



Berechnung der potenziellen Auswirkungen des Kiesabbaus auf die Grundwasser- verhältnisse innerhalb des WSG Linden

Auftraggeber	Holcim Kies und Splitt GmbH Tropowitzstraße 5 22529 Hamburg
Ansprechpartner	Herr Maik Hamann
Auftragnehmer	CONSULAQUA Hamburg Beratungsgesellschaft mbH Ausschläger Elbdeich 2 20539 Hamburg Tel.: 040/7888-89564
Projektnummer	54328
Projektleiter	Kai-Justin Radmann
Projektbearbeiter	Dipl.-Geol. Hauke Petersen Dipl.-Ing. Caroline Schlegel
Datei	54328_Bericht_Holcim_Rev4.docx
Ort, Datum	Hamburg, den 01.03.2024



Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	2
Abbildungsverzeichnis	3
Anlagen	4
Literaturverzeichnis	5
1 Veranlassung und Aufgabenstellung	1
2 Datengrundlage	2
3 Hydrogeologisches Modell	3
3.1 Modellgebiet	3
3.2 Topographie	5
3.3 Hydrostratigrafische Modelleinheiten	6
3.4 Hydrogeologischer Aufbau	6
3.5 Hydrogeologie im Bereich Kiesabbau und Wasserwerk Linden	7
4 Kurze Zusammenfassung des Grundwasserströmungsmodells	9
4.1 Modellaufbau	9
4.2 Ergebnisse der Kalibrierung	12
5 Prognoserechnungen	15
5.1 Variation der Durchlässigkeit des H32	18
5.2 Variation der Grundwasserneubildung	19
6 Zusammenfassung und Empfehlungen zum weiteren Vorgehen	21

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1:	Transferschema hydrogeologische Einheiten – Modelllayer	9
Tabelle 4-2:	Spannweiten der kalibrierten k_f -Werte für die einzelnen Modellschichten	12
Tabelle 4-3:	Statistische Kennwerte der Modellkalibrierung	13
Tabelle 4-4:	Kriterium der Modellgüte über den RMSE für die stationäre Kalibrierungen	14
Tabelle 4-5:	Wasserbilanz für das kalibrierte Grundwassermodell	14

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1: Prinzipskizze für den Modellaufbau (DGFZ, 2008)	3
Abbildung 3-2: Übersichtskarte über Untersuchungs-, Modell- und Aussagegebiet sowie Schutzzonen	4
Abbildung 3-3: Digitales Geländemodell für das Untersuchungsgebiet.....	5
Abbildung 3-4: Verbreitung des Grundwasserhemmers H3.1 im Bereich des geplanten Kiesabbaus und dem Wasserwerk Linden.....	7
Abbildung 3-5: Verbreitung des Grundwasserhemmers H3.2 im Bereich des geplanten Kiesabbaus und dem Wasserwerk Linden.....	8
Abbildung 4-1: Vertikaldiskretisierung – Schnitt durch das WW Oeversee etwa Ost nach West (ca. 20-fach überhöht)	10
Abbildung 4-2: Darstellung aller im Modell verwendeten Randbedingungen	11
Abbildung 4-3: Scatterdiagramm für die kalibrierten Wasserstände aller Grundwasserleiter	13
Abbildung 5-1: Lage der Kiesabbaufäche innerhalb des Wassereinzugsgebietes	15
Abbildung 5-2: Geologischer Schnitt aus dem Modell zwischen dem Wasserwerk und der Kiesabbaufäche (blau und grün Töne zeigen hemmende, rot und gelb Töne zeigen leitende Schichten)	16
Abbildung 5-3: Grundwassergleichen für den oberen Grundwasserleiter LH3.....	17
Abbildung 5-4: Darstellung der Bahnlinien des Kalibrierzustands gestartet von der Aushubfläche	18
Abbildung 5-5: Bahnlinienverlauf bei einer Halbierung der Durchlässigkeit von H32	19
Abbildung 5-6: Bahnlinienverlauf bei einer Verdopplung der Durchlässigkeit von H32	19
Abbildung 5-7: Bahnlinienverlauf bei einer Halbierung der Grundwasserneubildung	20
Abbildung 5-8: Bahnlinienverlauf bei einer Verdopplung der Grundwasserneubildung	20
Abbildung 6-1: Vorgeschlagene Lage zweier Überwachungsmessstellen im Abstrombereich der Kiesabbaufäche	21

Anlagen

- Anlage 1: Modell- und Untersuchungsgebiet
- Anlage 2.1: Hydrostratigraphische Modelleinheiten
- Anlage 2.2: Geologischer Profilschnitt
- Anlage 3: Modellschichten
- Anlage 4-1: Modellnetz
- Anlage 4-2: Oberflächengewässer
- Anlage 4-3: Ergebnisse der Kalibrierung –Abweichungen der gemessenen zu den kalibrierten Wasserständen in L2
- Anlage 4-4: Ergebnisse der Kalibrierung –Abweichungen der gemessenen zu den kalibrierten Wasserständen in LH3
- Anlage 4-5: Ergebnisse der Kalibrierung –Abweichungen der gemessenen zu den kalibrierten Wasserständen in L41
- Anlage 4-6: Ergebnisse der Kalibrierung –Abweichungen der gemessenen zu den kalibrierten Wasserständen in L42
- Anlage 4-7: Ergebnisse der Kalibrierung –Kalibrierter Grundwassergleichenplan LH3
- Anlage 4-8: Ergebnisse der Kalibrierung –Kalibrierter Grundwassergleichenplan L3
- Anlage 4-9: Ergebnisse der Kalibrierung –Kalibrierter Grundwassergleichenplan L42

Literaturverzeichnis

- ANDERSON, M.P. & WOESSNER, W.W. (1992): Applied Groundwater Modeling.– pp. 381, San Diego, CA (Academic Press).
- ANDERSON, M.P., WOESSNER, W.W. & HUNT, R.J. (2015): Applied Groundwater Modeling.– pp. 564, San Diego, CA (Academic Press).
- DIERSCH, H.J.G. (2014): FEFLOW – Finite Element Modeling of Flow, Mass and Heat Transport in Porous and Fractured Media.– pp. 996, Berlin, Heidelberg (Springer).
- DVGW (2016): Aufbau und Anwendung numerischer Grundwassermodelle in Wassergewinnungsgebieten.– pp. 41, Technische Regel, Arbeitsblatt W107, Bonn (Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfachs).
- FH–DGG (1999): Hydrogeologische Modelle – Ein Leitfaden für Auftraggeber, Ingenieurbüros und Fachbehörden.– pp. 36, *Schriftenreihe der Deutschen Geologischen Gesellschaft* 10, Hannover (Fachsektion Hydrogeologie der Deutschen Geologischen Gesellschaft).
- FH–DGG (2002): Hydrogeologische Modelle – Ein Leitfaden mit Fallbeispielen.– pp. 120, *Schriftenreihe der Deutschen Geologischen Gesellschaft* 24, Hannover (Fachsektion Hydrogeologie der Deutschen Geologischen Gesellschaft).
- FH–DGG (2010): Hydrogeologische Modelle – Ein Leitfaden mit Fallbeispielen.– pp. 55, *Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften* 70, Hannover (Fachsektion Hydrogeologie der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften).
- HINSCH, W. (1991): Verbreitung quartärer und tertiärer Wasserleiter – Hydrogeologische Profiltypen. Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie - Grundwasser - Karte Nr. 1.2.1.1-10 (Stand: März 2003). LLUR S-H / Geologischer Dienst
- KUNKEL, R. & WENDLAND, F. (1998): Der Landschaftswasserhaushalt im Flusseinzugsgebiet der Elbe - Verfahren, Datengrundlagen und Bilanzgrößen.- Schr. d. FZJ, Reihe Umwelt, Bd. 12; Jülich.
- KUNKEL, R. & WENDLAND, F. (2002): The GROWA98 model for water balance analysis in large river basins - the river Elbe case study.- J. Hydrol., 259: 152-162.
- DR. LIEBAU, C. & NIEHOFF, M. (2007): Geosystem, Hydrologisches Gutachten zum Wassernetz Linden des Wasserverbandes Norderdithmarschen; Kiel
- NEUSS, M. & DÖRHÖFER, G. (2009): Hinweise zur Anwendung numerischer Modelle bei der Beurteilung hydrogeologischer Sachverhalte in Niedersachsen.– pp. 9, *GeoFakten* 8, Hannover (Niedersächsisches Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie).

- NIEHOFF, M & KÖNIG, B. (2021): LLUR Vermerk, Abschätzung des nutzbaren Grundwasserdargebotes im Bereich des „Heider Trogs“. LLUR, September 2021
- PETER, A. (2016): LLUR-Bericht: Informationssystem Grundwasserdynamik – Aufbau eines landesweiten Kartenwerkes. Projektgebiet Nordwestliches Schleswig-Holstein. Teilbericht 1: Erstellung des geologischen Modells. LLUR, November 2016. Samt Anlagen
- REUTTER, E. (2013): Hydrostratigrafische Gliederung Niedersachsens.– pp. 11, *GeoFakten 21*, Hannover (Niedersächsisches Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie).
- WVND (2007): Antrag auf Erteilung einer Bewilligung zur Grundwassernetznahme nach §8 Wasserhaushaltsgesetz vom 31.08.2007

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Die Fa. Holcim plant die Einrichtung eines Kiesabbaus innerhalb des Wasserschutzgebietes des Wasserwerkes Linden, welches von dem Wasserverband Norderdithmarschen (WVND) betrieben wird.

Aus Sicht des Wasserversorgers kann der geplante Kiesabbau eine Gefährdung für das Grundwasser darstellen. Durch den geplanten, oberflächennahen Kiesabbau werden grundwasser-schützende Deckschichten abgetragen und somit der Eintrag von wassergefährdenden Stoffen ermöglicht bzw. erleichtert. Die Gefährdungslage wird als besonders hoch eingeschätzt, da im Bereich des geplanten Kiesabbaus „geologische Fensterstrukturen“ vermutet werden.

Die CONSULAQUA Hamburg Beratungsgesellschaft mbH (CAH) wurde im Dezember 2020 vom WVND für die Erstellung eines numerischen Grundwasserströmungsmodells für den Bereich der Einzugsgebiete der Förderbrunnen des Wasserwerkes Linden beauftragt. Das numerische Grundwassermodell kann mit den gewonnenen Erkundungsdaten der Fa. Holcim im Bereich des geplanten Kiesabbaus verfeinert werden, um Prognoserechnungen mit dem Ziel durchzuführen, die Fließgeschwindigkeiten und Fließrichtungen von möglicherweise durch den Kiesabbau mobilisierten Schadstoffen zu ermitteln. Diese Vorgehensweise wurde mit dem WVND im Dezember 2020 abgestimmt.

Die CAH wurde von der Fa. Holcim am 08.12.2021 beauftragt, das numerische Grundwassermodell Linden im Bereich des Kiesabbaus Schalkholz-West zu verfeinern und es anschließend für Prognoserechnung zur potenziellen Gefährdung der Grundwasserqualität im WSG WW Linden zu nutzen.

2 Datengrundlage

Für den Aufbau und die Verfeinerung des numerischen Grundwassermodells Linden im Bereich des Kiesabbaus Schalkholz-West wurden folgende Daten recherchiert und verwendet:

- Daten zur Grundwasserneubildung nach dem GROWA-Verfahren (LLUR)
- Digitales Geländemodell 1:10.000 und 1:50.000 (DGM10 und DGM50) (LVermGeo SH)
- Geologische Übersichtskarte von Schleswig-Holstein 1:250.000 (GÜK 250) (LLUR)
- Geologische Profilschnitte, Grundwassergleichenplan aus: Hydrogeologisches Gutachten (GeoSystem, 2007) aus dem Antrag auf wasserrechtliche Bewilligung des WVND (WVND, 2007)
- 742 Bohrungsdatensätze als Bohrungsdatenbankauszug (LLUR)
- Zusätzlich 36 Bohrungsdatensätze aus dem Online-Portal des LLUR
- 4 Bohrungsdatensätze der Firma Holcim
- Daten aus dem tieferen Untergrundmodell (LLUR)
- Oberflächengewässer- und Pegeldata (LLUR)
- Grundwasserstandsdaten zu Grundwassermessstellen (LLUR)
- Wasserschutzgebiete (LLUR)

Die nach diesem Schema festgelegten Modellräume werden in der nachfolgenden Abbildung 3-2 und in Anlage 1 kartographisch dargestellt.

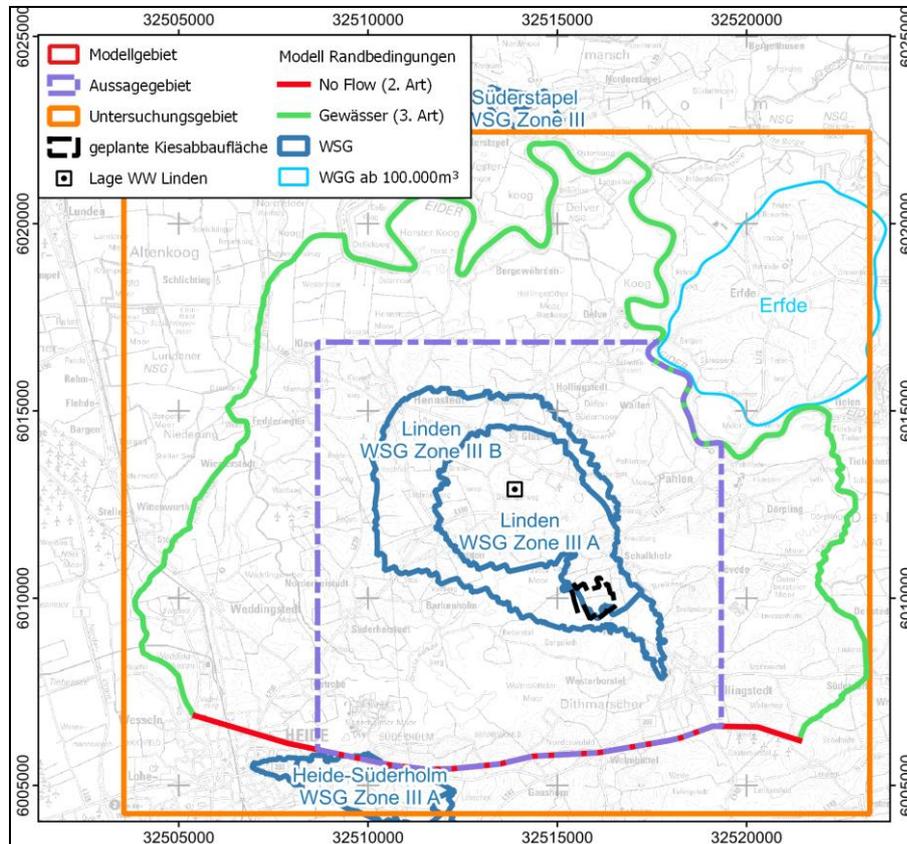


Abbildung 3-2: Übersichtskarte über Untersuchungs-, Modell- und Aussagegebiet sowie Schutzzonen

Die nördliche bis nordöstliche Grenze des **Modellgebiets** wird durch den teilweise stark mäandrierenden Gewässerlauf der Eider repräsentiert. Die westliche Modellgebietsgrenze verläuft entlang der Broklandsau, die östliche entlang der Twisselau und Tielenu. Beide Gewässer münden im Norden in die Eider, wodurch das Modellgebiet zu einem Großteil durch Fließgewässer umschlossen wird. Im Süden wurde die Modellgrenze mit deutlichem Abstand ($> 1,5$ km) zum Wasserschutzgebiet Linden anhand der aus Altgutachten stammenden Grundwassergleichenplänen gewählt. Die Modellgrenze verläuft hier nördlich der Stadt Heide und des Wasserschutzgebiets Heide-Süderholm bis südlich von Tellingsstedt. Die Modellgrenzen entlang der Fließgewässer werden mit Randbedingungen 3. Art belegt. Die übrigen Teile der Umgrenzung wurden entweder begradigt als Modellränder 2. Art (No flow-Randbedingung) festgelegt. Die Fläche des festgelegten Modellgebiets beträgt ca. 207,7 km².

Zur Festlegung des **Untersuchungsgebiets** wurde ein Rechteck gewählt, welches das gesamte Modellgebiet einschließt und den Vorgaben des LLUR entspricht. Dieses Rechteck hat eine Fläche von ca. 358,5 km² und liegt zwischen den Koordinaten 32.503.550 und 32.523.250 Ost sowie 6.004.250 und 6.022.450 Nord (ETRS89/UTM-Koordinatensystem).

Das **Aussagegebiet** umfasst das gesamte Wasserschutzgebiet Linden sowie einen Abstand nach außen von mindestens 1,2 km. In weiten Teilen hat das Aussagegebiet eine deutliche Entfernung von den Modellrändern, nur im Nordosten grenzt es direkt an den Modellrand entlang der Eider und im Süden verläuft die Grenze entlang des No flow-Randes.

3.2 Topographie

Als Geländeoberfläche für das Grundwassermodell wurde das digitale Geländemodell 1:10.000 des Landesamts für Vermessung und Geoinformation Schleswig-Holstein verwendet. Das Raster wurde auf die Ausmaße des Untersuchungsgebiets zugeschnitten und auf die Modellrasterzellenweite von 100 × 100 m angepasst.

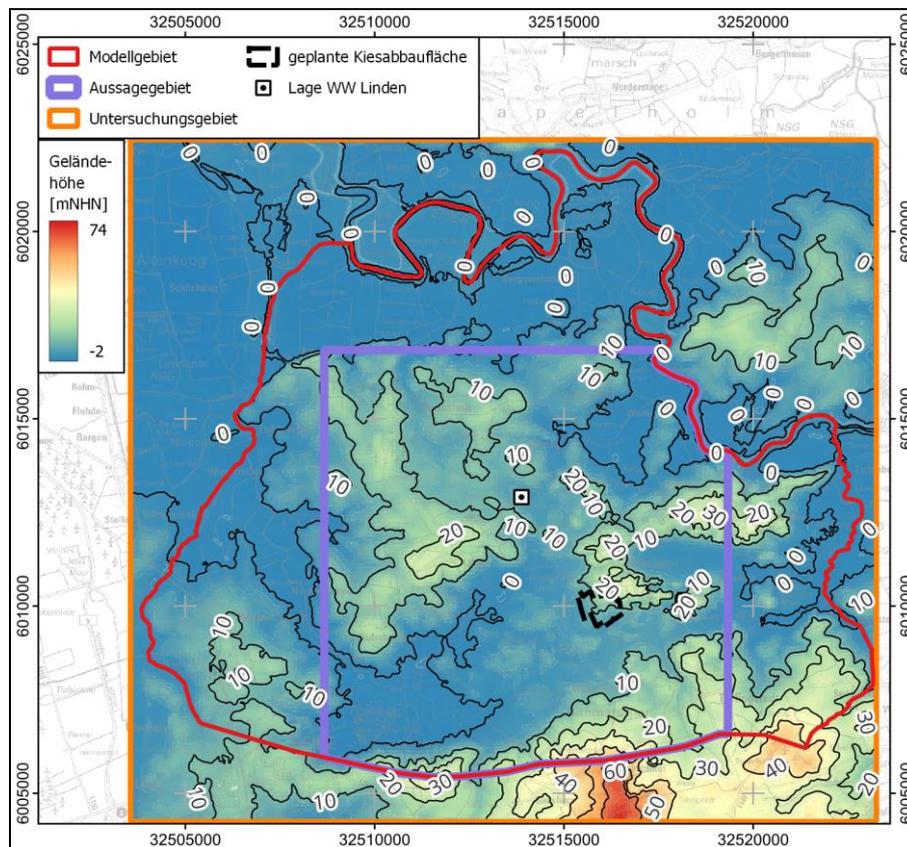


Abbildung 3-3: Digitales Geländemodell für das Untersuchungsgebiet

Abbildung 3-3 stellt die Topographie im Untersuchungsgebiet dar. Die Geländehöhen bewegen sich zwischen einem Minimum von ca. -1,8 mNHN und einem Maximum von ca. 73,5 mNHN. Die mittlere Geländehöhe beträgt ca. 6,5 mNHN.

Die Niederungen im Untersuchungsgebiet sind an die Gewässerläufe gebunden. Die niedrigen Geländehöhen treten daher insbesondere im Bereich der Eider (nördliches Modellgebiet), der Broklandsau (westliches Modellgebiet) und der Twisselau und Tielenau (östliches Modellgebiet) auf. Die höchsten Geländebereiche bildet die Dithmarscher Schweiz am Südrand des Untersuchungsgebiets. Dazwischen gestaltet sich die Morphologie aus ebenen Bereichen in Höhen von bis zu ca. 10 mNHN sowie hügeligen Arealen von bis zu ca. 20-30 mNHN Höhe.

3.3 Hydrostratigraphische Modelleinheiten

Die hydrostratigraphischen Modelleinheiten, die im hydrogeologische Modell eingearbeitet wurden, sind in Anlage 2-1 in tabellarischer Form aufgelistet. Sie wurden nach den Vorgaben des LLUR ausgewählt und benannt. Dafür wurde die offizielle hydrostratigraphische Gliederung von Schleswig-Holstein für känozoische Lockergesteine (LLUR, Stand 19. Mai 2020) an die Gegebenheiten des Modellgebiets angepasst. Einheiten ohne Verbreitung im Modellgebiet wurden aus der Liste entfernt.

Im Laufe der Bearbeitung hat sich gezeigt, dass sich die hydrogeologische Modelleinheit H3 (Moränen und Beckenablagerungen des Saale-Komplexes) im gesamten Modellgebiet in zwei Untereinheiten aufteilen lässt, die durch einen Zwischenleiter getrennt sind. Demnach wurde nach Vorgaben des LLUR die Modelleinheit H3 in die drei Einheiten H3.1 (Drenthe 2-Moränen), LH3 (Interstadial-Zwischenleiter) und H3.2 (Drenthe 1-Moräne) erweitert.

Für das Strukturmodell ergeben sich letztlich 10 hydrostratigraphische Modelleinheiten, von denen 9 dem Quartär zugeordnet werden können und die unterste (Kaolinsande) dem Tertiär (Anlage 2-1). Als Modellbasis dient die Oberkante des oberen Glimmertons bzw. tiefere tertiäre Schichten unterhalb der Braunkohlensande.

3.4 Hydrogeologischer Aufbau

Das Grundwassermodell Linden besteht im Liegenden aus den stratigraphischen Einheiten des oberen Tertiärs. Darüber folgen quartäre Deckschichten. Anlage 2-2 gibt einen Überblick über den Untergrund zwischen dem geplanten Kiesabbau Schalkholz West und dem Wasserwerk Linden in Form eines geologischen Profilschnitts des LLUR sowie der Umsetzung im Grundwassermodell.

Das Tertiär wird durch den Heider Trog geprägt, einer durch Salztektonik bedingten Senkstruktur zwischen zwei in Nord-Süd-Richtung parallel verlaufenden Salzstöcken. Die jüngste tertiäre Einheit dieser in Nord-Süd-Richtung ca. 35km lange und ca. 10km breite beckenartigen Struktur besteht aus überwiegend sandigen Schichten, den Kaolinsanden, aus deren Zentrum das Wasserwerks Linden sein Förderwasser entnimmt. Im Grundwassermodell sind die Kaolinsande als Grundwasserleiter L4.2 abgebildet. Im geologischen Profilschnitt werden die Geometrie und die Dimension der Kaolinsande deutlich, die hier mit bis zu ca. 70 m Mächtigkeit die quartären Deckschichten unterlagern und eine trogförmige Struktur bilden, die nach Südosten auskeilt.

Das Quartär lagert auf dem Tertiär und bildet eine Wechselfolge aus grundwasserleitenden und grundwasserhemmenden Sedimenten der Elster- und Saalekaltzeit sowie entsprechenden Interstadialen. Dazu gehören die überwiegend grundwasserhemmenden Sedimente (H3.1, H3.2, H4.2), die sich während der Gletschervorstöße gebildet haben, und teilweise komplexe Strukturen bilden. Daneben bestehen Schmelzwassersande (L2, L3) die sich während des Abschmelzens dieser Gletscher gebildet haben und teilweise als tiefe Rinnen (L4.1) in bis zu tertiäre Einheiten schneiden. Abschließend befinden sich im Modellgebiet weit verbreitet Moore und Kleischichten, z.B. im Eidertal, bis an die Geländeoberkante, welche erheblichen Einfluss auf die Grundwassere Neubildung haben können (H1).

3.5 Hydrogeologie im Bereich Kiesabbau und Wasserwerk Linden

Der Bereich zwischen dem geplanten Kiesabbaugebiet und dem Wasserwerk Linden kennzeichnet sich durch eine Plateaufläche zwischen den quartären Rinnen unter der sehr mächtigen Kaolinsande im Achsenbereich des Heider Trogs erhalten sind (Anlage 2-2). Die Quartärbasis (Oberkante des L4.2) verläuft in ca. -40 bis -55 mNHN Teufe, unter der die bis zu 70 m mächtigen Kaolinsande folgen. Das Quartär ist in diesem Bereich vor allem durch die Wechselfolge von zwei grundwasserhemmenden Einheiten (H3.1 und H3.2) und grundwasserleitenden Einheiten (LH3 und L2) geprägt. Tieferen quartären Einheiten (L3, L4.1, H4.1 und H4.2) kommen nur in geringen Anteilen bzw. gar nicht vor.

Die für den Kiesabbau relevanten grundwasserhemmenden Modelleinheiten H3.1 und H3.2 werden in den folgenden beiden Abschnitten noch einmal etwas detaillierter beschrieben.

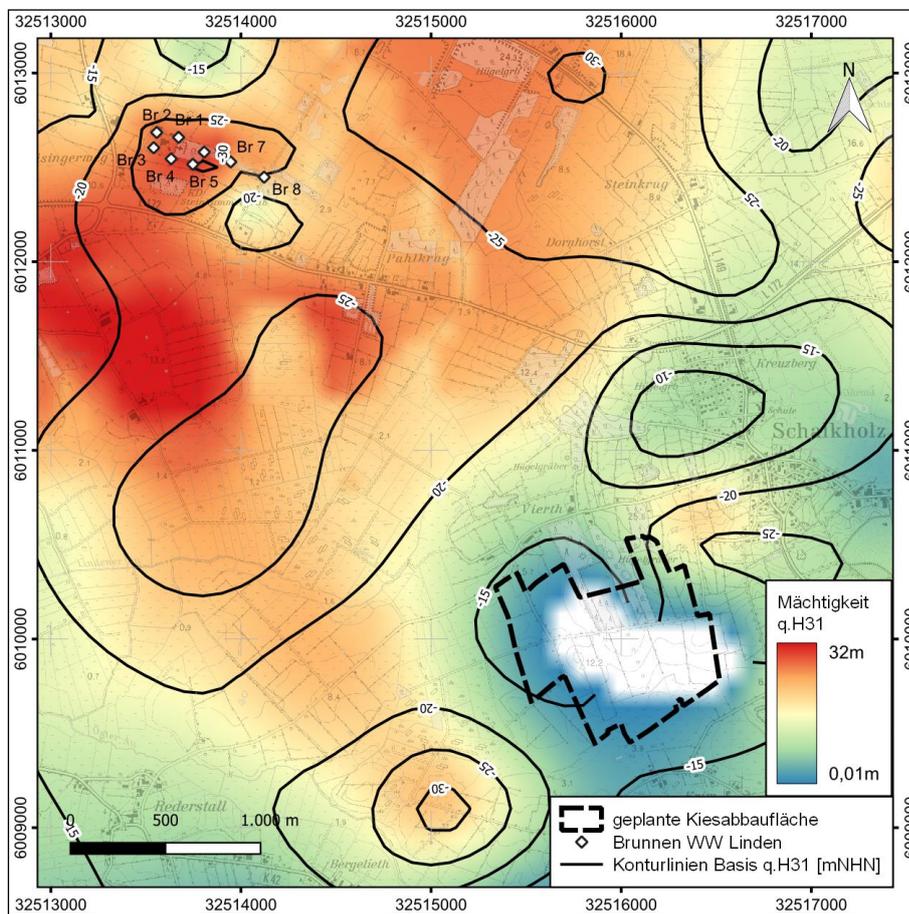


Abbildung 3-4: Verbreitung des Grundwasserhemmers H3.1 im Bereich des geplanten Kiesabbaus und dem Wasserwerk Linden

Die saalezeitlichen Moränen und Beckenablagerungen des H3.1 (Drenthe-Stadium 2) sind mit Ausnahme des äußersten Nordens im gesamten Modellgebiet flächig verbreitet (Anlage 3-1). In Abbildung 3-4 ist der Bereich zwischen dem geplanten Kiesabbau und dem Wasserwerk Linden dargestellt. Im Bereich Wasserwerk Linden ist demnach eine gute Abdeckung durch den H3.1 mit Mächtigkeiten zwischen 10 und 32 m gegeben. Im Bereich des geplanten Kiesabbaus ist eine

Schichtlücke vorhanden, welche eine Wegsamkeit zwischen den Grundwasserleitern L2 und LH3 ermöglicht.

Der Zwischenleiter LH3 trennt die beiden Drenthe-zeitlichen Geschiebemergel H3.1 und H3.2 und ist vollständig zwischen dem geplanten Kiesabbau und dem Wasserwerk Linden ausgebildet. Die Mächtigkeiten bewegen sich hier zwischen 10 und 20 m.

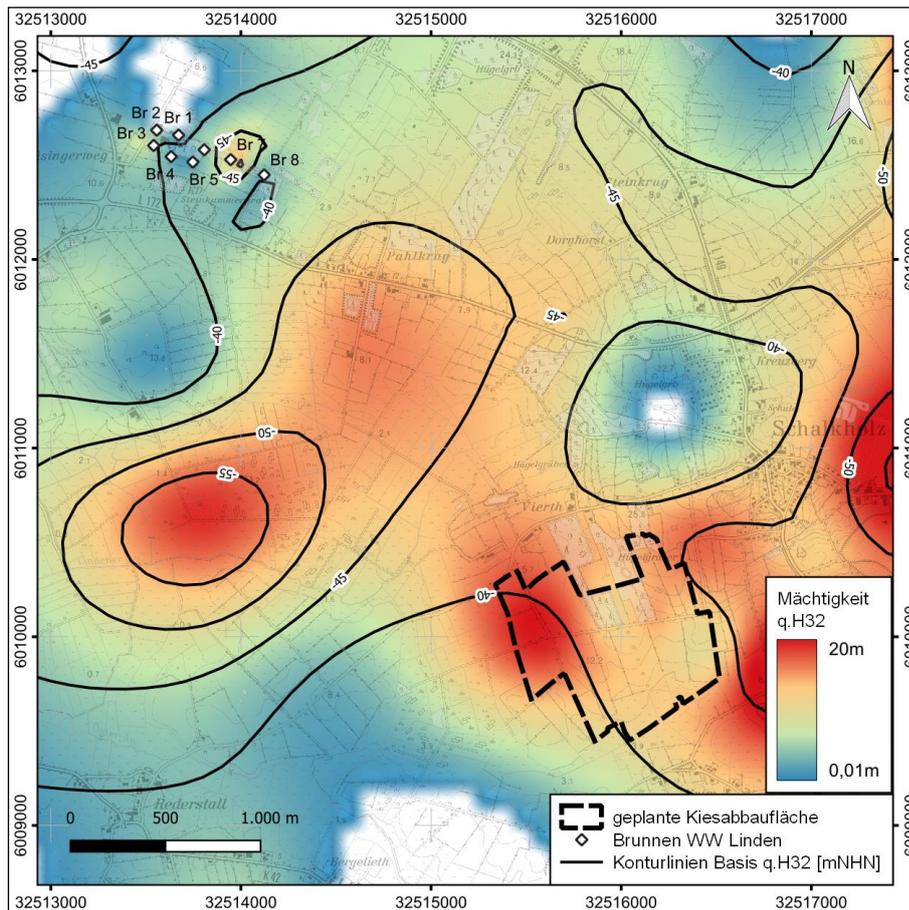


Abbildung 3-5: Verbreitung des Grundwasserhemmers H3.2 im Bereich des geplanten Kiesabbaus und dem Wasserwerk Linden

Der Grundwasserhemmer H3.2 mit den saalezeitlichen Moränen und Beckenablagerungen (Drenthe-Stadium 1) ist, ähnlich wie der H3.1, bis auf einzelne Schichtlücken im gesamten Modellgebiet verbreitet (Anlage 3-2). Zwischen dem geplanten Kiesabbaubereich und dem Wasserwerk Linden ist die Schichteinheit lückenlos verbreitet und überwiegend > 10 m mächtig (Abbildung 3-5). Nach Nordwesten in der Nähe des Wasserwerks dünnt diese Schicht aus und bildet eine Schichtlücke, die eine Wasserwegsamkeit zwischen dem LH3 und dem L42 ermöglicht.

Insgesamt ist darauf hinzuweisen, dass die quartären Schichteinheiten in den Korngrößenanteilen stark variieren können, was zu einer größeren Spanne für die k_f – Werte führt. So können Geschiebemergel an manchen Stellen wenig Feinkomponente enthalten und hier durchlässiger sein als gewöhnlich. Genauso können grundwasserleitende Schichten auch teilweise mehr Feinkomponente enthalten und die Durchlässigkeit verringern.

4 Kurze Zusammenfassung des Grundwasserströmungsmodells

4.1 Modellaufbau

Die Erstellung des numerischen Grundwasserströmungsmodells erfolgte entsprechend den einschlägigen Richtlinien des DVGW W107(a) (2016) sowie weiterer Fachliteratur (u.a. Neus & Dörhofer, 2009). Für die Modellierung wurde das Softwarepaket FeFlow 7.5 genutzt (Diersch, 2014).

Die Festlegung der Modellschichten erfolgte entsprechend dem in Abschnitt 3.4 dargestellten hydrogeologischen Konzeptmodell. Der Transfer der hydrogeologischen Modelleinheiten auf die Einheiten des numerischen Grundwasserströmungsmodells wurde gemäß dem in Tabelle 4-1 aufgeführten Schema vorgenommen.

Tabelle 4-1: Transferschema hydrogeologische Einheiten – Modelllayer

Hydrostratigraphie	Modelllayer	Zuordnung Grundwasserleiter
H1	1	GWL 1
L2	2	
H31	3	
LH3	4	
H32	5	
L3	6	
H41	7	Rinnensedimente
H42	8	
L41	9	
L42	10-13	GWL 2

Die Modellschichten wurden aus den Ergebnisdaten des Strukturmodells der hydrogeologischen Modellierung (Basisraster) auf die Modellknoten ausgelesen und in das numerische Modell transferiert.

Für die Generierung des Finite-Elemente-Netzes wurden als Bezugsgrößen die Entnahmebrunnen des Wasserwerkes Linden und die Stützstellen für die Oberflächengewässer herangezogen. Das erstellte Modellnetz ist in Anlage 4-1 beigefügt. Es enthält 729.252 Netzelemente und 403.585 Knoten. Die Anzahl der Modellschichten beträgt 13. Jede Modellschicht wird horizontal komplett durch das gesamte Modellgebiet durchgeführt. Falls eine Schicht nicht vorhanden ist, wird sie mit einer Restmächtigkeit von ca. 0,1 m mitgeführt. Die vertikale Modelldiskretisierung erfolgte entsprechend der in Tabelle 4-1 aufgeführten Struktur. Der Förderhorizont L42 wird vertikal in drei Schichten mit jeweils gleichen Durchlässigkeitsbeiwerten unterteilt. In der nachfolgenden Abbildung 4-1 ist die vertikale Diskretisierung mit den schematischen hydrostratigrafischen Einheiten dargestellt.

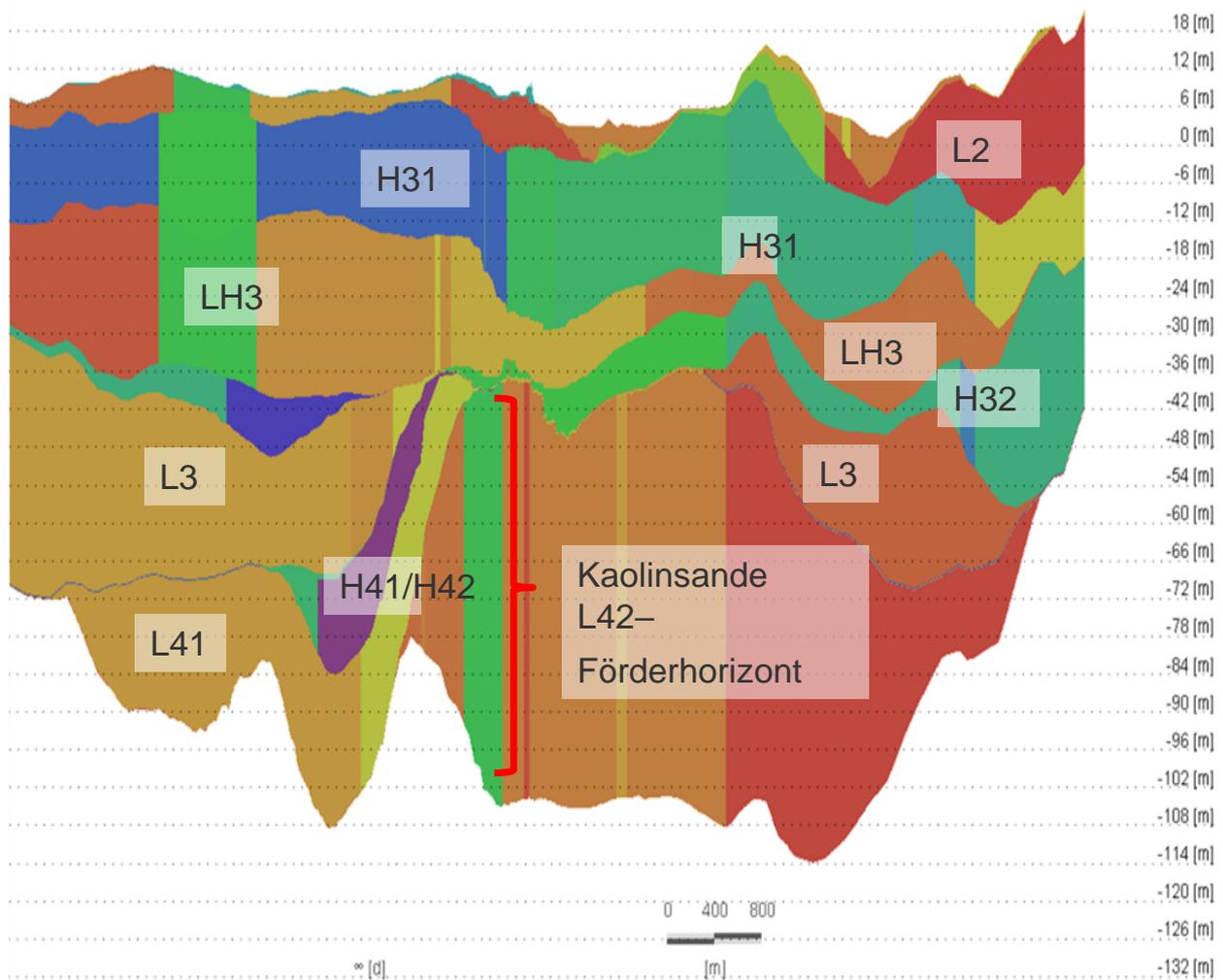


Abbildung 4-1: Vertikaldiskretisierung – Schnitt durch das WW Oeversee etwa Ost nach West (ca. 20-fach überhöht)

Lage und Größe des Modellgebietes wurden so ausgewählt, dass die äußeren Randbedingungen keinen relevanten Einfluss auf die Berechnungsergebnisse im Aussagegebiet haben.

Des Weiteren sind vier Arten von Randbedingungen zu unterscheiden (DVGW W107(a)):

1) **Randbedingungen 1. Art (Dirichlet-Typ)**

Hierbei handelt es sich um den sog. Festpotentialrand, bei dem die Piezometerhöhe auf der Basis von Messungen am Rand festgelegt wird, und während der Simulationen konstant bleibt.

2) **Randbedingungen 2. Art (Neumann-Typ)**

Bei diesem Rand wird im Gegensatz zu den Randbedingungen 1. Art der Zu- oder Abstrom über den Rand definiert. Dieser Wert bleibt über die Simulation hinweg konstant. Ein Sonderfall der Randbedingung 2. Art ist der undurchlässige Rand (*No flow*; Zu- oder Abstrom = 0), der häufig in Bereichen von vermuteten Grundwasserscheiden eingesetzt wird.

3) Randbedingungen 3. Art (Cauchy-Typ)

Diese Randbedingung beschreibt den Austausch zwischen Oberflächengewässer und Grundwasserleiter.

4) Randbedingungen 4. Art (punktuelle Entnahmen und Infiltrationen)

Es handelt sich hierbei um die Berücksichtigung von Förder- und Infiltrationsbrunnen, die je nach Lage und Länge der Filterstrecke tiefenorientiert im Modell berücksichtigt werden können.

In der nachfolgenden Abbildung 4-2 sind alle im Modell verwendeten Randbedingungen dargestellt.

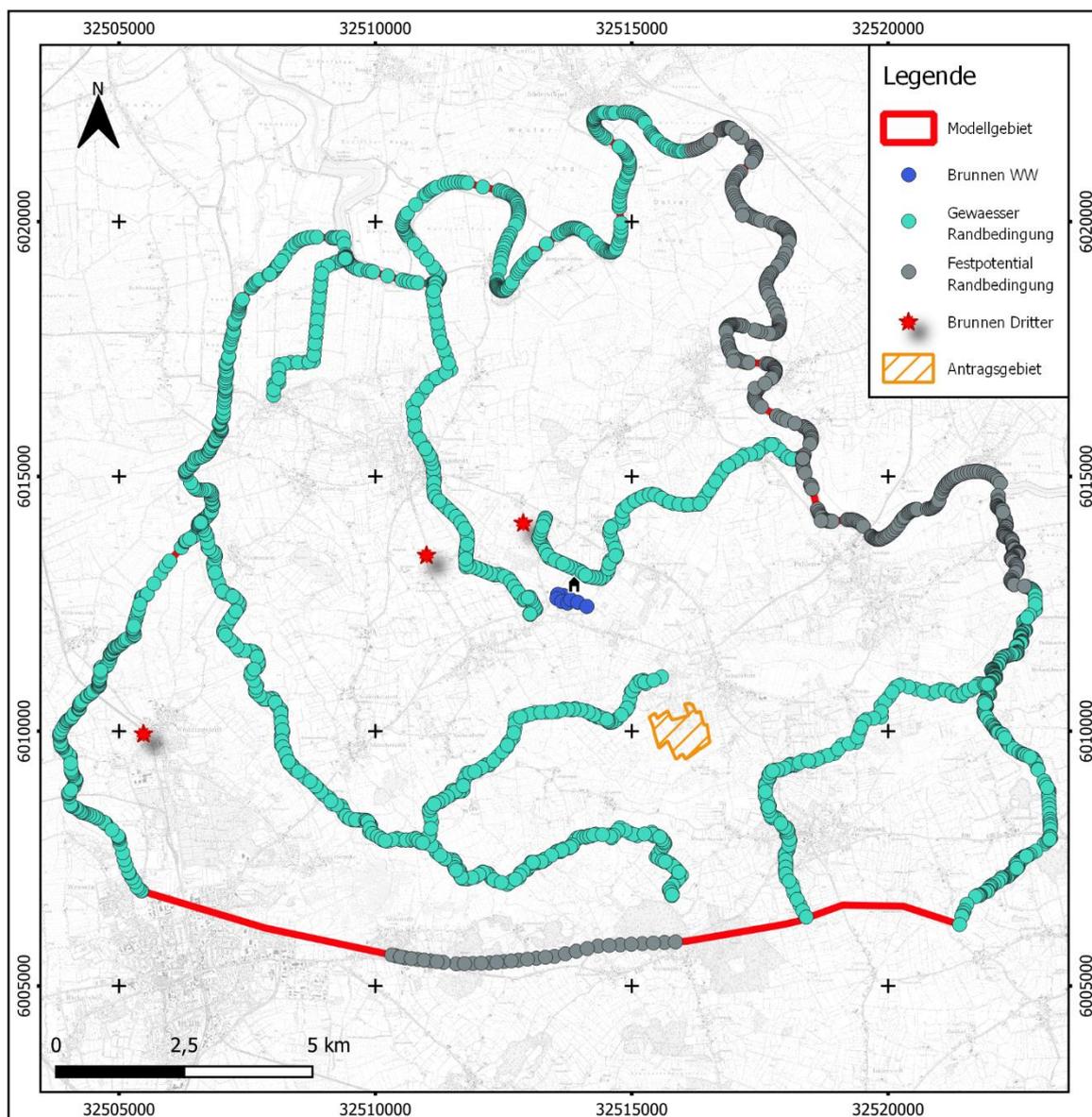


Abbildung 4-2: Darstellung aller im Modell verwendeten Randbedingungen

Die Grundwasserneubildung wurde zunächst nach GROWA 2009 ausgewählt. Im Zuge der Kalibrierung wurde die Grundwasserneubildungsrate geringfügig angepasst. Die Grundwasserneubildungsrate liegt im Modellgebiet zwischen 145 und 530 mm/a, im Mittel beträgt sie ca. 139

mm/a. Die jährlich neugebildete Grundwasserneubildungsmenge beträgt im gesamten Modellgebiet ca. 28,9 Mio. m³/a.

4.2 Ergebnisse der Kalibrierung

Bei der Kalibrierung werden die Modellparameter solange variiert, bis die modellierten Grundwasserstände die an den Grundwassermessstellen gemessenen Wasserstände gut reproduzieren. Für die Kalibrierung wurden die gemessenen Grundwasserstände aus dem Jahr 2019 ausgewählt. Es erfolgte eine Mittelung der gemessenen Grundwasserstände und die Mittelung der Jahresgesamtförderrate der Wasserwerksbrunnen des WW Linden sowie der Brunnen Dritter für das Jahr 2019. Im langzeitlichen Niederschlagstrend stellt das Jahr 2019 ein mittleres Jahr dar.

Die Kalibrierung erfolgte anhand des Vergleiches der gemessenen mit den modellierten Grundwasserständen (vgl. Anlage 4-3 bis 4-8). Die k_f -Werte sowie die Transferraten der Gewässer wurden so lange in einem plausiblen Rahmen variiert bis die Abweichungen zwischen modellierten und gemessenen Grundwasserstände minimal waren.

Die Spannweiten der kalibrierten k_f -Werte für die einzelnen Modellschichten sind in Tabelle 4-2 aufgeführt.

Tabelle 4-2: Spannweiten der kalibrierten k_f -Werte für die einzelnen Modellschichten

Layer	Hydrostratigraphie	Minimum (10 ⁻⁴ m/s)	Maximum (10 ⁻⁴ m/s)
1	H1	0,0015	3
2	L2	0,01	15
3	H31	9,6e ⁻⁵	0,48
4	LH3	0,001	8
5	H32	1,5e ⁻⁵	0,2
6	L3	0,001	6
7	H41	8e ⁻⁵	0,004
8	H42	1e ⁻⁶	0,004
9	L41	0,4	4
10 -13	L42	0,1	12

Anhand des in der folgenden Abbildung 4-3 dargestellten Verteilungsdiagramm (Scatterdiagramm) kann die Güte der Kalibrierung bzw. der Anpassung zwischen gemessenen und kalibrierten Standrohrspiegelhöhen (Grundwasserstände) visuell abgeschätzt werden. In der Grafik sind die gemessenen gegen die die berechneten Standrohrspiegelhöhen aufgetragen. Eine perfekte Anpassung zwischen gemessenen und kalibrierten Grundwasserständen wird durch eine Gerade repräsentiert, die durch den Ursprung des Koordinatensystems läuft und die Steigung 1

aufweist (DVGW W107(a)). Mit Hilfe statistischer Methoden wurde eine Regressionsgerade berechnet und die Gleichung in der Abbildung 4-3 dargestellt. Das Scatterdiagramm zeigt, dass die Messpunkte gleichmäßig und mit geringer Streuung um die Regressionsgerade verteilt liegen. Die Steigung der Geraden beträgt nahezu 1, sie läuft durch den Koordinatensystemursprung und auch das Bestimmtheitsmaß R^2 liegt etwa bei 1.

Das Scatterdiagramm mit dem hohen Bestimmtheitsmaß zeigt, dass kein systematischer Modellfehler im Rahmen der Modellkalibrierung vorliegt.

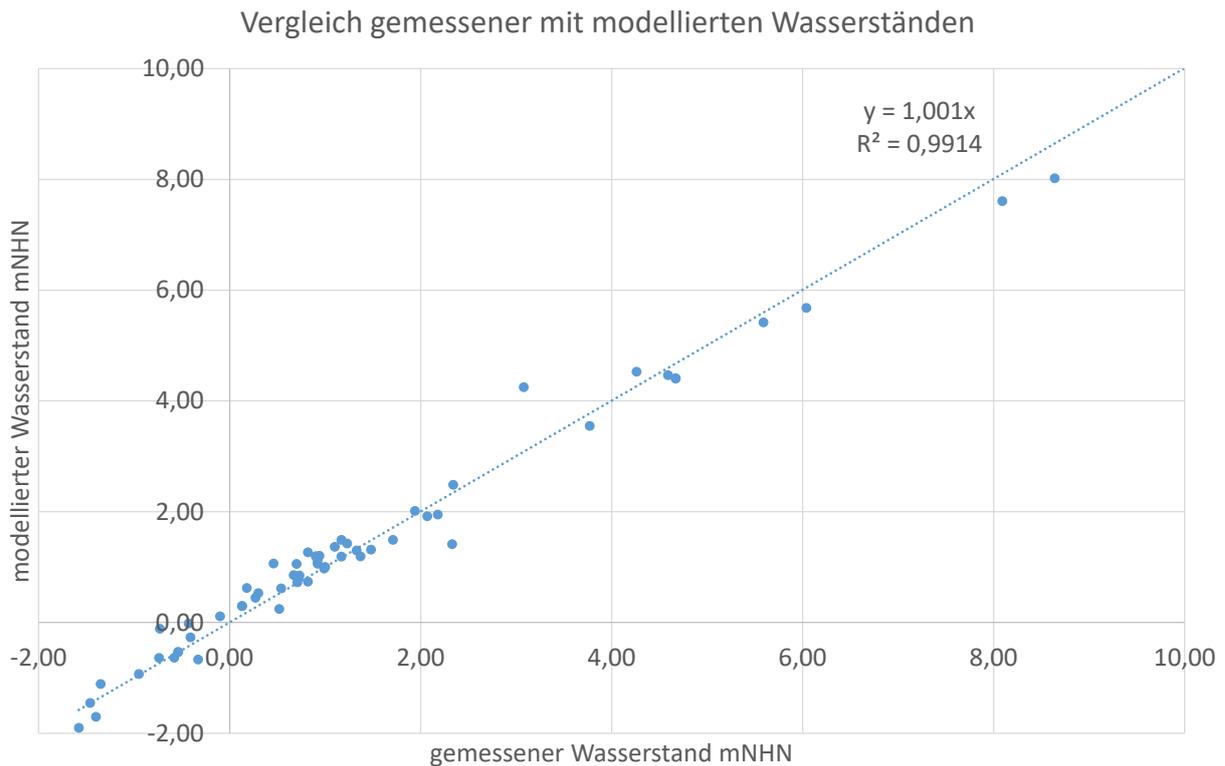


Abbildung 4-3: Scatterdiagramm für die kalibrierten Wasserstände aller Grundwasserleiter

Als weiteres Kriterium für die Güte der Modellanpassung wird der Soll-Ist-Vergleich zwischen den modellberechneten und gemessenen Standrohrspiegelhöhen herangezogen. Aus den Differenzen zwischen modellberechneten und gemessenen Standrohrspiegelhöhen werden statistische Kennwerte berechnet, welche in Tabelle 4-3 zusammengestellt sind.

Tabelle 4-3: Statistische Kennwerte der Modellkalibrierung

Datenbasis	Kalibrierzeitraum	Anzahl Messwerte	Mittelwert der Abweichungen	Mittelwert der Beiträge der Abweichungen
			[m]	[m]
Messstellen	MW Jahr 2019	60	0,04	0,24

Häufig dient der Mittelwert der Abweichungsbeträge als entscheidender Kennwert zur Darstellung der Modellanpassung. Für das Modellgebiet konnte mit einer mittleren Abweichung von 0,24 m eine gute Anpassung erreicht werden.

Ein weiteres Kriterium für die Modellgüte eines stationären Grundwassermodells stellt der RMSE (= root mean square error) dar. Es handelt sich um die Wurzel des Mittelwerts der quadratischen Abweichungen und ist ein Maß für die Streuung der Abweichungen um den Idealwert (0m).

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (h_m - h_s)_i^2 \right]^{0.5}$$

Es gilt, dass der RMSE nicht größer als 5% der maximalen Höhendifferenz der gemessenen Standrohrspiegelhöhen, bezogen auf das gesamte Modellgebiet, sein sollte (vgl. Anderson & Woessner, 1992; Anderson et al., 2015).

Die Werte in der nachfolgende Tabelle 4-4 zeigen, dass das oben beschriebene Kriterium erfüllt wird. In dem Modellgebiet liegt eine Messstelle, Osterborstelfeld, mit einem Wasserstand von 27,72 mNHN im Vergleich zu allen anderen Messstellen sehr hoch. Diese wird allerdings für die Berechnung des RMSE nicht betrachtet.

Tabelle 4-4: Kriterium der Modellgüte über den RMSE für die stationäre Kalibrierungen

RMSE	max. Standrohrspiegelhöhe [m] (WB_SW-F1)	min. Standrohrspiegelhöhe [m] (M5/90_F2)	Max. Höhendifferenz [m]	5% der max. Höhendifferenz [m]
0,32	8,64	-1,58	10,22	0,51

Die Wasserbilanz für das Modellgebiet wird in der nachfolgenden Tabelle 4-5 dargestellt. Die Bilanzsumme weist eine Abweichung von lediglich 0,02 Mio. m³ auf und zeigt, dass kein größerer numerischer Modellfehler aufgetreten ist.

Tabelle 4-5: Wasserbilanz für das kalibrierte Grundwassermodell

Parameter	Modellzufluss	Modellabfluss	Bilanz
	[Mill. m ³ /a]	[Mill. m ³ /a]	[Mill. m ³ /a]
Grundwasserneubildung	28,96	-0,04	28,92
Oberflächengewässer	2,28	-29,82	-27,54
Grundwasserförderung bzw. -Infiltration	0	-3,89	-3,93
Randzu- bzw. -abflüsse	15,02	-12,49	2,53
Bilanzsumme	46,25	-46,24	0,02
Numerischer Fehler			0%

5 Prognoserechnungen

Die Firma Holcim plant eine neue Kiesabbaufläche im Südwesten von Schalkholz einzurichten. Das Gebiet ist ca. 0,7 km² groß und der überwiegende Teil liegt im Wasserschutzgebiet bzw. Einzugsgebiet des Wasserwerkes Linden. Zur Bewertung der möglichen Auswirkungen des Kiesabbaus auf die Grundwasserqualität im Bereich des WSG Linden werden unterschiedliche Szenarien aufgestellt und mit dem numerischen Grundwassermodell berechnet.

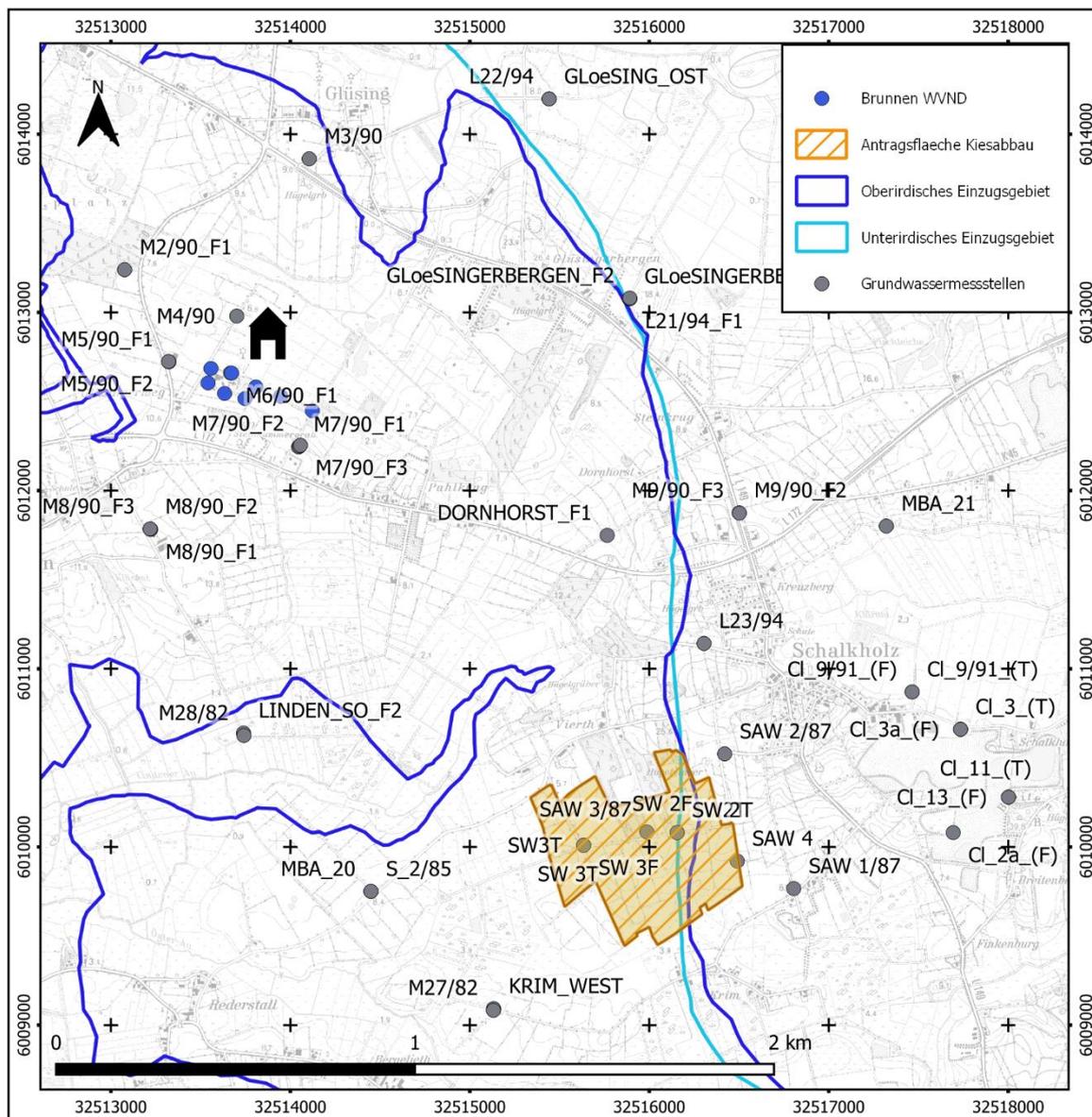


Abbildung 5-1: Lage der Kiesabbaufläche innerhalb des Wassereinzugsgebietes

Als Grundlage für alle Berechnungen wird davon ausgegangen, dass der Kiesabbau über die gesamte Fläche bis zur ersten durchgängigen Hemmschicht H32 reicht. Somit wird quasi von einem Worst Case Szenario ausgegangen. Des Weiteren werden die Grundwasserfließgeschwindigkeiten ohne Retardation und natürlichem Abbau der im Grundwasser gelösten Stoffe berechnet. In Abbildung 5-2 ist der geologische Untergrundaufbau in einem Schnitt zwischen

Abbaufäche und Wasserwerk dargestellt. Die Entfernung der Abbaufäche zum Wasserwerk beträgt ca. 2800 m.

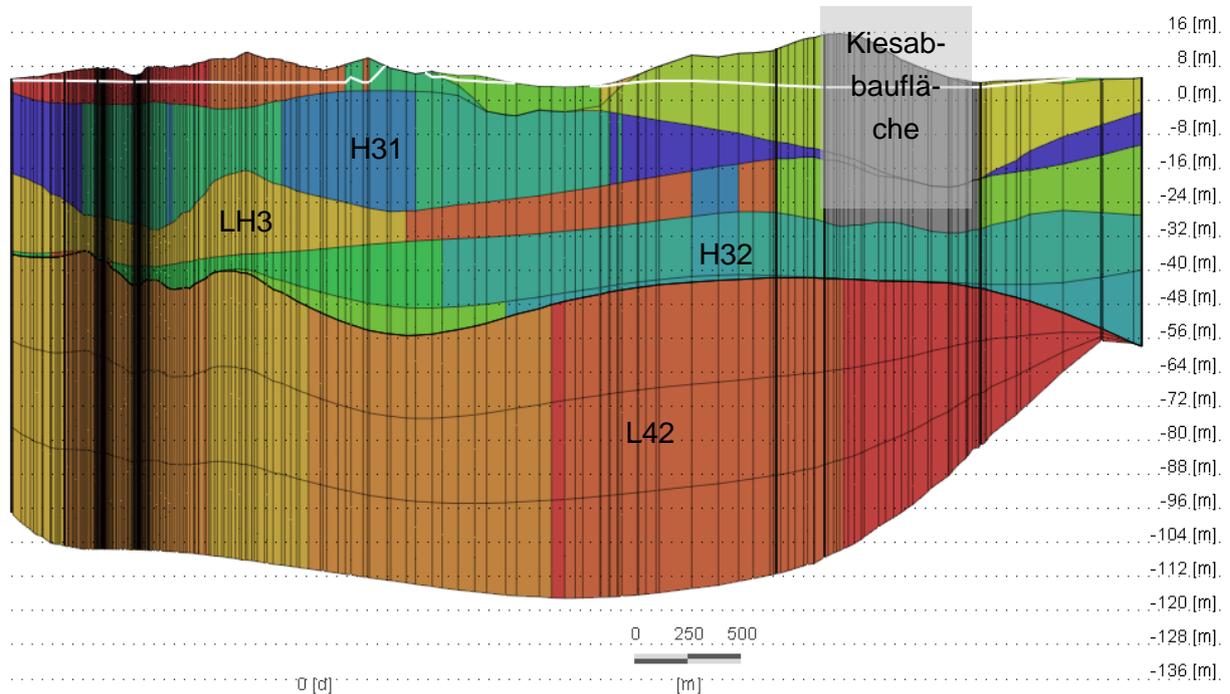


Abbildung 5-2: Geologischer Schnitt aus dem Modell zwischen dem Wasserwerk und der Kiesabbaufäche (blau und grün Töne zeigen hemmende, rot und gelb Töne zeigen leitende Schichten)

Anhand des geologischen Schnittes in der Abbildung 5-2 ist zu erkennen, dass die Schicht H32 die 1. durchgängige Hemmschicht im Liegenden darstellt und somit eine Barriere für den direkten Zustrom zu dem von den Förderbrunnen des Wasserwerks Linden genutzten Grundwasserleiters L42 darstellt.

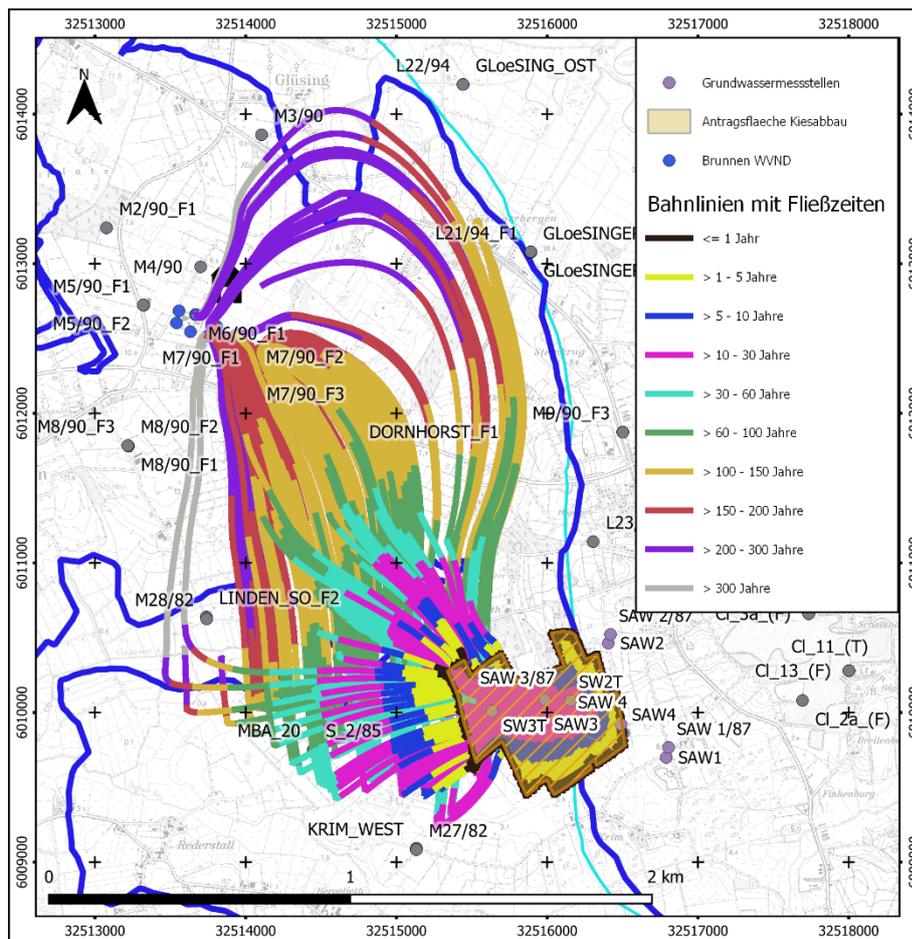


Abbildung 5-4: Darstellung der Bahnlinien des Kalibrierzustands gestartet von der Aushubfläche

5.1 Variation der Durchlässigkeit des H32

Um den Einfluss der k_f – Werte auf die Fließgeschwindigkeit des Grundwassers innerhalb des WSG Linden abschätzen zu können, wurden zwei weitere Modellrechnungen einerseits mit einer Halbierung und einer Verdoppelung der k_f - Werte durchgeführt.

Bei einer Halbierung der Durchlässigkeit erreichen die von der Abbaufäche gestarteten Bahnlinien alle das Wasserwerk (vgl. Abbildung 5-5). Die schnellsten Bahnlinien erreichen nach 150 – 200 Jahren die Brunnen. Insgesamt ist jedoch zu erkennen, dass die Bahnlinien aufgrund der geringeren Durchlässigkeit länger brauchen um das Wasserwerk zu erreichen.

Bei einer Verdopplung der Durchlässigkeit erreichen nicht alle von der Abbaufäche gestarteten Bahnlinien das Wasserwerk (vgl. Abbildung 5-6). Insgesamt erreichen die Bahnlinien das Wasserwerk schneller. Die ersten Bahnlinien sind schon nach 100-150 Jahren im Brunnen angekommen.

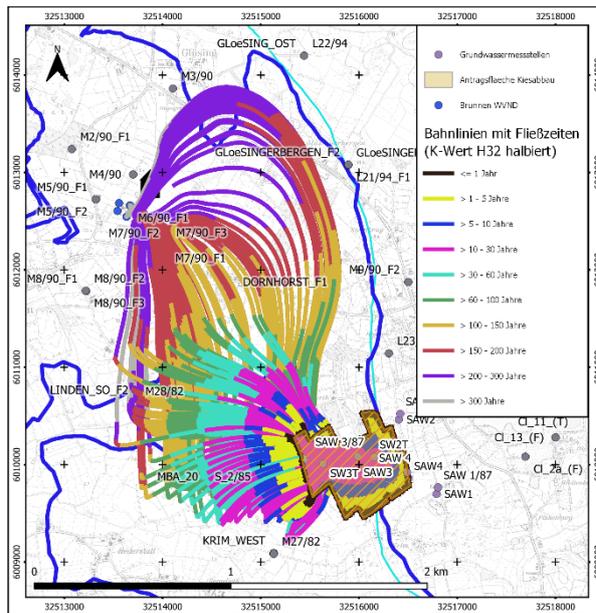


Abbildung 5-5: Bahnlinienverlauf bei einer Halbierung der Durchlässigkeit von H32

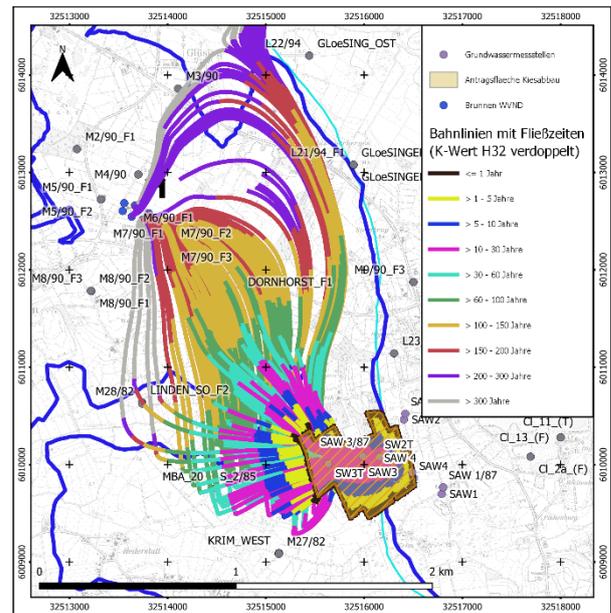


Abbildung 5-6: Bahnlinienverlauf bei einer Verdopplung der Durchlässigkeit von H32

5.2 Variation der Grundwasserneubildung

Die Auswirkungen einer Variation der Grundwasserneubildungsrate auf die Grundwasserfließrichtung und Grundwasserfließgeschwindigkeit wurden ebenfalls durch 2 Modellrechnungen überprüft.

Wird die Grundwasserneubildung halbiert, vergrößert sich der von der Abbaufäche ausgehende Zustrombereich deutlich, durch eine verminderte Verfügbarkeit des neugebildeten Wassers (vgl. Abbildung 5-7/Abbildung 5-5). Erhöht man hingegen die Neubildung gelangen nicht alle Bahnlinien von der Kiesabbaufäche ausgehenden Bahnlinien zum Wasserwerk (vgl. Abbildung 5-8).

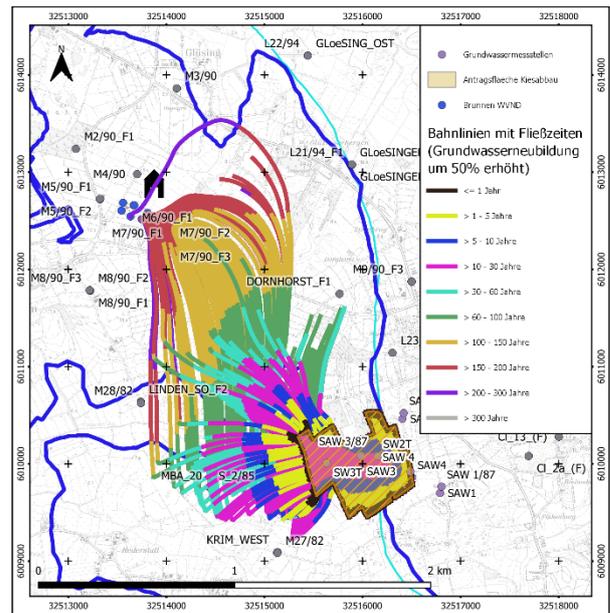
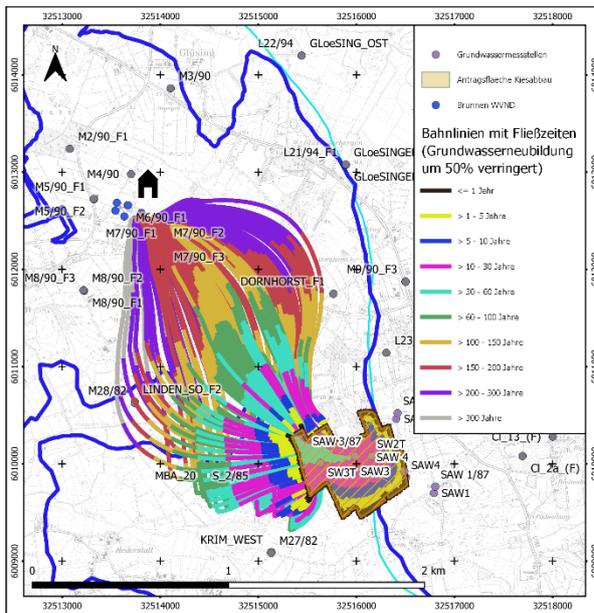


Abbildung 5-7: Bahnlinienverlauf bei einer Halbierung der Grundwasserneubildung

Abbildung 5-8: Bahnlinienverlauf bei einer Verdopplung der Grundwasserneubildung

6 Zusammenfassung und Empfehlungen zum weiteren Vorgehen

Die CONSULAQUA Hamburg Beratungsgesellschaft mbH (CAH) wurde von der Fa. Holcim am 08.12.2021 beauftragt, das numerische Grundwassermodell Linden im Bereich des Kiesabbaus Schalkholz-West zu verfeinern und es anschließend für Prognoserechnung zur potenziellen Gefährdung der Grundwasserqualität im WSG WW Linden zu nutzen.

Mit dem im Bereich des Kiesabbaus verfeinerten und kalibrierten Grundwassermodell wurde Modellrechnungen durchgeführt, um abzuschätzen, innerhalb welcher Zeitspanne potenzielle Schadstoffe, die im Bereich des Kiesabbaus eingetragen oder mobilisiert wurden, in die Förderbrunnen des Wasserwerks Linden gelangen könnten. Dies wurde mithilfe von Bahnliniendarstellungen erreicht. Für den Kalibrierzustand (Jahr 2019) wurde festgestellt, dass alle Bahnlinien erst nach mehr als ca. 150 Jahren die Brunnen erreichen. Eine starke Gefährdung der Grundwasserqualität durch den Kiesabbau kann daher aufgrund der langen Fließzeiten des Grundwassers ausgeschlossen werden. Eine zusätzliche Sicherheit ergibt sich aus der Tatsache, dass es sich bei diesen Angaben um die Fließzeiten des reinen Grundwassers handelt. Gelöste Schadstoffe unterliegen bei ihrem Transport durch den Grundwasserleiter erfahrungsgemäß einem natürlichen Abbau und werden durch Adsorptions- und Desorptionsprozesse retardiert, d.h. die Transportgeschwindigkeit der Schadstoffe wäre nochmals erheblich geringer als die Fließgeschwindigkeit des Grundwassers.

Um dennoch jegliche Gefährdungen für die Grundwasserqualität im WSG Linden durch den Kiesabbau ausschließen zu können, sollten im Bereich des Kiesabbaus mindestens vier Grundwassermessstellen an zwei Standorten errichtet und regelmäßig beprobt werden. Die Grundwassermessstellen sind an den Standorten jeweils im oberen und unteren Grundwasserleiter verfiltert. Die von der CAH vorgeschlagenen Standorte für den Bau der Grundwassermessstellen sind in der Abbildung 6-1 dargestellt.

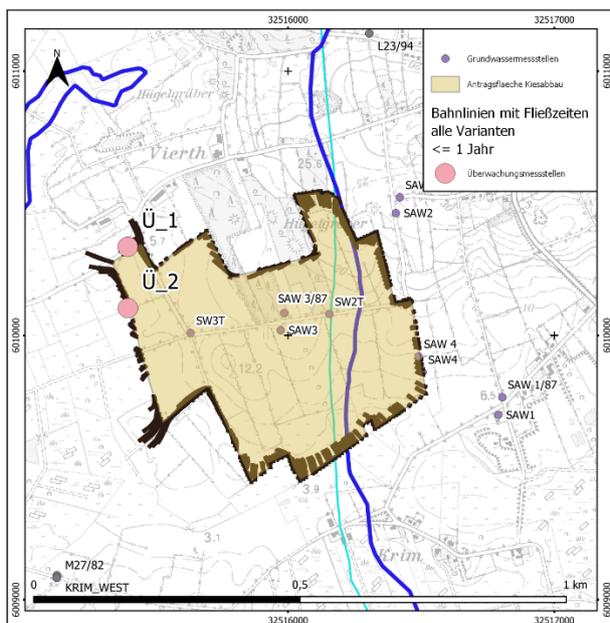


Abbildung 6-1: Vorgeschlagene Lage zweier Überwachungsmessstellen im Abstrombereich der Kiesabbaufläche

Hamburg, den 01.03.2024

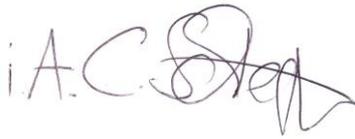
CONSULAQUA Hamburg
Beratungsgesellschaft mbH



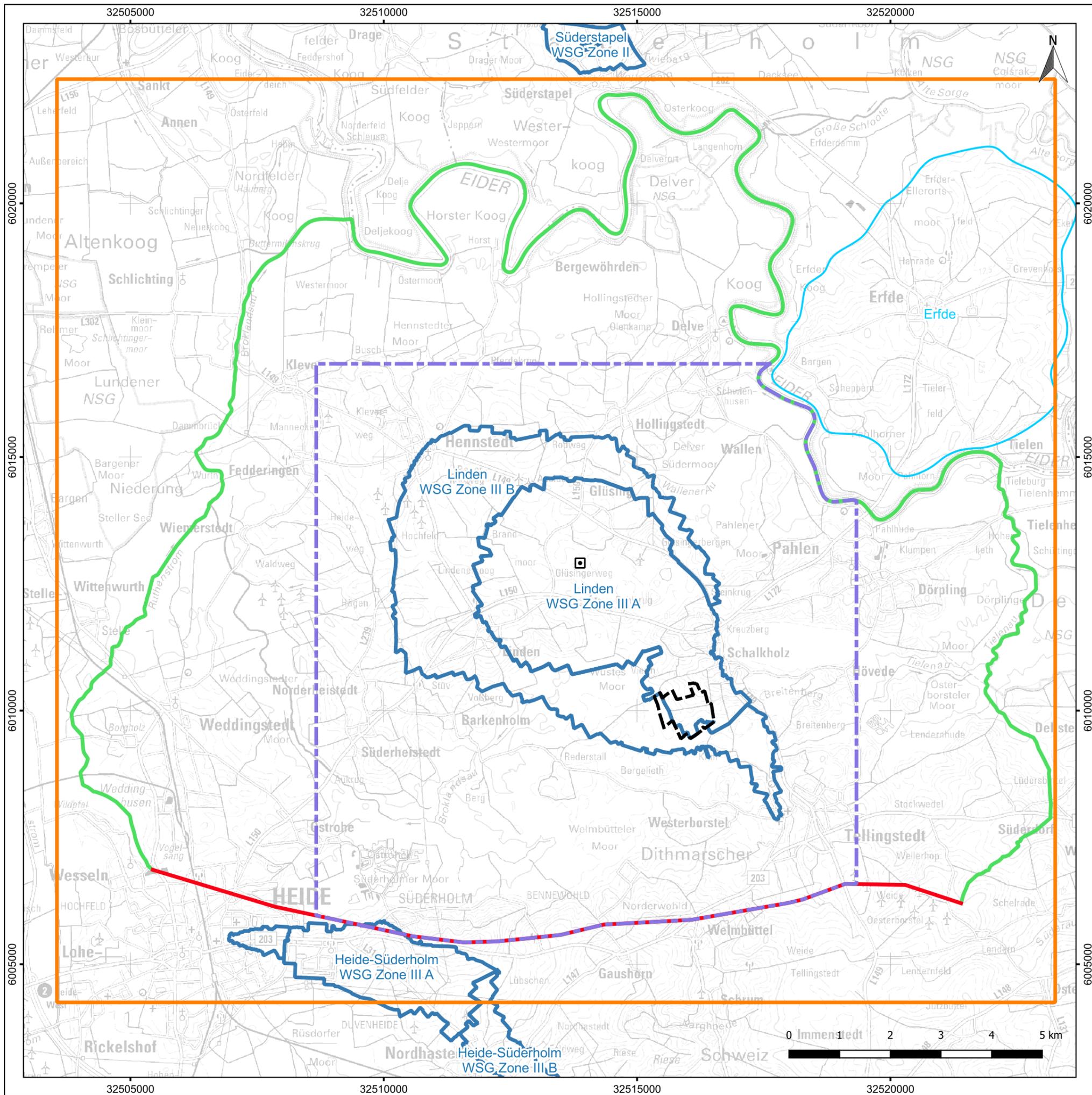
Dipl.-Geol. Kai Radmann



Dipl.-Geol. Hauke Petersen



Dipl.-Ing. Caroline Schlegel



Legende

- Untersuchungsgebiet
- Aussagegebiet
- geplante Kiesabbaufäche
- Modellgebiet mit Randbedingungen**
- No Flow (2. Art)
- Gewässer (3. Art)
- Lage WW Linden
- Wasserschutzgebiet
- Wassergewinnungsgebiet ab 100.000 m³

ATKIS®-Digitale Topographische Karte 1 : 25.000
 Auszug aus den Geobasisdaten des Landesamtes für Vermessung
 und Geoinformation Schleswig-Holstein
 © GeoBasis - DE/LVermGeoSH
 Kartenprojektion: ETRS89 / UTM Zone 32N (EPSG: 4647)

		Holcim Kies und Splitt GmbH Willy-Brandt-Straße 69 20457 Hamburg	
PROJEKT:	Grundwassermodell Schalkholz West		
PROJEKTNR:	54328	Anlage:	1
DARSTELLUNG:	Lageplan Abfragegebiet		
DATUM:	MASSTAB:	GIS:	GEPRÜFT:
20.02.2023	1:75.000	B. Schmidt	H. Petersen
		CONSULAQUA Hamburg Beratungsgesellschaft mbH Ausschläger Elbdeich 2 • 20539 HAMBURG Tel.: +49 40 7888 - 89555, Fax: - 189999	

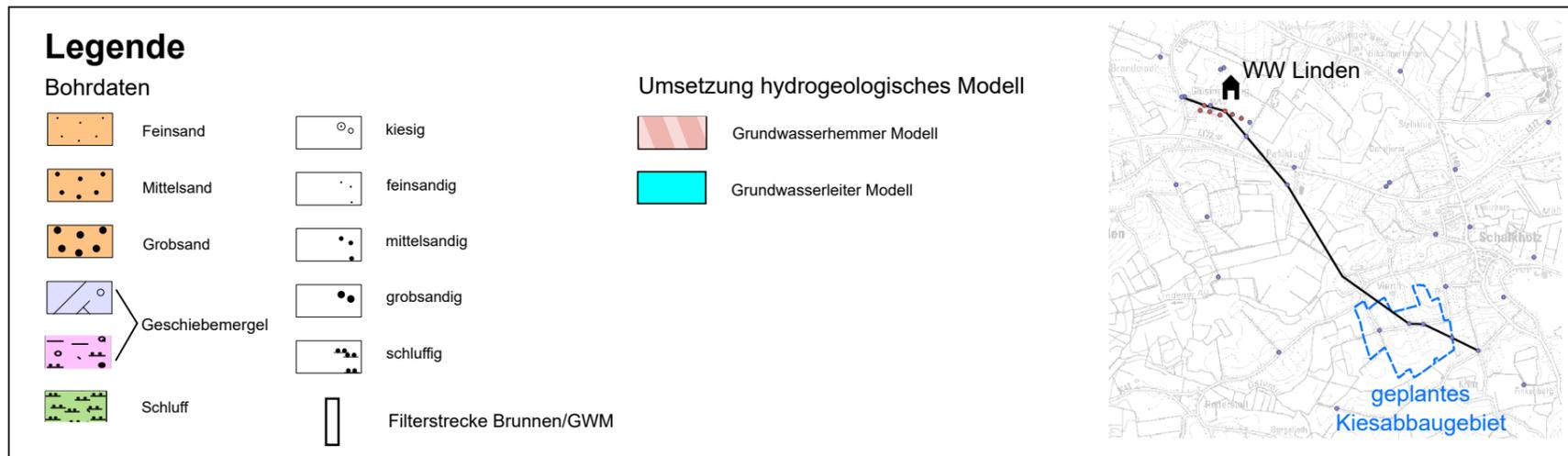
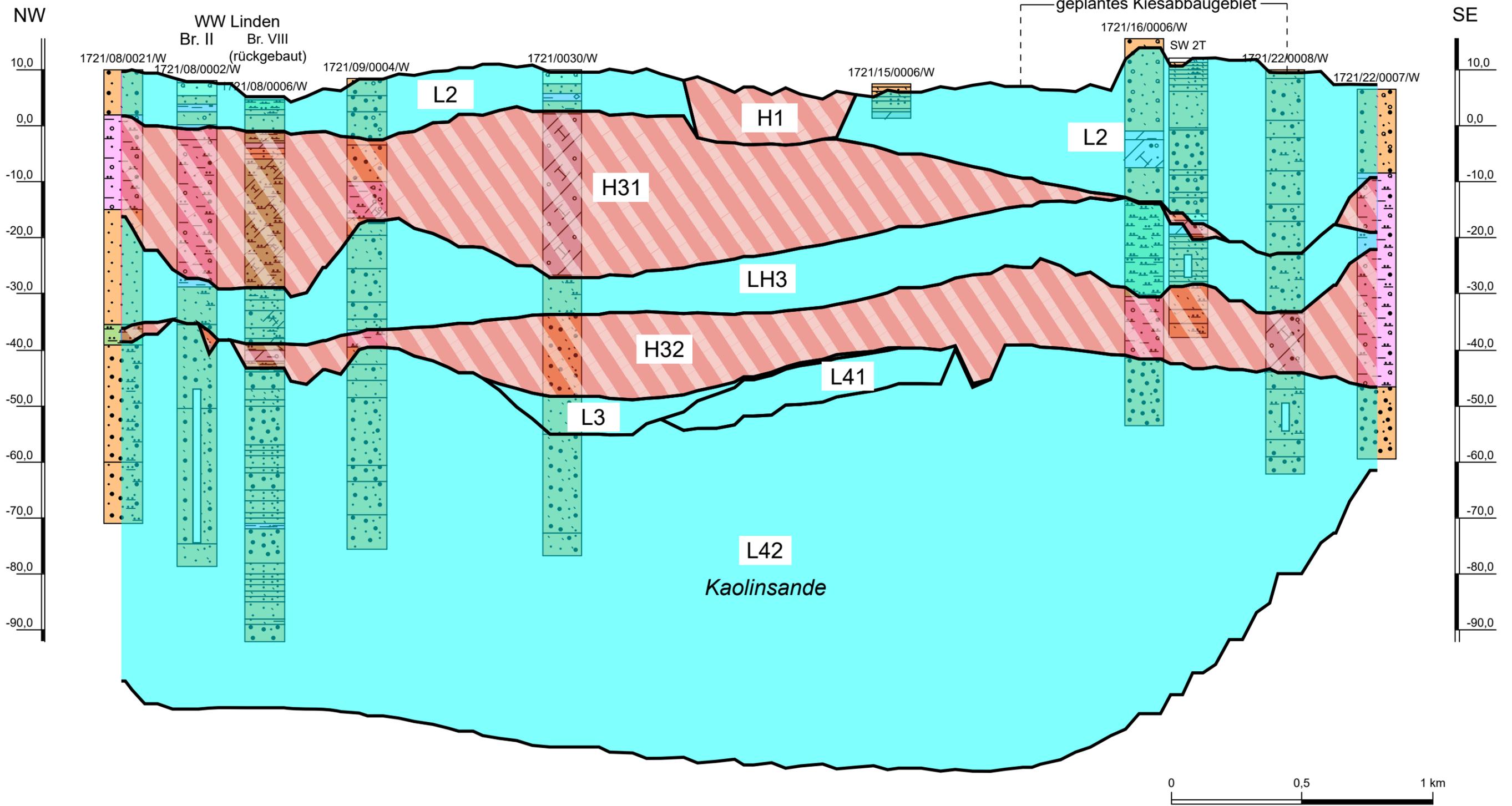
Hydrostratigrafische Modelleinheiten des Strukturmodells

Schichteinheit LLUR	Schichteinheit angepasst*	Einheitstyp / Bezeichnung	Gruppierung	Stratigraphie			Lithologie
H1	H1	Hoch- und Niedermoore, Klei	Quartäre Deckschichten (oberhalb Rinnen)	Quartär	Holozän		Torf, Mudde, Schluff, tonig bis feinsandig
L2	L2	Schmelzwassersande		Quartär	Pleistozän	Weichsel/Saale	Sand, Kies
H3	H3.1	Moränen, Beckenablagerungen		Quartär	Pleistozän	Saale, Drenthe 2	Geschiebelehm/ mergel, Schluff, Ton
	LH3	Schmelzwassersande		Quartär	Pleistozän	Saale	Sand, Kies
	H3.2	Moränen, Beckenablagerungen		Quartär	Pleistozän	Saale, Drenthe 1	Geschiebelehm/ mergel, Schluff, Ton
L3	L3	Schmelzwassersande		Quartär	Pleistozän	Saale/Holstein/Elster	Sand, Kies
H4.1	H4.1	Holstein-Ton und Lauenburger Ton	Quartäre Rinnen ($< \text{ca. } -75 \text{ mNN}$)	Quartär	Pleistozän	Holstein / Elster	Schluff, Ton, Mudde, Torf
H4.2	H4.2	Moränen, Beckenablagerungen		Quartär	Pleistozän	Elster	Geschiebemergel, Schluff, Ton
L4.1	L4.1	Schmelzwassersande		Quartär	Pleistozän	Elster	Sand, Kies
L4.2	L4.2	Kaolinsande	Tertiär	Tertiär	Pliozän		Sand, Kies, lagenweise Schluff
H5	H5	Oberer Glimmerton		Tertiär	Miozän		(häufig dunkler) Ton mit Glimmern

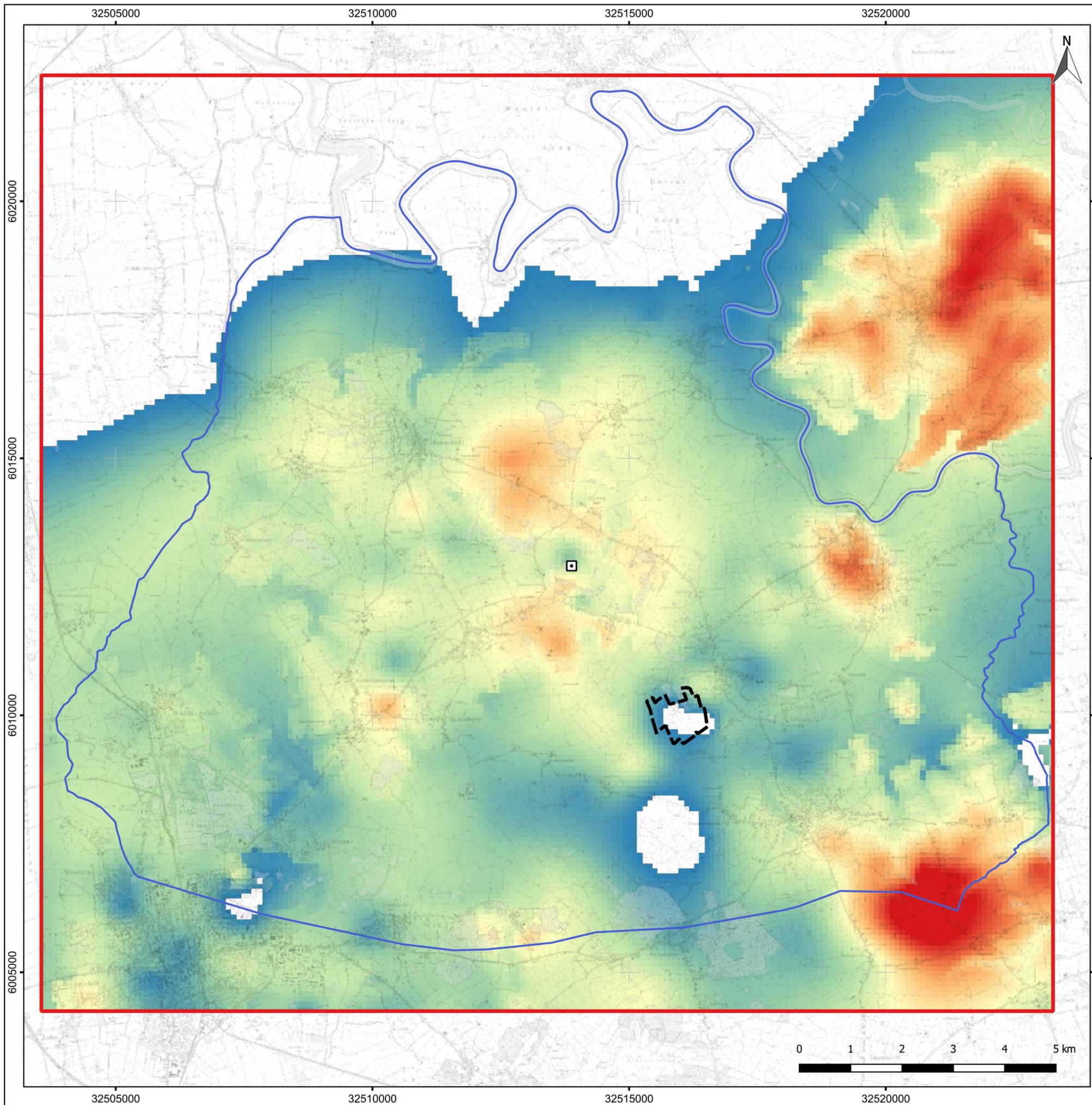
Quartärbasis

Modellbasis

*) Anpassung der Schichteinheiten wurde nach Vorgaben des LLUR durchgeführt



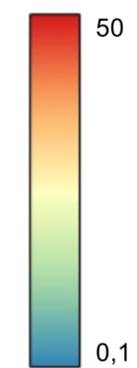
PROJEKT:	Modell Kiesabbau Holcim Schalkholz	
PROJEKTNR:	54328	Anlage
DARSTELLUNG:	Schnitt WW Linden - Holcim Kiesabbau	
DATUM: 21.12.2022	GEZEICHNET: Petersen	GEPRÜFT: Radmann
<p>CONSULAQUA Hamburg Beratungsgesellschaft mbH Ausschläger Elbdeich 2 • 20539 Hamburg Tel.: +49 40 7888 - 89555, Fax: - 18 9999</p>		



Legende

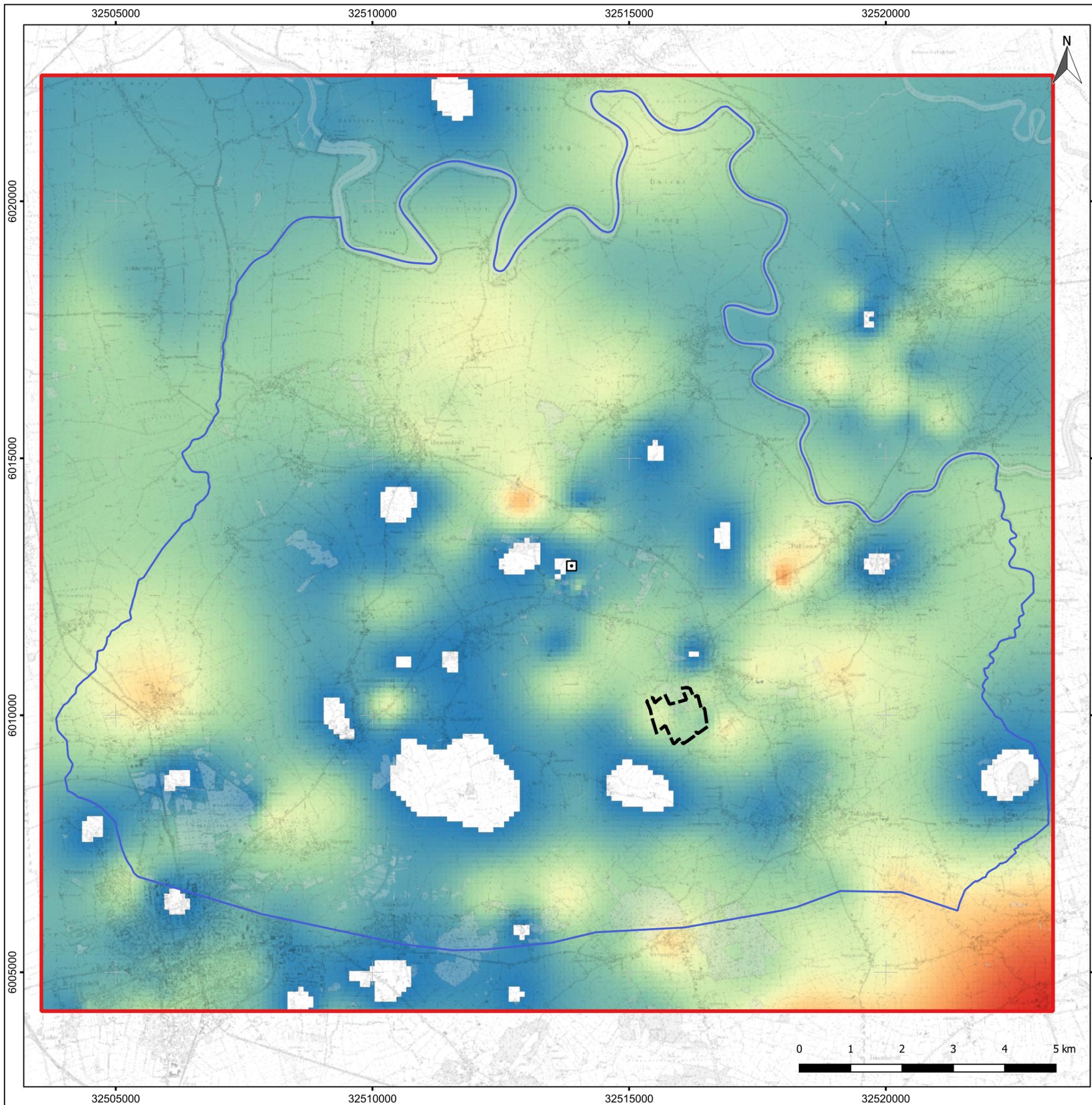
- Untersuchungsgebiet
- geplante Kiesabbaufläche
- Modellgebiet
- Lage WW Linden

Mächtigkeit q.H31



ATKIS®-Digitale Topographische Karte 1 : 25.000
 Auszug aus den Geobasisdaten des Landesamtes für Vermessung
 und Geoinformation Schleswig-Holstein
 © GeoBasis - DE/LVermGeoSH
 Kartenprojektion: ETRS89 / UTM Zone 32N (EPSG: 4647)

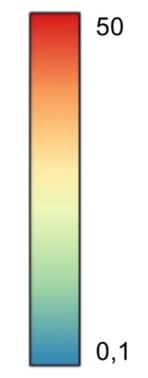
		Holcim Kies und Splitt GmbH Willy-Brandt-Straße 69 20457 Hamburg	
PROJEKT:	Grundwassermodell Schalkholz West		
PROJEKTNR:	54328	Anlage:	
DARSTELLUNG:	Verbreitung und Mächtigkeit der Modellschicht q.H31		
DATUM:	MASSTAB:	GIS:	GEPRÜFT:
12.09.2022	1:75.000	B. Schmidt	H. Petersen
		CONSULAQUA Hamburg Beratungsgesellschaft mbH Ausschläger Elbdeich 2 • 20539 HAMBURG Tel.: +49 40 7888 - 89555, Fax: - 189999	



Legende

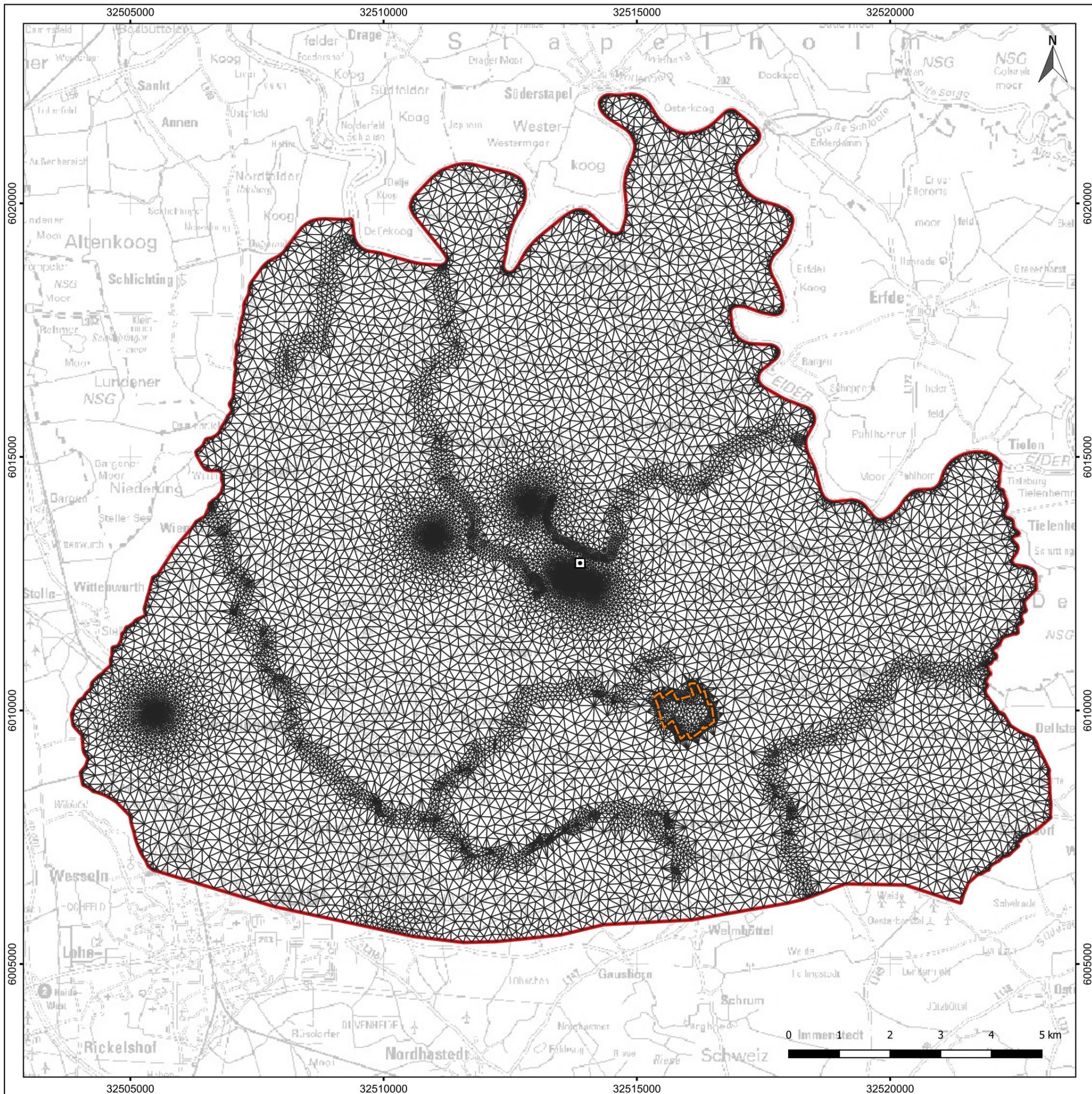
-  Untersuchungsgebiet
-  geplante Kiesabbaufäche
-  Modellgebiet
-  Lage WW Linden

Mächtigkeit q.H32



ATKIS®-Digitale Topographische Karte 1 : 25.000
 Auszug aus den Geobasisdaten des Landesamtes für Vermessung
 und Geoinformation Schleswig-Holstein
 © GeoBasis - DE/LVermGeoSH
 Kartenprojektion: ETRS89 / UTM Zone 32N (EPSG: 4647)

		Holcim Kies und Splitt GmbH Willy-Brandt-Straße 69 20457 Hamburg	
PROJEKT:	Grundwassermodell Schalkholz West		
PROJEKTNR:	54328	Anlage:	
DARSTELLUNG:	Verbreitung und Mächtigkeit der Modellschicht q.H32		
DATUM:	MASSTAB:	GIS:	GEPRÜFT:
12.09.2022	1:75.000	B. Schmidt	H. Petersen
		CONSULAQUA Hamburg Beratungsgesellschaft mbH Ausschläger Elbdeich 2 • 20539 HAMBURG Tel.: +49 40 7888 - 89555, Fax: - 189999	

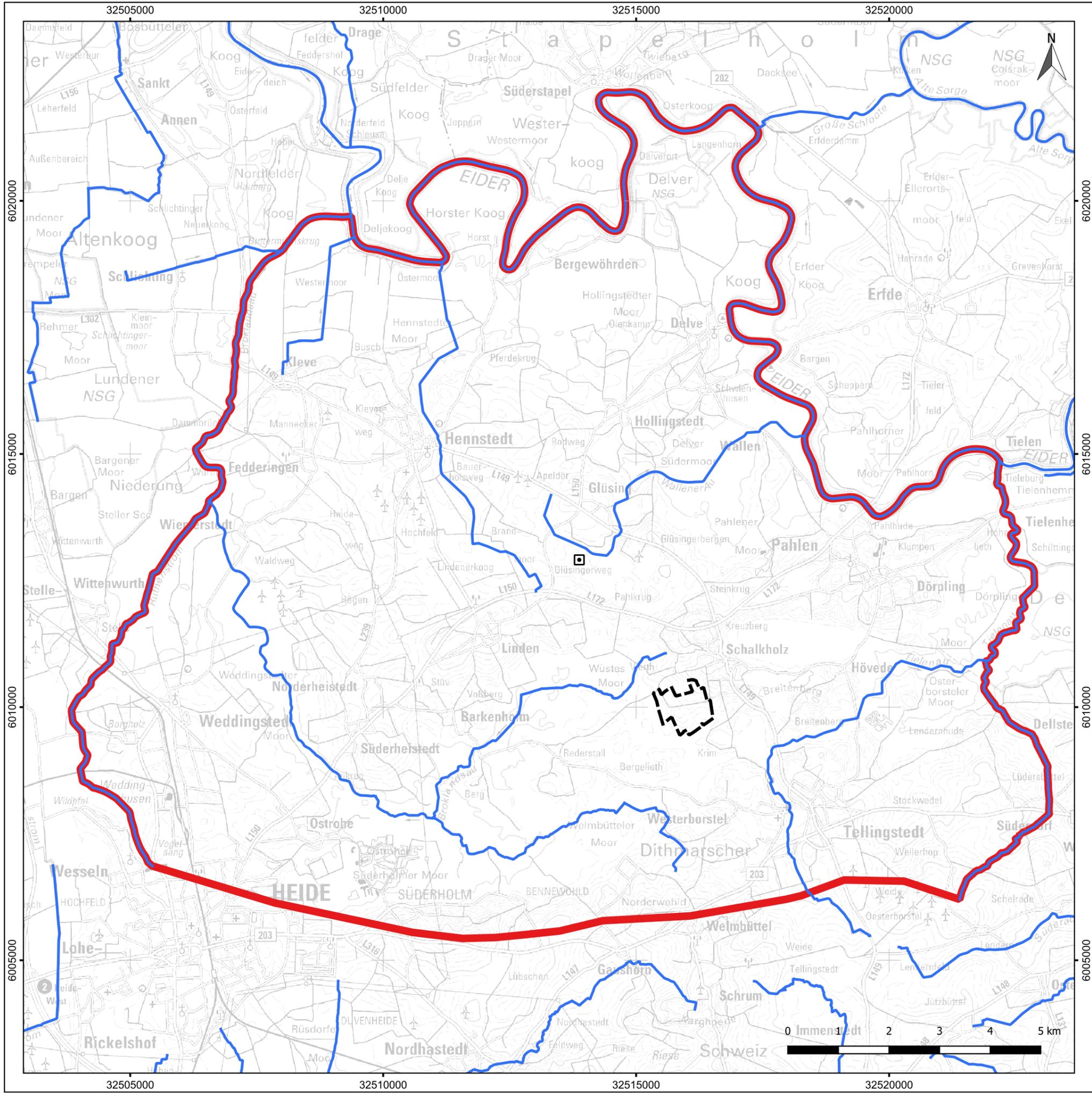


Legende

- Modellgebiet
- geplante Kiesabbaufäche
- Lage WW Linden
- Finite Elemente Netz

ATKIS®-Digitale Topographische Karte 1 : 25.000
 Auszug aus den Geobasisdaten des Landesamtes für Vermessung
 und Geoinformation Schleswig-Holstein
 © GeoBasis - DE/LVermGeoSH
 Kartenprojektion: ETRS89 / UTM Zone 32N (EPSG: 4647)

		Holcim Kies und Splitt GmbH Willy-Brandt-Straße 69 20457 Hamburg	
		CONSULAQUA Hamburg Beratungsgesellschaft mbH Ausschläger Elbdeich 2 • 20539 HAMBURG Tel.: +49 40 7888 - 89555, Fax: - 189999	
PROJEKT:	Grundwassermodell Schalkholz West		
PROJEKTNR:	54328	Anlage: 4.1	
DARSTELLUNG:	Numerisches Modellnetz		
DATUM:	MASSTAB:	GIS:	GEPRÜFT:
20.07.2022	1:75.000	C.Schlegel	H. Petersen

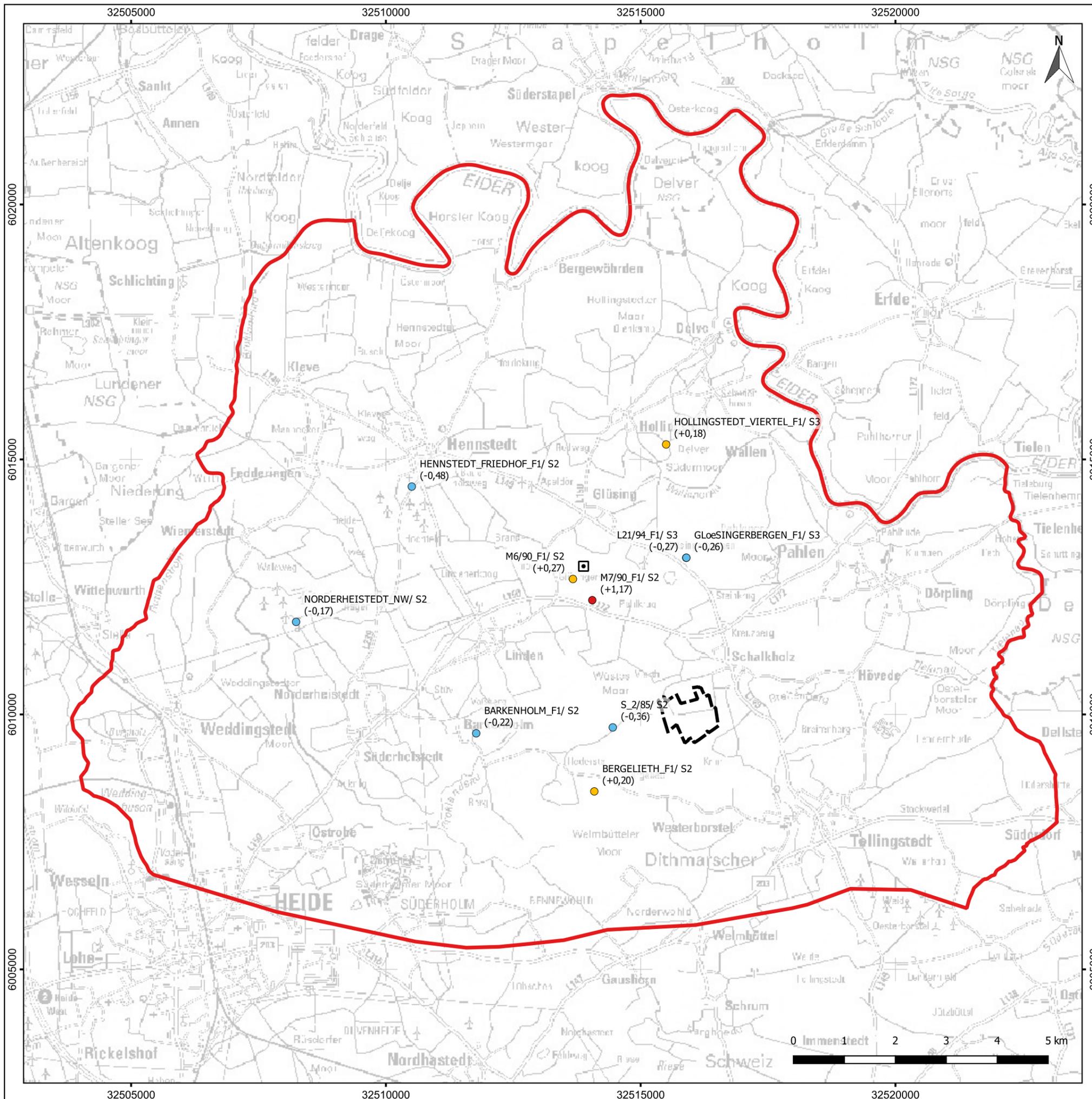


Legende

-  Modellgebiet
-  geplante Kiesabbaufäche
-  Lage WW Linden
-  Gewässer

ATKIS®-Digitale Topographische Karte 1 : 25.000
 Auszug aus den Geobasisdaten des Landesamtes für Vermessung
 und Geoinformation Schleswig-Holstein
 © GeoBasis - DE/LVermGeoSH
 Kartenprojektion: ETRS89 / UTM Zone 32N (EPSG: 4647)

		Holcim Kies und Splitt GmbH	
		Willy-Brandt-Straße 69 20457 Hamburg	
PROJEKT:	Grundwassermodell Schalkholz West		
PROJEKTNR:	54328	Anlage: 4.2	
DARSTELLUNG:	Gewässer im Modellgebiet		
DATUM:	MASSTAB:	GIS:	GEPRÜFT:
20.02.2023	1:75.000	B. Schmidt	H. Petersen
		CONSULAQUA Hamburg	
		Beratungsgesellschaft mbH Ausschläger Elbdeich 2 • 20539 HAMBURG Tel.: +49 40 7888 - 89555, Fax: - 189999	



Legende

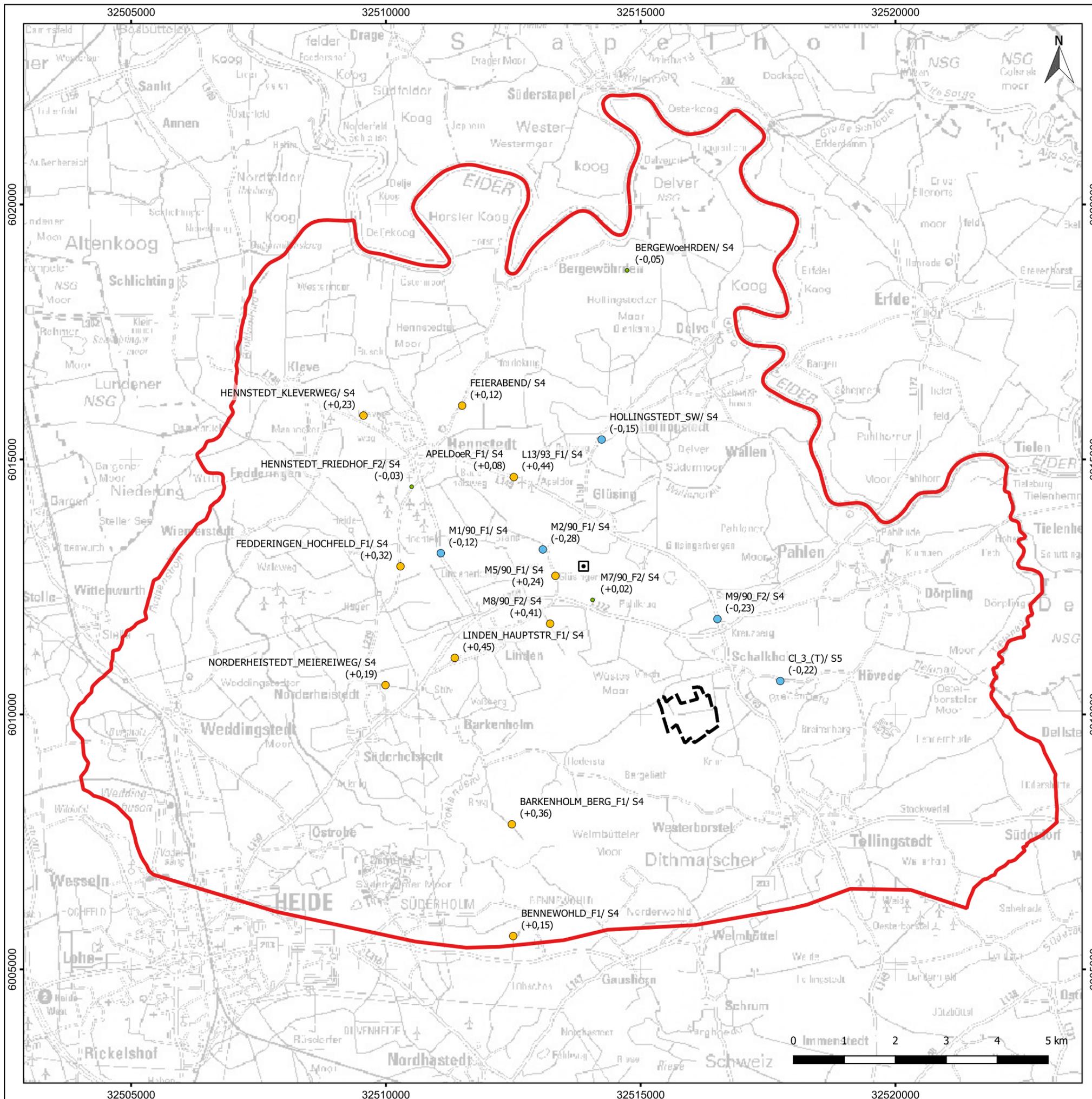
- Modellgebiet
- geplante Kiesabbaufläche
- Lage WW Linden

Messstellen L2 Abweichungen [m]

- 1 - -0.5
- 0.5 - -0.1
- 0.1 - +0.1
- +0.1 - +0.5
- +0.5 - +1

ATKIS®-Digitale Topographische Karte 1 : 25.000
 Auszug aus den Geobasisdaten des Landesamtes für Vermessung
 und Geoinformation Schleswig-Holstein
 © GeoBasis - DE/LVermGeoSH
 Kartenprojektion: ETRS89 / UTM Zone 32N (EPSG: 4647)

		Holcim Kies und Splitt GmbH	
		Willy-Brandt-Straße 69 20457 Hamburg	
PROJEKT:	Grundwassermodell Schalkholz West		
PROJEKTNR:	54328	Anlage: 4.3	
DARSTELLUNG:	Kalibrierung L2		
DATUM:	MASSTAB:	GIS:	GEPRÜFT:
20.07.2022	1:75.000	C.Schlegel	H. Petersen
		CONSULAQUA Hamburg Beratungsgesellschaft mbH Ausschläger Elbdeich 2 • 20539 HAMBURG Tel.: +49 40 7888 - 89555, Fax: - 189999	



Legende

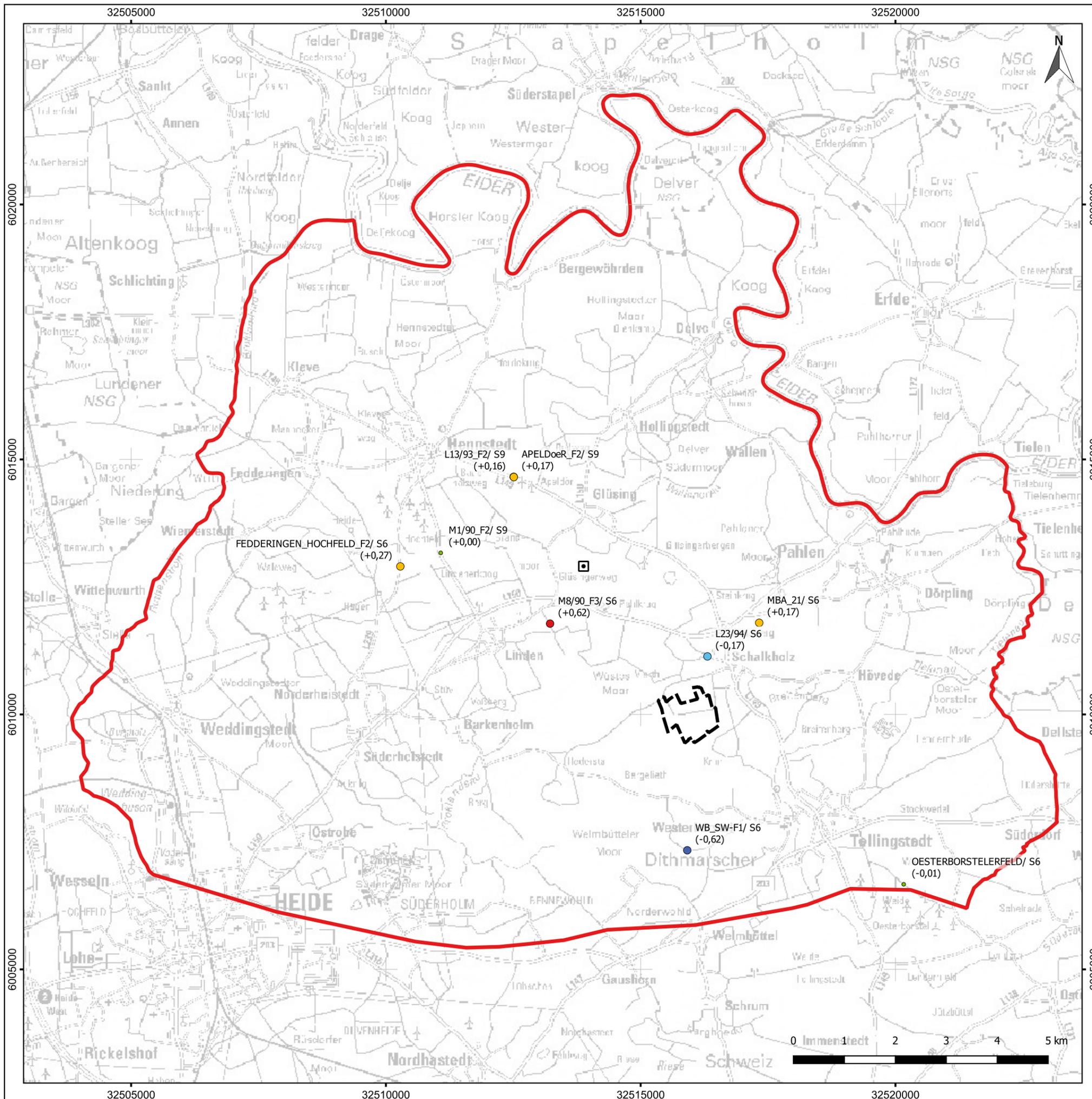
-  Modellgebiet
-  geplante Kiesabbaufläche
-  Lage WW Linden

**Messstellen LH3
Abweichungen [m]**

-  -1 - -0.5
-  -0.5 - -0.1
-  -0.1 - +0.1
-  +0.1 - +0.5
-  +0.5 - +1

ATKIS®-Digitale Topographische Karte 1 : 25.000
 Auszug aus den Geobasisdaten des Landesamtes für Vermessung
 und Geoinformation Schleswig-Holstein
 © GeoBasis - DE/LVermGeoSH
 Kartenprojektion: ETRS89 / UTM Zone 32N (EPSG: 4647)

		Holcim Kies und Splitt GmbH Willy-Brandt-Straße 69 20457 Hamburg	
		PROJEKT: Grundwassermodell Schalkholz West PROJEKTNR: 54328 Anlage: 4.4	
DARSTELLUNG: Kalibrierung LH3			
DATUM: 20.07.2022	MASSSTAB: 1:75.000	GIS: C.Schlegel	GEPRÜFT: H. Petersen
		CONSULAQUA Hamburg Beratungsgesellschaft mbH Ausschläger Elbdeich 2 • 20539 HAMBURG Tel.: +49 40 7888 - 89555, Fax: - 189999	



Legende

-  Modellgebiet
-  geplante Kiesabbaufläche
-  Lage WW Linden

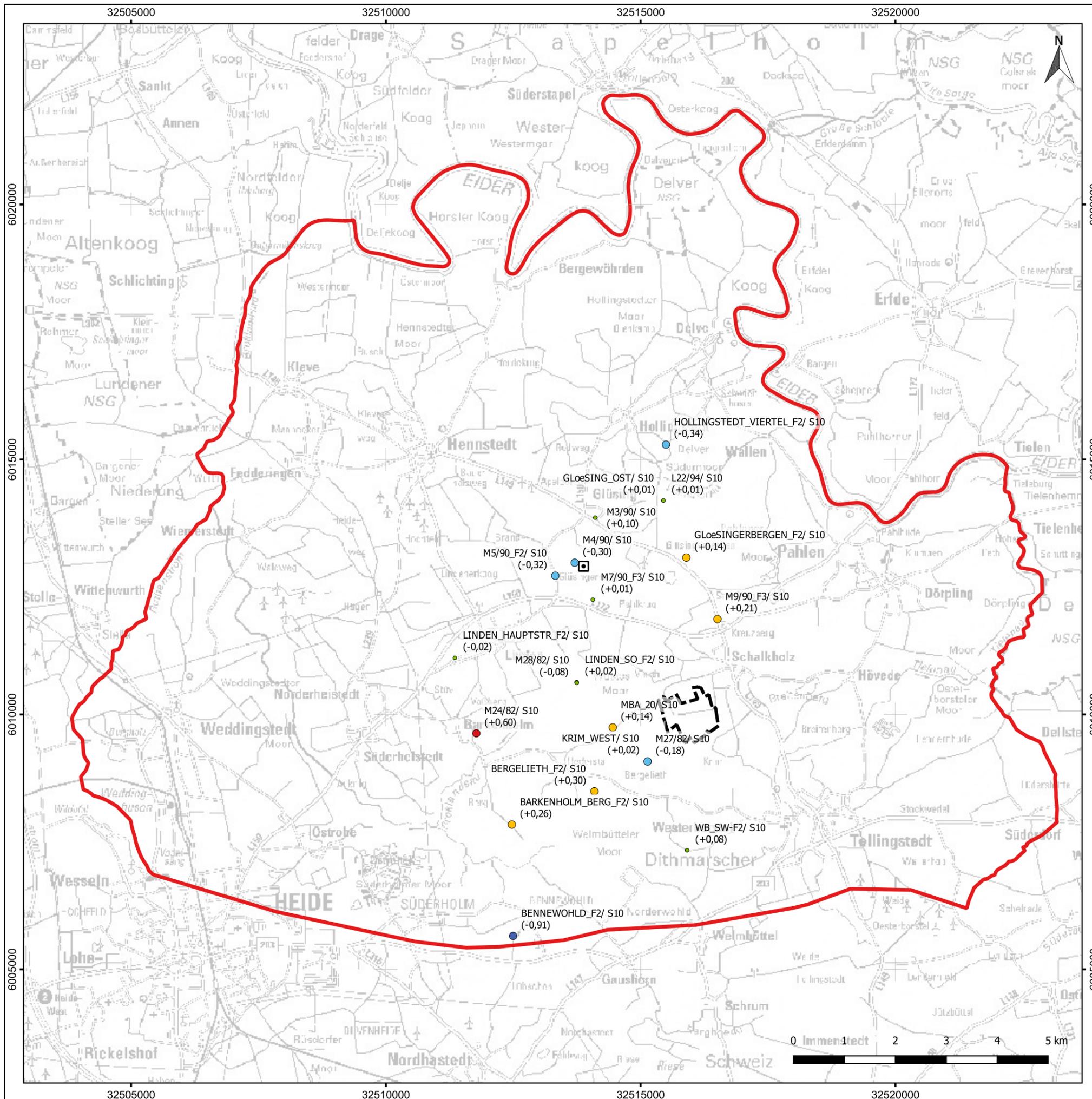
Messstellen L3 & L41

Abweichungen [m]

-  -1 - -0.5
-  -0.5 - -0.1
-  -0.1 - +0.1
-  +0.1 - +0.5
-  +0.5 - +1

ATKIS®-Digitale Topographische Karte 1 : 25.000
 Auszug aus den Geobasisdaten des Landesamtes für Vermessung
 und Geoinformation Schleswig-Holstein
 © GeoBasis - DE/LVermGeoSH
 Kartenprojektion: ETRS89 / UTM Zone 32N (EPSG: 4647)

		Holcim Kies und Splitt GmbH Willy-Brandt-Straße 69 20457 Hamburg	
		PROJEKT: Grundwassermodell Schalkholz West PROJEKTNR.: 54328 Anlage: 4.5	
DARSTELLUNG: Kalibrierung L3 und L41			
DATUM: 20.07.2022	MASSSTAB: 1:75.000	GIS: C.Schlegel	GEPRÜFT: H. Petersen
		CONSULAQUA Hamburg Beratungsgesellschaft mbH Ausschläger Elbdeich 2 • 20539 HAMBURG Tel.: +49 40 7888 - 89555, Fax: - 189999	



Legende

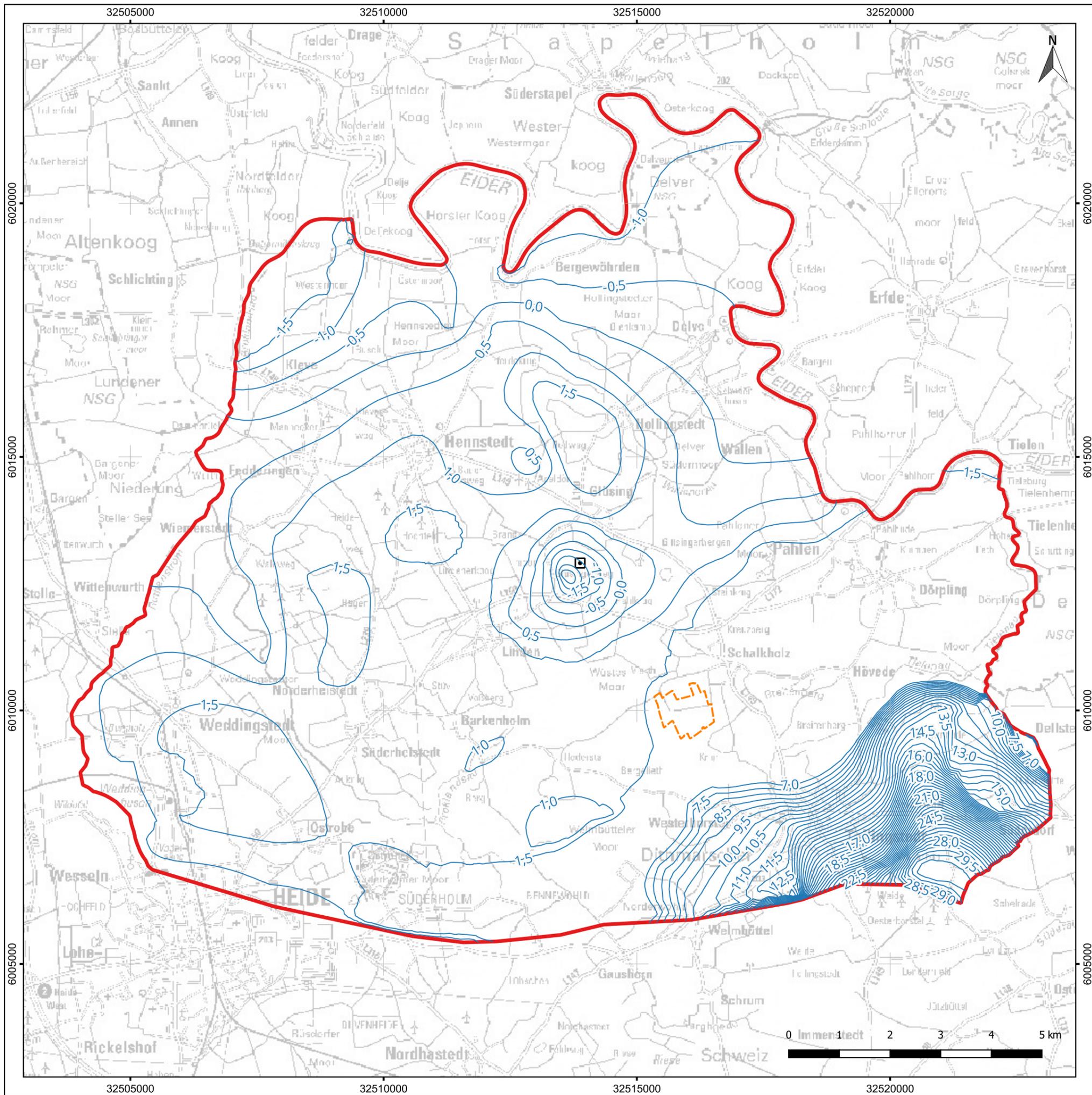
-  Modellgebiet
-  geplante Kiesabbaufäche
-  Lage WW Linden

**Messstellen L42
Abweichungen [m]**

-  -1 - -0,5
-  -0,5 - -0,1
-  -0,1 - +0,1
-  +0,1 - +0,5
-  +0,5 - +1

ATKIS®-Digitale Topographische Karte 1 : 25.000
 Auszug aus den Geobasisdaten des Landesamtes für Vermessung
 und Geoinformation Schleswig-Holstein
 © GeoBasis - DE/LVermGeoSH
 Kartenprojektion: ETRS89 / UTM Zone 32N (EPSG: 4647)

		Holcim Kies und Splitt GmbH Willy-Brandt-Straße 69 20457 Hamburg	
PROJEKT:	Grundwassermodell Schalkholz West		
PROJEKTNR:	54328	Anlage: 4. 6	
DARSTELLUNG:	Kalibrierung L42		
DATUM:	MASSTAB:	GIS:	GEPRÜFT:
20.07.2022	1:75.000	C.Schlegel	H. Petersen
		CONSULAQUA Hamburg Beratungsgesellschaft mbH Ausschläger Elbdeich 2 • 20539 HAMBURG Tel.: +49 40 7888 - 89555, Fax: - 189999	

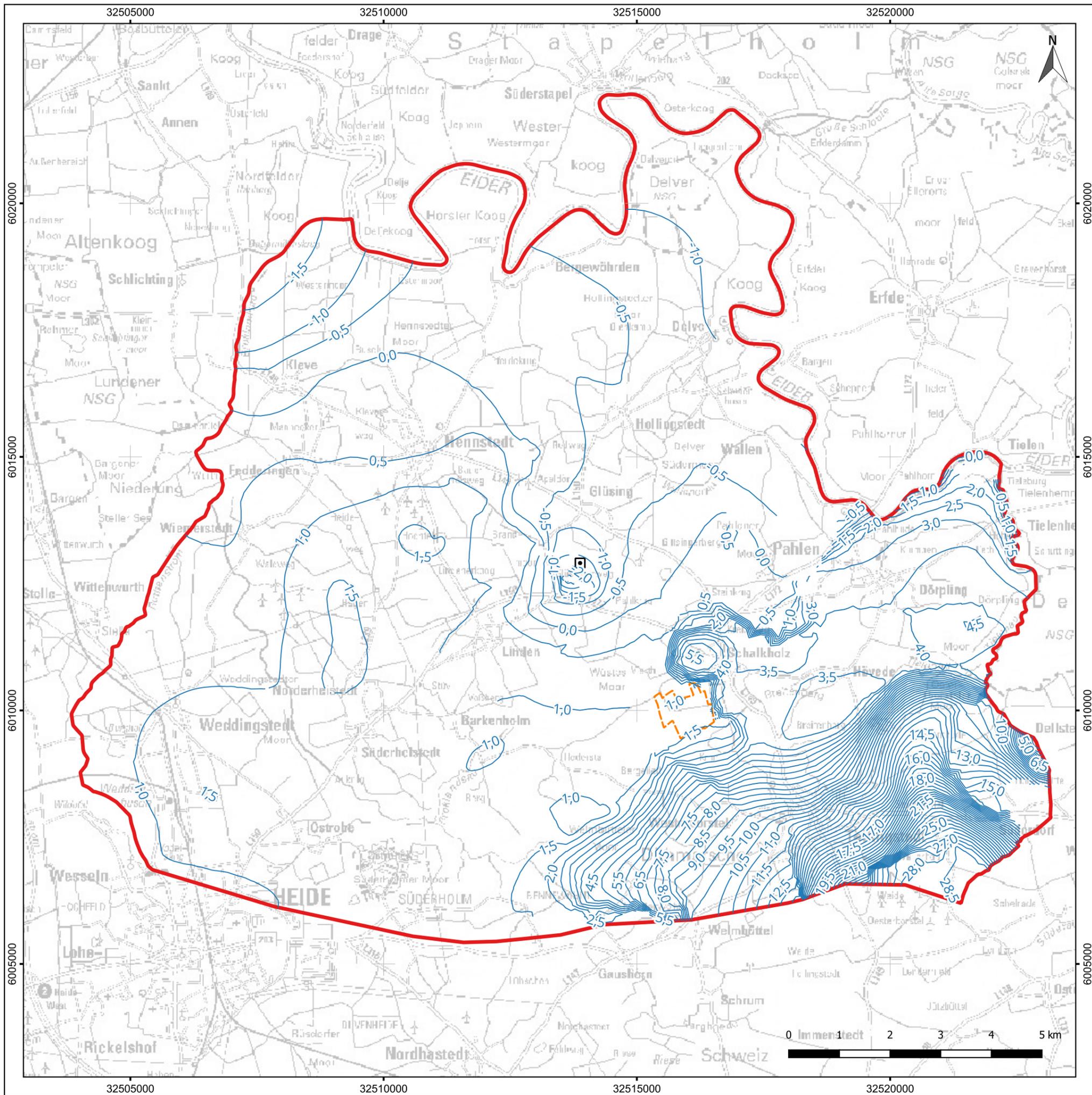


Legende

- Grundwassergleichen Modellschicht LH3 [mNHN]
- Modellgebiet
- geplante Kiesabbaufäche
- Lage WW Linden

ATKIS®-Digitale Topographische Karte 1 : 25.000
 Auszug aus den Geobasisdaten des Landesamtes für Vermessung
 und Geoinformation Schleswig-Holstein
 © GeoBasis - DE/LVermGeoSH
 Kartenprojektion: ETRS89 / UTM Zone 32N (EPSG: 4647)

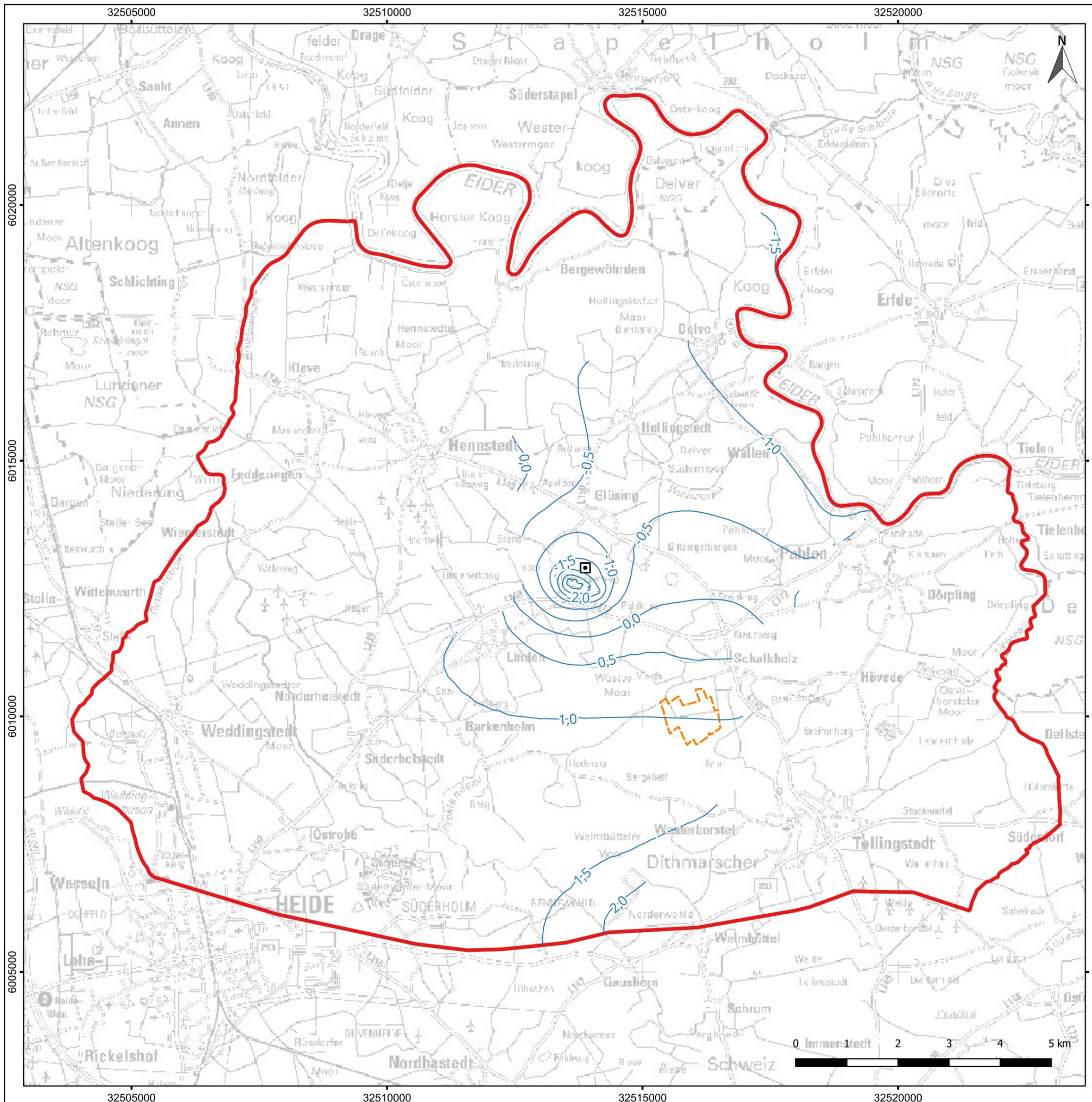
Holcim		Holcim Kies und Splitt GmbH Willy-Brandt-Straße 69 20457 Hamburg	
		PROJEKT: Grundwassermodell Schalkholz West PROJEKTNR: 54328 Anlage: 4.7	
DARSTELLUNG: Kalibrierung Grundwassergleichen LH3			
DATUM: 20.04.2023	MASSSTAB: 1:75.000	GIS: H. Petersen	GEPRÜFT: C. Schlegel
		CONSULAQUA Hamburg Beratungsgesellschaft mbH Ausschläger Elbdeich 2 • 20539 HAMBURG Tel.: +49 40 7888 - 89555, Fax: - 189999	



- Legende**
-  Grundwassergleichen Modellschicht L3 [mNHN]
 -  Modellgebiet
 -  geplante Kiesabbaufäche
 -  Lage WW Linden

ATKIS®-Digitale Topographische Karte 1 : 25.000
 Auszug aus den Geobasisdaten des Landesamtes für Vermessung
 und Geoinformation Schleswig-Holstein
 © GeoBasis - DE/LVermGeoSH
 Kartenprojektion: ETRS89 / UTM Zone 32N (EPSG: 4647)

		Holcim Kies und Splitt GmbH	
		Willy-Brandt-Straße 69 20457 Hamburg	
PROJEKT:	Grundwassermodell Schalkholz West		
PROJEKTNR:	54328	Anlage: 4.8	
DARSTELLUNG:	Kalibrierung Grundwassergleichen L3		
DATUM:	MASSTAB:	GIS:	GEPRÜFT:
20.04.2023	1:75.000	H. Petersen	C. Schlegel
		CONSULAQUA Hamburg Beratungsgesellschaft mbH Ausschläger Elbdeich 2 • 20539 HAMBURG Tel.: +49 40 7888 - 89555, Fax: - 189999	



Legende

- Grundwassergleichen Modellschicht L42 [mNHN]
- Modellgebiet
- geplante Kiesabbaufäche
- Lage WW Linden

ATKIS®-Digitale Topographische Karte 1 : 25.000
 Auszug aus den Geobasisdaten des Landesamtes für Vermessung und Geoinformation Schleswig-Holstein
 © GeoBasis - DE/LVermGeoSH
 Kartenprojektion: ETRS89 / UTM Zone 32N (EPSG: 4647)

Holcim Kies und Splitt GmbH	
Willy-Brandt-Straße 69 20457 Hamburg	
PROJEKT:	Grundwassermodell Schalkholz West
PROJEKTNR:	54328 Anlage: 4. 9
DARSTELLUNG:	Kalibrierung Grundwassergleichen L42
DATUM:	MASSTAB:
20.04.2023	1:75.000
GIS:	GEPRÜFT:
H. Petersen	C. Schlegel
CONSULAQUA Hamburg	
Beratungsgesellschaft mbH Ausschläger Elbdeich 2 • 20539 HAMBURG Tel.: +49 40 7888 - 89555, Fax: - 189999	