geologie

Das Untersuchungsgebiet besteht aus drei unterschiedlichen strukturellen Bereichen. Im Westen (Unteres Birstal) befindet sich der östliche Rand des Oberrheingrabens, welcher durch die intensiv deformierte „Flexurzone“ vom Tafeljura (Gebiet Muttenz) getrennt. Sowohl die Flexurzone als auch die dominanten Horst- und Grabenstrukturen des Tafeljuras zeigen eine allgemeine Orientierung in NE-SW bis NNE-SSW Richtung.
Im Bereich Unteres Birstal wird die Basis des Quartärs (Fels) durch die tertiären Sedimente der Elsässer Molasse und Tüllinger Schichten aufgebaut, während im Gebiet östlich der Flexurzone die quartären Schotter auf Einheiten des Unteren Muschelkalks bis Unteren Doggers zu liegen kommen. Die Lagerungsverhältnisse der geologischen Einheiten innerhalb der komplex aufgebauten Flexurzone ist zu weiten Teilen nicht bekannt. Innerhalb dieses Übergangsbereiches muss mit kleinräumigen Änderungen der Geologie gerechnet werden, die nur teilweise bekannt sind und aufgrund der Kleinräumigkeit nicht ins 3D Modell integriert werden können.

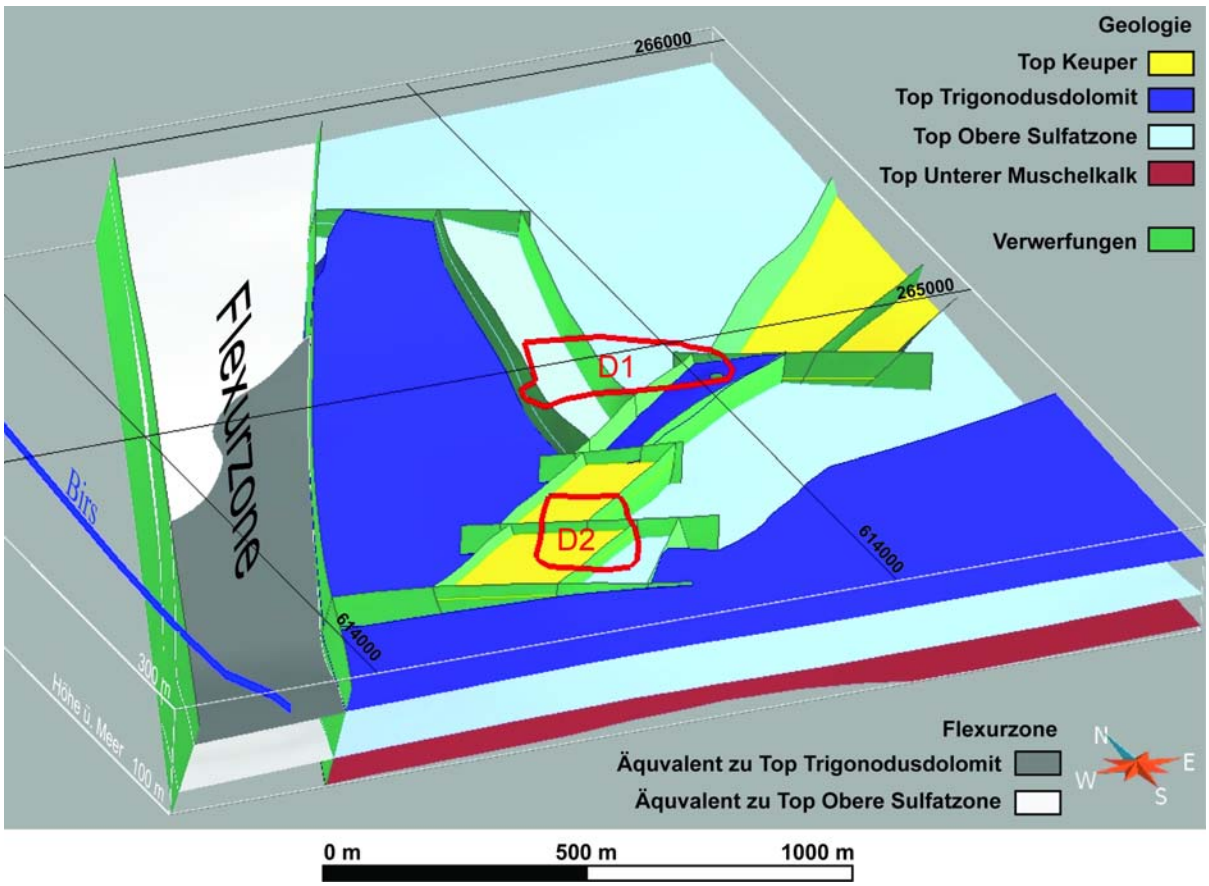


Abbildung 1: Ausschnitt 3D Modell Blick von SW, nicht überhöht, Topographie und Basis Quartär (Fels) nicht dargestellt, D1 Deponie Feldreben, D2 Deponie Margelacker

Das bestehende geologische 3D Modell der Region Muttenz und Pratteln (BGA-BL142, 2007; Spottke et al., 2005) und das hydrogeologische Modell des Unteren Birstals (BGA-BL 126C, 2007), dienten als Grundlage für eine Überarbeitung auf der Basis neuer geologischer Daten. Die neuen geologischen Daten, insbesondere nach 2005 abgeteufte Bohrungen im Projektgebiet, flossen in einen Abgleich der bestehenden geologischen Modellhorizonte ein.

Das 3D Modell besteht aus 5 stratigraphischen Horizonten (Top Unterer Muschelkalk, Top Obere Sulfatzone, Top Trigonodusdolomit, Top Keuper und der Basis Quartär (Fels)), der Topographie und allen wichtigen Verwerfungen an denen ein signifikanter Versatz zu erkennen ist. Komplett neu erstellt wurden die zwei Horizonte im Bereich der Flexurzone (Abbildung 1). Da dort die exakten Geometrien, sowohl der geologischen Horizonte als auch etwaiger Störungen nicht bekannt sind, wurden als Basis für das hydrogeologische Modell die untere und obere Begrenzung des Kluftaquifers Top Obere Sulfatzone und Top Trigonodusdolomit aus dem Modellbereich östlich der Flexurzone in die Flexurzone (nach Westen) projiziert.

Ebenfalls im gesamten Modellgebiet neu modelliert wurde die Basis Quartär (Fels). Die Auflösung (Triangulationsnetz) der Flächenmodellierung wurde generell verfeinert, darüber hinaus wurde in Bereichen mit einer hohen Datendichte eine variable Anpassung und weitere Verfeinerungen vorgenommen. Die Maschenweite der Triangulationen, bisher konstante 134m, wurde somit auf eine Maschenweite von ~60 m bis ~8 m verkleinert.

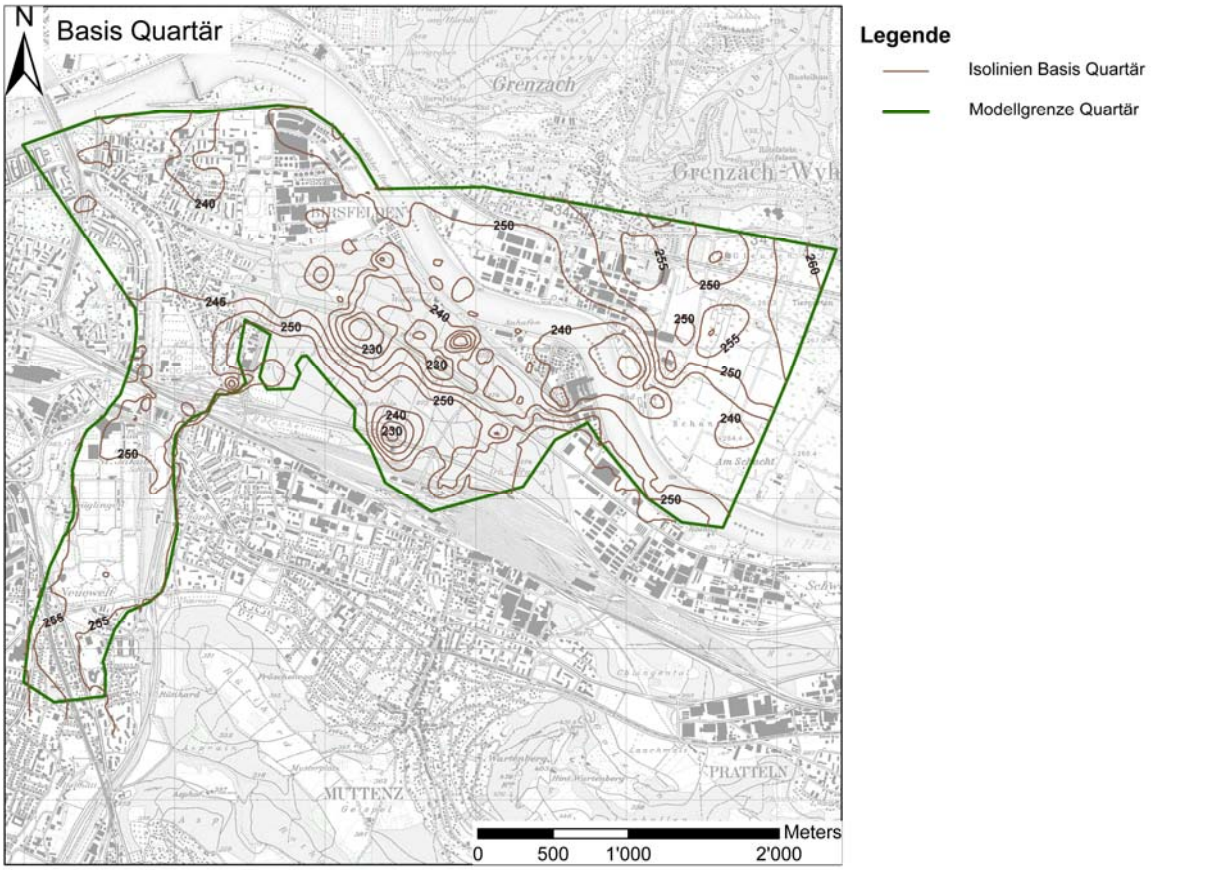


Abbildung 2: Felsoberfläche (untere Begrenzung des quartären Aquifers)

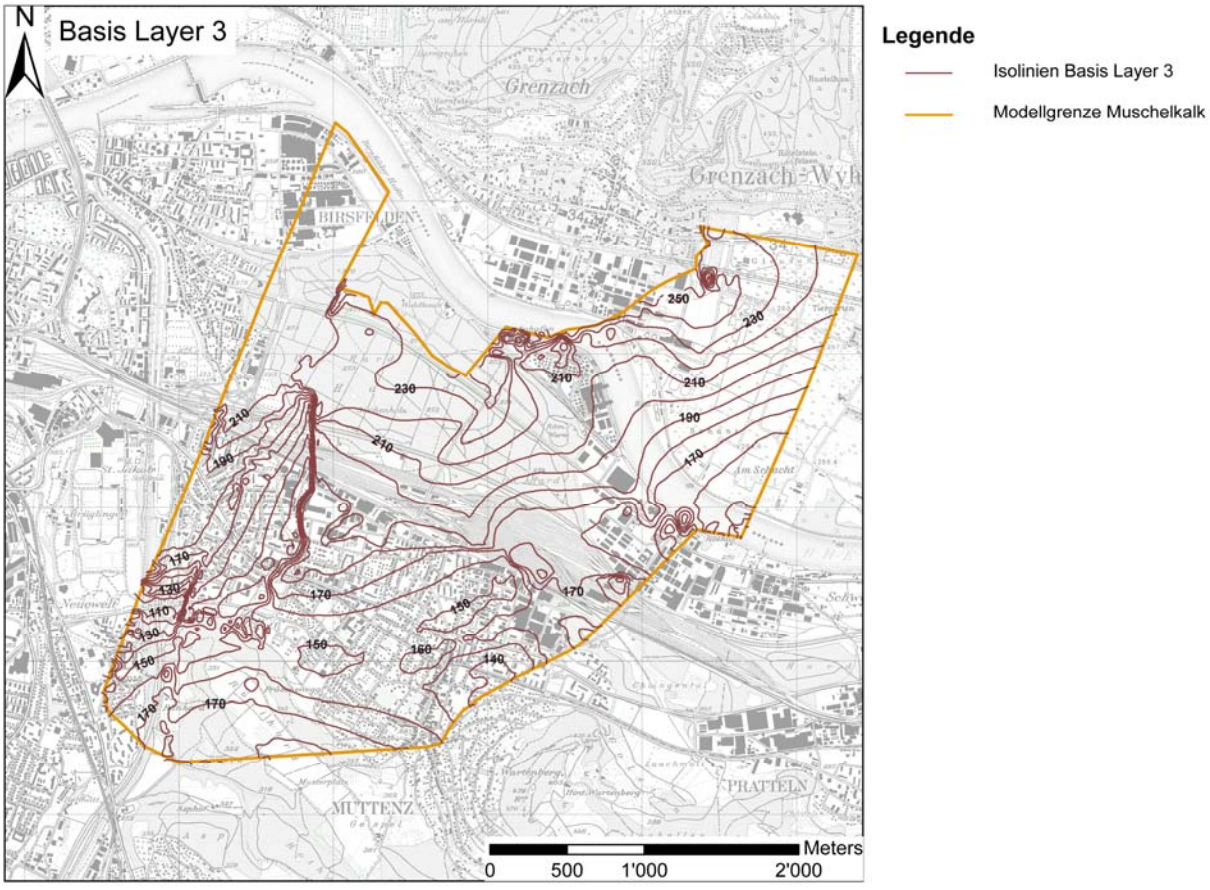


Abbildung 3: Untere Begrenzung des Muschelkalkaquifers (Top Obere Sulfatzone).

4.2 Aufbau des Grundwassermodells

Die im 3D-Modell modellierten hydrostratigraphischen Modellhorizonte wurden in ein horizontal regelmässiges 3D Modellgitter (25 m x 25 m) mit 3 (Gitter)-Schichten („layers“) zur Berechnung der Grundwasserströmung mit finiten Differenzen übertragen (MODFLOW-2005: Harbaugh, 2005). Die erste Schicht repräsentiert die quartären alluvialen Rhein- und Birsschotter (Eigenschaft: Quartär) deren Basis die Felsoberfläche bildet (Abbildung 2). Die zweite (mittlere) Schicht setzt sich aus Mergeln und Tonen des Keupers zusammen, dessen Basis mit dem Modellhorizont Top Trigonodusdolomit zusammenfällt. Die mittlere Schicht wirkt, falls sie im geologischen Modell vorhanden ist, als Aquitard zwischen den zwei Hauptaquiferen. Die dritte Schicht erhält dort, wo der Kluftaquifer vorhanden ist (im gesamten Modellgebiet, ausser im nordwestlichsten Teil) die Eigenschaft Muschelkalk. Die Basis dieser Schicht bildet der Horizont Top Obere Sulfatzone (Abbildung 3). Die Verbindung zwischen dem Kluftaquifer von Muttenz und den Schottern im Unteren Birstal wird in der mittleren und unteren Schicht mit einer Flexurzone simuliert, welche ermöglicht, dass Grundwasser aus dem Muschelkalk-Kluftaquifer über die Flexurzone mit den Birsschottern austauschen kann.
Das Modell wurde mit dem Computerprogramm GMS 6.5 erstellt, eine graphische Benutzeroberfläche für Grundwassersimulatoren wie das verwendete MODFLOW-2005. MODFLOW-2005 berechnet Grundwasserströmung durch ein poröses Medium unter Annahme laminarer Durchströmung. Diese Annahme gilt überlicherweise in Lockergesteinen wie den Rhein- und Birsschottern. Verkarstete, und zerklüftete Aquifere wie sie im Muschelkalk vorhanden sind, können im betrachteten Modellmassstab als poröses Medium betrachtet werden, wenn die Grundwasserhydraulik nicht durch vorhandene Kluft- und Karströhrennetze wesentlich beinflusst wird. Aus der Berechnung der Grundwasserströmung konnte anschliessend der advektive Grundwassertransport („particle tracking“) für die gewünschten Zustrom- und Abstrombereiche dargestellt werden. Die automatisch kalibrierten unbekannten Parameter wurden mit Hilfe der Computer-Routine PEST für nichtlineare Regression abgeschätzt.

4.3 Randbedingungen

Schotteraquifer

Der Südrand des Schotteraquifers im Birstal verbindet die Piezometer 20.J.115 und 20.J.116 und wurde als Randbedingung 1. Art (Festpotential, variabel über die Zeit) definiert. Im Westen und Osten des Birstals entsprechen die Modellränder ungefähr der Begrenzung des Hauptgrundwasserstroms (ständig grundwasserführende Talfüllung) und gehen als Randbedingung 2. Art (Randzu- und -abfluss) in das Modell ein. Ebenfalls als Randbedingung 2. Art wurde der Modellrand in Grenzach sowie der östliche Teil im Bereich Schweizerhalle definiert. Im Norden auf Höhe Birsfelden bildet der Rhein die Modellgrenze und wird als Randbedingung 3. Art (halbdurchlässiger Rand) berücksichtigt (Abbildung 4).

Felsaquifer

Im Felsaquifer wurden der südliche, sowie Teile des östlichen Randes als Randbedingung 2. Art definiert, wobei die Flussmengen aus dem bestehende Grundwassermodell Muttenz-Pratteln entnommen wurden (BGA-BL 142, 2007). Im Norden bildet der Rhein die Modellgrenze und wird ebenfalls als Randbedingung 3. Art (halbdurchlässiger Rand) berücksichtigt (Abbildung 5). Alle anderen Ränder sind als undurchlässig angenommen.

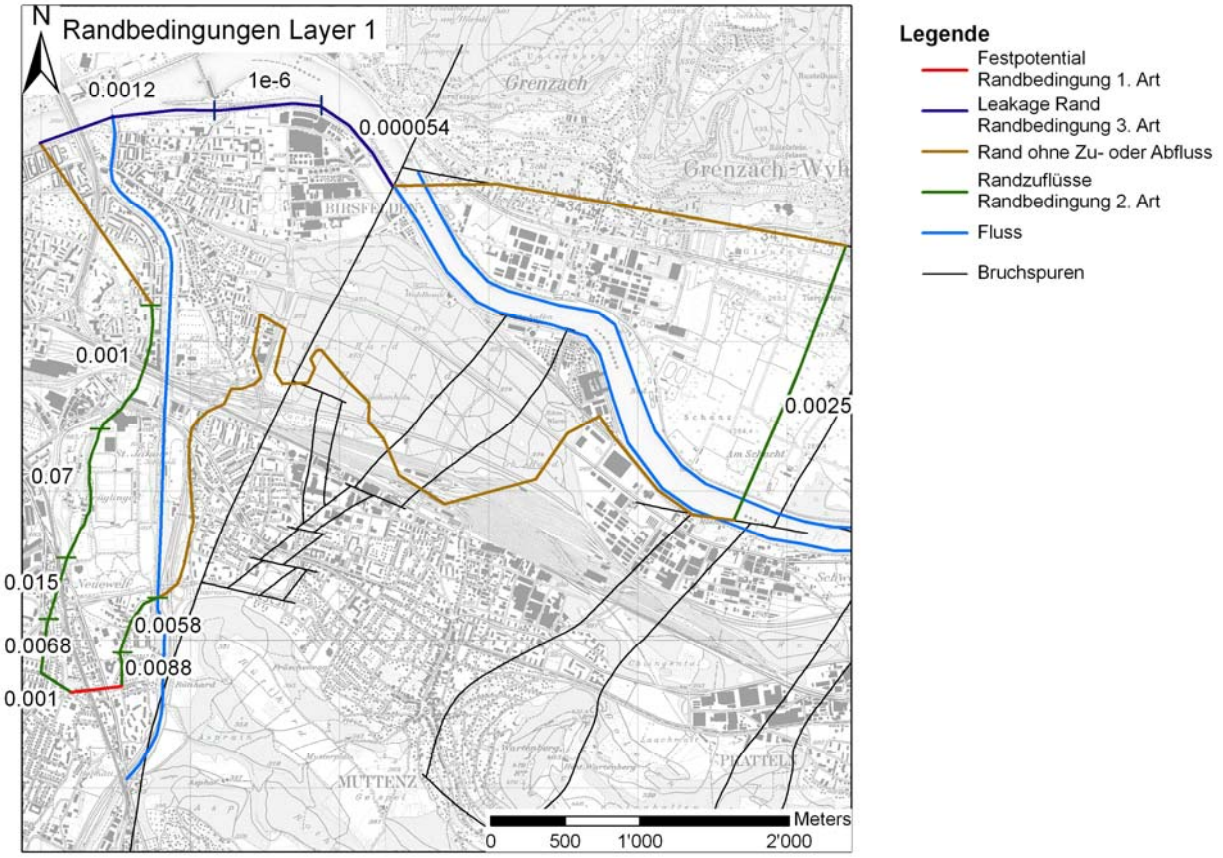


Abbildung 4: Randbedingungen Schotteraquifer („Leakage“ in m/s, Randzu- oder Abfluss in m^3/s).

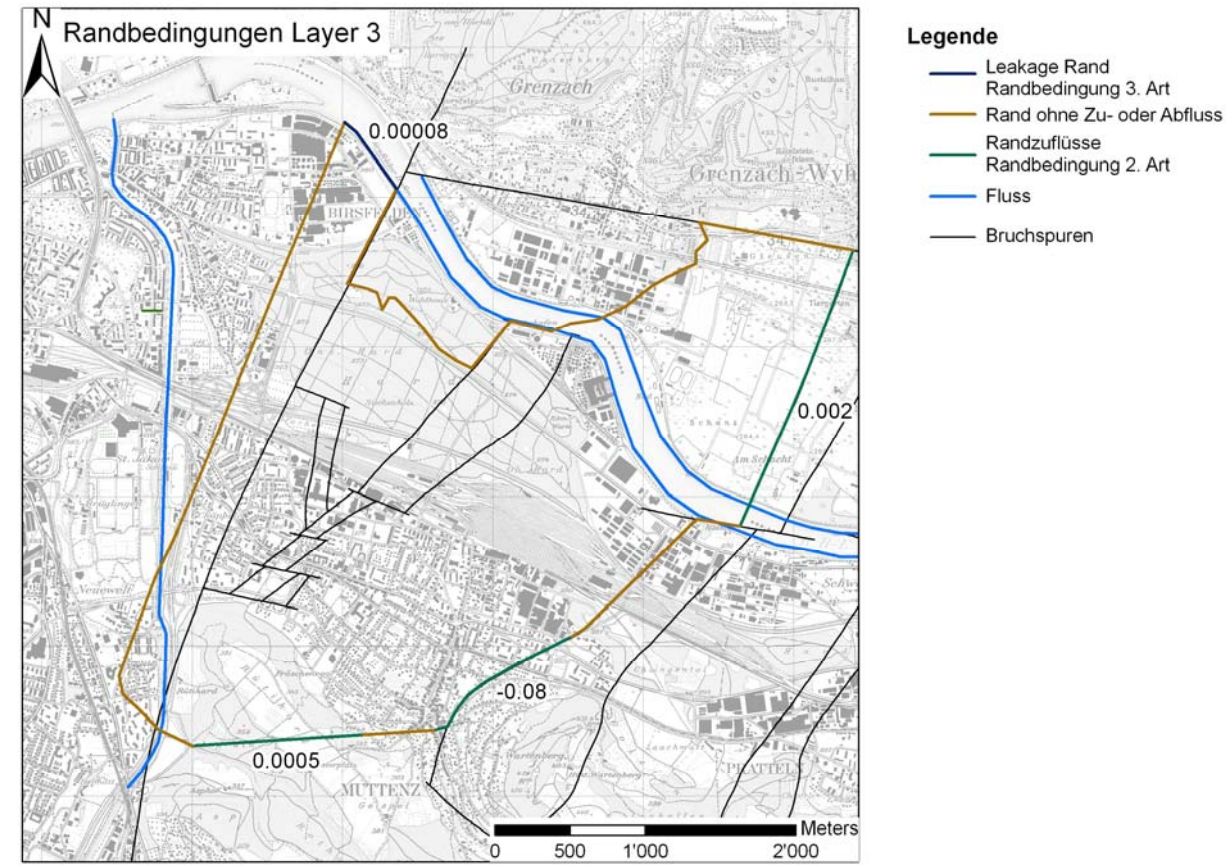


Abbildung 5: Randbedingungen Muschelkalkaquifer („Leakage“ in m/s, Randzu- oder Abfluss in m^3/s).

Grundwasserneubildung

Die angenommene Rate der Grundwasserneubildung von $1.34e^{-8}$ m/s ergibt sich aus dem Mittelwert Niederschlag – Verdunstung (Station Basel Binningen) während des Simulationszeitraums. Für versiegelte Flächen wurde die Hälfte des Wertes angenommen analog dem Grundwassermodell des Unteren Birstals (BGA-BL 126C, 2007).
Aufgrund der hohen Grundwasserentnahme- und Anreicherungsmengen und den intensiven Austauschprozessen zwischen Rhein- und Grundwasser sind die Fehler, welche durch diese Vereinfachungen in die Grundwasserberechnungen einfliessen, gering.

Grundwasserentnahmen

Für den Simulationszeitraum vom 1.5.08 bis 30.4.09 wurden die Entnahmemengen aller Grundwassernutzer im Modellgebiet erhoben. Insgesamt sind es 76 Brunnen, 31 werden industriell genutzt, 45 dienen als Trinkwasserbrunnen (Abbildung 6). Von den 45 Trinkwasserbrunnen werden 33 von der Hardwasser AG betrieben, je 4 von den Gemeinden Muttenz und Grenzach, 3 von Münchenstein, sowie 1 von Birsfelden. Die Entnahmen aus diesen Brunnen sind als Tagesmittelwerte im Modell integriert. Die industriellen Entnahmen von Clariant (7 Brunnen) und Novartis (3 Brunnen) im Bereich Schweizerhalle konnten ebenfalls als Tagesmittelwerte ins Modell eingegeben werden. Bei allen 11 Brunnen in Grenzach sowie den zwei industriellen Florin Brunnen in Muttenz standen nur Monatsmittelwerte zur Verfügung. Bei den 4 Brunnen in Birsfelden und in 3 Brunnen in Münchenstein, welche täglich nur etwa 70 – 80 m^3 pumpen, wurde mit einer konstanten mittleren Entnahmerate gerechnet.

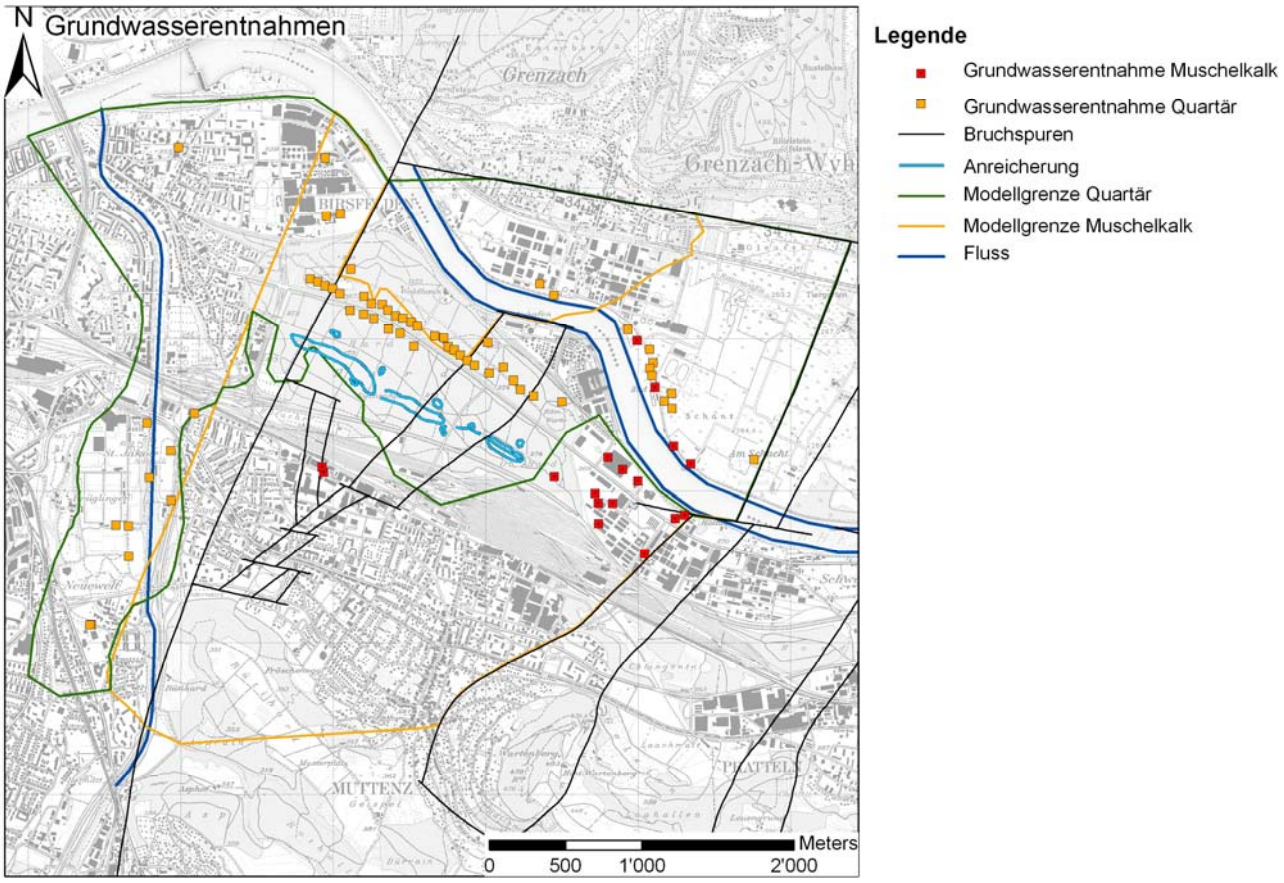


Abbildung 6: Grundwasserentnahmestellen im Modellgebiet.

Grundwasseranreicherung

Die Grundwasseranreicherung ist ein wichtiger Faktor in den Wasserbilanzen. Um die erforderliche hohe zeitliche und räumliche Auflösung des GW-Fliessfeldes zu erhalten, muss die Information über die Wassermengen, die in den verschiedenen Versickerungsgräben und Weihern infiltrieren, differenziert erfasst werden. Zur Verbesserung der Datenlage wurden in drei Messkampagnen (28.8.2008, 23.9.2008; 6.11.2008) mittels Abflussmessungen in den Gerinnen und anschliessender Differenzenbildung die Anreichungsmengen unter verschiedenen Pegelständen bestimmt.

Die von der Hardwasser gemessenen Tagessummen der Grundwasseranreicherung wurden aufgrund der im 2008 durchgeführten 3 Stichtags-Abflussmessungen (BGA Muttenz 194) in 17 Teilbereiche nach einzelnen Weihern und Gräben aufgeteilt (Abbildung 7). Grundlage der 17 Anteilmengen war die Messung vom 6.11.2008. Für die Anreicherung in den südwestlichsten Teilabschnitten Graben F und Weiher 7 wurden leichte Anpassungen nach oben vorgenommen, da diese am 6.11.2008 nicht bewässert wurden. Mittels des Ende 2008 erstellten Messnetzes von Pegellatten in den Teilabschnitten der Gräben konnten mit Hilfe der im 2008 etablierten P-Q-Beziehung wöchentlich die Anteilmengen berechnet werden. Dabei zeigte sich, dass aufgrund betrieblicher Änderungen die Berechnungen erst nach dem Simulationszeitabschnitt für die instationäre Kalibration, d.h. etwa ab Mitte Juli 2009, zuverlässig werden (Abbildung 8). Der Fehler zwischen gemessener und berechneter Gesamtanreichung liegt ab diesem Zeitpunkt bei Normalbetrieb (keine Wartungsarbeiten) in der Regel unter 10%.



Abbildung 7: Anreicherung Hardwasser AG mit Angabe der Anteile an der gesamten ins Grabensystem eingeleiteten Wassermenge.

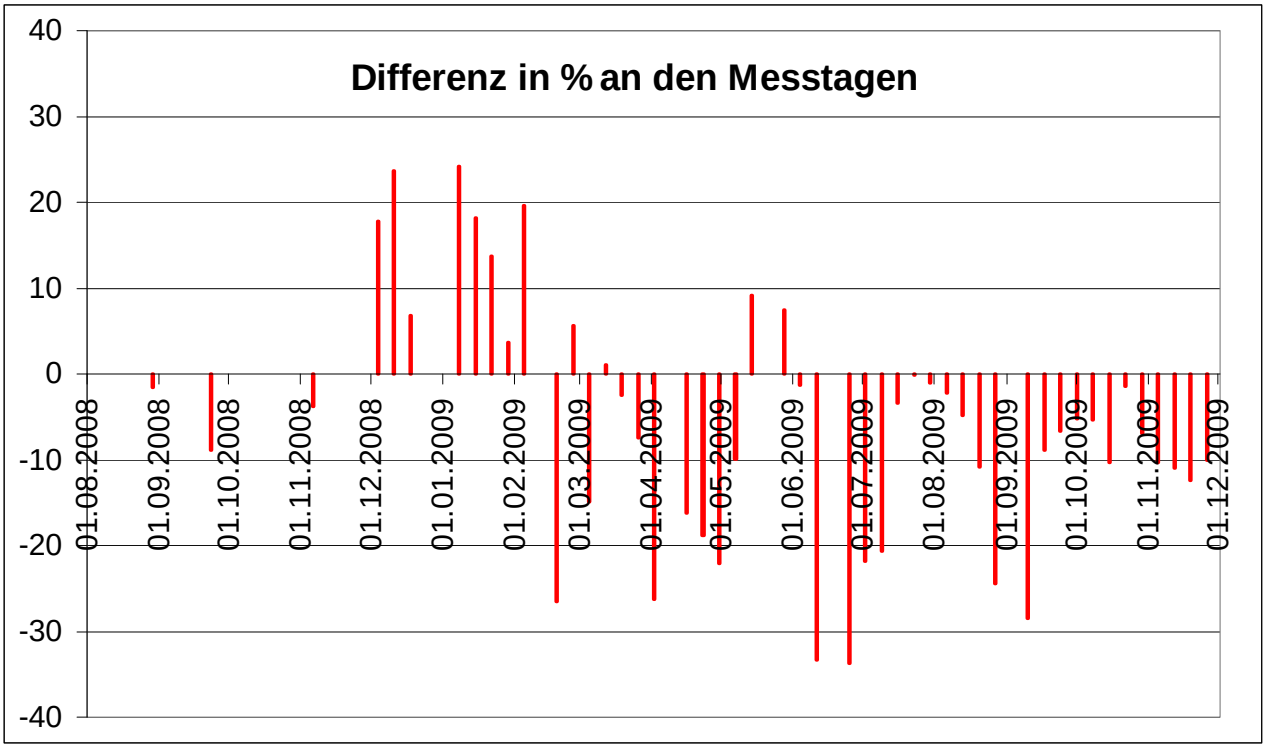


Abbildung 8: Differenz zwischen gemessener und mittels P(egel)-Q(Abfluss)-Beziehung berechneter Gesamtanreichung der Hardwasser.

Fluss-Grundwasser-Interaktion

Birs

Die Birs ist als Randbedingung dritter Art (halbdurchlässiger Rand) definiert. Daten für den Wasserstand in der Birs sind für den Simulationszeitraum als Stundenwerte integriert. Der Wasserstand wird am Pegel Hofmatt (Datenquelle: Bundesamt für Umwelt BAFU, www.hydrodaten.admin.ch) sowie direkt ober- und unterhalb der Staustufe des Kleinkraftwerks am Birswuhr nahe Rütihard (Quelle: Industrielle Werke Basel IWB) gemessen. Bei der Mündung in den Rhein wird der Rheinpegel gemessen. Zwischen diesen Messpunkten wurde der Wasserstand interpoliert. Grundwasserpegeldaten weisen darauf hin, dass die Durchlässigkeit der Birssohle zeitlich mit der Abflussganglinie variiert (BGA-BL 126C, 2007). Dieser Zusammenhang wird anhand eines instationären Infiltrationsmodells hergestellt. Das Modell beschreibt folgende Eigenschaften der Flusssohle: Bei geringem Abfluss verringert sich die Permeabilität (Leakagefaktor mal Flussbreite) der Flusssohle bedingt durch das Absetzen von Feinpartikeln zusehends (Kolmation) und nähert sich einem Minimalwert (Gleichgewichtszustand, 0.00004 m/s) an. Bei einem Hochwasser wird die kolmatierte Flusssohle aufgerissen; die Permeabilität erhöht sich sprunghaft (Maximalwert 0.0005 m/s). Nach dem Hochwasser beginnt die Flusssohle wieder zu kolmatieren; die Durchlässigkeit nimmt wieder ab.

Rhein

Im Untersuchungsgebiet Muttenz-Birsfelden ist der Rhein Vorfluter. Durch die Stauhaltung der Flusskraftwerke Augst-Wyhlen oberhalb des Gebiets und Birsfelden ist der Rheinpegel heute stark reguliert. Zudem führen Grundwasseranreicherungen und die rheinnahe Grundwasserentnahme zu einer Änderung des natürlichen rheinnahen Grundwasserfliessfeldes. Im Gebiet oberhalb des Kraftwerks Birsfelden befinden sich deshalb infiltrierende Abschnitte, bedingt durch den Aufstau des Rheins und die beidseitig des Rheins liegenden bedeutendsten Grundwasserentnahmen der Industriestandorte von Schweizerhalle und Grenzach. Die

Berechnung der instationären Wasserspiegellage des Rheins im Gebiet Muttenz entspricht der linearen Interpolation zwischen den Wasserstandszeitreihen Oberwasser des Kraftwerkes Birsfelden, bzw. Unterwasser von Augst-Whylen. Unterhalb des Kraftwerks Birsfelden liegen exfiltrierende Verhältnisse vor. Der Rheinpegel in diesem Bereich wird auf Höhe der Birsmündung bei einer vom BAFU betriebenen Messstelle (Rhein-Basel, Rheinhalle) gemessen.
Die Permeabilität der Rheinsohle wurde mit der automatischen Kalibration bestimmt und ergab 0.00035 m/s oberhalb des Kraftwerks Birsfelden und 0.0012 m/s für unterhalb des Kraftwerks. Im Bereich der Birsfelder Schleuse wurde eine Permeabilität von $1e^{-6}$ m/s angenommen.

Aquiferzonierung

Für den Schottergrundwasserleiter hat sich aus der Kalibration eine Zonierung der hydraulischen Leitfähigkeiten (Kf-Werte) in 9 Zonen als geeignet erwiesen (Abbildung 9). Die Flexurzone und der Muschelkalk wurden in je 6 Zonen aufgeteilt, der untere Dogger und der Keuper in je eine Zone (Abbildung 10). Die hydraulischen Leitfähigkeiten der Zonen wurden automatisch kalibriert. Als Ausgangswerte für die hydraulischen Leitfähigkeiten der verschiedenen Zonen dienten die Kf-Werte aus dem stationären Modell (BGA Muttenz 197, 2009).
Während des Kalibrationsprozesses wurde deutlich, dass kaum Wasseraustausch zwischen dem südlichsten Teil der Flexurzone und dem Muschelaquifer stattfindet. Dies wurde mit dem Einfügen einer sehr gering durchlässigen Linie östlich der Zone 2 der Flexurzone erreicht (Durchlässigkeit: $1e^{-12}$ m/s).
Die effektive Porosität des Quartärs wurde in 2 Zonen unterteilt, welche im Wesentlichen dem Birstal- (0.2) und dem Rheintaquifer (0.12) entsprechen. Für den spezifischen Speicherkoeffizienten der Layer 2 und 3 wurden einheitliche 0.0001 m^{-1} angenommen, sowie 0.01 für die effektive Porosität.

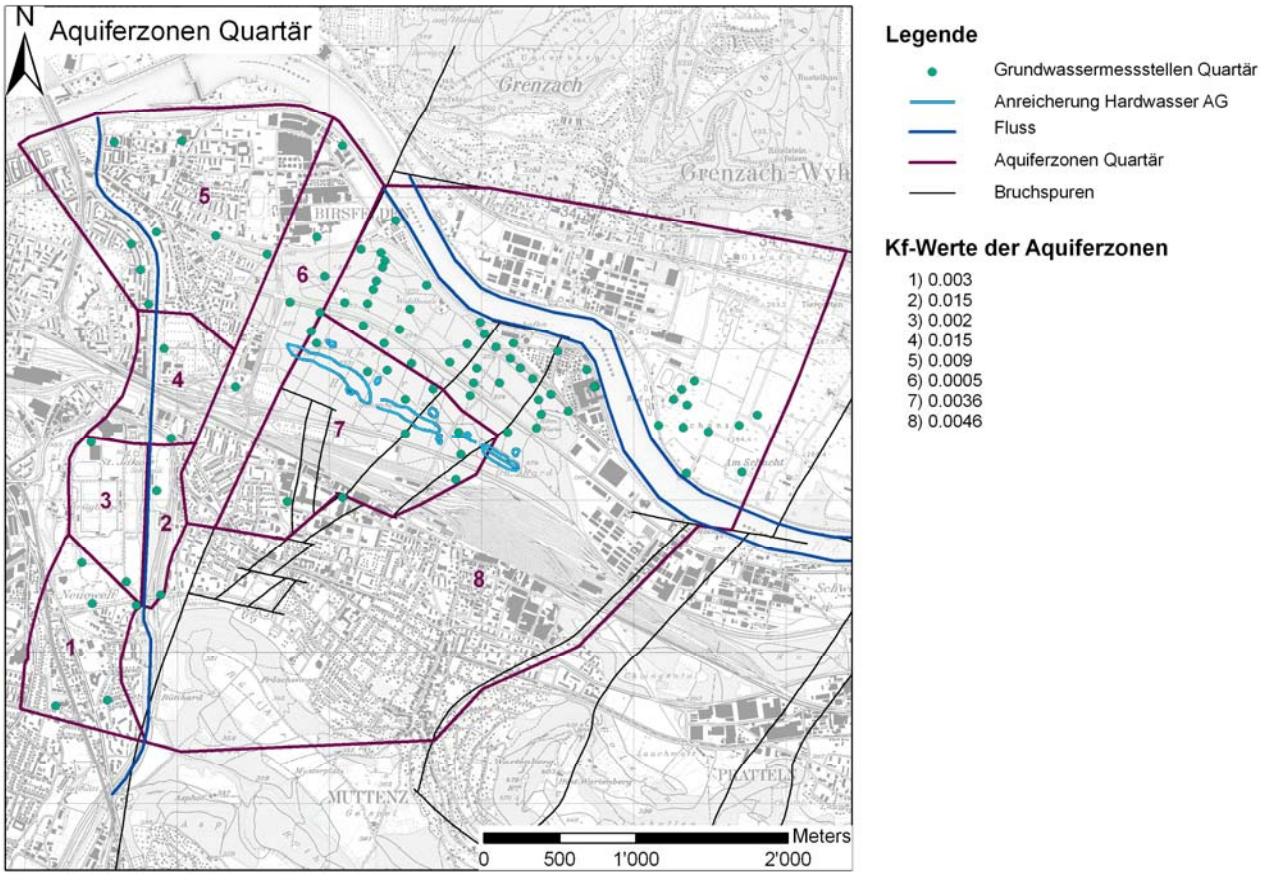


Abbildung 9: Einteilung der Aquiferzonen im Quartär mit Angabe der kalibrierten Kf-Werte.

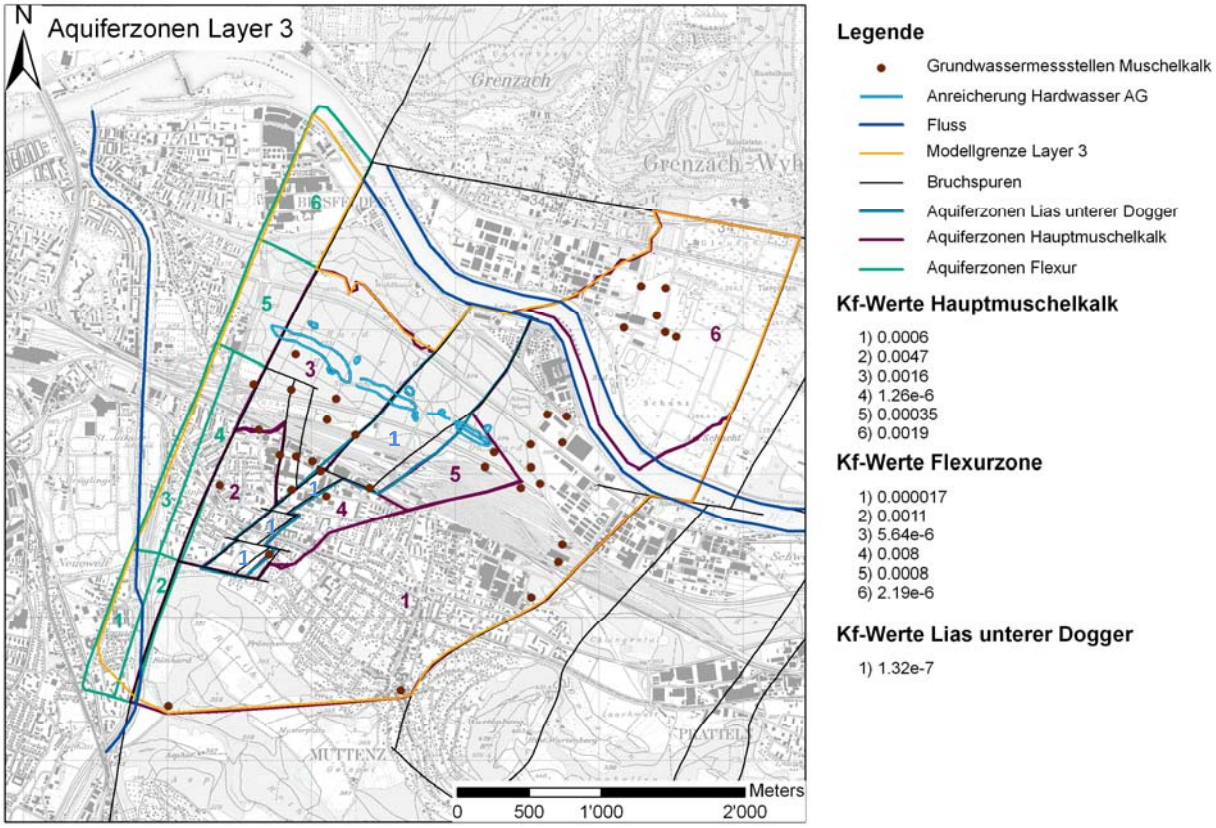


Abbildung 10: Aufteilung der Aquiferzonen im Hauptmuschelkalk und der Flexurzone mit Angabe der kalibrierten Kf-Werte.

Grundwasserbeobachtung

Für die Modellkalibration wird der simulierte Grundwasserspiegel mit gemessenen Grundwasserständen in Piezometern (Messperiode 1.5.08 bis 30.4.09) verglichen. Es stehen für den Simulationszeitraum Aufzeichnungen des Pegels aus insgesamt 121 Piezometern zur Verfügung, 85 im quartären Grundwasserleiter und 36 im Felsgrundwasserleiter (Datenquelle: AUE BL, AUE BS, Hardwasser AG und Landratsamt Lörrach). Die Daten vom AUE BL und AUE BS (33 Messstellen) sind als Stundenwerte im Modell integriert. Bei den Piezometern von Hardwasser liegt ein Messwert pro Woche vor. Bei den Grundwassermessstellen in Grenzach, gibt es nur einen Messwert pro Monat.

4.4 Kalibrierung

Das Modell wurde in einem ersten Schritt stationär kalibriert (BGA Muttenz 197, 2009). Da im Modellgebiet die hydraulischen Randbedingungen, bedingt durch die grosse Anzahl an Grundwasserentnahmen und –anreicherungen, jedoch zeitlich stark variieren können, war eine instationäre Kalibrierung in einem zweiten Schritt unumgänglich. Die mit der instationären Kalibrierung bestimmte Parameterverteilung wurde anschliessend für die Simulationen der verschiedenen Betriebszustände sowie der Szenarien verwendet.

Als Grundlage für die instationäre Kalibration diente eine Datenreihe über ein Jahr (1.5.2008 bis 30.4.2009). Die hydraulischen Randbedingungen der Grundwasserentnahmen wurden, wenn verfügbar, mit den gemessenen Tagessummen berücksichtigt.

Im Zeitraum 01.05.08 bis 30.4.09 wurde der Grundwasserpegel bei insgesamt 121 Grundwasser-Messstellen erfasst, wovon 85 im Quartären Grundwasserleiter liegen und 36 im Fels-grundwasserleiter. Zur Erfassung der Randbedingungen wurden für diese Zeitperiode auch der Birspegel und der Rheinpegel sowie die Grundwassernutzungen und künstliche Anreicherung im gesamten Modellgebiet aufgezeichnet.
Als Ausgangsmodell diente das stationäre Grundwassermodell, welches an Daten der Stichtagsmessung vom 08.08.03 kalibriert wurde (BGA Muttenz 197, 2009). Es wurden neue Modellversionen weiterentwickelt, indem die Randzuflüsse, die Durchlässigkeit der Birssohle und die Aufteilung der Aquiferzonen systematisch verändert wurden. Die hydraulischen Parameter der einzelnen Aquiferzonen sowie die Gewässersohlen des Rheins wurden dann automatisch abgeschätzt.
Die aktuelle Version erfüllt die Kriterien zur Modellevaluation gesamthaft am besten:

- Geringe Abweichung der simulierten von den gemessenen Grundwasserständen (Summe der quadratischen Abweichung).
- Plausible Werte der hydraulischen Parameter der einzelnen Aquiferzonen.
- Möglichst einfaches Modellkonzept, jedoch mit einer möglichst umfassenden Berücksichtigung der vorhandenen Daten.

Mit dem instationär kalibrierten Modell wurden dann die Zuströmbereiche der Trinkwasserbrunnen im Modellgebiet bei unterschiedlichen betrieblichen Bedingungen und bei gleichbleibenden mittleren hydrologischen Randbedingungen berechnet (siehe Kapitel 5).

4.5 Resultate der Kalibration

Messstellen Quartär
Birstal

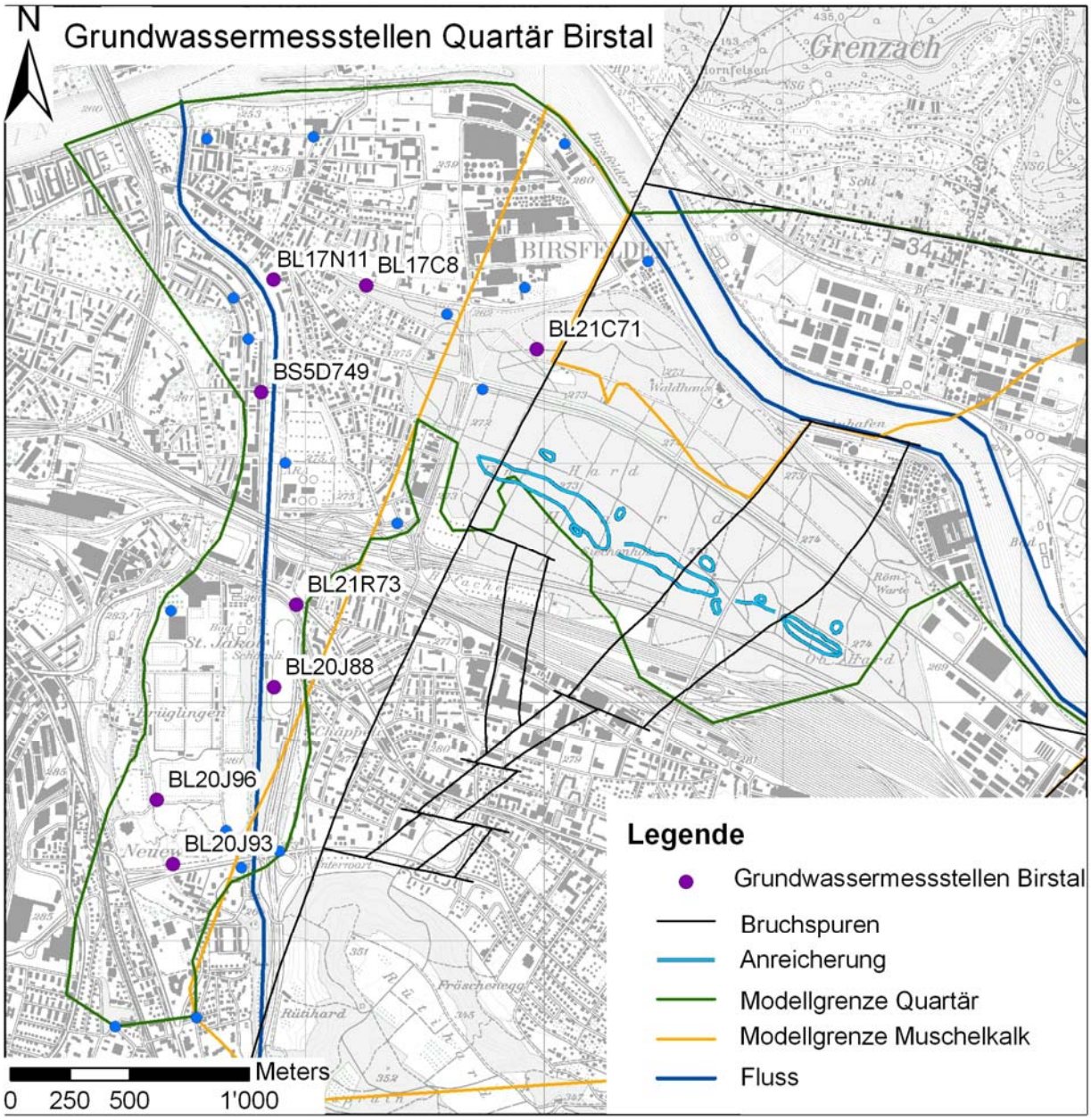


Abbildung 11: Grundwassermessstellen im Birstal. Die Pegel der beschrifteten und violett gekennzeichneten Messstellen werden im Anhang dargestellt.

Entlang der Birs, konnte eine gute Übereinstimmung der gemessenen und berechneten Werte erreicht werden (siehe Beilage Abbildungen 23 bis 30). Die Messstellen welche oberhalb der Flexurzone liegen, können mit dem Modell weniger gut abgebildet werden. So liegen die berechneten Werte der Messstelle BL21C71 bis 0.5 m über den gemessenen Werten. Die jeweiligen Fehler sind verbunden mit der Schwierigkeit die hydrogeologischen Eigenschaften unterhalb des Quartärs im Bereich der Flexurzone darzustellen (siehe auch Kap. 4.1 „Geologie“).

Gebiet Hardwald

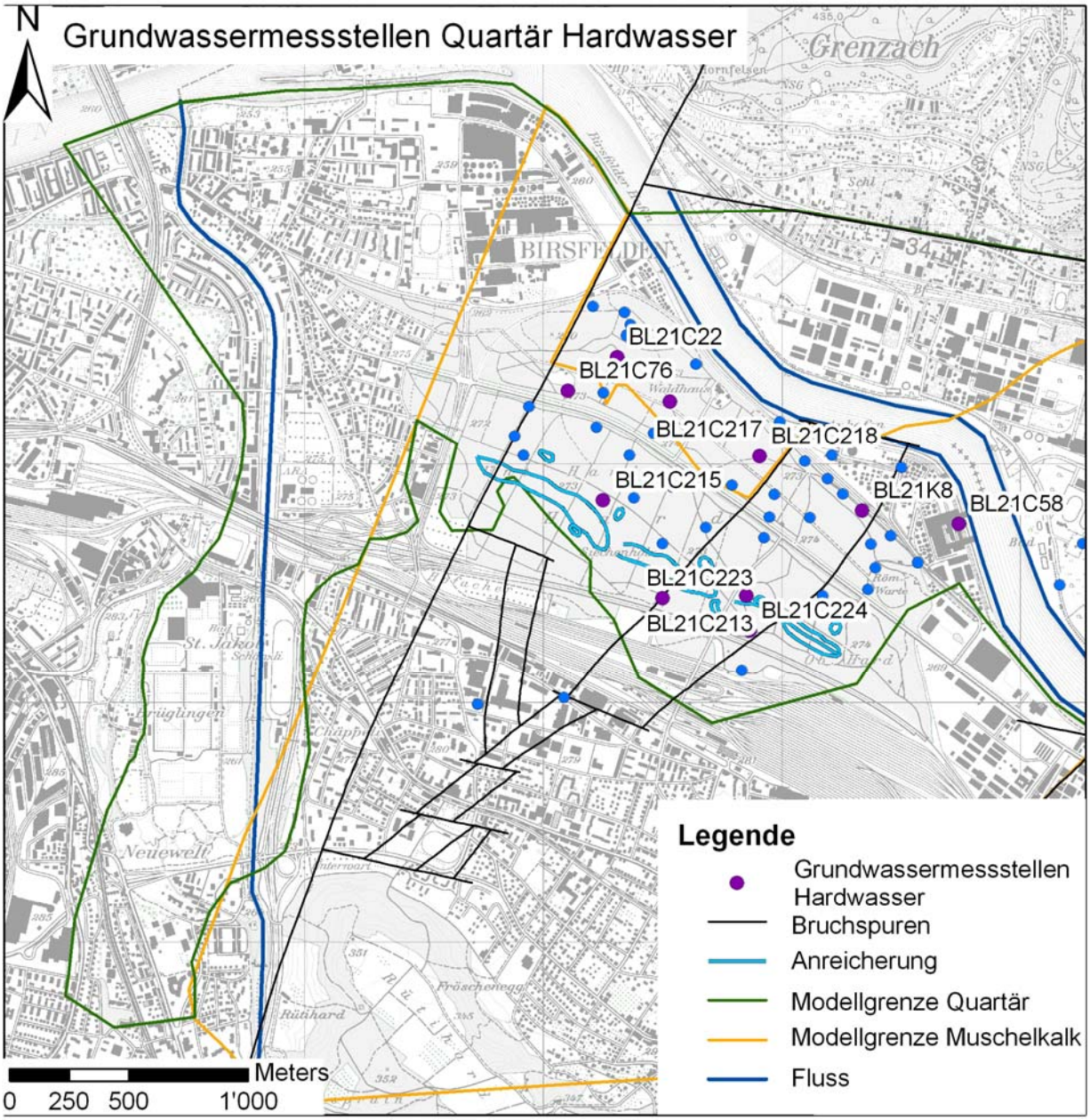


Abbildung 12: Grundwassermessstellen im Bereich der Hardwasser AG. Die Pegel der beschrifteten und violett gekennzeichneten Messstellen werden im Anhang dargestellt.

Die meisten Grundwassermessstellen können gut mit dem Modell abgebildet werden. Die grössten Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Werten ergeben sich im südöstlichen Teil der Anreicherung, bei der Messstellen 21C224, wo der berechnete Pegel im Sommer/Herbst 2008 bis 1 m tiefer liegt als der gemessene (siehe Beilage Abbildungen 32 bis 41). Mögliche Ursachen sind Fehler bei der Berechnung der Verteilung der Anreicherungsmengen (siehe auch Kap. 4.2 unter „Grundwasseranreicherung“).

Messstellen im Muschelkalk

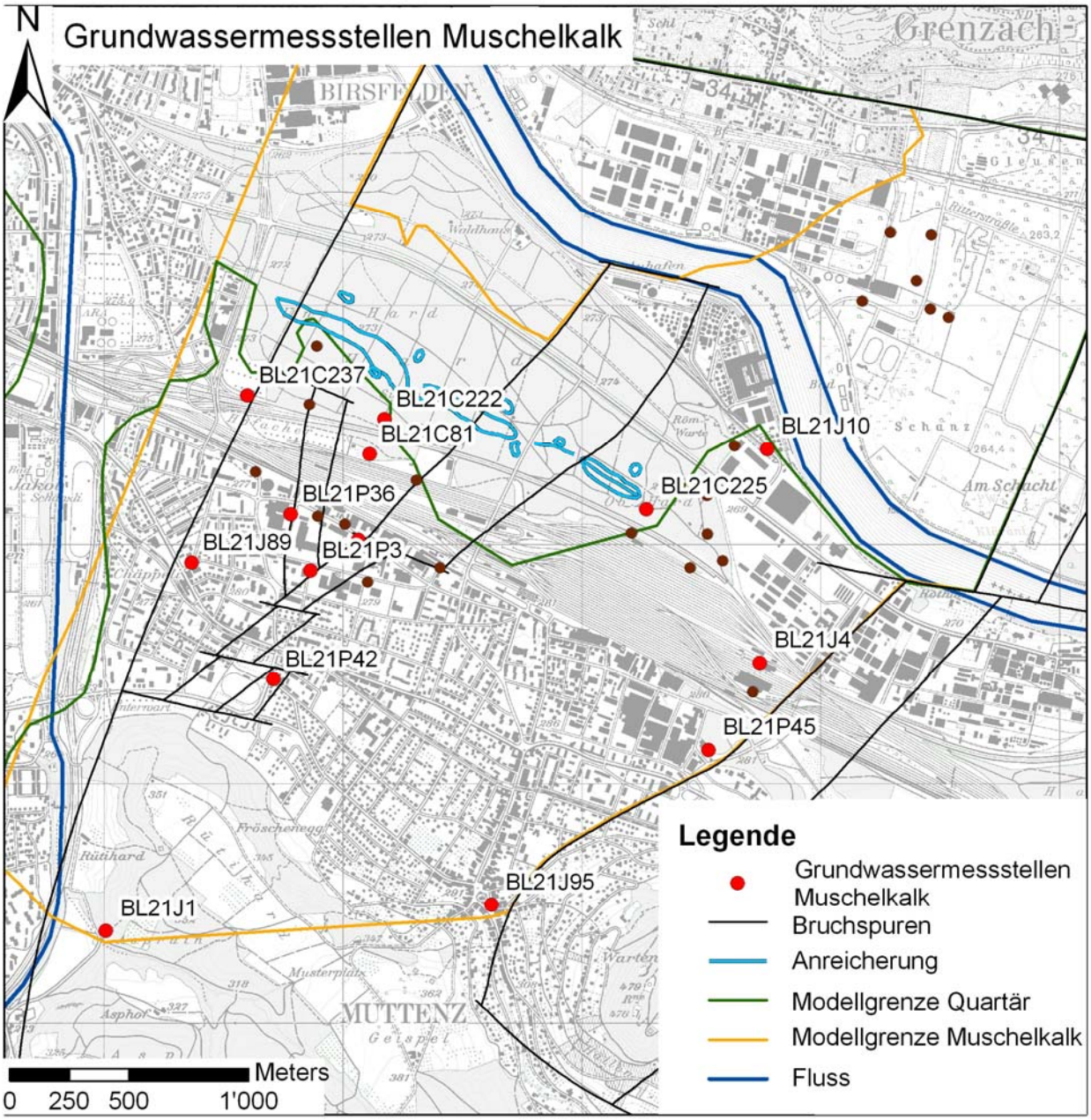


Abbildung 13: Grundwassermessstellen im Muschelkalk. Die Pegel der beschrifteten und rot gekennzeichneten Messstellen werden im Anhang dargestellt.

Die gemessenen Grundwasserpegel bei den Deponien Feldreben und Margelacker (z.B. 21P36 und 21P42) liegen um 4 bis 5 m höher als die Grundwasserpegel am südlichen Modellrand (21J1 und 21J95). Diese grossen Pegelunterschiede sind wahrscheinlich auf nicht vollständig bekannte geologische Strukturen im Gebiet der südlichen Rheingrabenflexur zurückzuführen. Durch die Annahme, dass nur ein sehr geringer Wasseraustausch (Durchlässigkeit: $1e^{-12}$ m/s) zwischen dem südlichsten Teil der Flexurzone und dem Muschelkalkaquifer erfolgt, konnte erreicht werden, dass der Pegel am südlichen Modellrand (21J1 und 21J95) sowie im Bereich der Deponie Feldreben (21P3, 21P36 und 21P37) ziemlich gut mit den gemessenen Daten übereinstimmt. Die starken Pegelschwankungen sind im Modell kleiner, da die Pumpraten der Florinbrunnen nur als Monatsmittelwerte zur Verfügung stehen. Die Messstelle bei der Deponie Margelacker (21P42) zeigt eine grosse Abweichung zwischen den gemessenen und berechneten Messwerten (ca. 3 m). Möglicherweise ist in diesem Bereich die Geologie der Horst- und Grabenstrukturen, welche

die strukurelle Lage des Muschelkalkaquifers bestimmt, komplexer als durch die bisherigen Bohrungen erkundet werden konnte. Die Messstellen bei der Deponie Rothausstrasse können mit dem Modell gut abgebildet werden (siehe Beilage Abbildungen 44 bis 59).

5 Modellszenarien

5.1 Definition der Szenarien

Das Grundwasserfliessregime im Bereich der Hardwasser AG und Muttenz ist hauptsächlich durch den Betrieb der künstlichen Anreicherung sowie der Grundwasserförderung bei Hardwasser, Schweizerhalle, Florin und die Entnahmen der Gemeinde Muttenz beeinflusst. Hydrologische Randbedingungen wie Rheinpegel, Grundwasserneubildung und seitliche Randflüsse spielen eine sehr untergeordnete Rolle. Daher werden bei der Berechnung der Zustrombereiche unterschiedliche betriebliche Bedingungen bei gleichbleibenden mittleren hydrologischen Randbedingungen betrachtet.
Drei reale Zustände werden definiert. Zustand 1 zeigt mittlere betriebliche Bedingungen bei der Anreicherung wie auch bei der Nutzung. Der berechnete Grundwasserspiegel in den beiden Stockwerken Quartär und Layer 3 entspricht einen Mittelwasserzustand (Abbildungen 58 und 59). Layer 3 ist weitgehend identisch mit dem Muschelkalkaquifer, mit Ausnahme innerhalb der Grabenstrukturen und der Flexurzone.
Da die Anreicherung auf die Nutzung abgestimmt wird, wurden die beiden weiteren Zustände 2 und 3 so definiert, dass bei maximaler Nutzung auch maximale Anreicherungsraten angenommen werden, bei minimaler Nutzung werden minimale Anreicherungsraten verwendet (siehe Tab. 1). Datengrundlage bilden die durchschnittlichen, maximalen und minimalen täglichen Pumpraten und Anreicherungsmengen von Mai 2008 bis April 2009
Neben den drei realen Zuständen werden vier Extremsituationen (Szenario 1 bis 4, Tab. 2) definiert, die zu allfälligen Gefährdungen des Grundwasserdargebots führen können. So soll abgeschätzt werden, welche betriebliche Bedingungen erfüllt werden müssen damit sich das Grundwasserfliessregime so verändern würde, dass der Abstrom der Deponien von Muttenz die Trinkwasserbrunnen von der Hardwasser AG sowie der Gemeinde Muttenz gefährden könnte.

Reale Situationen

Tabelle 1: Reale Zustände mit mittleren, kleinen und grossen Pump- und Anreichungsraten

		Pumpbetrieb					
	Anreicherung [m3/d]	Hardwasser [m3/d]	Florin [m3/d]	Schweizerhalle [m3/d]		Muttenz [m3/d]	
				Clariant	Novartis	o. Hard	Auweg
Zustand 1: mittlere Raten	85‘000	-40’000	-5’000	-20’000	-26’000	-2’700	-4’500
Zustand 2: kleine Raten	85‘000 während **5d 0**	-30’000	-3’500	-5’000	-900	-1’200	-2’700
Zustand 3: grosse Raten	140‘000	-85‘000	-6’000	-33’000	-36’000	-4’200	-6’700

Extremsituationen

Tabelle 2: Extremsituationen

		Pumpbetrieb					
	Anreicherung [m3/d]	Hardwasser [m3/d]	Florin [m3/d]	Schweizerhalle [m3/d]		Muttenz [m3/d]	
				Clariant	Novartis	o. Hard	Auweg
Szenario 1: Ohne Anreicherung ohne industrielle GW-Nutzung	0	-40'000	0	0	0	-2'700	-4'500
Szenario 2: Ohne Anreicherung mit max. GW-Nutzung	0	-85'000	-6'000	-33'000	-36'000	-4'200	-6'700
Szenario 3: Mit Anreicherung ohne industrielle GW-Nutzung	85'000	-40'000	0	0	0	-2'700	-4'500
Szenario 4: Mit Anreicherung mit industrieller GW-Nutzung ohne Florin Brunnen	85'000	-40'000	0	-20'000	-26'000	-2'700	-4'500

Folgende Fragen sollen mit Hilfe des Modells beantwortet werden:

- Mögliche Ursachen von unterschiedlichen Belastungen im Pumpwerk Auweg, welche mit unterschiedlichen Anteilen an Schottergrundwasser und Muschelkalkgrundwasser zusammenhängen.
- Wie werden die Pumpwerke Auweg und Obere Hard vom Betrieb der Anreicherung beeinflusst?
- Zustrom der westlichen Hardwasserbrunnen aus dem Birstal oder Flexurzone.
- Westlich-Nordwestlicher Abstrom der Deponie Feldreben: welche Bedingungen müssen erfüllt werden, dass es zu diesem Abstrom kommt?
- Wie hoch müssten minimale Pumpraten in Schweizerhalle nach einem Wegzug der Chemischen Industrie als Sicherung aufrecht erhalten bleiben, damit die Sicherung des Hardgrundwassers im heutigen Rahmen weiterhin garantiert werden kann?

In den folgenden Abbildungen werden die Resultate der Simulationen dargestellt und die entsprechenden Zustrombereiche zu den Trinkwasserbrunnen der Hardwasser AG und von Muttenz, sowie die Abstrombereiche erläutert. Die spezifischen Fragen werden anschliessend mit Hilfe der dargestellten 3 Zustände und 4 Szenarien diskutiert.

5.2 Resultate

Reale und Extrem-Situationen

Für die Berechnung der realen und extremen Situationen wurden die in Tabelle 1, bzw. Tabelle 2 angegebenen Zustände verwendet. Während drei Monaten (1.12.08 bis 28.02.09) wurden für die Anreicherung und die Grundwassernutzung im Gebiet Muttenz und Schweizerhalle konstante Werte ins Modell eingegeben. Die Zuströme der Brunnen und Abströme der Deponien wurden

jeweils während diesen drei Monaten berechnet. Beim Abstrom wurden die Partikel im Bereich der Deponien am 1.12.08 eingegeben und drei Monate vorwärts bis zum 28.02.09 gerechnet. Da die Fliessgeschwindigkeiten im Abstrom der Deponien zum Teil sehr gering sind, wurde bei Szenario 1 der Abstrom zusätzlich für insgesamt 15 Monate bei konstanten Randbedingungen berechnet. Beim Zustrom der Brunnen wurde ab dem 28.02.09 für drei Monate rückwärts gerechnet.
Für die Berechnung von Zustand 2 der realen Situationen wurde die Anreicherung vom 07.01.09 bis und mit 11.01.09 ausser Betrieb genommen.

Zustand 1: mittlere Pumpraten

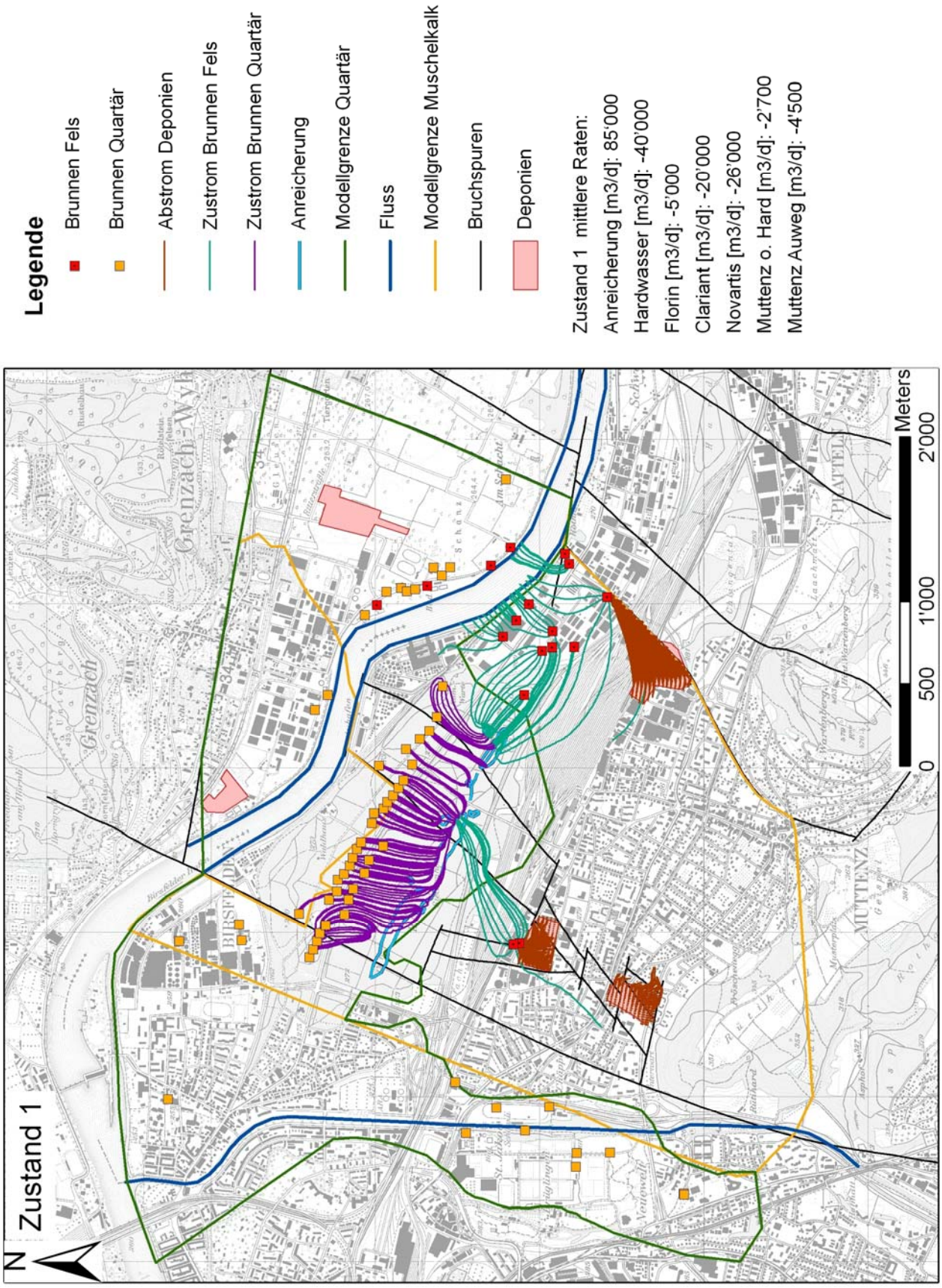


Abbildung 14: Zustrom der Brunnen und Abstrom der Deponien im Gebiet Muttenz, berechnet für den konstanten Zustand 1 während 3 Monaten.

Resultate Zustand 1:

Zustrom zu den Brunnen im Quartär

Hardwasser

- alle Brunnen beziehen ihr Wasser von der künstlichen Anreicherung

Muttenz

- das PW Auweg bezieht sein Wasser von der künstlichen Anreicherung.

Zustrom zu den Brunnen im Felsaquifer

- Florin: beziehen ihr Wasser von der künstlichen Anreicherung sowie aus dem Süden
- Novartis: Rheinnahe Brunnen beziehen Wasser aus dem Rhein, 21E15 bezieht einen Teil des Wassers aus dem Gebiet der Deponie Rothausstrasse, einen Teil von der künstlichen Anreicherung sowie einen weiteren Teil aus dem Rhein
- Clariant: Die rheinnahen Brunnen beziehen ihr Wasser aus dem Rhein, die anderen aus der künstlichen Anreicherung.
- Muttenz: das PW Obere Hard bezieht sein Wasser von der künstlichen Anreicherung.

Abstrom von den Deponien

- Feldreben: zu den Florin Brunnen
- Rothausstrasse: zum Novartisbrunnen 21E15
- Margelacker: nur sehr langsamer Abstrom in Richtung Schweizerhalle.

Zustand 2: kleine Pumpraten, fünf Tage ohne Anreicherung

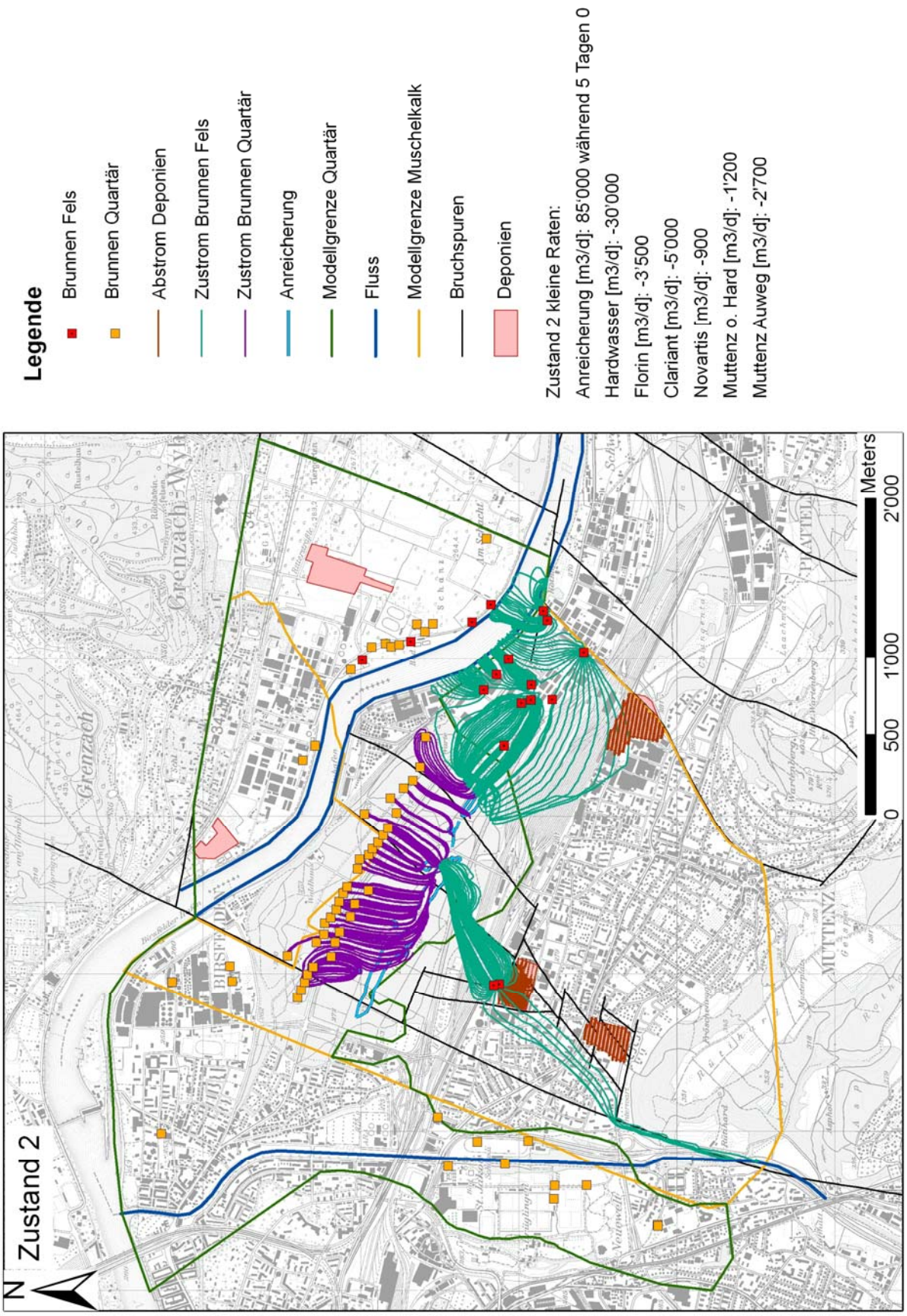


Abbildung 15: Zustrom der Brunnen und Abstrom der Deponien im Gebiet Muttenz, berechnet für den konstanten Zustand 2 während 3 Monaten. Nach einem Monat wurde die Versickerungsanlage für 5 Tage ausser Betrieb genommen.

Resultate Zustand 2:

Zustrom zu den Brunnen im Quartär

Hardwasser

- alle Brunnen beziehen ihr Wasser von der künstlichen Anreicherung

Muttenz

- das PW Auweg bezieht sein Wasser von der künstlichen Anreicherung.

Zustrom zu den Brunnen im Felsaquifer

- Florin: beziehen ihr Wasser von der künstlichen Anreicherung sowie aus dem Süden
- Novartis: Rheinnahe Brunnen beziehen Wasser aus dem Rhein, 21E15 bezieht einen Teil des Wassers aus dem Gebiet der Deponie Rothausstrasse, einen Teil von der künstlichen Anreicherung sowie einen weiteren Teil aus dem Rhein
- Clariant: Die rheinnahen Brunnen beziehen ihr Wasser aus dem Rhein, die anderen aus der künstlichen Anreicherung.
- Muttenz: das PW Obere Hard bezieht sein Wasser von der künstlichen Anreicherung.

Abstrom von den Deponien

- Feldreben: zu den Florin Brunnen
- Rothausstrasse: nur sehr langsamer Abstrom, während 3 Monaten fast kein Abstrom in Richtung 21E15 zu erkennen
- Margelacker nur sehr langsamer Abstrom, während 3 Monaten fast kein Abstrom in Richtung Schweizerhalle zu erkennen.

Zustand 3: grosse Pumpraten

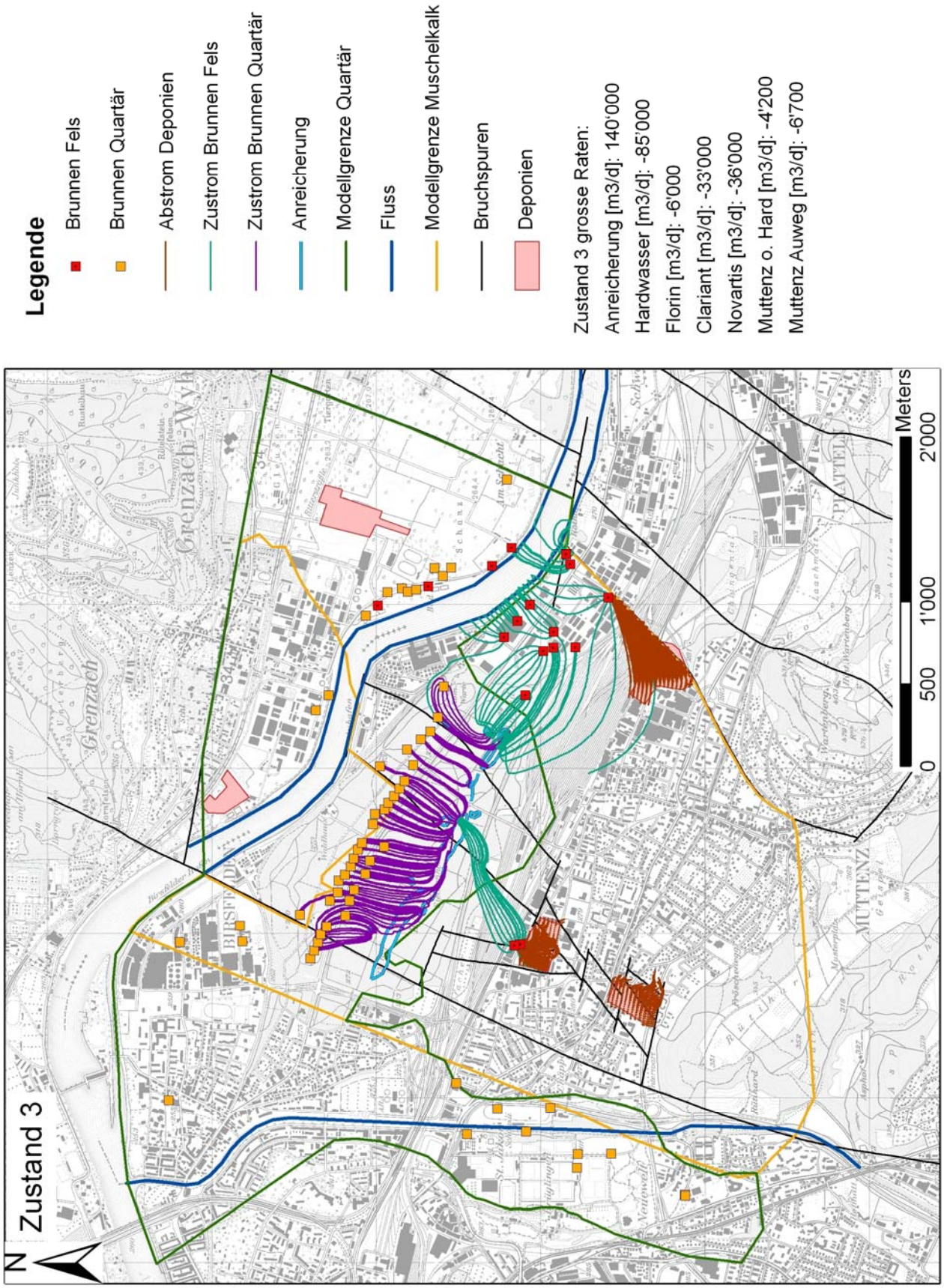


Abbildung 16: Zustrom der Brunnen und Abstrom der Deponien im Gebiet Muttenz, berechnet für den konstanten Zustand 3 während 3 Monaten.

Resultate Zustand 3:

Zustrom zu den Brunnen im Quartär

Hardwasser

- alle Brunnen beziehen ihr Wasser von der künstlichen Anreicherung

Muttenz

- das PW Auweg bezieht sein Wasser von der künstlichen Anreicherung.

Zustrom zu den Brunnen im Felsaquifer

- Florin: beziehen ihr Wasser nur von der künstlichen Anreicherung
- Novartis: rheinnahe Brunnen beziehen Wasser aus dem Rhein, 21E15 bezieht einen Teil des Wassers aus dem Gebiet der Deponie Rothausstrasse, einen Teil von der künstlichen Anreicherung, sowie einen weiteren Teil aus dem Rhein
- Clariant: die rheinnahen Brunnen beziehen ihr Wasser aus dem Rhein, die anderen aus der künstlichen Anreicherung
- Muttenz: das Pumpwerk Obere Hard bezieht sein Wasser von der künstlichen Anreicherung.

Abstrom von den Deponien

- Feldreben: zu den Florin Brunnen
- Rothausstrasse: zum Novartisbrunnen 21E15
- Margelacker: nur sehr langsamer Abstrom Richtung Schweizerhalle, d.h. während 3 Monaten fast kein Abstrom zu erkennen.

Szenario 1: Ohne Anreicherung ohne industrielle GW-Nutzung

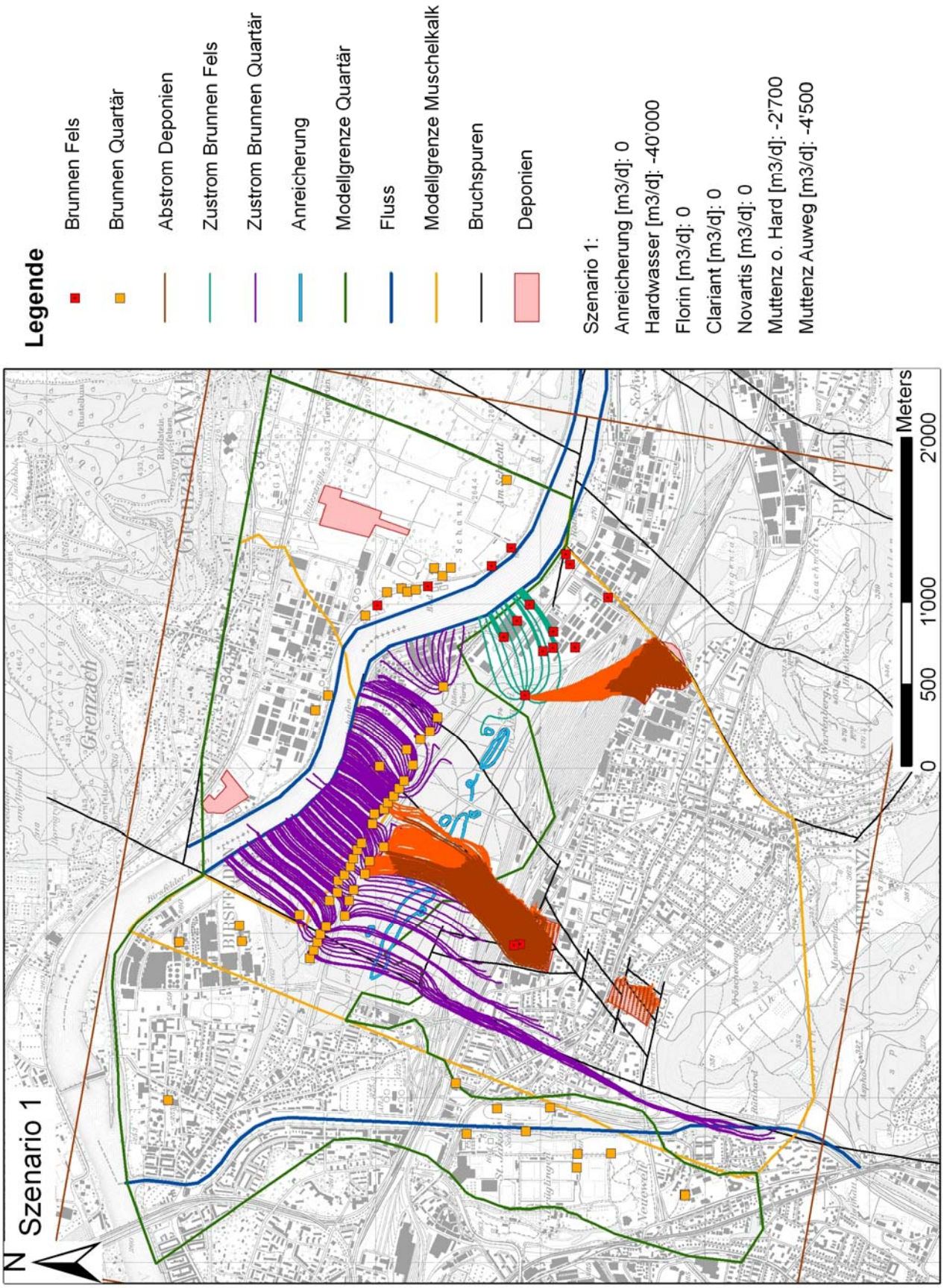


Abbildung 17: Zustrom der Brunnen und Abstrom der Deponien im Gebiet Muttenz, berechnet für die konstanten Bedingungen von Szenario 1 während 3 Monaten, bzw. 15 Monaten für Abstrom Deponien (hellorange).

Resultate Szenario 1:

Zustrom zu den Brunnen im Quartär

Hardwasser

- die westlich gelegenen Brunnen beziehen ihr Wasser aus der Flexurzone
- die Brunnen nördlich der Rheinstrasse beziehen ihr Wasser aus dem Rhein
- die Brunnen südlich der Rheinstrasse aus dem südlich gelegenen Muschelkalkaquifer und dem Rhein.

Muttenz

- das PW Auweg bezieht sein Wasser aus dem Rhein.

Zustrom zu den Brunnen im Felsaquifer

Muttenz: das PW Obere Hard bezieht sein Wasser aus dem Rhein.

Abstrom von den Deponien

- Feldreben: zu den Hardwasserbrunnen 21A30, 21A31 und 21A32
- Rothausstrasse: während 3 Monaten fast kein Abstrom zu erkennen, nach 15 Monaten Abstrom Richtung Norden zum PW Obere Hard.
- Margelacker: nur sehr langsamer Abstrom Richtung PW Obere Hard, während 3 und 15 Monaten fast kein Abstrom zu erkennen.

Szenario 2: Ohne Anreicherung mit maximaler GW-Nutzung

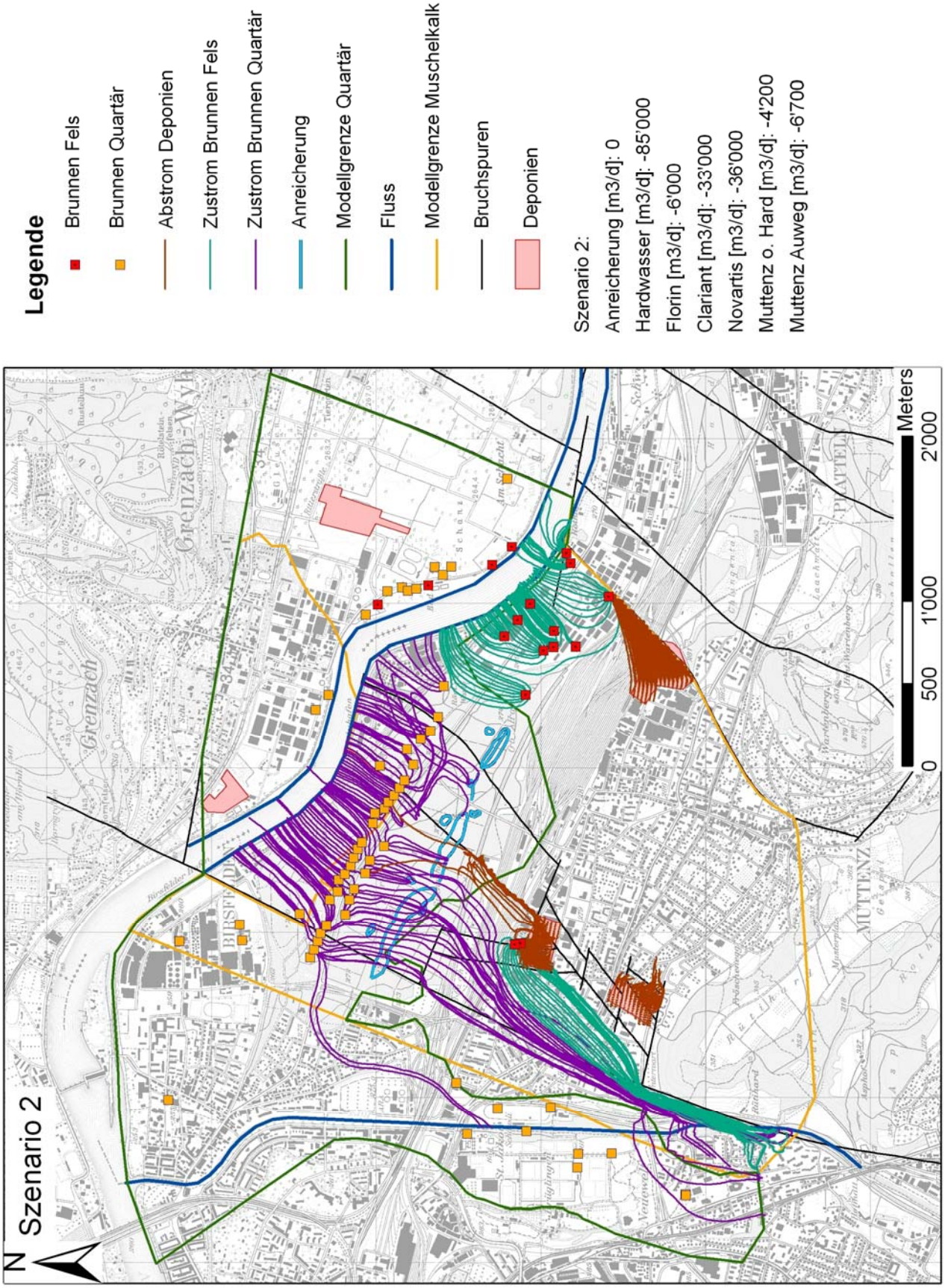


Abbildung 18: Zustrom der Brunnen und Abstrom der Deponien im Gebiet Muttenz, berechnet für die konstanten Bedingungen von Szenario 2 während 3 Monaten.

Resultate Szenario 2:

Zustrom zu den Brunnen im Quartär

Hardwasser

- die westlich gelegenen Brunnen beziehen ihr Wasser aus dem Birstal.
- die Brunnen nördlich der Rheinstrasse beziehen ihr Wasser aus dem Rhein, bzw.
- die Brunnen südlich der Rheinstrasse aus dem südlich gelegenen Muschelkalkaquifer und dem Rhein.

Muttenz

- das PW Auweg bezieht sein Wasser aus dem Rhein.

Zustrom zu den Brunnen im Felsaquifer

- Florin: beziehen ihr Wasser nur aus dem südlichen Muschelkalk, bzw. der Flexurzone zur Birs hin
- Novartis: alle Brunnen beziehen Wasser aus dem Rhein
- Clariant: alle Brunnen beziehen ihr Wasser aus dem Rhein
- Muttenz: das PW Obere Hard bezieht sein Wasser aus dem Rhein.

Abstrom von den Deponien

- Feldreben: zu den Florin Brunnen, ein kleiner Teil zu den mittleren Hardwasserbrunnen
- Rothausstrasse: Abstrom zum Brunnen 21E15
- Margelacker: nur sehr langsamer Abstrom, während 3 Monaten fast kein Abstrom Richtung Schweizerhalle zu erkennen.

Szenario 3: Mit Anreicherung ohne industrieller GW-Nutzung

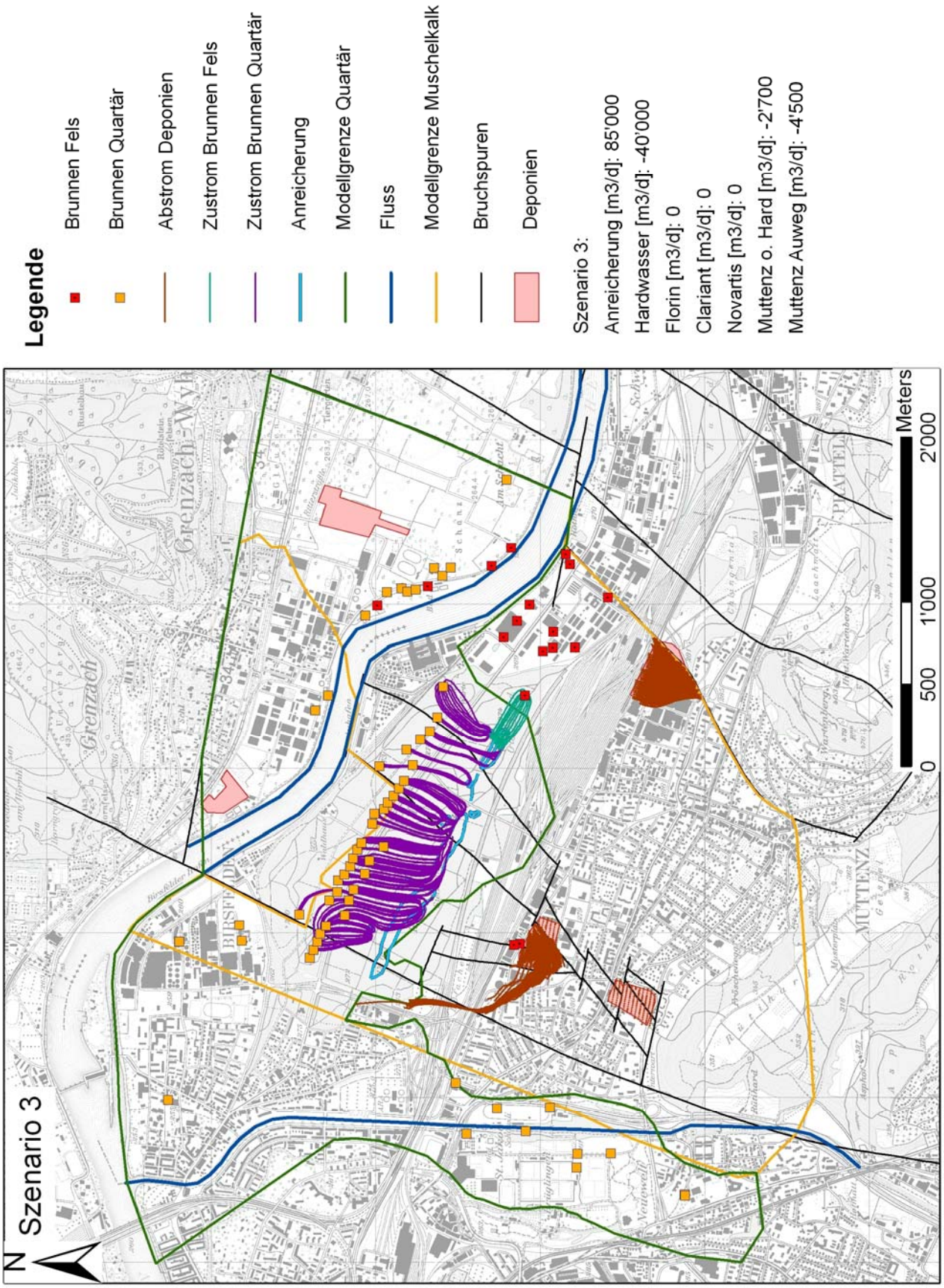


Abbildung 19: Zustrom der Brunnen und Abstrom der Deponien im Gebiet Muttenz, berechnet für die konstanten Bedingungen von Szenario 3 während 3 Monaten.

Resultate Szenario 3:

Zustrom zu den Brunnen im Quartär

Hardwasser

- die Brunnen beziehen hier Wasser von der künstlichen Anreicherung

Muttenz

- das PW Auweg bezieht sein Wasser von der künstlichen Anreicherung.

Zustrom zu den Brunnen im Felsaquifer

- Muttenz: das PW Obere Hard bezieht sein Wasser von der künstlichen Anreicherung.

Abstrom von den Deponien

- Feldreben: zu den Florin Brunnen, westlicher Abstrom über die Flexurzone nach Birsfelden bis zum Rhein
- Rothausstrasse: Abstrom zum Brunnen 21E15
- Margelacker: nur sehr langsamer Abstrom, während 3 Monaten fast kein Abstrom in Richtung Schweizerhalle zu erkennen.

Szenario 4: Mit mittlerer Anreicherung und mittleren Pumpraten, ohne Pumpbetrieb Florin Brunnen

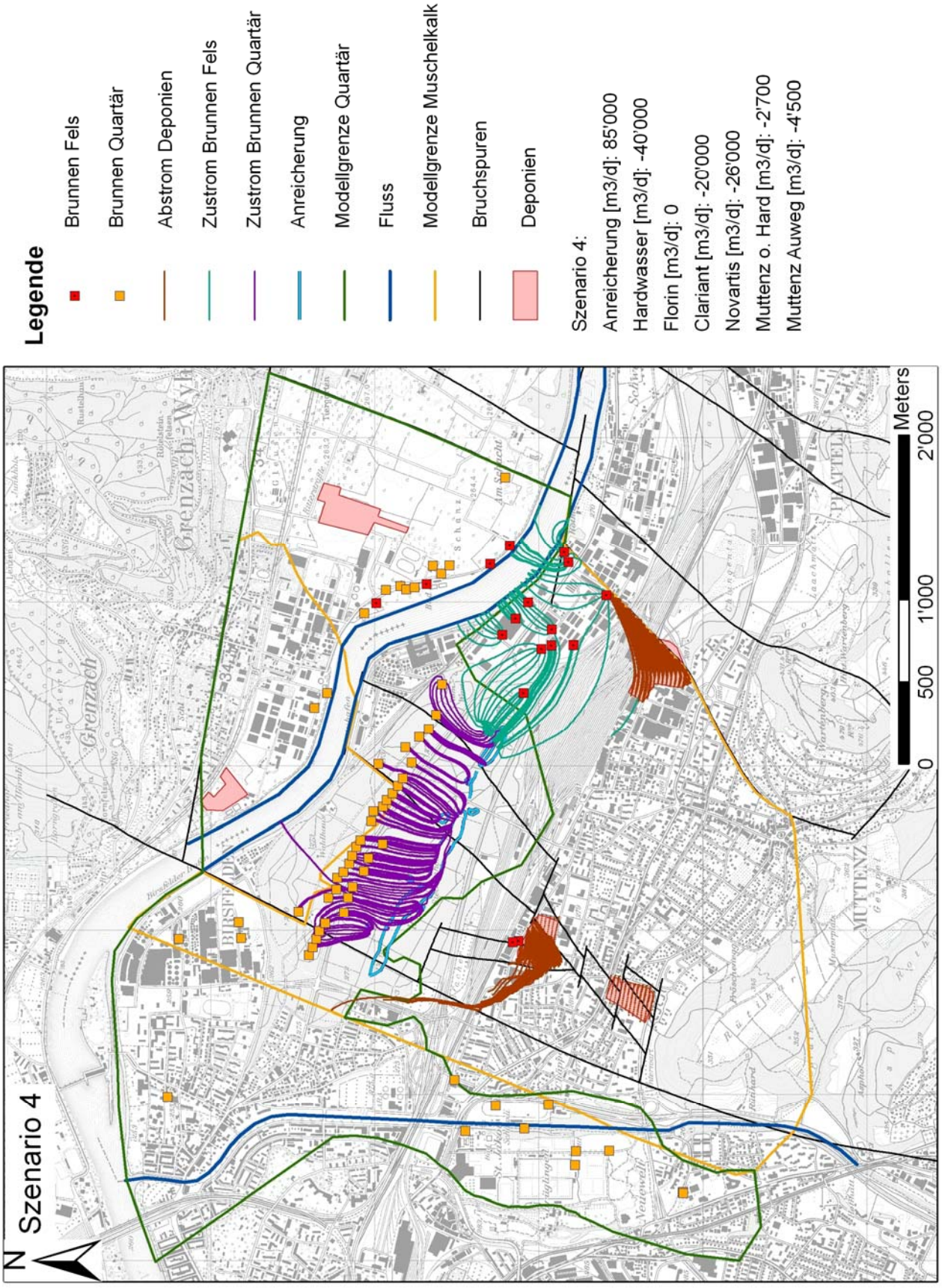


Abbildung 20: Zustrom der Brunnen und Abstrom der Deponien im Gebiet Muttenz, berechnet für die konstanten Bedingungen von Szenario 4 während 3 Monaten.

Resultate Szenario 4:

Zustrom zu den Brunnen im Quartär

Hardwasser

- die Brunnen beziehen hier Wasser von der künstlichen Anreicherung

Muttenz

- das PW Auweg bezieht sein Wasser von der künstlichen Anreicherung.

Zustrom zu den Brunnen im Felsaquifer

- Novartis: Rhein nahe Brunnen beziehen Wasser aus dem Rhein, 21E15 bezieht ein Teil des Wassers aus dem Gebiet der Deponie Rothausstrasse, ein Teil von der künstlichen Anreicherung sowie ein weitere Teil aus dem Rhein
- Clariant: Die Rhein nahen Brunnen beziehen ihr Wasser aus dem Rhein, die anderen aus der künstlichen Anreicherung
- Muttenz: Das PW bezieht sein Wasser von der künstlichen Anreicherung.

Abstrom von den Deponien

- Feldreben: Zu den Florin Brunnen, westlicher Abstrom über die Flexurzone nach Birsfelden bis zum Rhein
- Rothausstrasse: Abstrom zum Brunnen 21E15
- Margelacker: nur sehr langsamer Abstrom, während 3 Monaten fast kein Abstrom Richtung Schweizerhalle zu erkennen.

Beantwortung spezifischer Fragen

Anteile an Schottergrundwasser und Muschelkalkgrundwasser im Pumpwerk Auweg
Das Pumpwerk Auweg bezieht zu etwa 80% Schottergrundwasser und zu etwa 20% Muschelkalkgrundwasser. Diese Anteile sind auch bei den verschiedenen berechneten Zuständen und Szenarien ziemlich konstant. Das Pumpwerk Obere Hard bezieht nur Muschelkalkgrundwasser.

Einfluss der Anreicherung auf die Pumpwerke Auweg und Obere Hard (Berechnung von Zustrombereichen und Wasserbilanzen)
Da die Zustrombereiche sich durch den instationären Betrieb der Entnahmen und Anreicherungen, aber vor allem durch die in den unterschiedlichen Betriebzuständen definierten Randbedingungen ändern, konnten keine festen räumlichen Areale zur Vergleichbarkeit der Wasserbilanzen ausgeschieden werden. Folgende Aussagen können aber durch die Darstellung der Zustrombereiche getroffen werden (Abbildungen 14 bis 20):

1. In allen simulierten Betriebszuständen 1, 2 und 3, sowie in Szenario 3 und 4 beziehen beide PW Auweg und Obere Hard ihr Grundwasser aus der Anreicherung.
2. In Szenario 1 (Entnahme Hardwasser, keine Anreicherung, keine Entnahme Schweizerhalle) bezieht das PW Auweg Rheinwasser, wobei der Zustrombereich über den Muttenzer Auhafen geht. Das PW Obere Hard bezieht vor allem Rheinwasser, welches anschliessend unter dem belasteten Clariant Gelände Schweizerhalle hindurchströmt. Bei einer solchen Durchströmung ist die Wasserqualität aller Wahrscheinlichkeit nach von den noch vorhandenen Belastungen im Untergrund beeinflusst. Ein weiterer Anteil kommt von Süden aus dem Muschelkalkaquifer, u.a. im Einzugsgebiet von den Deponien Rothausstrasse und Margelacker.
3. In Szenario 2 (erhöhte Entnahme Hardwasser, keine Anreicherung, Entnahme Schweizerhalle) bezieht das PW Auweg ebenfalls Rheinwasser mit dem Zustrombereich über den Muttenzer Auhafen. Das PW Obere Hard bezieht nun ebenfalls fast ausschliesslich Rheinwasser über das Clariant Gelände Schweizehalle, da durch die „Konkurrenz“ der Schweizerhalle Brunnen der Zuströmbereich deutlich schmaler wird.

Zustrom der westlichen Hardwasserbrunnen aus dem Birstal oder Flexurzone
Eine Verbindung zwischen westlichen Hardwasserbrunnen und dem Birstal, bzw. der Flexuzone kann nur in den Szenarien ohne Anreicherung (entspricht 3-monatigem Unterbruch) aufgezeigt werden, d.h. in den Szenarien 1 und 2 (Abbildungen 17 und 18).

Welche Bedingungen müssen erfüllt werden, dass es zu einem westlich-nordwestlichen Abstrom der Deponie Feldreben kommt?
Ein westlich-nordwestlicher Abstrom der Deponie Feldreben in das Birstal kann in den Szenarien 3 und 4 beobachtet werden (Abbildungen 19 und 20). Einzige Voraussetzung ist ein längerer Unterbruch der Entnahme im Florin-Brunnen. Es ist davon auszugehen, dass auch nach kürzeren Unterbrüchen von einigen Tagen bis Wochen Teile des Abstroms Richtung Nordwesten abfliessen könnten.

Wie hoch müssten minimale Pumpraten in Schweizerhalle nach einem Wegzug der Chemischen Industrie als Sicherung aufrecht erhalten bleiben, damit die Sicherung des Hardgrundwassers im

heutigen Rahmen weiterhin garantiert werden kann?
Im Rahmen der simulierten Betriebszustände und Szenarien ist das Hardgrundwasser geschützt, unabhängig von den Entnahmen Schweizerhalle (siehe insbesondere Szenario 3; Abbildung 19). Dies gilt solange der Anreicherungsbetrieb im dargestellten Rahmen verläuft, d.h. maximal 5 Tage unterbrochen wird wie in Zustand 2 (Abbildung 15).

6 Schlussfolgerungen

Mit einem instationären 3D Grundwassermodell konnten konkrete Fragestellungen zur potentiellen hydraulischen Gefährdung der Trinkwasserbrunnen von Muttenz und der Hardwasser AG durch die Deponien Feldreben, Margelacker und Rothausstrasse beantwortet werden. Die mit einer instationären Kalibrierung bestimmte Parameterverteilung des Modells wurde für die Simulationen von verschiedenen Betriebszuständen sowie Szenarien verwendet. Dabei wurden die Zuströmbereiche unter den resultierenden verschiedenen Grundwasserfliess-regimes zu den Trinkwasserbrunnen von Muttenz und der Hardwasser AG, sowie der Abstrom aus den Deponien Feldreben, Margelacker und Rothausstrasse dargestellt.

Die Darstellungen lassen folgende Schlüsse zu:

1. In allen simulierten 3 Betriebszuständen, welche aktuell realistische hydraulische Randbedingungen voraussetzen, erfolgt weder eine Gefährdung der Trinkwasserbrunnen von der Hardwasser AG, noch von der Gemeinde Muttenz.
2. In den Szenarien, welche *die Anreicherung der Hardwasser AG für 3 Monate unterbrechen*, entstehen Gefährdungen der Trinkwasserversorgung: (a) durch den Abstrom aus der Deponie Feldreben, welcher in Trinkwasserbrunnen im mittleren Teil der Hardwasser endet; (b) wenn die Brunnen Schweizerhalle ebenfalls ausser Betrieb sind, kann zusätzlich ein Abstrom aus den Deponien Rothausstrasse und untergeordnet Margelacker zum Muttenzer Pumpwerk Obere Hard gelangen, dazu dehnt sich der Zustrombereich der PW Auweg und Obere Hard auf die Areale des Muttenzer Auhafens, bzw. der Clariant aus; (c) auch mit den Entnahmen Schweizerhalle erstreckt sich der Zustrombereich der PW Auweg und Obere Hard auf die Areale des Muttenzer Auhafens, bzw. der Clariant aus.
3. Die Ausserbetriebnahme der Grundwasserförderung in Schweizerhalle hat keinen Einfluss auf die Zuströmbereiche der Trinkwasserbrunnen der Hardwasser AG und der Gemeinde Muttenz solange die Grundwasseranreichung aufrecht erhalten wird (Szenario 3).
4. Ein westlich-nordwestlicher Abstrom der Deponie Feldreben in das Birstal ist bei normalen Betriebszuständen und beim aktuellen Kenntnisstand des Untergrundes nicht nachzuweisen. Hingegen kann ein 3-monatiger Unterbruch der Wasserentnahmen im Florin-Brunnen, wie in den Szenarien 3 und 4 angenommen wurde, zu einer Abstromkomponente in Richtung Birstal führen. Es ist aber anzunehmen, dass auch ein kürzerer Unterbruch der Florinbrunnen-Entnahme als 3 Monate zu einem WNW Abstrom führen kann. Dieser Abstrom fliesst mit rund 400m Abstand westlich der westlichsten Brunnen der Hardwasser AG ab. In den Szenarien 1 und 2, welche die Anreichung Hardwasser für 3 Monate unterbrechen, schneidet der Zustrombereich der westlichen Brunnen das Gebiet des Abstroms der Deponie Feldreben bei den Szenarien 3 und 4. Die simulierten Szenarien zeigen demzufolge

deutlich die Bedeutung eines geregelten Betriebs der Florinbrunnen sowie der Anreicherung Hardwasser für die Trinkwassernutzung.

Die Simulationen der vereinbarten Betriebszustände legen den Schluss nahe, dass bei Betrieb der Grundwasseranreicherung und der Entnahmen im heutigen Massstab nach dem heutigen Kenntnisstand keine Gefährdung des Trinkwassers besteht. Es gilt aber zu bedenken, dass die dargestellten Modelle einem zwar ermöglichen, zu zeigen wie sich Änderungen der Grundwasserentnahmen bzw. -Anreicherung auf das Grundwasserfliessfeld auswirken, aber keine ganz exakten Angaben über Ausbreitung der Stoffe liefern.

Die simulierten Szenarien weisen darauf hin, dass Änderungen der hydraulischen Randbedingungen wie längere Unterbrüche in der Grundwasser-Anreicherung oder der -Entnahme in den Florinbrunnen zu Richtungsänderungen des Abstroms führen. Im Zusammenspiel mit Transportprozessen, welche in den dargestellten Modellen nicht berücksichtigt werden konnten, kann sich dabei ein Anteil der Substanzen in einem noch unbelasteten Bereich des Aquifers durch Adsorption auch nach einer Rückkehr auf die angestrebten hydraulischen Randbedingungen „halten“, um dann bei späteren Wechseln der Hydraulik wieder in Lösung zu gehen und schrittweise weiter verfrachtet zu werden. Diese Prozesse führen zwar zu einer starken Verdünnung, können aber trotzdem Spurenbelastungen hinterlassen.

Um derartige Ausbreitungsprozesse zu verhindern, ist ein regelmässiger Betrieb der Florin-Brunnen sowie eine konstante Anreicherung der Hardwasser AG von grösster Bedeutung. Für die Hardwasser AG ist neben einem zeitlich möglichst konstanten auch ein räumlich gleichmässiger Betrieb der Anreichung auf der gesamten Länge des Bewässerungssystems wie bisher anzustreben. Für den Pumpbetrieb der Florinbrunnen wäre hingegen die umgehende Installierung einer zeitgemässen digitalen Aufzeichnung des Pumpbetriebs der Florin erforderlich. Es wird zudem empfohlen, den Industrie-Brunnen 21E15 in Schweizerhalle aufgrund des Zustroms aus allen drei Deponien Feldreben, Rothausstrasse und Margelacker zu überwachen.

Einen Einsatz, und damit auch eine Weiterentwicklung des vorliegenden Modells wäre z.B. in der Begleitung von Feldversuchen mit künstlichen oder natürlichen Tracern im Bereich der Deponie Feldreben, wie von Matousek, Baumann & Niggli AG (2009) empfohlen, zu sehen. Damit könnten Hinweise auf die Relevanz von bisher nicht berücksichtigten Transport-Prozessen wie Dispersion und Adsorption gewonnen werden, sowie naturgemäss vorhandenden Unsicherheiten zur Heterogenität des Grundwasserträgers begegnet werden.

Literatur

BGA-BL 126C, 2007. Unteres Birstal Abschnitt Münchenstein-Birsfelden, Technischer Bericht Instationäres Grundwassermodell.

BGA-BL 142, 2007. Subrosion als Ursache von Gebietssenkungen im Gebiet Muttenz - Pratteln: geologische, hydrogeologische, hydrochemische und Vermessungs - Grundlagen, Kanton Basel-Landschaft, Amt für Umweltschutz und Energie.

BGA Muttenz 173, 2006. Schlussbericht zu den Grundwassermodellen erstellt im Rahmen der Technischen Untersuchung Deponie Feldreben, Universität Basel.

BGA Muttenz 194, 2008. Grundwasserüberwachung Muttenz, Abflussmessungen der Grundwasseranreicherung im Hardwald, Amt für Umweltschutz und Energie Basel-Landschaft.

BGA Muttenz 197, 2009. Stationär kalibriertes Grundwassermodell Muttenz unteres Birstal, Berechnung geschichtlicher Szenarien zur Abschätzung der Schadstoffverteilung der Deponien in Muttenz, Kanton Basel-Landschaft, Amt für Umweltschutz und Energie.

Matousek, Baumann & Niggli AG, 2008. Hydrogeologische Verhältnisse im Gebiet der Trinkwassergewinnung Hardwald (Muttenz, Kt. BL). Kanton Basel-Landschaft, Bau- und Umweltschutzdirektion, Amt für Umweltschutz und Energie AUE.

Matousek, Baumann & Niggli AG 2009. Auswertung und Interpretation von neuen Grundwasserdaten im Raum Muttenz / Hardwald, Grundwasseranalysen März 2004-März 2009. Kanton Basel-Landschaft, Bau- und Umweltschutzdirektion, Amt für Umweltschutz und Energie AUE.

Harbaugh, A. W., 2005. MODFLOW-2005, The U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model—the Ground-Water Flow Process. U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6–A16.

Sieber Cassina und Partner AG, 2007. Deponie Feldreben Muttenz / BL, Altlastenvoruntersuchung, Technische Untersuchung, 2. Etappe. Einwohnergemeinde Muttenz / BL.

Spottke, I., Zechner, E., Huggenberger, P., 2005. The southeast border of the Upper Rhine graben: A 3D structural model of geology and its importance for groundwater flow. Int. Jour. Earth Sci., 94, 580–593.

Verzeichnisse

Abbildungen

Abbildung 1: Ausschnitt 3D Modell Blick von SW, nicht überhöht, Topographie und Basis Quartär (Fels) nicht dargestellt, D1 Deponie Feldreben, D2 Deponie Margelacker 4
Abbildung 2: Felsoberfläche (untere Begrenzung des quartären Aquifers) 5
Abbildung 3: Untere Begrenzung des Muschelkalkaquifers (Top Obere Sulfatzone) 5
Abbildung 4: Randbedingungen Schotteraquifer („Leakage“ in m/s, Randzu- oder Abfluss in m^3/s) 7
Abbildung 5: Randbedingungen Muschelkalkaquifer („Leakage“ in m/s, Randzu- oder Abfluss in m^3/s) 7
Abbildung 6: Grundwasserentnahmestellen im Modellgebiet. 8
Abbildung 7: Anreicherung Hardwasser AG mit Angabe der Anteile an der gesamten ins Grabensystem eingeleiteten Wassermenge. 9
Abbildung 8: Differenz zwischen gemessener und mittels P(egel)-Q(Abfluss)-Beziehung berechneter Gesamtanreichung der Hardwasser. 10
Abbildung 9: Einteilung der Aquiferzonen im Quartär mit Angabe der kalibrierten Kf-Werte. 11
Abbildung 10: Aufteilung der Aquiferzonen im Hauptmuschelkalk und der Flexurzone mit Angabe der kalibrierten Kf-Werte. 12
Abbildung 11: Grundwassermessstellen im Birstal. Die Pegel der beschrifteten und violett gekennzeichneten Messstellen werden im Anhang dargestellt. 14
Abbildung 12: Grundwassermessstellen im Bereich der Hardwasser AG. Die Pegel der beschrifteten und violett gekennzeichneten Messstellen werden im Anhang dargestellt. 15
Abbildung 13: Grundwassermessstellen im Muschelkalk. Die Pegel der beschrifteten und rot gekennzeichneten Messstellen werden im Anhang dargestellt. 16
Abbildung 14: Zustrom der Brunnen und Abstrom der Deponien im Gebiet Muttenz, berechnet für den konstanten Zustand 1 während 3 Monaten. 21
Abbildung 15: Zustrom der Brunnen und Abstrom der Deponien im Gebiet Muttenz, berechnet für den konstanten Zustand 2 während 3 Monaten. Nach einem Monat wurde die Versickerungsanlage für 5 Tage ausser Betrieb genommen. 23
Abbildung 16: Zustrom der Brunnen und Abstrom der Deponien im Gebiet Muttenz, berechnet für den konstanten Zustand 3 während 3 Monaten. 25
Abbildung 17: Zustrom der Brunnen und Abstrom der Deponien im Gebiet Muttenz, berechnet für die konstanten Bedingungen von Szenario 1 während 3 Monaten, bzw. 15 Monaten für Abstrom Deponien (hellorange). 27
Abbildung 18: Zustrom der Brunnen und Abstrom der Deponien im Gebiet Muttenz, berechnet für die konstanten Bedingungen von Szenario 2 während 3 Monaten. 29

Abbildung 19: Zustrom der Brunnen und Abstrom der Deponien im Gebiet Muttenz, berechnet für die konstanten Bedingungen von Szenario 3 während 3 Monaten.....31
Abbildung 20: Zustrom der Brunnen und Abstrom der Deponien im Gebiet Muttenz, berechnet für die konstanten Bedingungen von Szenario 4 während 3 Monaten.....33
Abbildung 21: Grundwassermessstellen im Schotteraquifer. Der Pegelverlauf der violett markierten Messstellen werden im Folgenden abgebildet.....42
Abbildung 22: Grundwassermessstellen im Birstal deren Pegelverlauf im Folgenden abgebildet wird. 43
Abbildung 23: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL20J93 43
Abbildung 24: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL20J96 44
Abbildung 25: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL20J88 44
Abbildung 26: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21R73.....45
Abbildung 27: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BS 749.....45
Abbildung 28: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL17N17.....46
Abbildung 29: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL17C8.....46
Abbildung 30: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21C71.....47
Abbildung 31: Grundwassermessstellen im Hardwald deren Pegelverlauf im Folgenden abgebildet wird.....47
Abbildung 32: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21C22.....48
Abbildung 33: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21C76.....48
Abbildung 34: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21C217.....49
Abbildung 35: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21C218.....49
Abbildung 36: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21K8.....50
Abbildung 37: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21C58.....50
Abbildung 38: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21C215.....51
Abbildung 39: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21C223.....51
Abbildung 40: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21C213.....52
Abbildung 41: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21C224.....52
Abbildung 42: Grundwassermessstellen im Muschelkalk. Der Pegelverlauf der rot markierten Messstellen wird im Folgenden abgebildet.....53
Abbildung 43: Grundwassermessstellen im Muschelkalk bei den Deponien Feldreben und Margelacker deren Pegelverlauf im Folgenden abgebildet wird. 53
Abbildung 44: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21C222.....54
Abbildung 45: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21C81.....54
Abbildung 46: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21C237.....55
Abbildung 47: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21J89 55
Abbildung 48: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21P36.....56
Abbildung 49: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21P37.....56

Abbildung 50: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21P3 57
Abbildung 51: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21P42 57
Abbildung 52: Grundwassermessstellen im Muschelkalk bei der Deponie Rothausstrasse deren Pegelverlauf im Folgenden abgebildet wird. 58
Abbildung 53: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21C225 58
Abbildung 54: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21J10 59
Abbildung 55: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21J4 59
Abbildung 56: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21P45 60
Abbildung 57 Grundwassermessstellen im Muschelkalk am südlichen Modellrand deren Pegelverlauf im Folgenden abgebildet wird. 60
Abbildung 58: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21J95 61
Abbildung 59: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21J1 61
Abbildung 60: Berechneter Grundwasserspiegel im Quartär aus Zustand 1 (siehe Kapitel 5). 62
Abbildung 61: Berechneter Grundwasserspiegel im Layer 3 (entspricht Muschelkalkaquifer) aus Zustand 1 (siehe Kapitel 5). 63

Tabellen

Tabelle 1: Reale Zustände mit mittleren, kleinen und grossen Pump- und Anreichungsraten 18
Tabelle 2: Extremsituationen 19

Beilagen

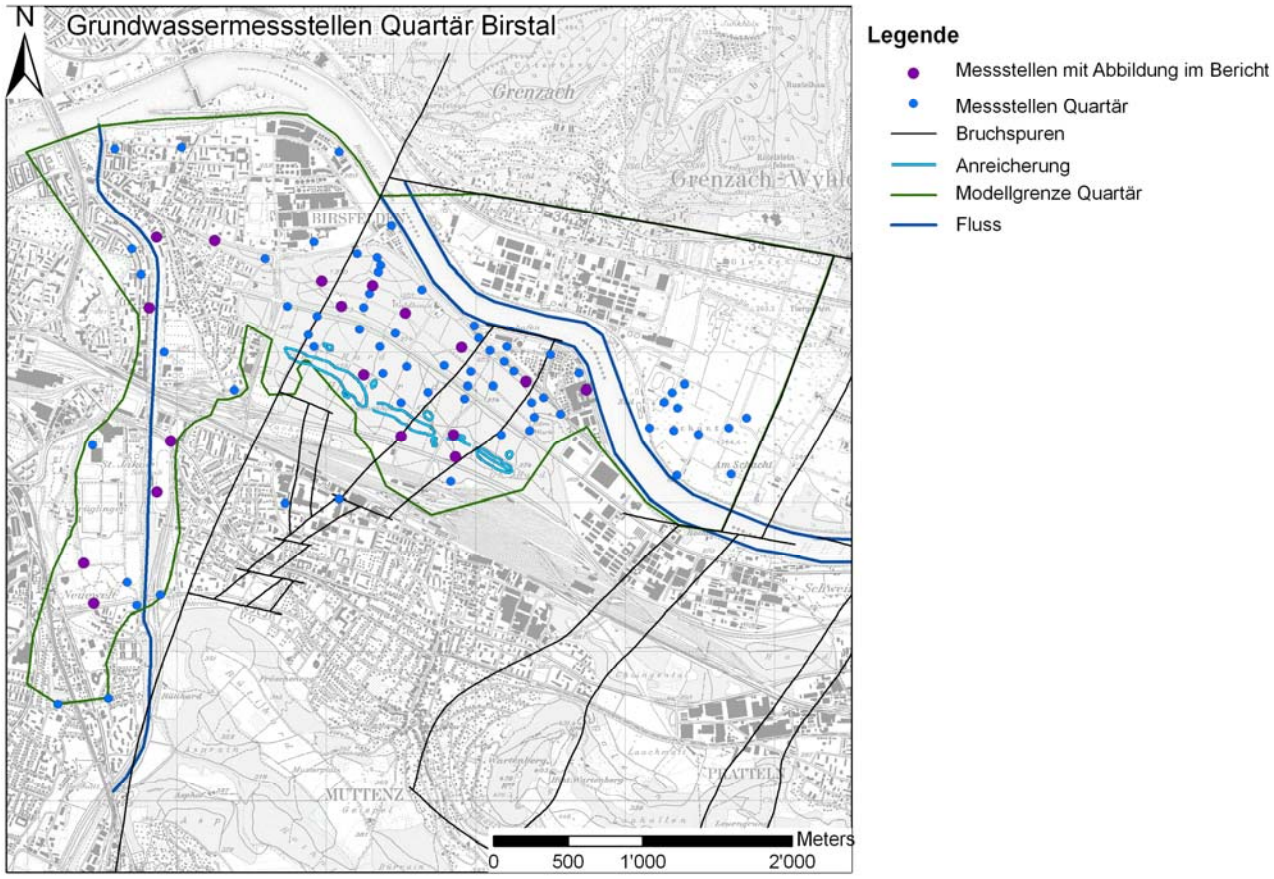


Abbildung 21: Grundwassermessstellen im Schotteraquifer. Der Pegelverlauf der violett markierten Messstellen werden im Folgenden abgebildet.

Birstal

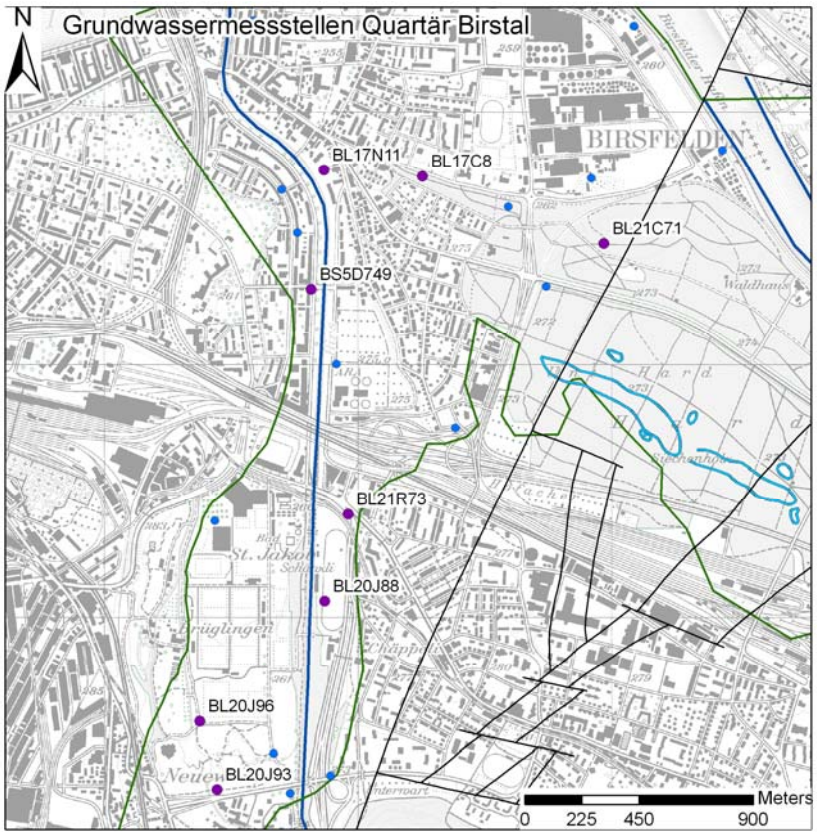


Abbildung 22: Grundwassermessstellen im Birstal deren Pegelverlauf im Folgenden abgebildet wird.

GWM 20J93

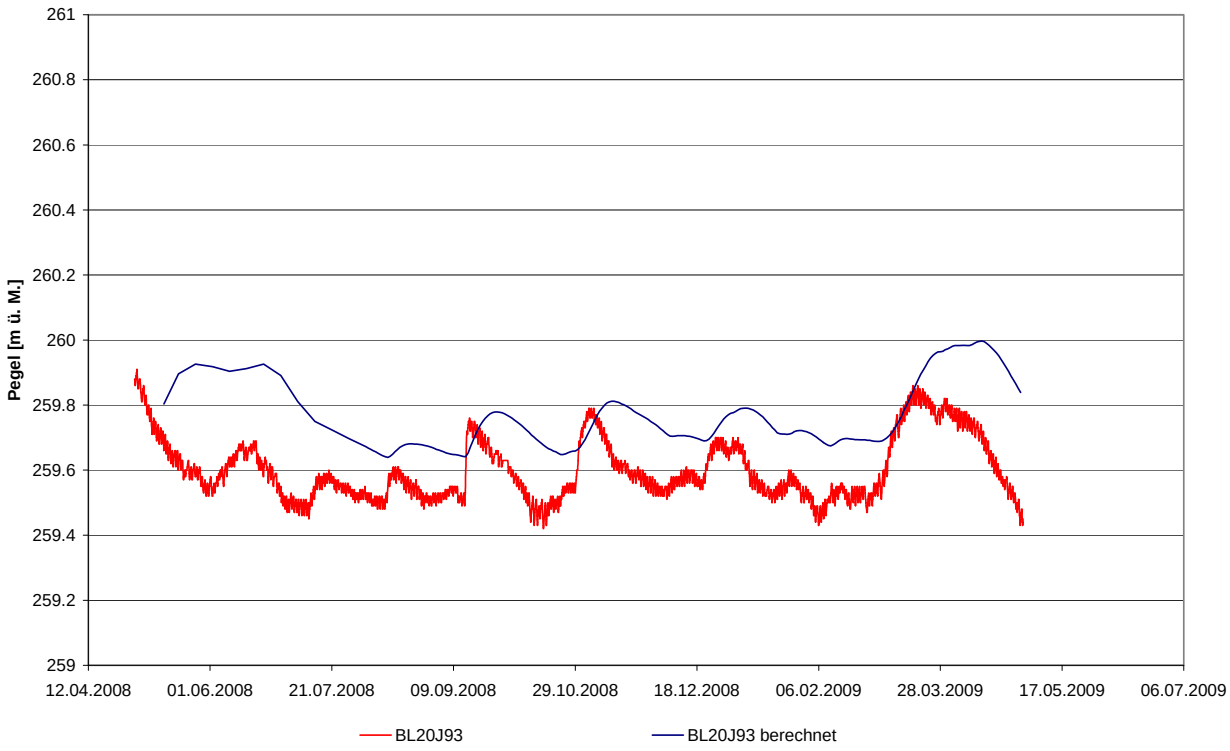


Abbildung 23: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL20J93

GWM 20J96

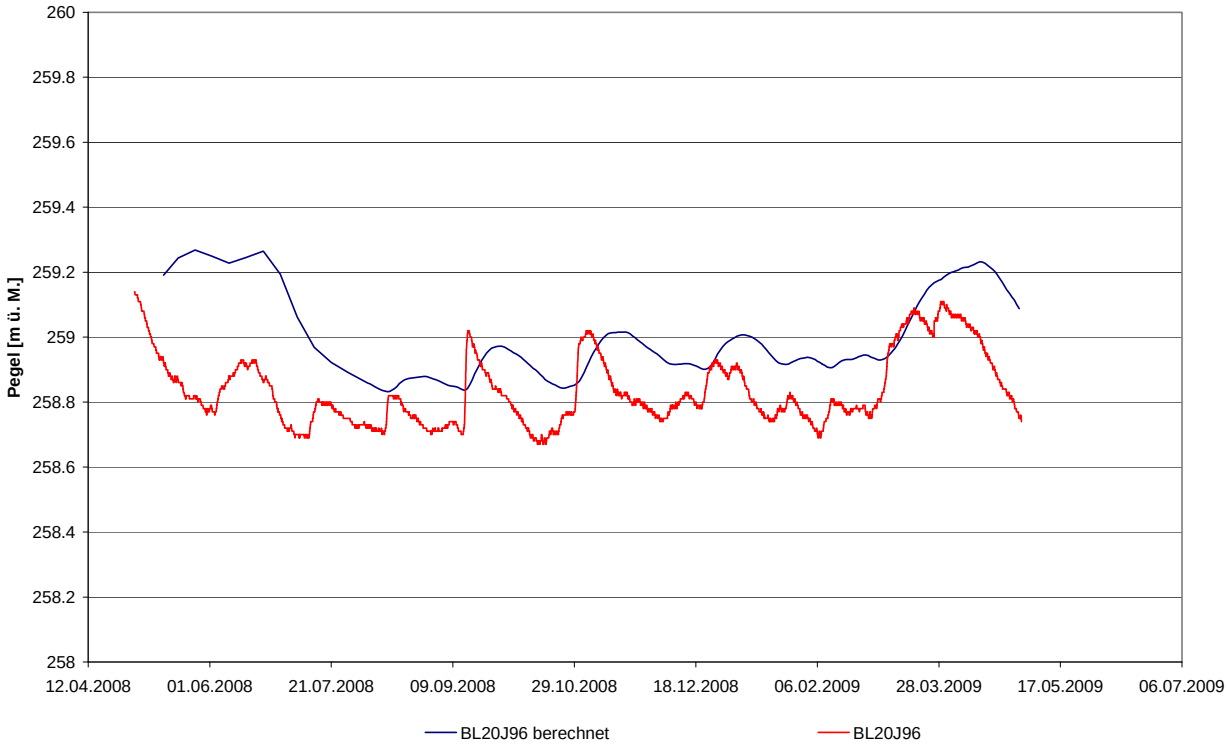


Abbildung 24: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL20J96

GWM 20J88

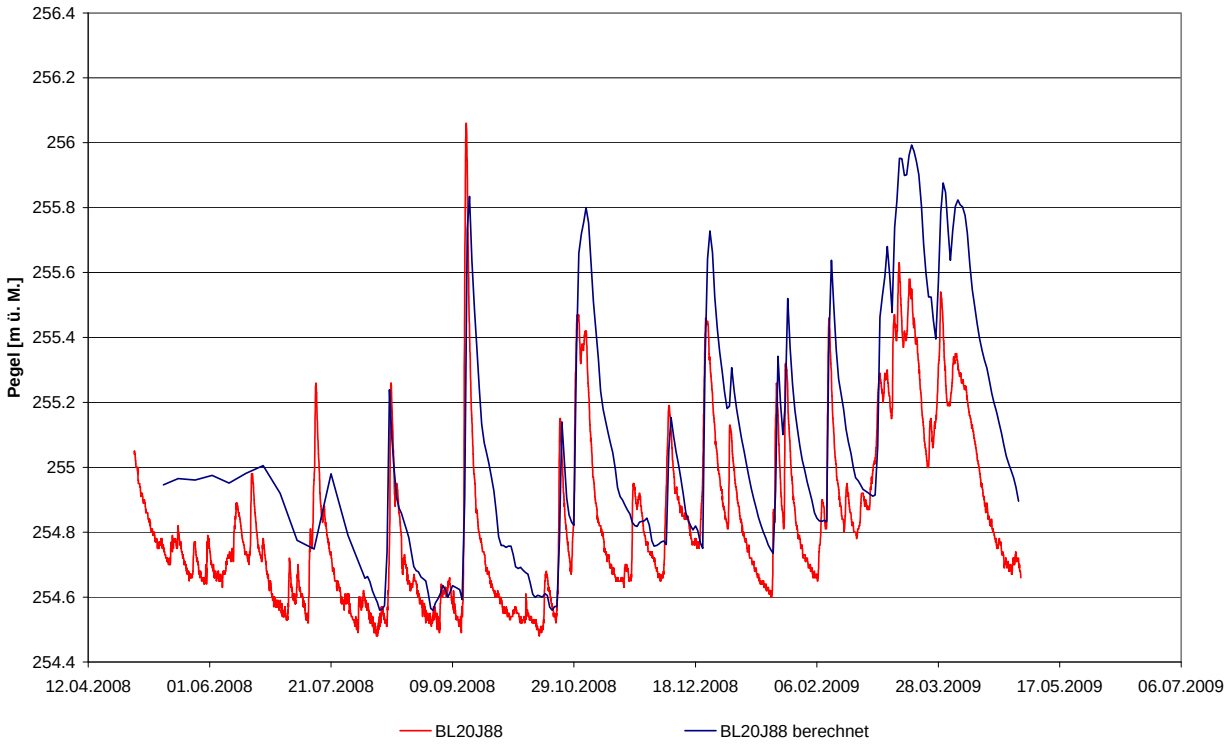


Abbildung 25: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL20J88

GWM 21R73

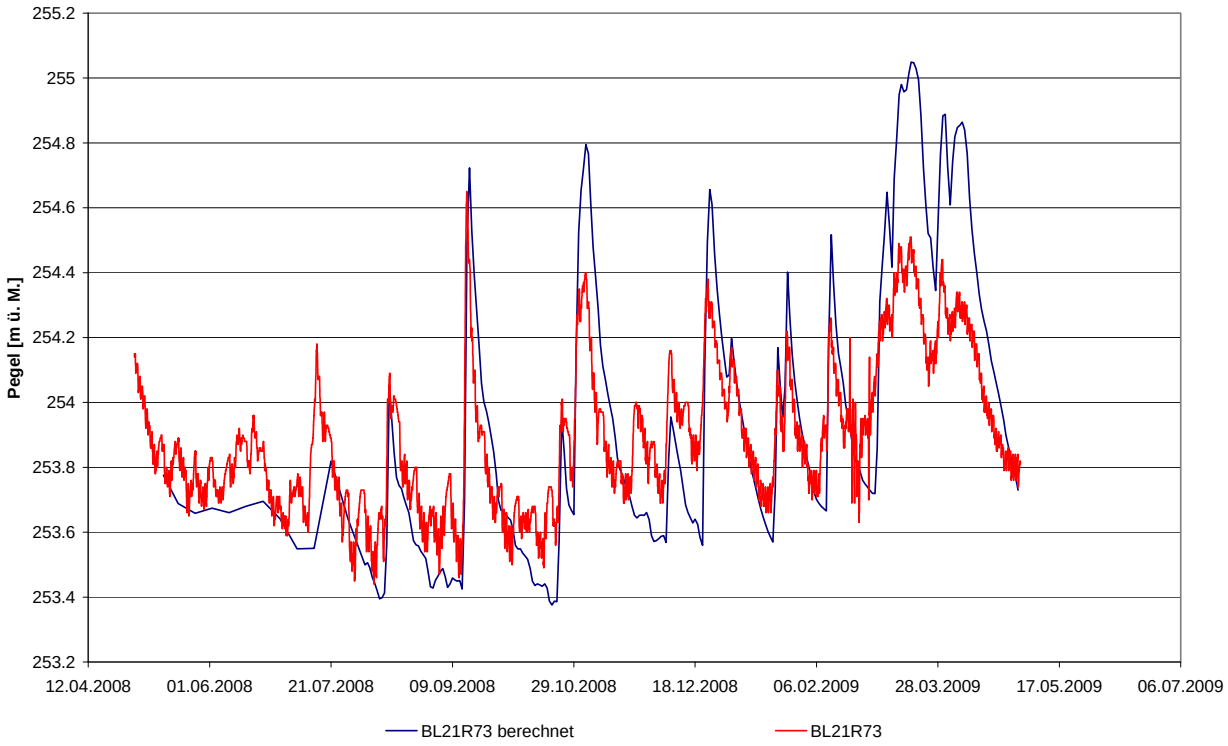


Abbildung 26: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21R73

GWM BS_749

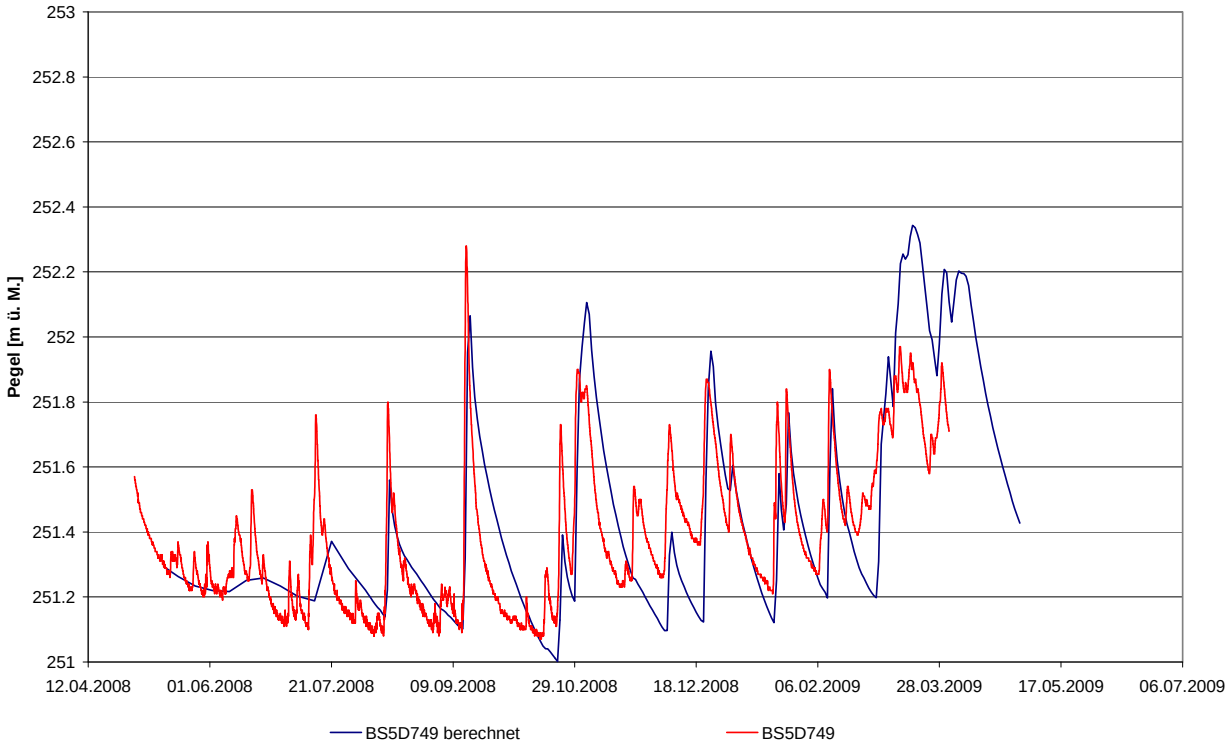


Abbildung 27: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BS 749

GWM 17N17

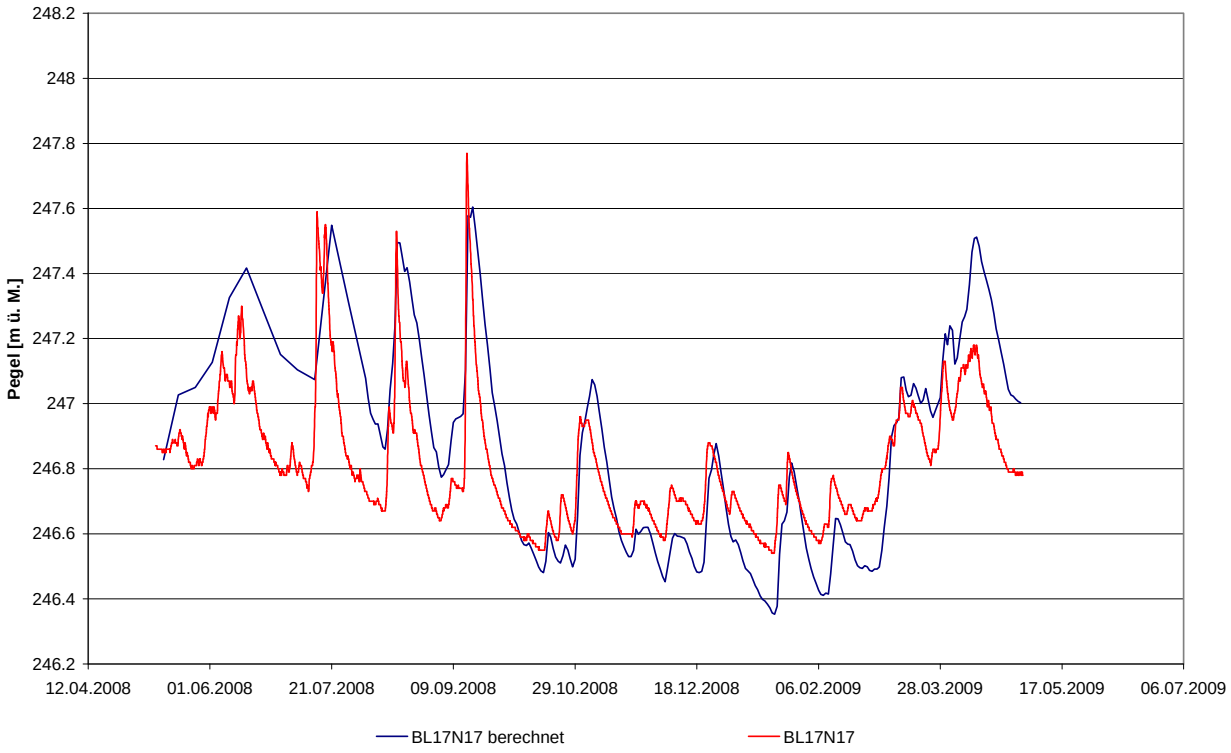


Abbildung 28: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL17N17

GWM 17C8

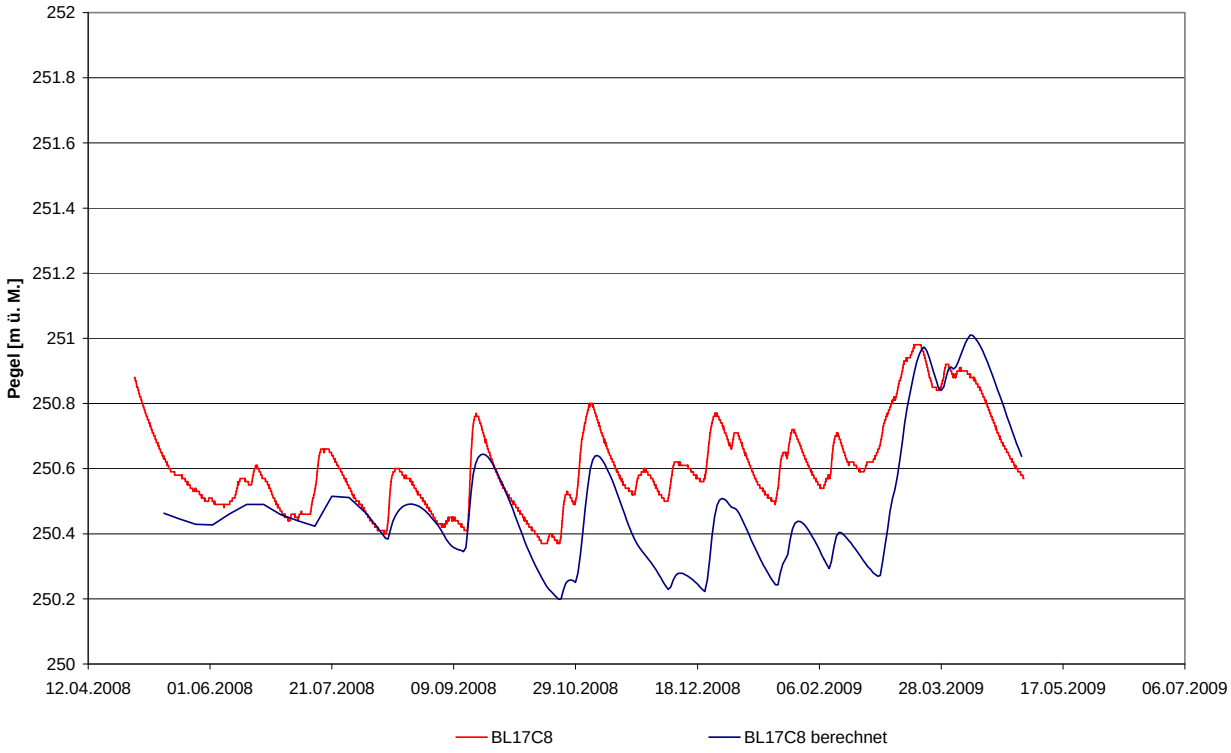


Abbildung 29: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL17C8

GWM 21C71

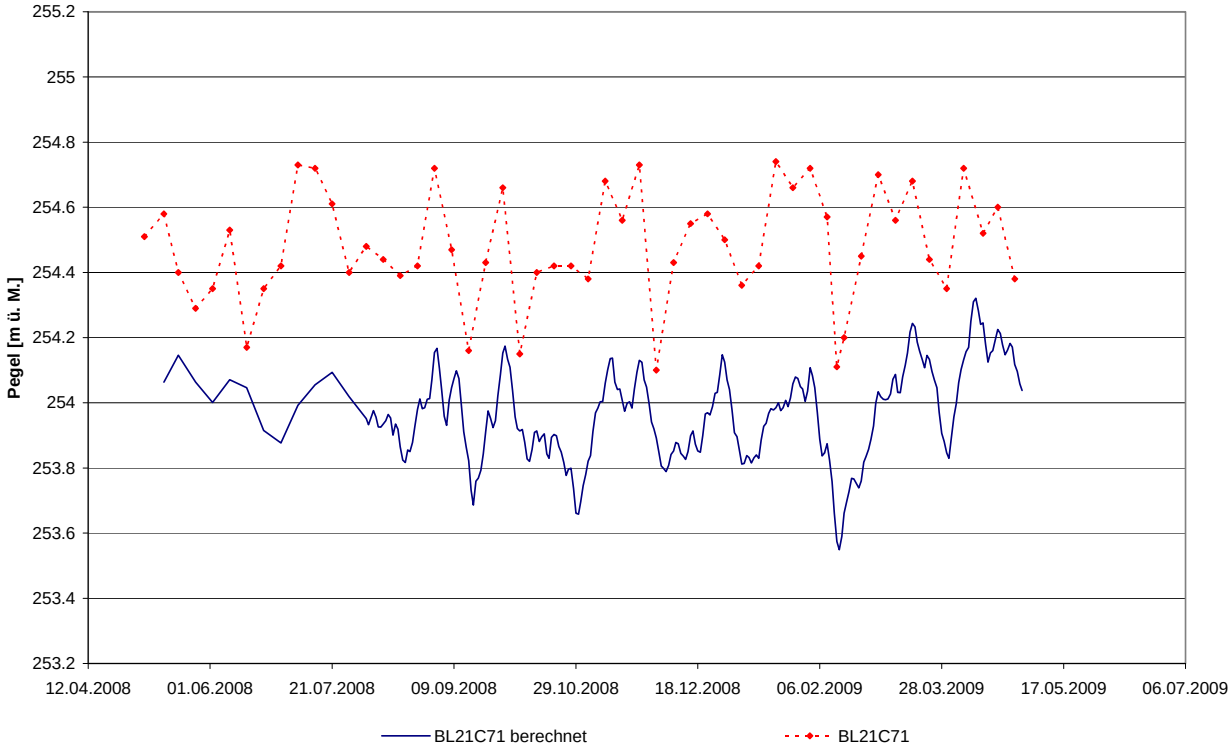


Abbildung 30: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21C71

Gebiet Hardwald

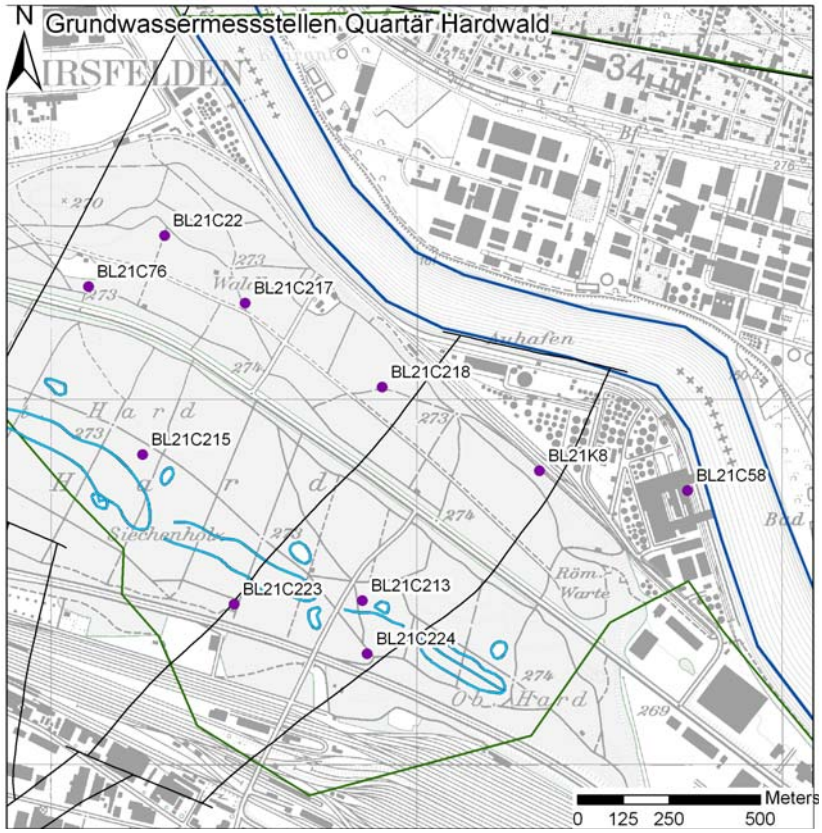


Abbildung 31: Grundwassermessstellen im Hardwald deren Pegelverlauf im Folgenden abgebildet wird.

GWM 21C22

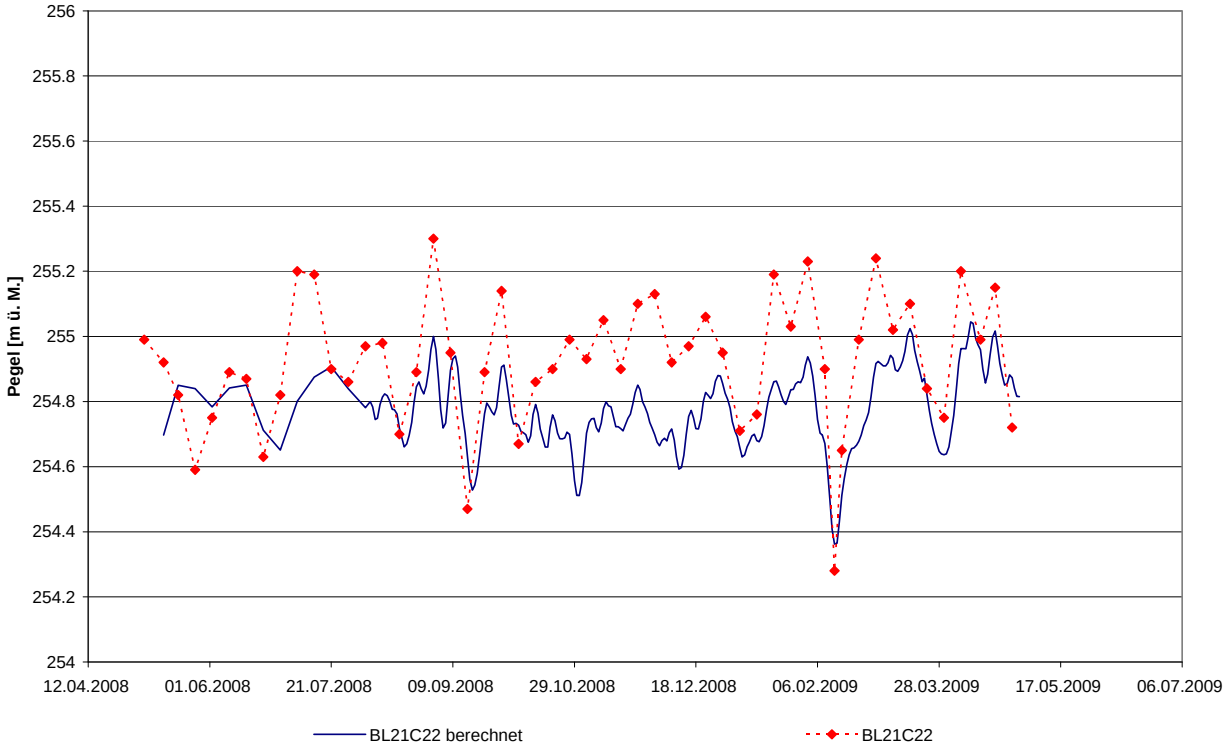


Abbildung 32: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21C22

GWM 21C76

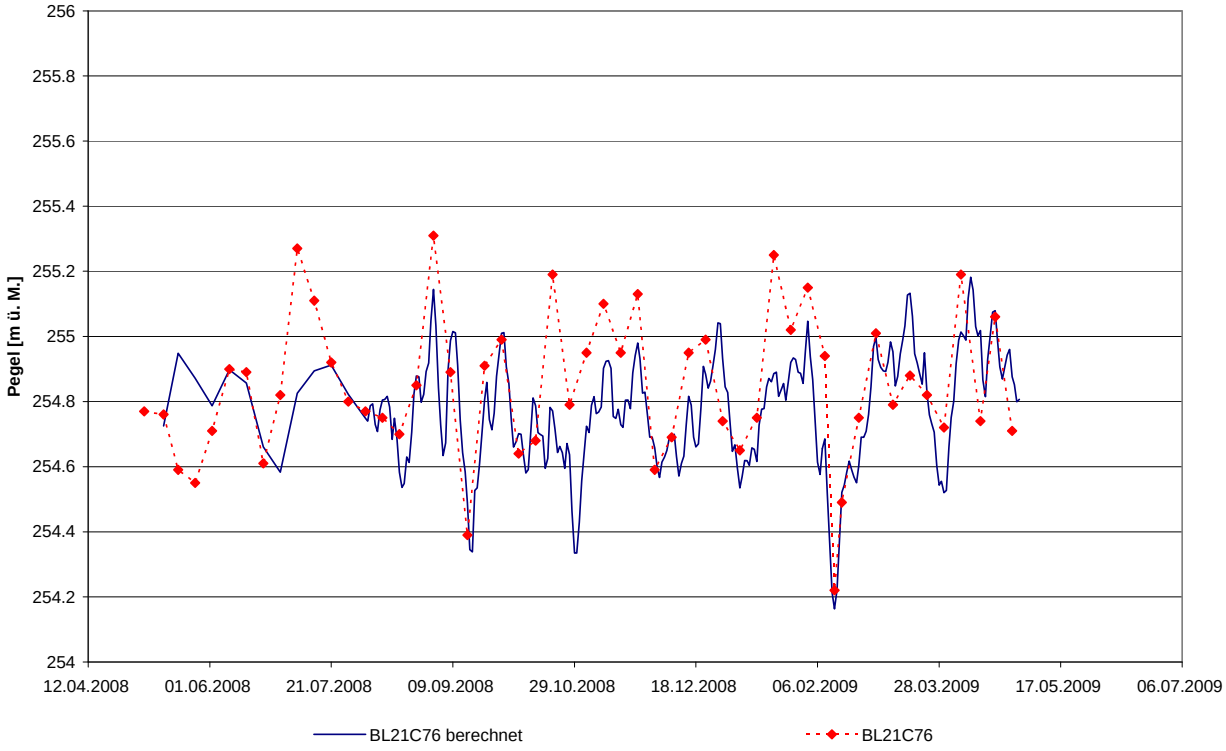


Abbildung 33: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21C76

GWM 21 C217

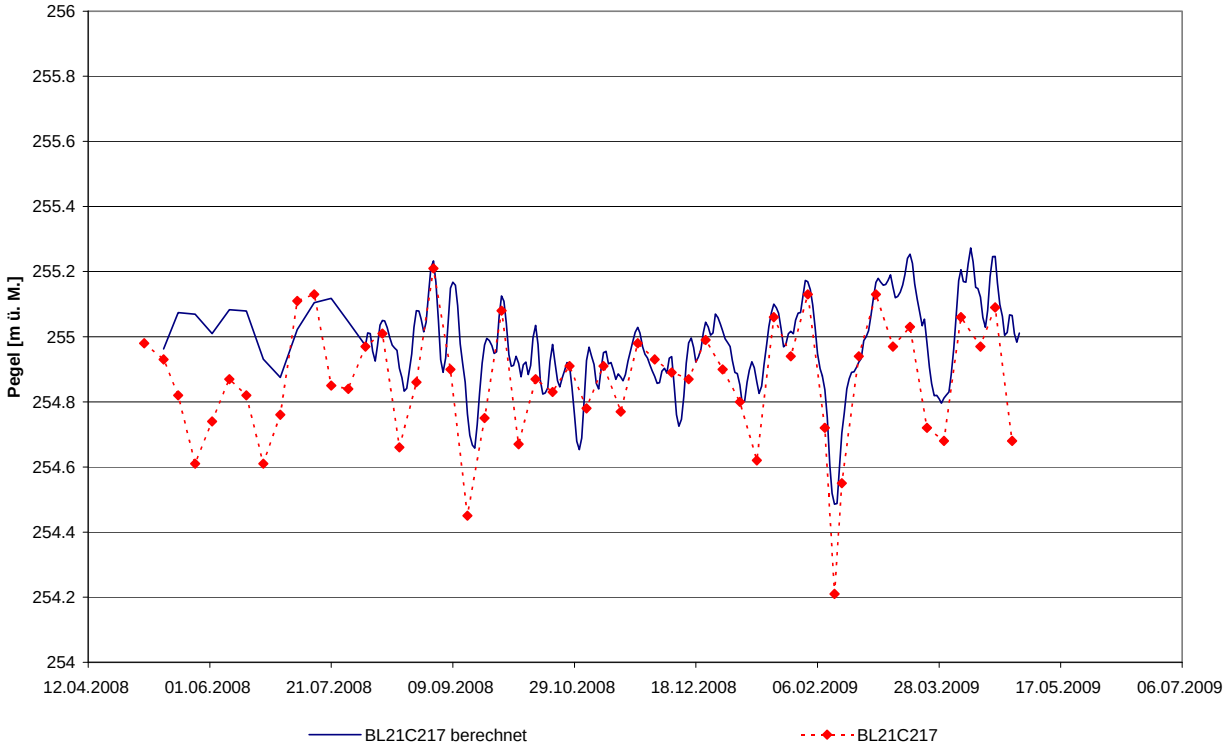


Abbildung 34: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21C217

GWM 21C218

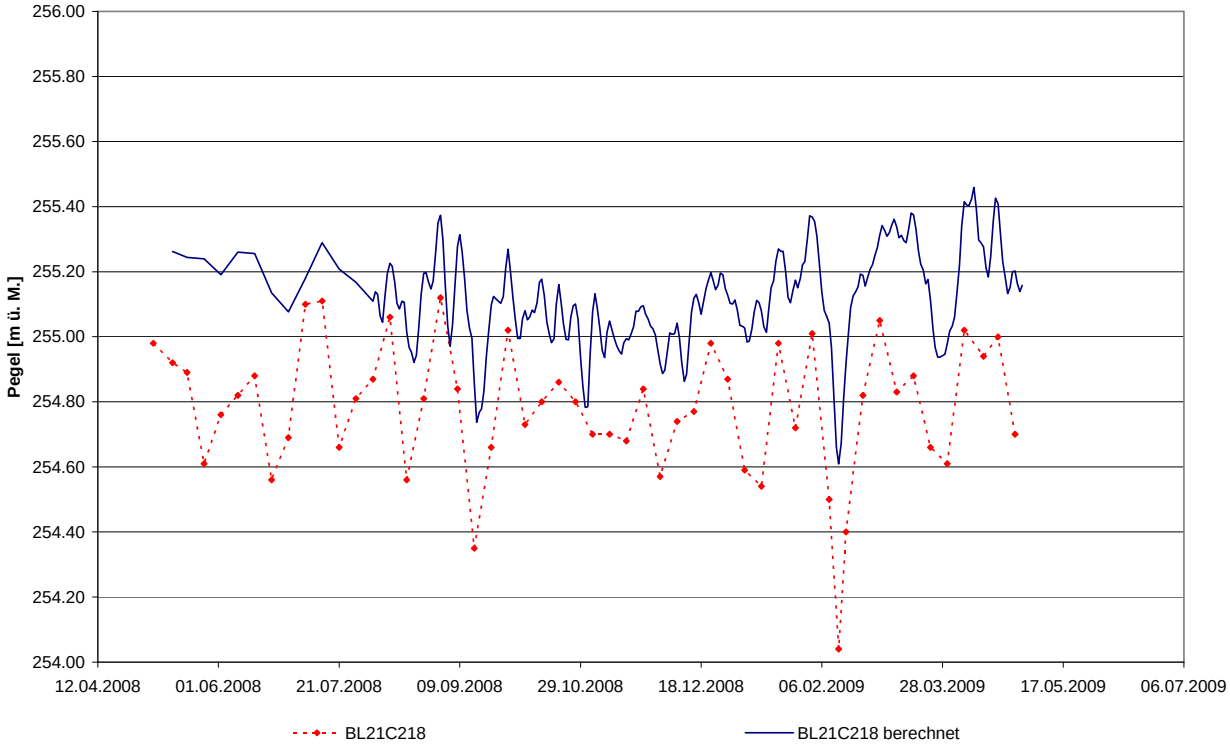


Abbildung 35: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21C218

GWM 21K8

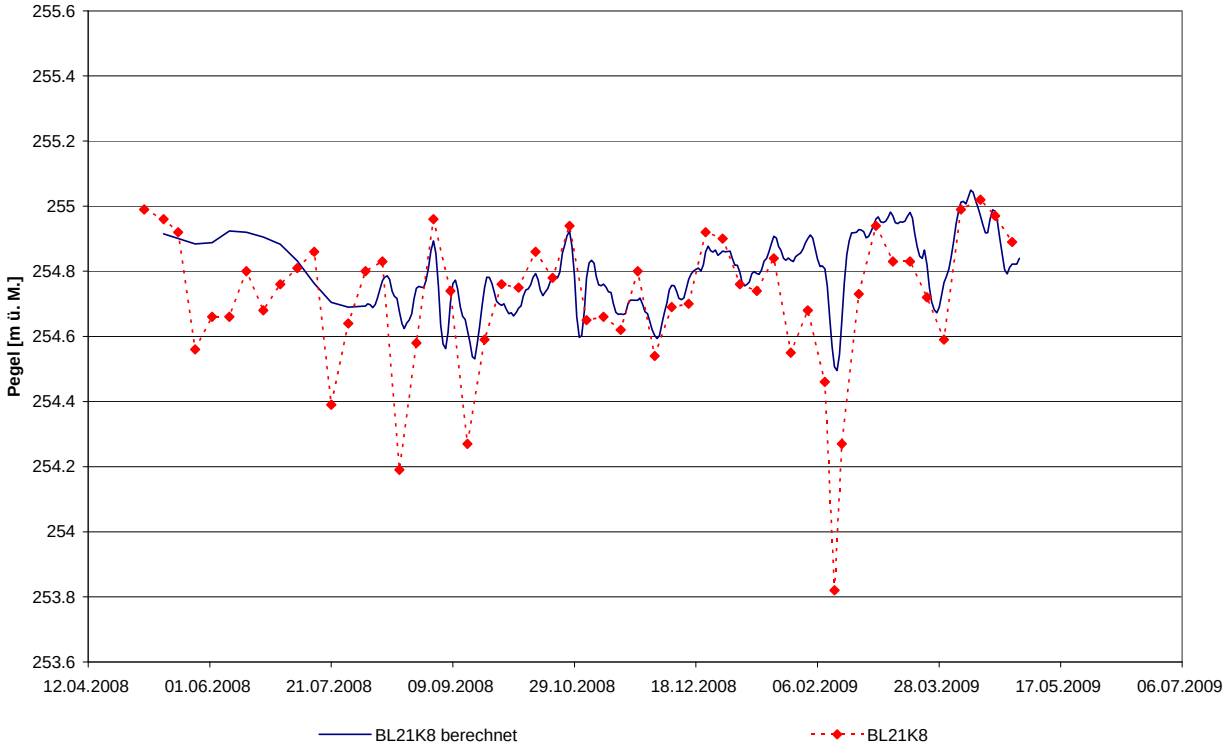


Abbildung 36: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21K8

GWM 21C58

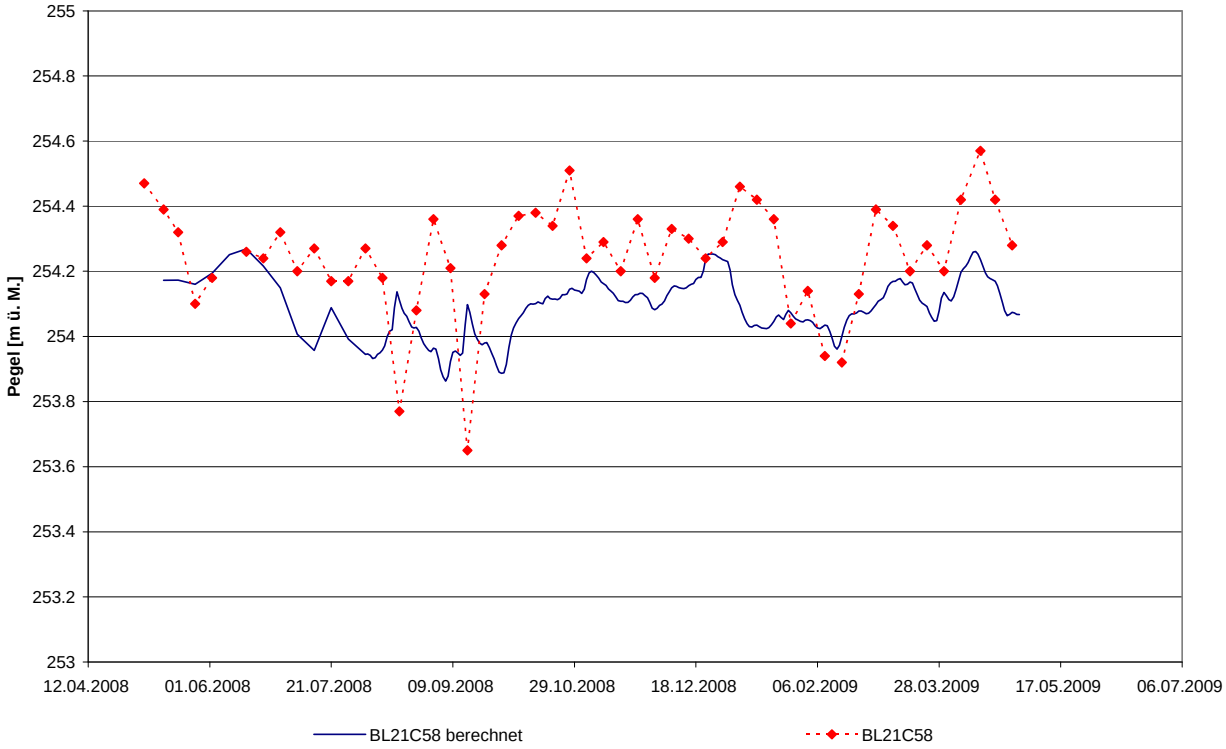


Abbildung 37: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21C58

GWM 21C215

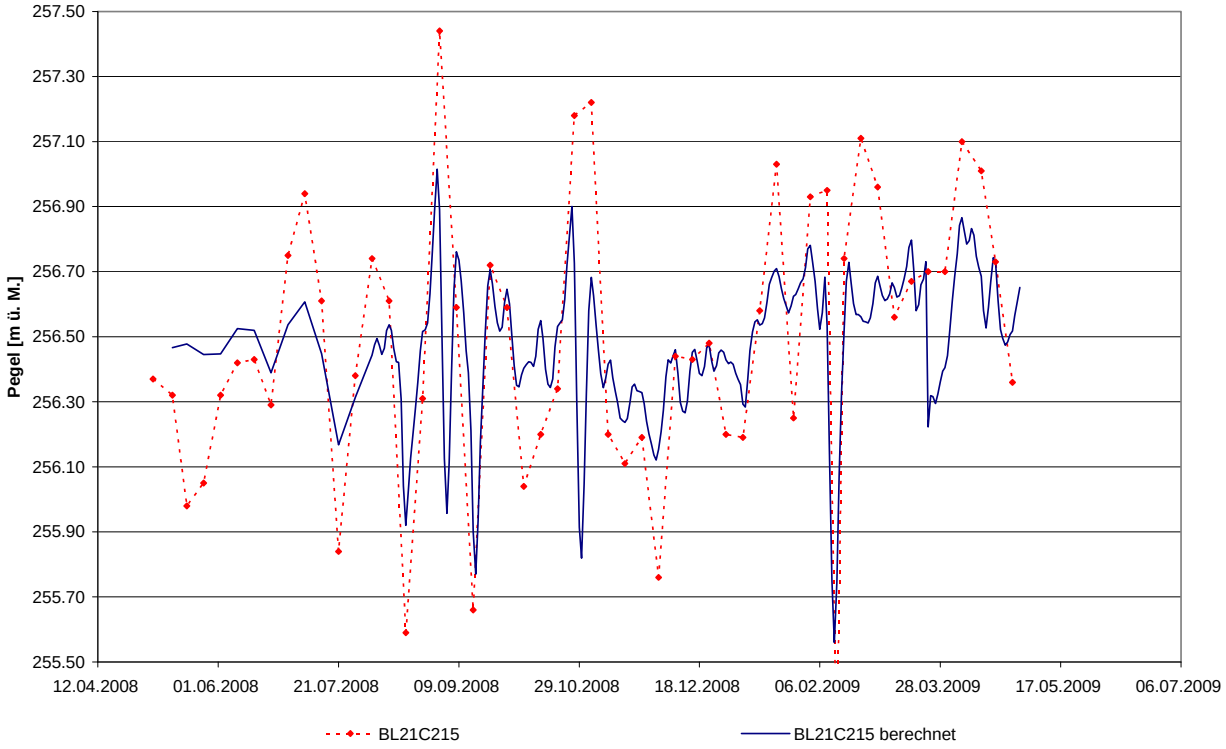


Abbildung 38: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21C215

GWM 21C223

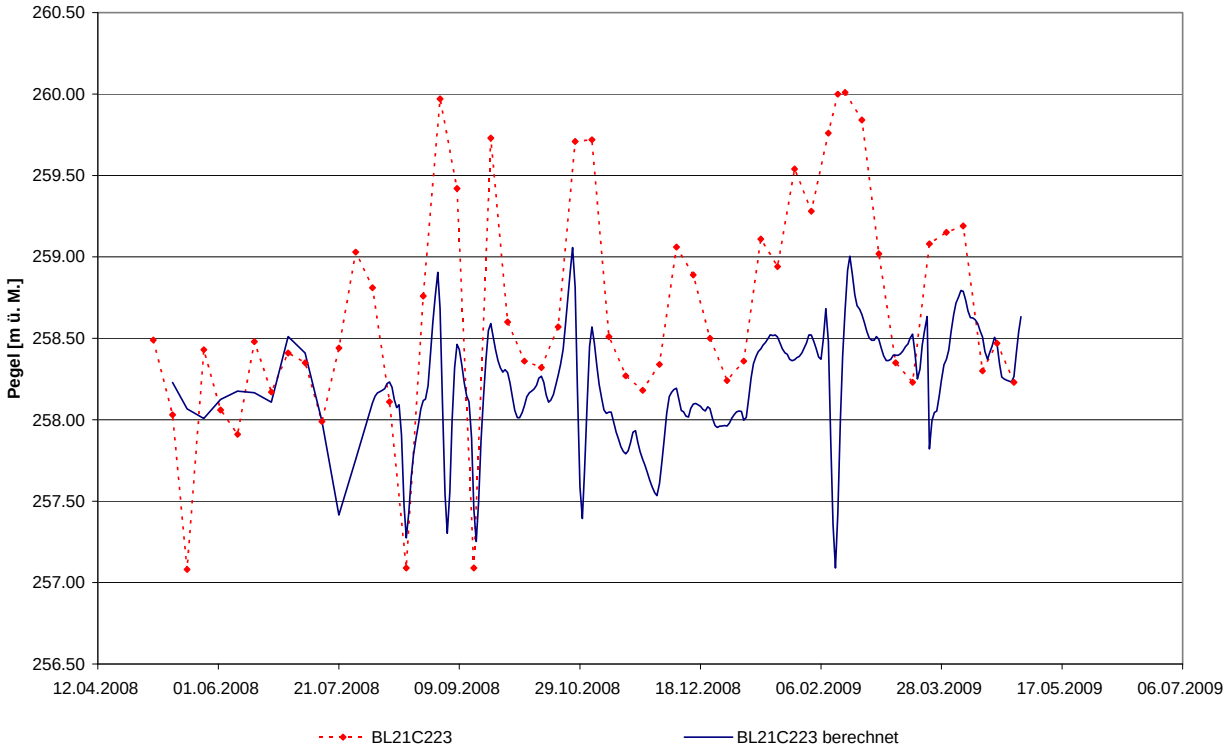


Abbildung 39: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21C223

GWM 21C213

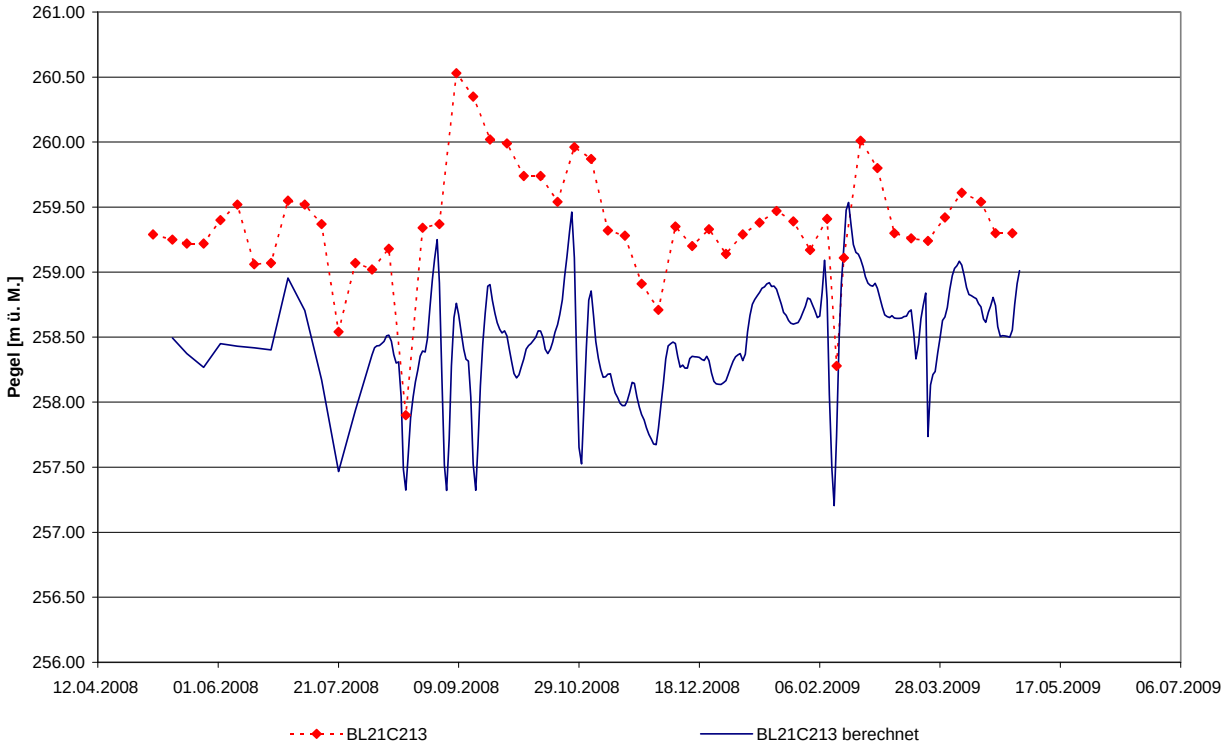


Abbildung 40: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21C213

GWM 21C224

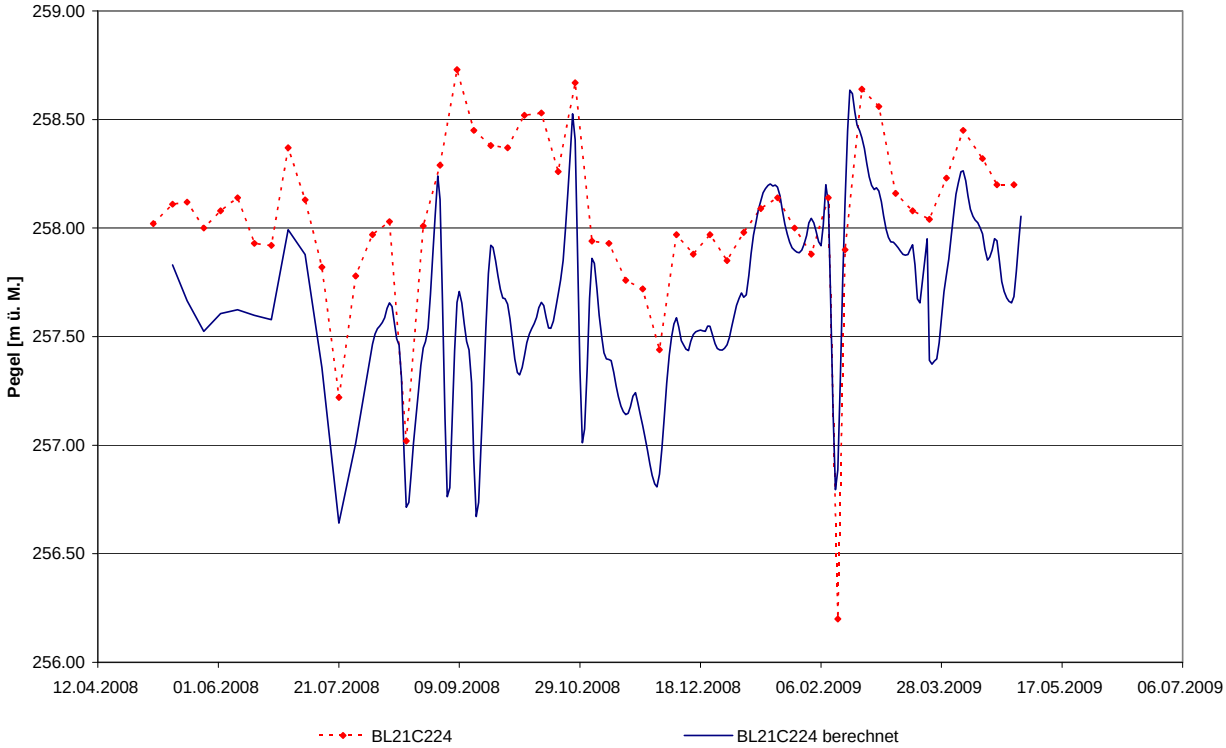


Abbildung 41: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21C224

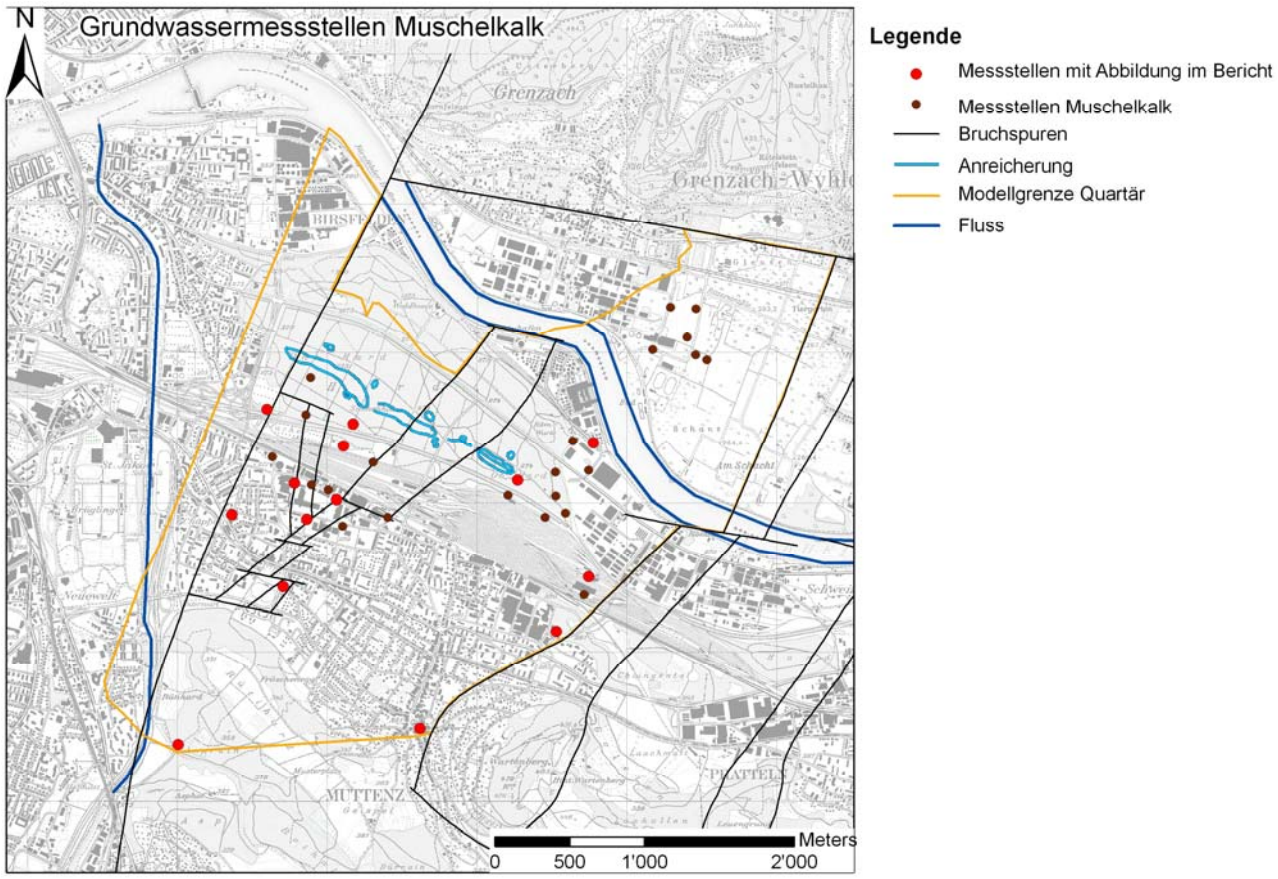


Abbildung 42: Grundwassermessstellen im Muschelkalk. Der Pegelverlauf der rot markierten Messstellen wird im Folgenden abgebildet.

Bereich Deponie Feldreben und Margelacker

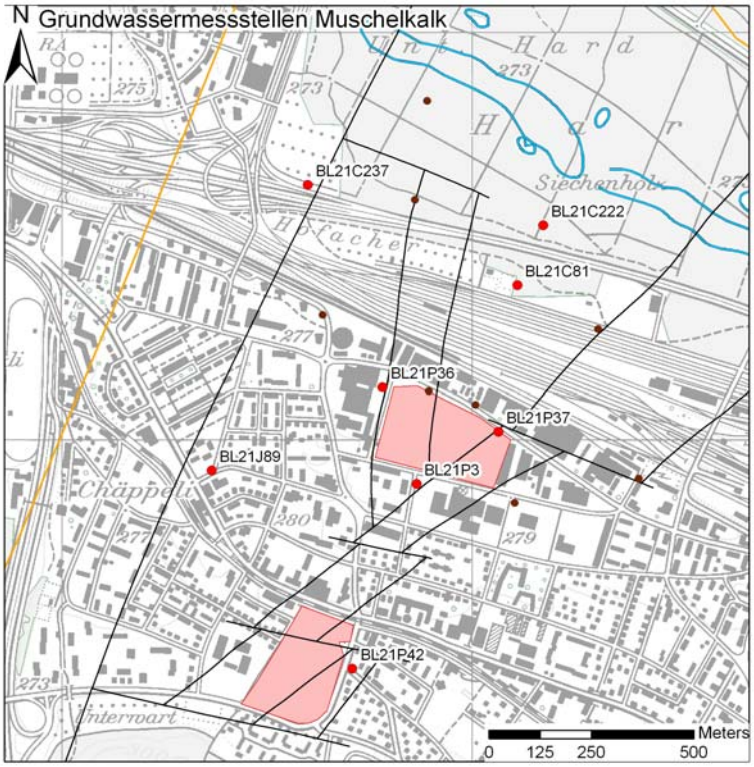


Abbildung 43: Grundwassermessstellen im Muschelkalk bei den Deponien Feldreben und Margelacker deren Pegelverlauf im Folgenden abgebildet wird.

GWM 21C222

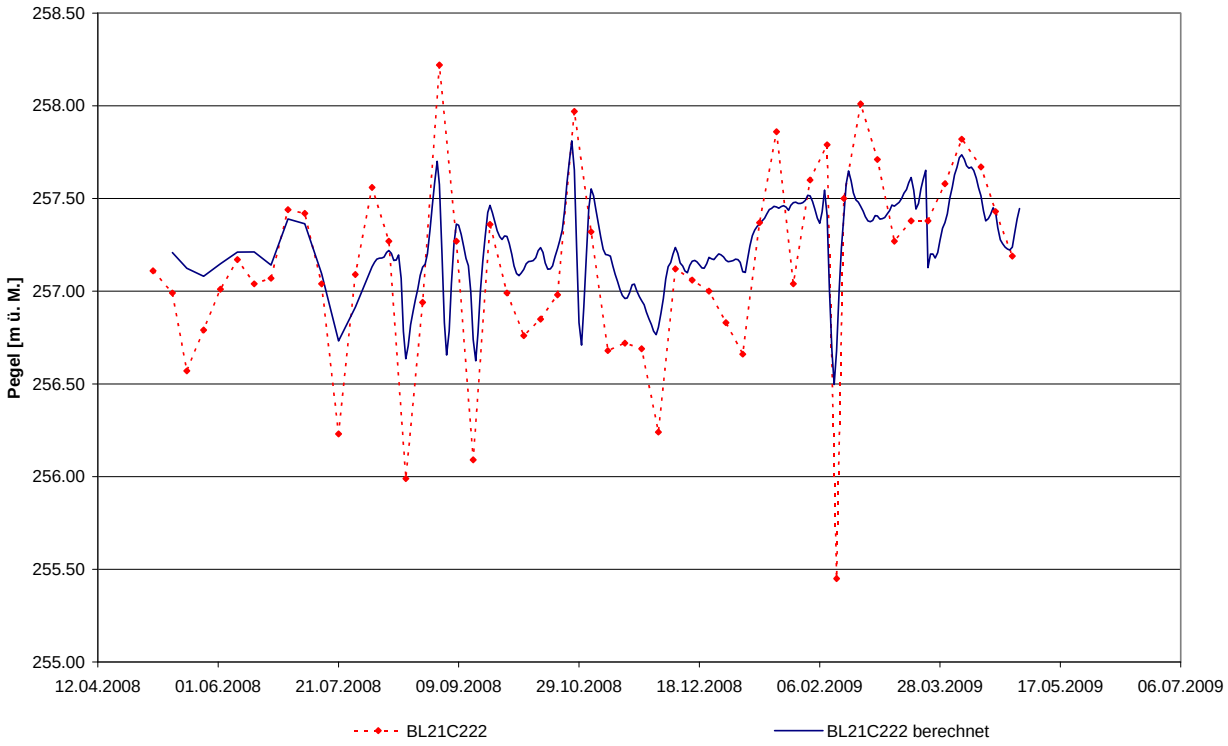


Abbildung 44: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21C222

GWM 21C81

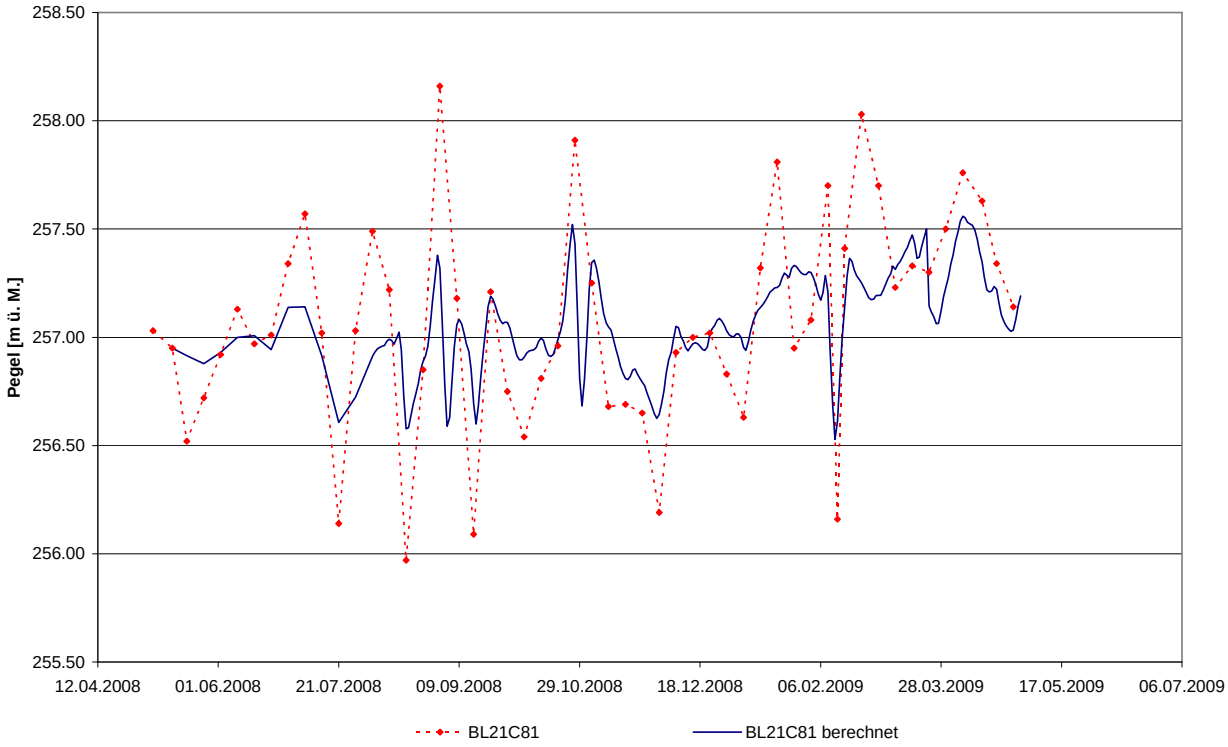


Abbildung 45: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21C81

GWM 21C237

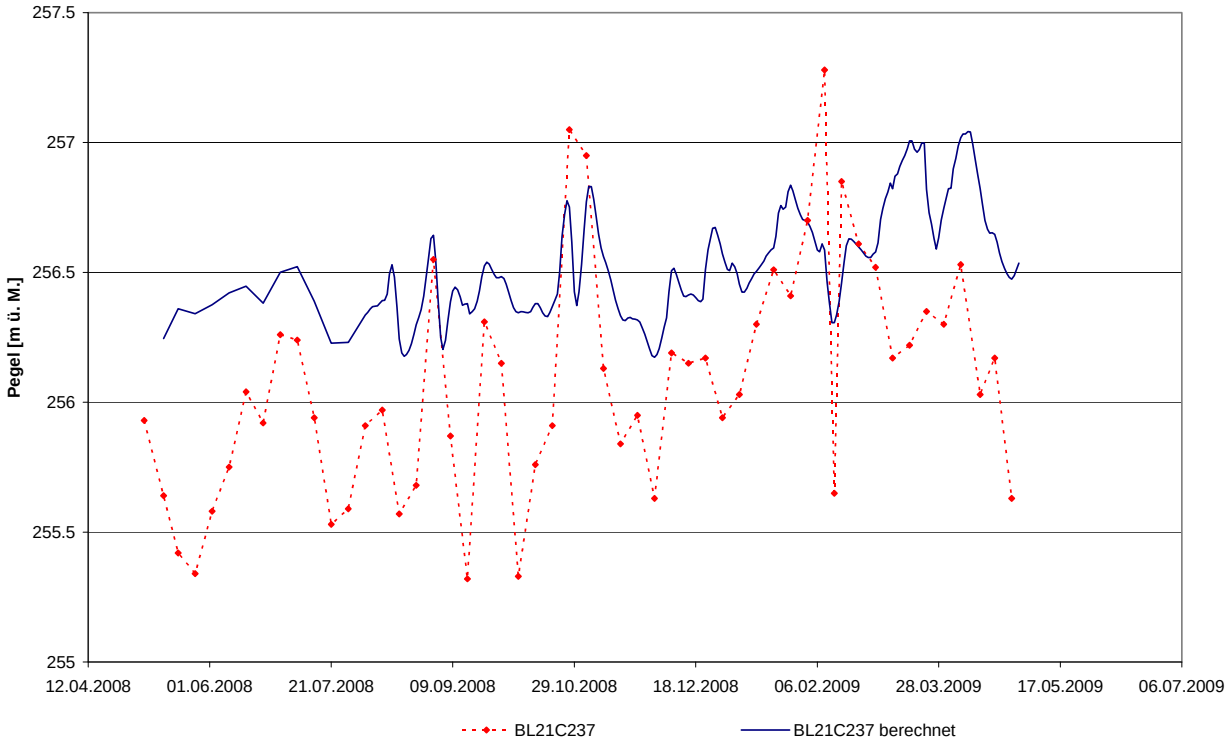


Abbildung 46: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21C237

GWM 21J89

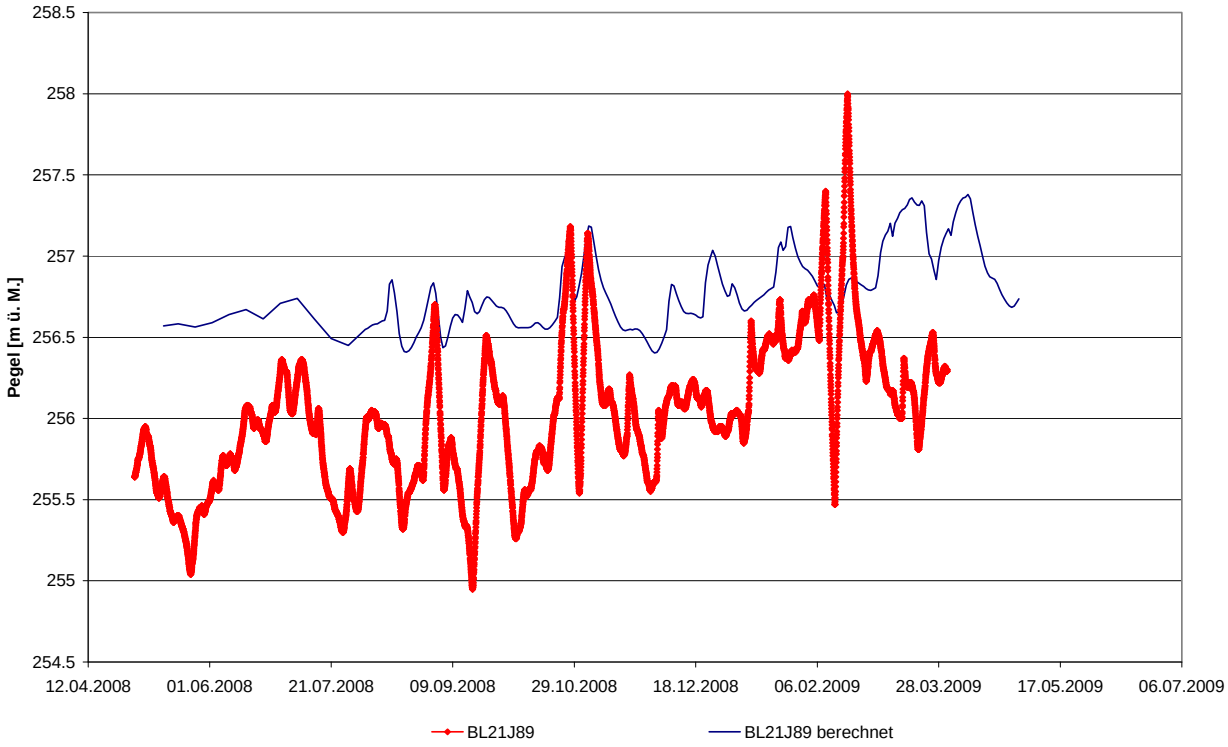


Abbildung 47: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21J89

GWM 21P36

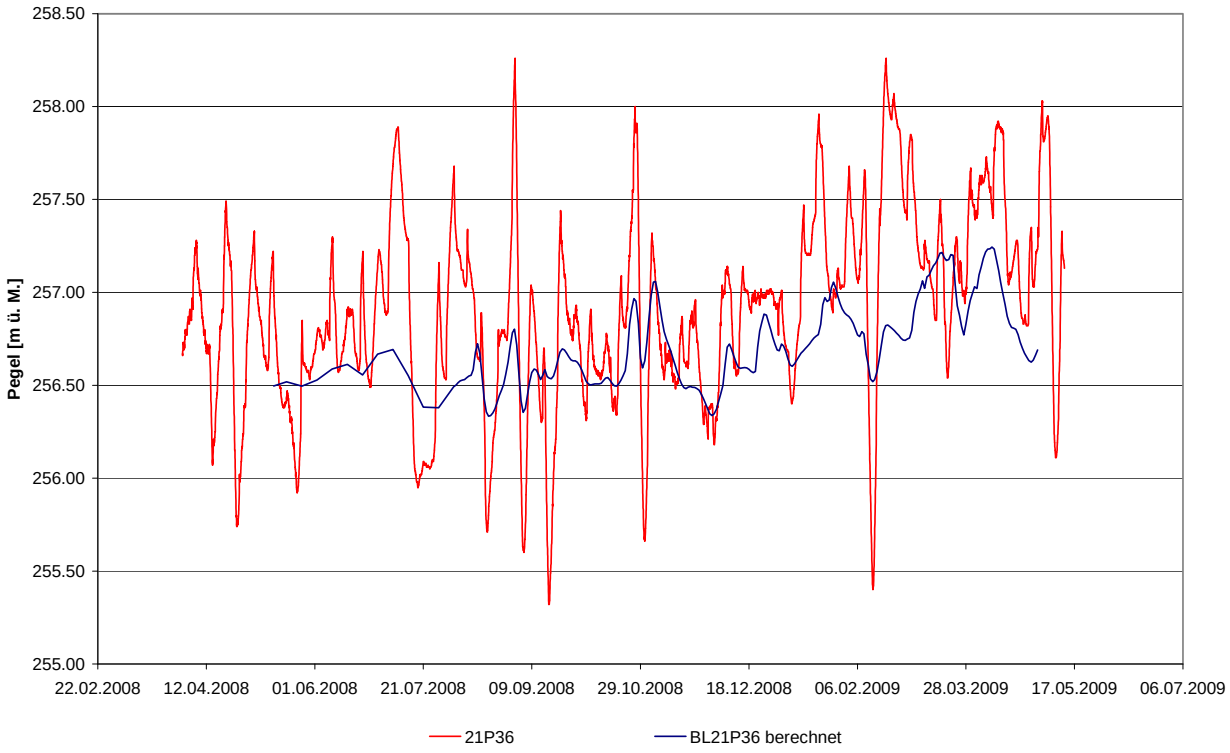


Abbildung 48: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21P36

GWM 21P37

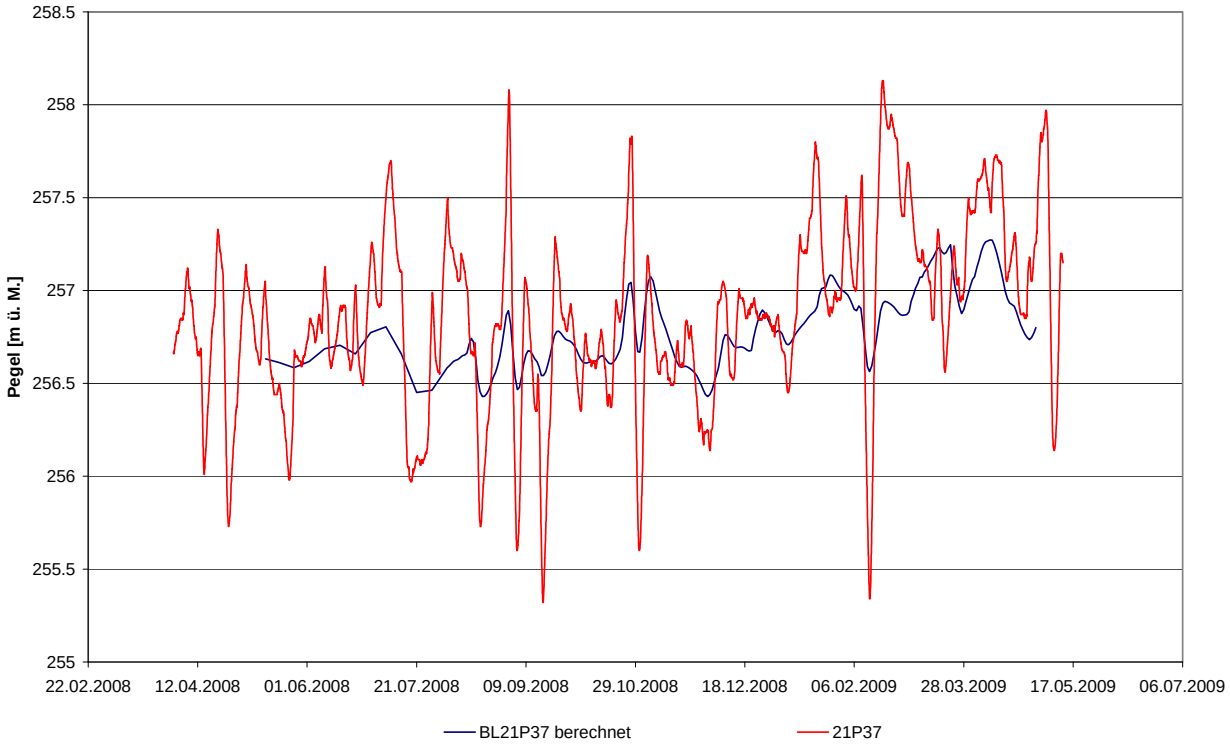


Abbildung 49: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21P37

GWM 21P3

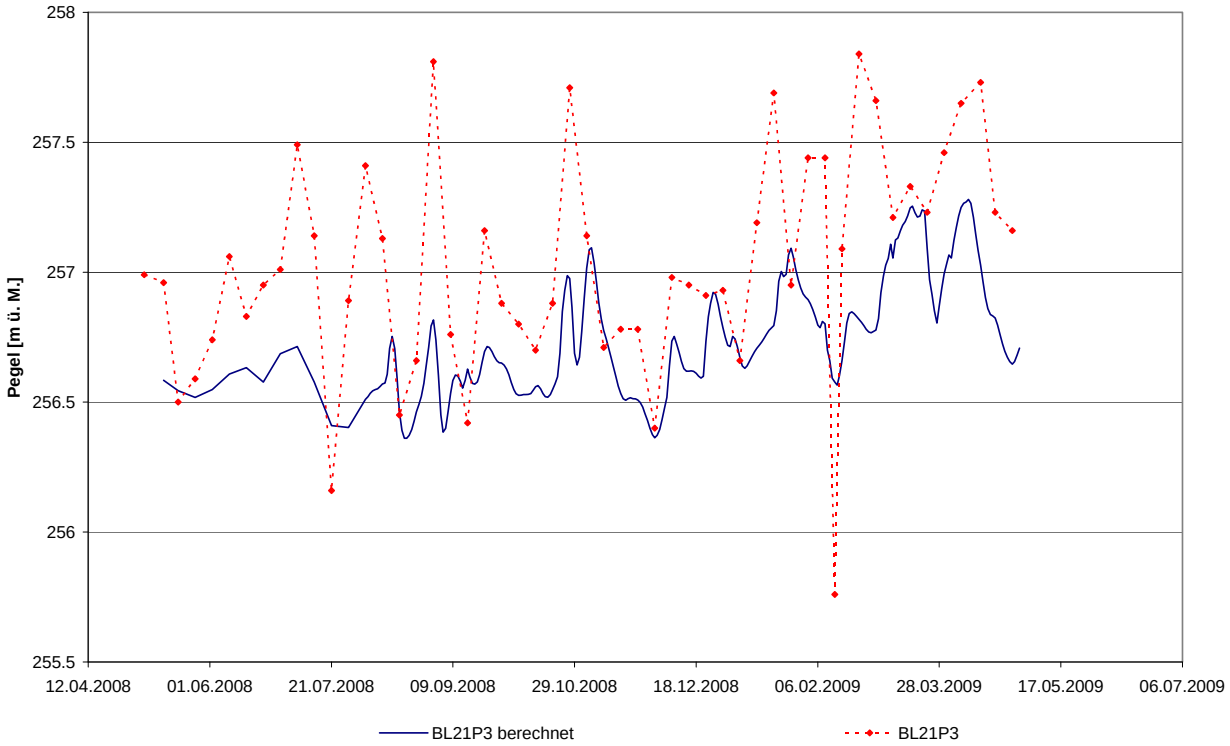


Abbildung 50: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21P3

GWM 21P42

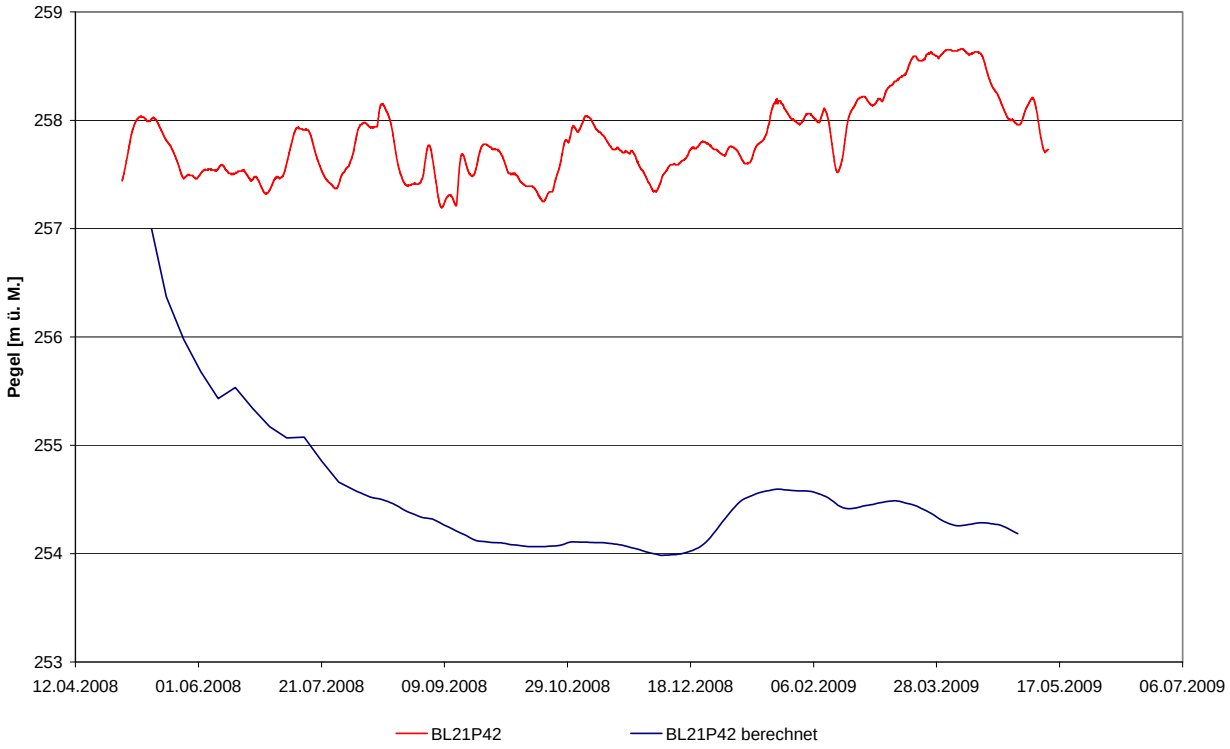


Abbildung 51: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21P42

Bereich Deponie Rothausstrasse

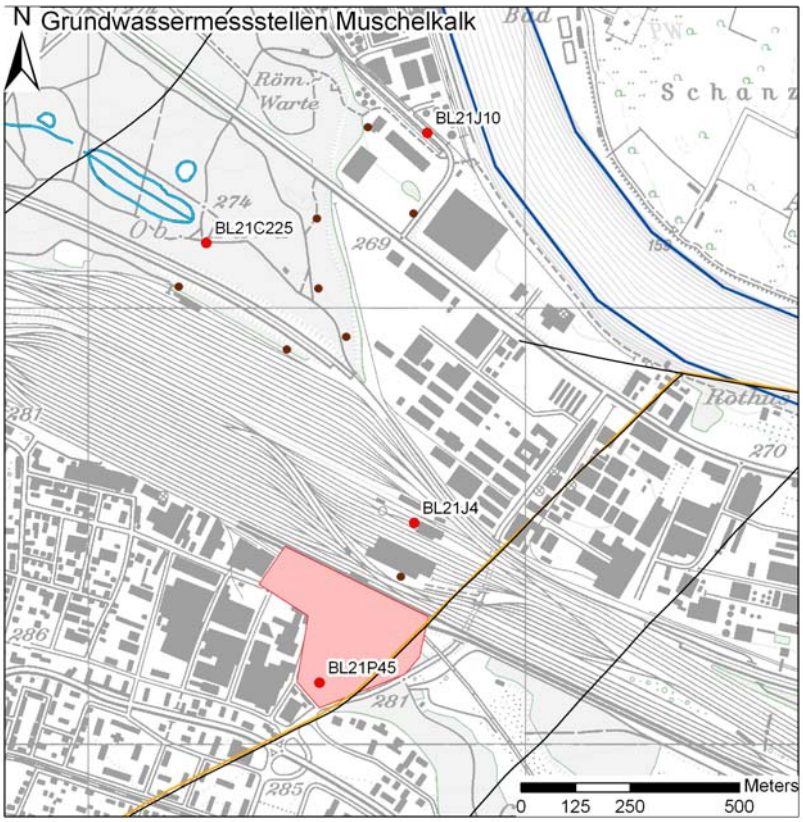


Abbildung 52: Grundwassermessstellen im Muschelkalk bei der Deponie Rothausstrasse deren Pegelverlauf im Folgenden abgebildet wird.

GWM 21C225

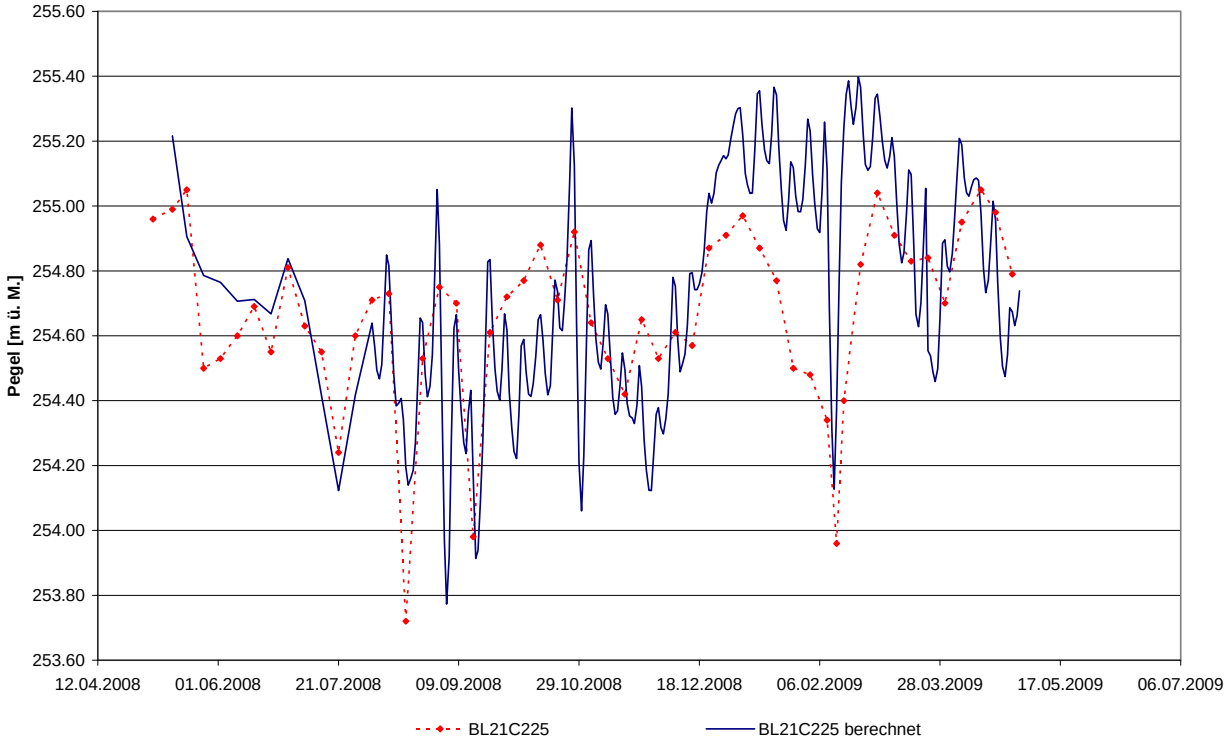


Abbildung 53: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21C225

GWM 21J10

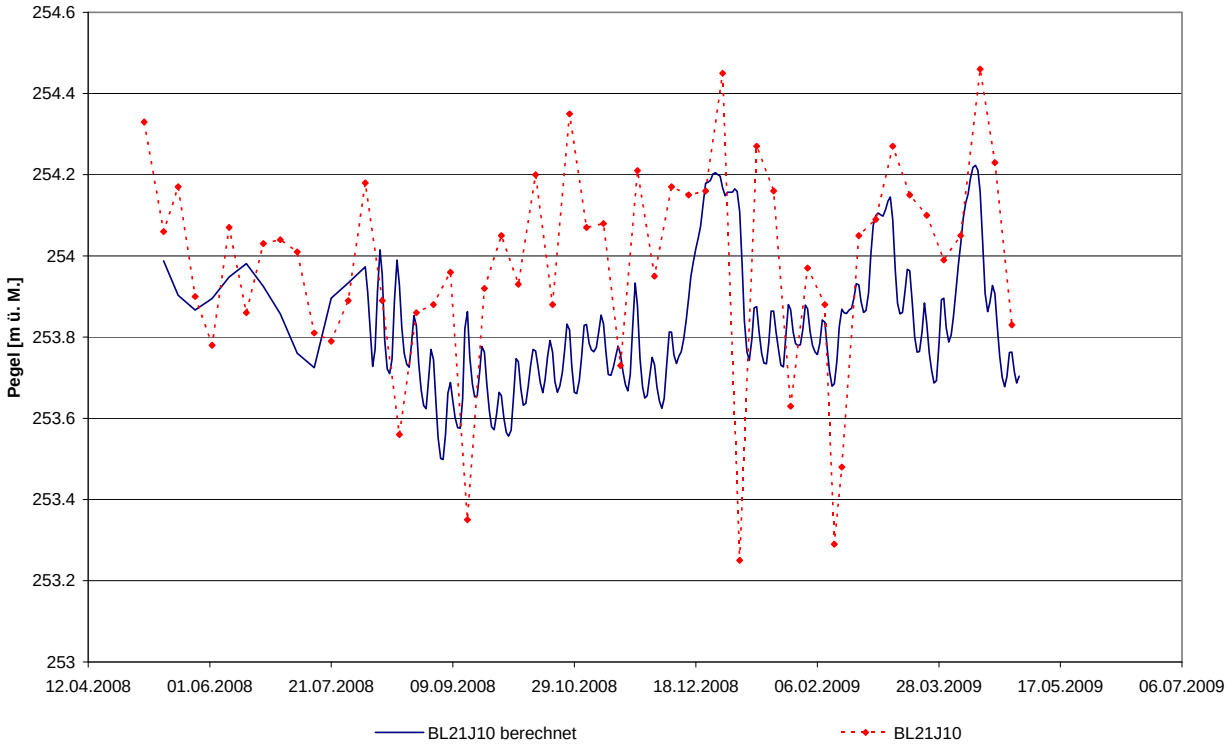


Abbildung 54: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21J10

GWM 21J4

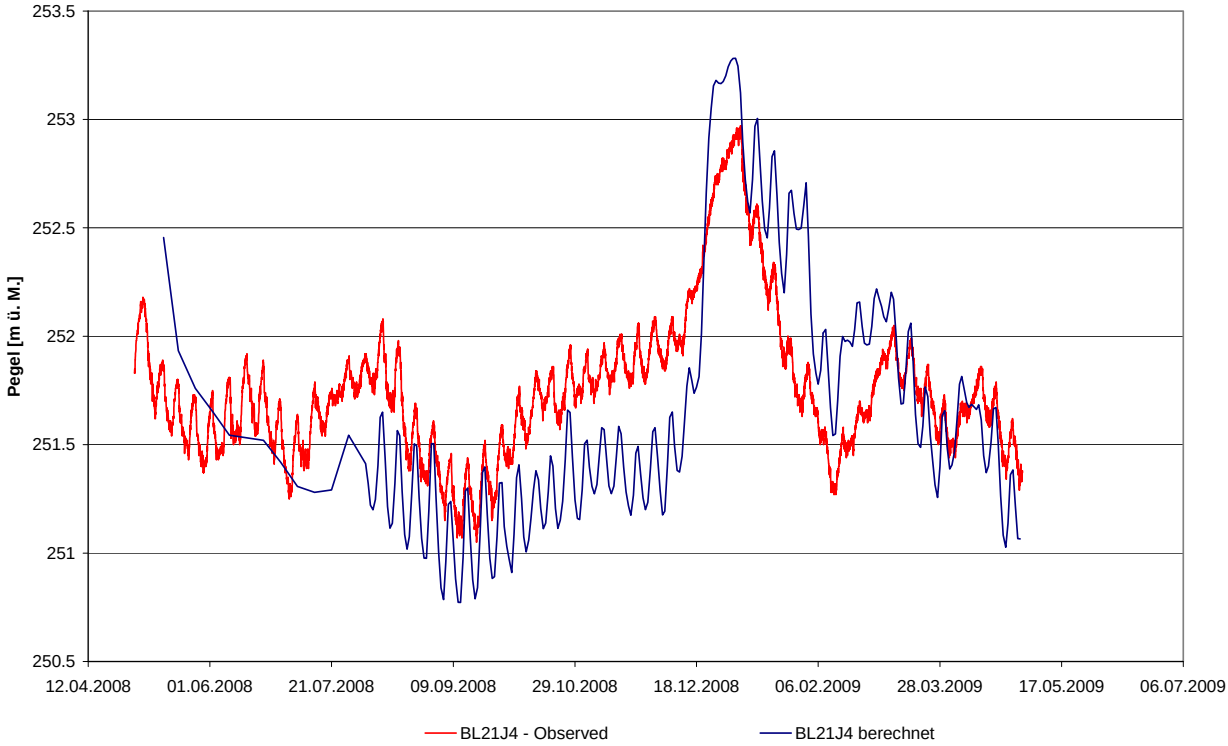


Abbildung 55: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21J4

GWM 21P45

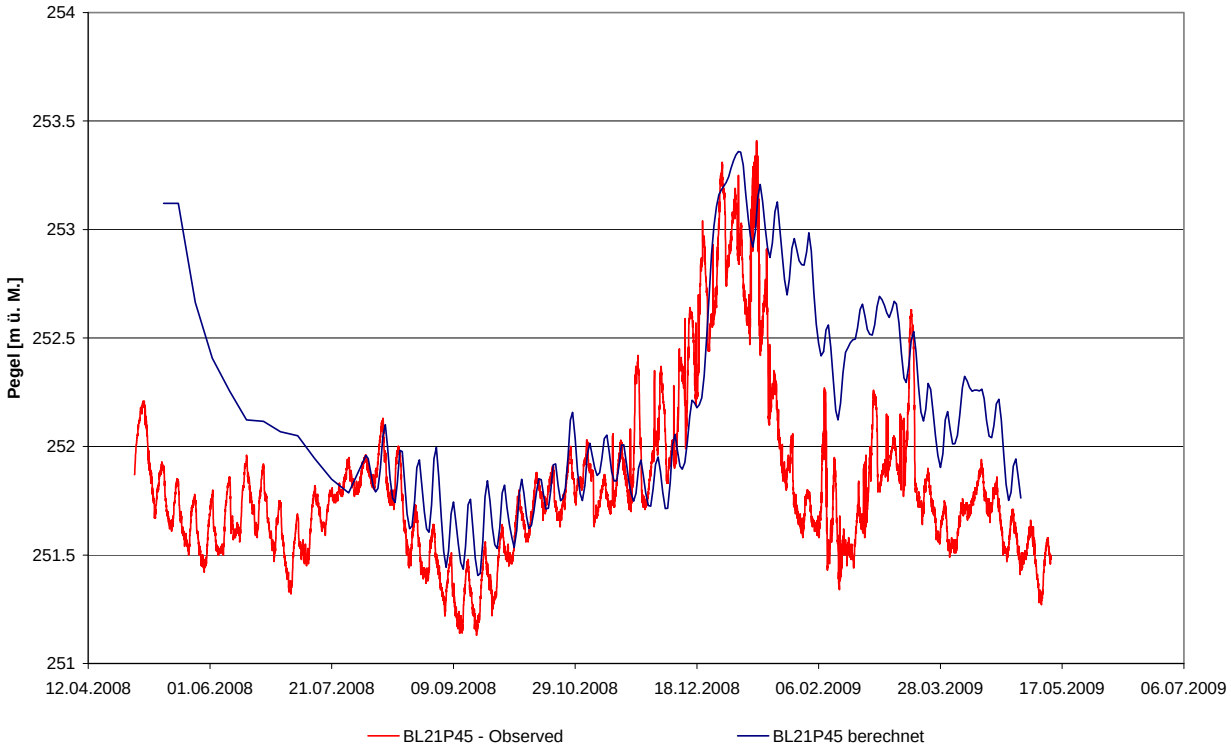


Abbildung 56: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21P45

Bereich südlicher Modellrand

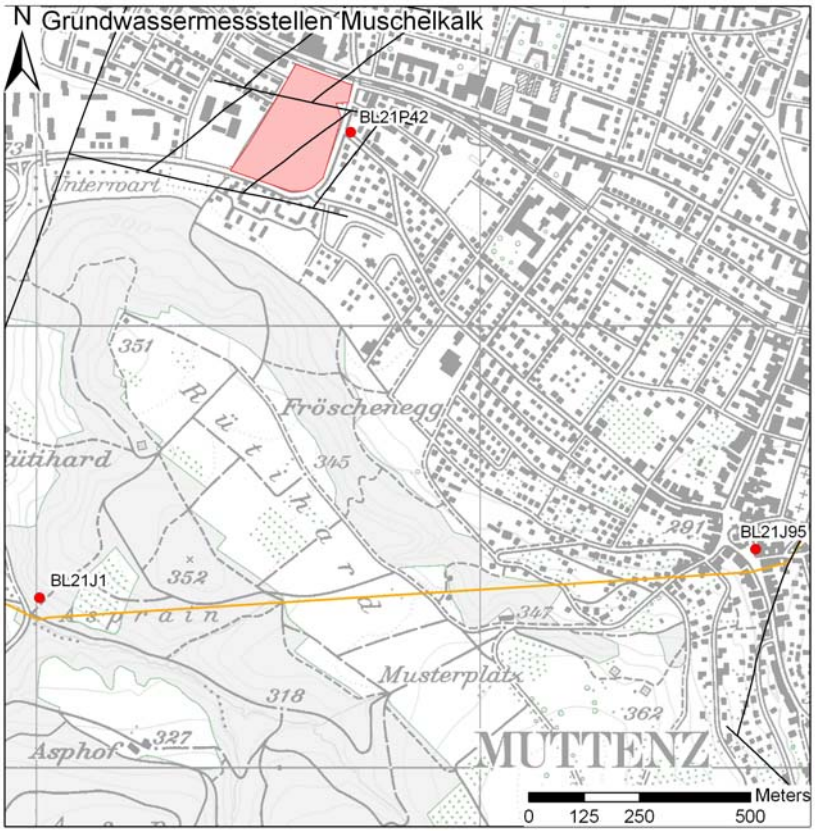


Abbildung 57 Grundwassermessstellen im Muschelkalk am südlichen Modellrand deren Pegelverlauf im Folgenden abgebildet wird.

GWM 21J95

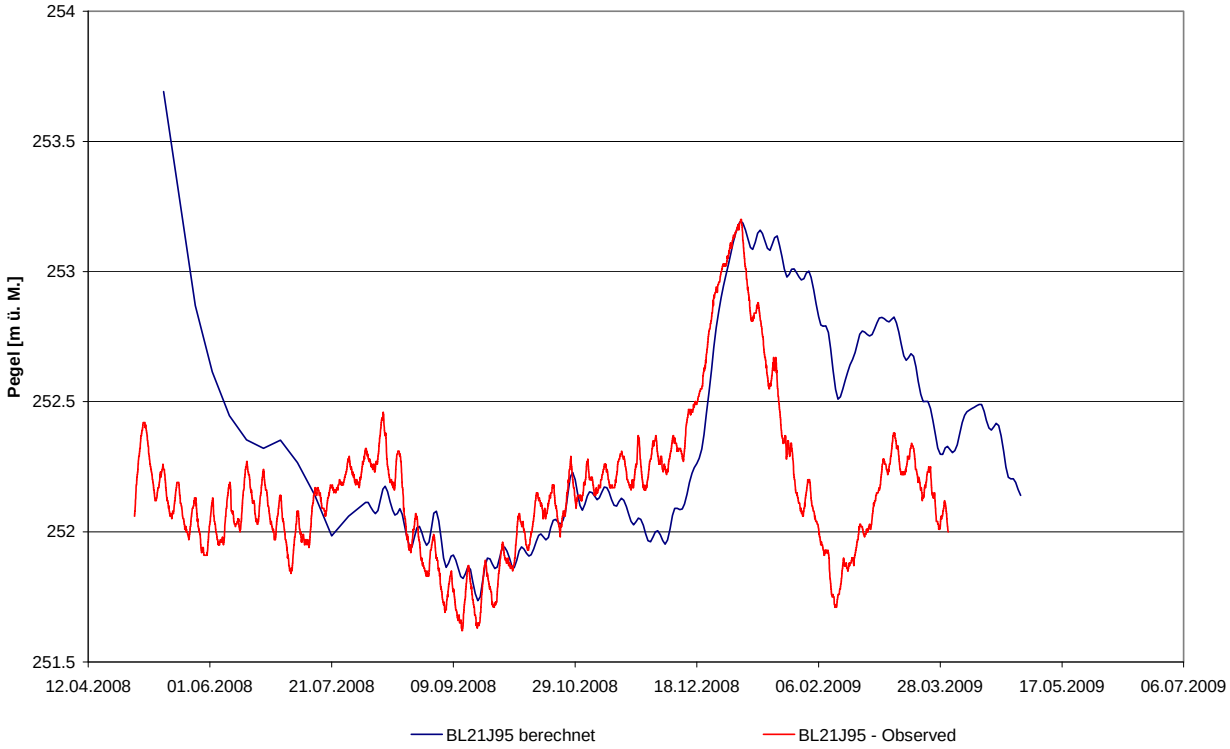


Abbildung 58: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21J95

GWM 21J1

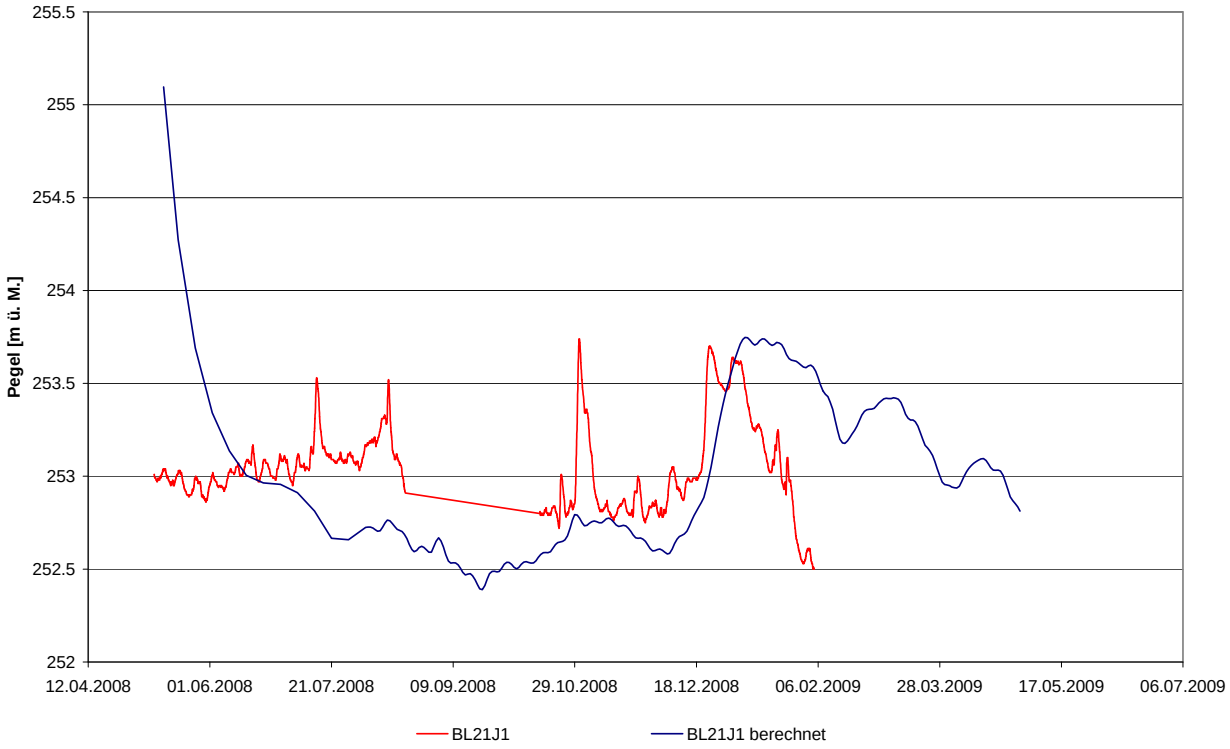


Abbildung 59: Pegelverlauf gemessen und berechnet der Grundwassermessstelle BL21J1

Abbildung 60: Berechneter Grundwasserspiegel im Quartär aus Zustand 1 (siehe Kapitel 5).

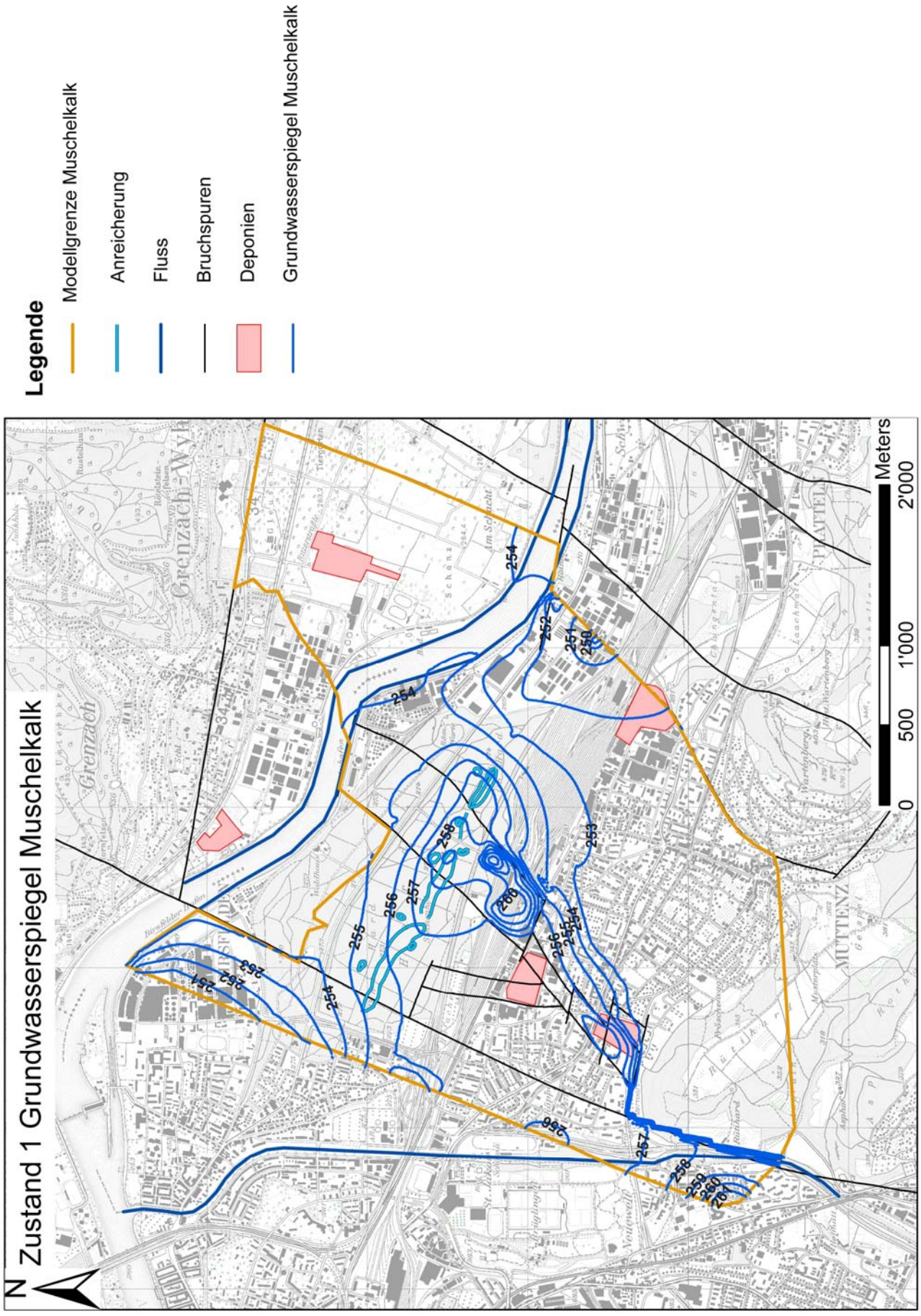


Abbildung 61: Berechneter Grundwasserspiegel im Layer 3 (entspricht Muschelkalkaquifer) aus Zustand 1 (siehe Kapitel 5).