

20-144 Ingolstadt, Südliche Ringstraße 64: Bebauung Grundstück Volksbank

Geotechnischer Bericht, Status 08/2021

Auftraggeber

Ed. Züblin AG
Bereich SF-Bau 2
SF-Bau 2, Standort Ingolstadt
Ferdinand-Braun-Str. 6
85057 Ingolstadt
Herr Dipl.-Ing. S. Klier
Tel: 0841/142 922-13
E-Mail: stephan.klier@zueblin.de

Bauherr

Volksbank Raiffeisenbank Bayern Mitte eG
Ludwigstraße 34
85049 Ingolstadt
Herrn Dieter Spreng
Tel: 0841/3105-0
E-Mail: dieter.spreng@vr-bayernmitte.de

Ort und Datum

Stuttgart, 21.01.2021/23.08.2021

Verteiler

Digital und 3fach in Papierform an die Beteiligten

Textseiten; Anlagen

46; 1.1 bis 6 (66 Blatt)

Bericht-Nr.; Zeichen

749895-05; St/PB/LK/Ju/ck

Projektleiter

Dipl.-Ing. Holger Jud (D:-30)

Bearbeiter Bautechnik

Dipl.-Ing. Peter Ströhle (0751 / 76782098)

Bearbeiter Hydrogeologie

Dr. Lisa Krienen (D:-27)

Bearbeiter Baugrund

Dipl.-Geol. Peter Bröhl (D:-44)



Smoltczyk & Partner GmbH
Untere Waldplätze 14
70569 Stuttgart
Tel. 0711 / 131 64-0

Amtsgericht Stuttgart HRB 9451
www.SmoltczykPartner.de
post@SmoltczykPartner.de

Büro Heilbronn
Lindenstraße 16
74232 Abstatt
Tel. 07062 / 914 23 55
Büro Oberschwaben
Heinrich-Hertz-Straße 6
88250 Weingarten
Tel. 0751 / 767 820 98

Geschäftsführende Gesellschafter
Dipl.-Ing. Hartmut Reichenbach
Dipl.-Geol. Dr. Martin Brodbeck
Dr.-Ing. Annette Lächler
Dipl.-Ing. Holger Jud
Gesellschafter
Dr.-Ing. Thomas Rumpelt
Dr.-Ing. Berthold Rilling

Sachverständige für Geotechnik
Beratende Ingenieure VBI
Beratende Geowissenschaftler BDG

Mitglied von
Ingenieurkammer BW,
AIV, ASCE, DGGT, DVGW, FGSV,
IAEG, IGS, ISRM, ISSMGE, ITVA, VDI

<u>Inhalt</u>	Seite
1 Bezug und Unterlagen	4
2 Lage und Bauwerksbeschreibung	5
3 Untersuchungsumfang	8
4 Baugrund	11
5 Grundwasser	12
5.1 Grundwasserstände	13
5.2 Ergebnisse Hydraulischer Versuche	16
5.2.1 Klarspülen der BK 2 GwM und BK 3 GwM im Quartär	16
5.2.2 Klarspülen der BK 1 GwM im Tertiär	17
6 Eigenschaften von Böden und Fels	18
6.1 Ergebnisse der Feldversuche	18
6.2 Ergebnisse der Laborversuche	20
6.3 Klassifikation und charakteristische Kennwerte	22
6.4 Homogenbereiche	24
7 Bautechnische Folgerungen	25
7.1 Gründung	26
7.1.1 Plattengründung	26
7.1.2 Pfahlgründung	28
7.1.3 Gründungsempfehlung	30
7.1.4 Auftriebssicherung	32
7.2 Herstellen der Baugrube	33
7.2.1 Wiederverwendbarkeit des Baugrubenaushubs	34
7.2.2 Baugrubenverbau	34
7.2.3 Baugrubenböschungen	37
7.2.4 Wasserhaltung	37
7.3 Bauwerk und Grundwasser	40
7.4 Hinterfüllung und Erddruck	41
7.5 Verkehrsflächen und Aufbau unter Bodenplatten	42
7.6 Versickerung	43
8 Mitwirkung bei der Bauplanung und Ausführung	44

Anlagen

siehe Anlagenverzeichnis

46

1 Bezug und Unterlagen

Auftrag: Auf der Grundlage unseres Leistungs- und Honorarvorschlags vom 17.09.20 wurden wir von der Ed. Züblin AG, Bereich SF-Bau 2, Standort Ingolstadt, Herrn Dipl.-Ing. Stephan Klier, mit Ingenieurvertrag Projekt-Nummer 19036650 am 26.10.20 beauftragt, für den Neubau eines 15-geschossigen Hochhauses in der Südlichen Ringstraße 64 in Ingolstadt eine Baugrunderkundung zu planen, zu betreuen und durchzuführen und einen Geotechnischen Bericht zu erstellen. Die Ergebnisse und Bewertung

- der chemischen Untersuchungen zu Schadstoffen im Untergrund
- zu hydrologischen Versuchen und einer
- der Machbarkeit einer geothermischen Nutzung werden in gesonderten Stellungnahmen vorgelegt.

Einen Geotechnischen Bericht haben wir am 21.01.21 vorgelegt. Im Nachgang wurden wir aufgrund von Planungsänderungen gebeten, unseren Geotechnischen Bericht zu überarbeiten, womit wir hiermit gerne nachkommen. Vorliegender Geotechnischer Bericht ersetzt vollständig den Bericht vom 21.01.21. Die maßgebenden Änderungen sind:

- Zwei statt bisher drei geplante Untergeschosse,
- Niveauänderung des Bauwerksnulls $\pm 0,00$ m und
- geänderte Lastangaben.

Der vorliegende Geotechnische Bericht beinhaltet den Geotechnischen Untersuchungsbericht, Auswertung und Bewertung der geotechnischen Untersuchungsergebnisse und charakteristische Werte sowie Folgerungen und Gründungsempfehlungen.

An **Unterlagen** für den Neubau erhielten wir von der Architektin, Frau Evelin Wagler, mit E-Mail vom 14.01.2021:

- 1 Lageplan – Freiraumplanung - EG (M 1:500), Stand 14.01.21.

An **Planunterlagen** für das Hochhaus wurden die Unterlagen aus dem VOR - Virtueller Objekt Raum verwendet. Wesentliche Unterlagen, alle: Status Vorabzug, M 1:100, Stand 09.08.21, sind:

- Grundriss EG,
- Grundriss 1. UG,
- Grundriss 2. UG,
- Schnitt B-B (Längsschnitt),
- Schnitt C-C (Längsschnitt) und
- Lageplan zur Gründung.

Des Weiteren wurden folgende, das Verbaukonzept betreffende, Projektunterlagen, welche im VOR - Virtueller Objekt Raum zur Verfügung stehen, genutzt:

- Erläuterungsbericht LP 3, Verbau, Entwurfsplanung, Stand 03.08.21, 48 Blatt,
- Entwurfsplanung Baugrubenverbau, Grundriss, M 1:100, Stand 03.08.21 und
- Entwurfsplanung Baugrubenverbau, Schnitt 1, M 1:200, Stand 03.08.21.

Bezüglich der Lastangaben wurden uns folgende Unterlagen zur Verfügung gestellt:

- Lastenplan Bodenplatte, M 1:100, Stand 23.07.21 und
- Zusammenstellung Lastabtrag Stützen, Stand 24.07.21, 3 Blatt.

Außerdem standen uns zur Verfügung:

- Geologische Karte des Naturparks Altmühltal/Südliche Frankenalb (M 1:100 000) mit Kurzerläuterungen,
- Blatt 7234 Ingolstadt der Geologischen Karte (M 1:25 000) von Bayern mit Erläuterungen, München 1995,
- Geowissenschaftliche Landesaufnahme in der Planungsregion 10 Ingolstadt, Erläuterungen zur Hydrogeologischen Karte (M 1:100 000), 2002 und
- Grundwasserhöhengleichenkarte von Ingolstadt, Online-Portal der Ingolstädter Kommunalbetriebe AöR.

2 Lage und Bauwerksbeschreibung

Lage: Das untersuchte Gelände liegt rund 1,2 km südöstlich des Zentrums von Ingolstadt zwischen der Südlichen Ringstraße im Südosten und der Saturn-Arena im Nordwesten, auf Flurstück 5356/155 der Gemarkung Ingolstadt (Anlage 1).

Es liegt in der Talau der Donau rund 500 m südlich der Donau und ist eben.

Zum Zeitpunkt der Erkundung wurde das Gelände als Parkplatz genutzt.

Die geodätischen Grundstücksdaten sind in Anlage 2 angegeben.

Bauwerksbeschreibung: Die Volksbank Raiffeisenbank Bayern Mitte eG (VR) plant auf dem beschriebenen Grundstück mit Abmessungen im Grundriss von rund 74 m x 47 m und einer Grundstücksfläche von rund 3.290 m² ein Neubauvorhaben mit einer Geschossfläche von ca. 14.850 m².

Das geplante Bauwerksnull $\pm 0,00$ m liegt bei 366,11 müNHN. Dieses Niveau entspricht der geplanten Erdgeschossfußbodenhöhe und gleichzeitig in etwa dem aktuellen Geländehöhe. Nachfolgende Höhenangaben beziehen sich auf dieses Maß.

Das geplante Gebäude ist, bezogen auf den Grundriss der Untergeschosse und die gesamte Grundstücksfläche, in Nord-Süd-Richtung mittig und in Ost-West-Richtung am westlichen Rand angeordnet. Das Gebäude ist mit gestaffelten Gebäudehöhen geplant. Das geplante Gebäude soll zweifach unterkellert werden.

Die nach oben aufgehende Geschosse können zusammenfassend wie folgt beschrieben werden:

Gebäudekomplex	Beschreibung	Absolute Höhe [müNHN]	Höhe bezogen ± 0,000 [m]	Abmessung im Grundriss [m]
Hochhausturm	OK Rohdecke über 14. OG	418,260	+ 52,150	33,25 x 22,45
Längsriegel	OK Rohdecke über 5. OG	385,185	+ 19,075	41,35 x 14,35
Erdgeschoss/Tiefgarage	OK geplantes Gelände	366,110	± 0,000	68,25 x 36,20

Tabelle 1: Zusammenstellung nach oben aufgehender Geschosse

Die Grundrissfläche der Untergeschosse beträgt rund 2.600 m². In den Untergeschossen UG 1 und UG 2 sind insgesamt rund 85 Tiefgaragenstellplätze geplant. Auf diesen Untergeschossen sind auf den weiteren Flächen Technik-, IT- und Lagerräume sowie Archive geplant. Das 1. und 2. Untergeschoss sind für die Löschwasserversorgung im Nordosten und Nordwesten miteinander verbunden. Das Speichervolumen beträgt rund 580 m³. Die Lage und Größe der Untergeschosse in Bezug auf die Grundstücksfläche ist in Anlage 1.2 dargestellt. Die Aushubsohlen / UK Bodenplatten für das zweite Untergeschoss sind auf Grund unterschiedlich starker Bodenplatten in der Höhe gestaffelt und liegen bei:

2. Untergeschoss	Bodenplattendicke [m]	UK Bodenplatte [müNHN]	Tiefe bezogen ± 0,000 [m]
UK Bodenplatte Tiefgarage	0,6	359,035	- 7,075
UK Bodenplatte Längsriegel	1,0	358,635	- 7,475
UK Bodenplatte Hochhausturm	1,6	358,035	- 8,075

Tabelle 2: UK Bodenplatten der Gebäudebereiche

In der Entwurfsplanung Baugrubenverbau, Grundriss, Stand 03.08.21 sind Aushubkoten angegeben. Diese sind in nachfolgender Tabelle entsprechend unseren bautechnischen Empfehlungen in Abschnitt 7 angepasst.

Die Untergeschossfläche wird zum Großteil überbaut. Nicht überbaut werden die Randbereiche im Westen und Osten sowie unterhalb des überdachten Eingangsbereichs.

Aushubsohlen	Absolute Höhe [müNHN]	Tiefe bezogen± 0,000 [m]
Bereich Tiefgarage	358,935	- 7,175
Bereich Längsriegel	358,235 ¹⁾	- 7,875 ²⁾
Bereich Hochhausturm	357,635 ¹⁾	- 8,475 ²⁾
Bereich Längsriegel Treppenhaus	356,785 ¹⁾	- 9,325 ²⁾
Bereich Hochhausturm Treppenhaus	356,785 ¹⁾	- 9,325 ²⁾

1) Absolute Höhe [müNHN] 0,3 m tiefer als planerisch angegeben, siehe unsere Empfehlungen in Abschnitten 7.2.4 und 7.3.

2) Aushubtiefe [m] 0,3 m tiefer, siehe oben.

Tabelle 3: Zusammenstellung der Aushubsohlen in die Tiefe absteigend sortiert

Zum geplanten Tragwerk können folgende Angaben gemacht werden:

- Die Obergeschossdecken sind als Flachdecken mit einer Dicke von 28 cm geplant. Die Spannweiten betragen im Regelfall 5,4 m x 6,75 m.
- Die vertikalen Lasten der nach oben aufgehenden Geschosse werden über vertikale Tragglieder bis auf die Decke der Untergeschosse geführt.
- Für den Hochhausturm und den Längsriegel ist jeweils ein separat aussteifender Kern, bestehend aus den Treppenräumen, Aufzugsschächten und TGA-Schächten, bis auf das Niveau des 2. Untergeschosses vorgesehen.

Die charakteristischen Einwirkungen, Lastabtrag im zweiten Untergeschoss, können wie folgt zusammengefasst werden:

Stützen:

- Summe ständige Lasten: $1.086 \text{ kN} \leq \Sigma G_k \leq 7.245 \text{ kN}$ und
- Summe veränderliche Lasten: $289 \text{ kN} \leq \Sigma Q_k \leq 3.232 \text{ kN}$.

Wände:

- Summe ständige Lasten: $1.086 \text{ kN/m} \leq \Sigma g_k \leq 1.451 \text{ kN/m}$ und
- Summe veränderliche Lasten: $1 \text{ kN/m} \leq \Sigma q_k \leq 569 \text{ kN/m}$.

Flächenlasten auf Bodenplatten:

- Ausbaulasten: $0 \text{ kN/m}^2 \leq g_k \leq 57 \text{ kN/m}^2$ und
- Nutzlasten: $0 \text{ kN/m}^2 \leq q_k \leq 7,5 \text{ kN/m}^2$.

Das Bauwerk ist gemäß DIN 1054 in die Geotechnische Kategorie 3 (GK 3) einzuordnen.

Auf den zwei Dachflächen ist eine intensive Dachbegrünung zur Schaffung einer attraktiven Aufenthaltsfläche und zur Entlastung des Abwassernetzes geplant.

Die Erschließung des Gebäudes erfolgt über die Kreuzung Südliche Ringstraße Manchinger Straße im Südosten des geplanten Gebäudes. Der geländegleiche Gebäudeeingang ist im Südosten des Bauwerks geplant. Die Tiefgaragenzufahrt im Nordwesten des Bauwerks wird über die Zufahrt zwischen der bestehenden Saturn-Arena im Westen und dem geplanten Neubau im Osten erschlossen. Im nördlichen Grünstreifen sind erdverlegte Rigolen zur Versickerung des auf den Dachflächen anfallenden Niederschlagswassers angeordnet. Die auf der Ostseite des Grundstücks bestehende Baumreihe muss erhalten bleiben.

Weitere auf dem Lageplan der Freiraumplanung dargestellten Bauwerke wie Trafostation und Ansaugbauwerk liegen außerhalb der Grundstücksgrenzen. Diese Bauwerke sind nicht Inhalt des vorliegenden Berichts.

3 Untersuchungsumfang

Bereits für die Bearbeitung unseres Leistungs- und Honorarvorschlags haben wir die in Abschnitt 1 aufgeführten Unterlagen aus unserem Archiv über das Baugelände ausgewertet.

Auf dieser Grundlage wurde am 18.09.20 beim Umweltamt der Stadt Ingolstadt gemäß Artikel 30 BayWG ein Antrag auf wasserrechtliche Erlaubnis für Bohrarbeiten eingereicht. Die vom Amt mit Stellungnahme vom 29.09.20 erteilten Auflagen wurden bei der Erkundung berücksichtigt.

Wegen Kampfmittelverdacht wurden alle Bohr- und Sondierlöcher vorsondiert und freige-messen.

Das Ziel der Erkundung war, Informationen zur Ausbildung der Deckschichten und des Ter-tiärs zu erhalten und Bodenproben für bodenmechanische Untersuchungen zu gewinnen.

Dazu wurden, entsprechend dem von uns ausgearbeiteten Erkundungskonzept, von der Bohrfirma drillexpert GmbH, Teningen-Nimburg, vom 05.11.20 bis 08.12.20 unter unserer fachtechnischen Aufsicht

- 4 Kernbohrungen nach DIN EN ISO 22 475, Tabelle 2, Zeile 7 und Zeile 2, mit ins-gesamt

90,3 Bohrm Metern

und zur abfalltechnischen Beurteilung der oberflächigen Auffüllungen von S&P am 30.11.20 mit einem mechanisch-hydraulisch betriebenen Rammkernbohrgerät (Typ: LMSR-R 780, Geotool GmbH)

- 3 Kleinrammbohrungen nach DIN EN ISO 22 475-1, Tabelle 2, Zeile 9, mit Tiefen von 5 m, insgesamt

15 Bohrmetern
niedergebracht.

Ferner wurde am 30.11.20 und 02.12.20 von S&P die Lagerungsdichte der Deckschichten und des Tertiärs durch

6 Sondierungen mit der Schweren Rammsonde: DPH (Dynamic Probing Heavy) nach DIN EN ISO 22 476-2 mit insgesamt

65,1 Sondiermetern
ermittelt. Die Ergebnisse sind als Rammdiagramme graphisch in Anlage 2.3 dargestellt.

In den Kernbohrungen wurden außerdem während der Bohrarbeiten von der drilllexpert GmbH

8 Bohrlochrammsondierungen nach DIN 4094-2: BDP (Borehole Dynamic Probing), Sondierungen mit geschlossener Spitze durchgeführt, deren Ergebnisse in Anlage 2.1, links neben den Bohrprofilen, angegeben sind.

Die Bohrungen BK2 GWM und BK3 GWM wurden in den quartären Kiesen, die Bohrung BK1 GWM im Tertiär als Grundwasser-Messstellen DN 125 ausgebaut. Der Messstellen-Ausbau ist in Anlage 2.1 dargestellt.

Die Bohrlöcher der anderen Bohrungen und Sondierungen wurden nach Abschluss der Arbeiten mit Compactonit im Grundwasser, darüber mit Zement-Bentonit verfüllt; nähere Angaben dazu siehe Anlagen 2.

Sämtliche Erkundungspunkte wurden von uns mit Maßband und Nivellier nach Lage und Höhe eingemessen. Sie sind in Anlage 1.2 eingezeichnet. Als Lagebezug dienten die Markierungen der Parkflächen, als Höhenbezug der Geländepunkt im Nordosten des Geländes, dessen Höhe im Lageplan mit 365,25 müNHN eingetragen ist (Anlage 1.2).

Die Böden und Festgesteine wurden durch S&P visuell und durch manuelle Feldversuche nach DIN EN ISO 14 688-1 und DIN EN ISO 14 689 angesprochen und ingenieurgeologisch aufgenommen.

Die Schichtenfolge der Bohrungen sind in Anlehnung an DIN 4023 in Anlage 2 dargestellt und beschrieben sowie zwei geologische Geländeschnitte eingearbeitet (Anlage 3).

Die Signaturen, Zeichen und Bezeichnungen in den Anlagen 2 und 3 sind in Anlage 2.0 erläutert.

Dabei wurden für feinkörnige Böden die Konsistenzen gemäß DIN EN ISO 14 688 angegeben. In der nachfolgenden Tabelle 1 sind die deutschen und englischen Bezeichnungen mit den zugehörigen Konsistenzahlen I_c aufgeführt.

Bezeichnung	Konsistenzahl I_c
breiig / very soft	< 0,25
sehr weich / soft	0,25 bis 0,50
weich / firm	0,5 bis 0,75
steif / stiff	0,75 bis 1,00
halbfest / very stiff	1,00 bis 1,25
fest / hard	> 1,25

Tabelle 4: Konsistenzahl I_c von Schluffen und Tonen

Die Schichtenverzeichnisse der Kernbohrungen und die Verfüll-Protokolle, die von der Bohrfirma erstellt wurden, sowie Farbfotos der Bohrkerne, die wir zur Dokumentation aufgenommen haben, befinden sich in unseren Unterlagen; ebenso die Lagevermessungen aller Erkundungspunkte.

Beim Klarspülen der Grundwassermessstellen BK1 GWM bis BK3 GWM wurden vom Bohrunternehmen drillexpert GmbH Kurzpumptests durchgeführt. Die Versuche und die Ergebnisse unserer Auswertung sind in Anlage 4 dargestellt. An dieser Stelle weisen wir darauf hin, dass wir am 22.02.21 einen Hydrogeologischen Bericht: Auffüllversuche und Grundwasserserganglinien vorgelegt haben.

Den Bohrungen wurden insgesamt

- 4 Bodenproben der Güteklasse 1 (Sonderprobe) und
- 127 Bodenproben der Güteklasse 3 nach DIN EN 1997-2, Tab. 3.1 und DIN EN ISO 22 475

entnommen.

An ausgewählten Proben wurden in unserem geotechnischen Labor Versuche durchgeführt:

- 29 Bestimmungen des natürlichen Wassergehalts nach DIN EN ISO 17 892-1 (Anlage 2, rechts neben den Profilsäulen),
- 3 Bestimmungen der Fließ- und Ausrollgrenzen nach DIN EN ISO 17 892-12 (Anlage 5.1),
- 7 Bestimmung der Korngrößenverteilung nach DIN EN ISO 17 892-4 (Anlage 5.2) und

- 3 eindimensionale Kompressionsversuche nach DIN 18 135, Oedometerversuche (Anlagen 5.3).

Hinzu kommen:

- 9 Penetrometer-Tests, die wir vor Ort an den bergfrischen Bohrkernen zur Bestimmung der Druckfestigkeit durchgeführt haben.

Die Ergebnisse aller Versuche werden in Abschnitt 6 erläutert und bewertet.

Aus dem Probenmaterial oben genannter Baugrunderkundung wurden chemische Analysen für eine orientierende abfallrechtliche Einstufung durchgeführt. Die Ergebnisse haben wir im Bericht vom 25.01.21 dokumentiert.

4 Baugrund

Durch Interpolation zwischen den zwangsläufig punktuellen Aufschlüssen haben wir, unter Berücksichtigung geologischer Zusammenhänge, ein räumliches **Modell des Untergrundes** erarbeitet, das nachfolgend beschrieben und in zwei geologischen Geländeschnitten (Anlagen 3.1) und zwei Schichtlagerungskarten (Anlage 3.2) dargestellt ist. Die Diagramme der Schweren Rammsondierungen (Anlagen 2.3) wurden dazu auf Grund unserer Erfahrung und im Vergleich mit den umliegenden Kernbohrungen stratigraphisch interpretiert.

Es zeigt stark vereinfacht einen bis zu vierschichtigen Aufbau:

- Auf der gesamten Fläche liegt zuoberst künstliche **Auffüllung**. Sie besteht im Bereich der Verkehrsflächen zuoberst aus Pflastersteinen oder aus Asphalt über einer etwa bis zu 1 m mächtigen Tragschicht aus sandigem Kies.

Im Bereich von Grünflächen liegt zuoberst Oberboden, der künstlich aufgefüllt ist und im Wesentlichen aus der rund 0,15 m bis 0,25 m mächtigen Grasnarbe besteht. Darunter folgt mit Ausnahme im Bereich der Kernbohrung BK 3 eine gelbbraune bis beigebraune, schluffige, etwa bis zu 1,2 m mächtige Sandlage in die Kalkstein- und Quarzgerölle eingelagert sind. Unter der Sandlage, bzw. im Bereich der Kernbohrung BK 3 direkt unter dem Oberboden folgt feinsandiger, kiesiger Schluff oder sandiger Kies bestehend aus Kalkstein, Quarz und vereinzelt Ziegelbruchstücken.

Die Gesamtmächtigkeit der Auffüllung nimmt von etwa 2 m im Nordosten nach Südwesten auf rund 3,5 m zu.

- Unter der Auffüllung liegen **Auenablagerungen**, ein dunkelgraubrauner bis grauer, toniger, feinsandiger bis stark feinsandiger, kiesiger Schluff von halbfester bis fester Konsistenz oder stellenweise stark schluffiger sandiger Kies. Die Mächtigkeit der Auenablagerungen beträgt ca. 0,3 m bis etwa 0,6 m. Im Westen der Baufläche wurden die Auenablagerungen teilweise vollständig abgetragen.
- Darunter liegen jüngere postglaziale Terrassenschotter der Donau, die unter dem Begriff **quartäre Kiese** zusammengefasst sind. Sie bestehen überwiegend aus gut gerundeten, sandigen Kiesen mit einem nur geringen Anteil an Tonen und Schluffen. Zur Tiefe hin nimmt der Feinkiesanteil zu und der Anteil des Grobkieses ab. Vereinzelt wurden Lagen mit einem erhöhten Schluffanteil angetroffen.

Die Mächtigkeit nimmt im Bereich des geplanten Hochhauses von etwa 4 m im Süden nach Norden auf rund 6 m zu. Die Oberfläche der quartären Kiese fällt von etwa 363,4 müNHN im Norden der Baufläche nach Süden auf etwa 362,3 müNHN ab. (Anlage 3.2.1).

- Unter den quartären Kiesen liegen im gesamten Baugelände die Schichten des **Tertiärs**, eine unregelmäßige Abfolge von tonigen Schluffen, Grobschluffen, Feinsanden und Tonen, die stratigraphisch der Oberen Süßwassermolasse zuzuordnen sind. Sie bestehen zuoberst aus einem dunkelgrünbraunen bis türkisgrauen Schluff-Ton von halbfester bis fester Konsistenz. Darunter folgen tonige Schluffe mit feinsandigen Grobschlufflagen und geringmächtigen tonigen Lagen. Die Konsistenz der Schluffe ist überwiegend halbfest und fest, vereinzelt auch steif und weich. Ab etwa 19 m bis 21 m unter Gelände folgt bis über 25 m unter Gelände schluffiger Feinsand und feinsandiger Grobschluff. Die Oberfläche des Tertiärs liegt etwa 7,3 m bis ca. 8,7 m unter Gelände und fällt von etwa 358,3 müNHN im Süden nach Norden auf ca. 357,4 müNHN ab. Das Tertiär setzt sich bis etwa 90 m unter Gelände zur Tiefe hin fort.
- Darunter folgen die Dolomitsteine des **Oberen Weißjura**, die sogenannten Mönzheimer Schichten des Malm zeta 3, deren Oberfläche nach einer großräumigen Schichtlagekarte bei etwa 275 müNHN liegt.

5 Grundwasser

Nachfolgend sind die:

- Grundwasserstände in den Kernbohrungen während der Erkundung, Abschnitt 5.1, und
- die Ergebnisse der hydraulischen Vorerkundung aus Kurzzeit-Pumpversuchen, Abschnitt 5.2, beschrieben.

5.1 Grundwasserstände

In allen Kernbohrungen wurde Grundwasser angetroffen. Die Bohrlöcher der Kleinbohrungen und Rammsondierungen sind oberhalb des Grundwasserspiegels verstürzt. In Tabelle 5 sind die während der Erkundung gemessenen Grundwasserstände aufgeführt.

In den Kernbohrungen wurde ein erstes Grundwasser etwa 4,0 m bis 4,5 m unter Gelände in den gut durchlässigen quartären Kiese angetroffen. Die in dieser Tiefe angetroffenen Wasserstände gehören einem 1. zusammenhängenden Grundwasserkörper an. Grundwasserleiter sind die quartären Kiese. Das Grundwasser ist frei. Zwei Bohrungen wurden als 5"-PVC Grundwassermessstellen ausgebaut, die in den quartären Kiesen verfiltert sind. Der Ruhewasserspiegel lag am 13.01.21 in der Bohrung BK2 GwM bei 361,85 müNHN und in der Bohrung BK3 GwM bei 361,87 müNHN. Der Grundwasserspiegel wird von der etwa 500 m nördlich gelegenen Donau bestimmt, die für das Grundwasser den Vorfluter bildet. Die Grundwasserfließrichtung ist nach Ost. Der Pegel Ingolstadt Luitpoldstraße/Donau zeigte am 13.01.21 einen Donauwasserstand bei 361,85 müNHN und bestätigt damit die hydraulische Verbindung des obersten Grundwasserleiters mit der Donau.

Der HW_{100} der Donau am Pegel Ingolstadt Luitpoldstraße/Donau liegt nach dem Hochwassernachrichtendienst Bayern bei 366,95 müNHN.

Aus den Abflussdaten der Donau ergeben sich am Pegel Luitpoldstraße/Donau die folgenden Wasserhöhen:

- HW_{10} : 366,15 müNHN und
- HW_{20} : 366,50 müNHN.

Nach dem Informationsdienst für überschwemmungsgefährdete Gebiete des Bayerischen Landesamts für Umwelt beträgt die Überflutungstiefe auf dem Grundstück HQ_{extrem} 1,0 m bis 2,0 m. Eine Überflutung des Grundstücks für HW_{100} ist nicht verzeichnet.

Weitere Grundwasserzutritte wurden in den Bohrungen im Tertiär bei etwa 13 m unter Gelände und ca. 17 m bis 19 m unter Gelände in grobschluffigen und sandigen Lagen angetroffen. Das Grundwasser ist unter geringen durchlässigen schluffigen und tonigen Lagen des Tertiärs gespannt und stieg in der als 5"-PVC Grundwassermessstelle ausgebauten Bohrung BK1 GwM, die im Tertiär verfiltert ist, auf 361,52 müNHN bei der Stichtagsmessung am 13.01.21 an.

Aus den Grundwassergleichenkarten der Ingolstädter Kommunalbetriebe AöR kann für das Baufeld ein Mittlerer Grundwasserstand von rund 362,1 müNHN und ein mittlerer höchster Grundwasserstand (MHGW) von etwa 362,70 müNHN entnommen werden.

Der Grundwasserleiter in den Gesteinen des Weißjuras liegt ca. 90 m unter Gelände und ist für das Bauvorhaben ohne Einfluss.

Auf Grundlage der beschriebenen hydrogeologischen Verhältnisse, insbesondere der gegebenen hydraulischen Verbindung des 1. Grundwasserleiters in den quartären Kiesen zur Donau und dem nur geringen Abstand zur Donau können bei lang anhaltenden Hochwasserabflüssen auch ein Ansteigen des Grundwasserstandes bis nur wenig unter Gelände nicht vollständig ausgeschlossen werden, so dass wir unter Berücksichtigung des von den Ingolstädter Kommunalbetriebe AöR dokumentierten Grundwasserschwankungsbereichs vorschlagen den **Bemessungswasserstand für den Endzustand** bei HWS = 364,75 müNHN und somit rund 1,25 m unter dem aktuellen Gelände anzunehmen. Die endgültige Festlegung des Bemessungswasserstandes muss im Rahmen eines wasserrechtlichen Verfahrens vorgenommen werden.

Ob Hochwasserschutzmaßnahmen für ein überflutetes Gelände bei HQ_{extrem} , also das Versagen des Hochwasserschutzes in Ingolstadt, baulich zu berücksichtigen sind, sollte unter Berücksichtigung des geringen Eintretensrisikos festgelegt werden. Üblicherweise werden bemessungsrelevante Wasserstände bis HQ_{100}/HW_{100} für bauliche Maßnahmen berücksichtigt.

Bei der Festlegung eines bauzeitliche Bemessungswasserstand wird üblicherweise auf Wasserstände in Höhe HW_{10} zurückgegriffen. Eine Grundwasseraufzeichnung die eine statistische Auswertung zulässt liegt für das Grundstück nicht vor, so dass wir auf Angaben aus dem Ingolstädter Grundwassermodell und Messreihen in vergleichbaren hydrogeologischen Verhältnissen im Umfeld zurückgreifen. Danach muss mit einer Grundwasserschwankung in der Größenordnung von 1,5 m gerechnet werden, wobei Grundwasseranstiege von Donauhochwässern nicht berücksichtigt sind. Daher schlagen wir einen **bauzeitlichen Bemessungswasserstand** für das Bauwerk von **363,5 müNHN** vor.

Anhand der Aufzeichnung der Grundwasserstände in den Messstellen BK 2 GwM (Quartär) und BK 1 GwM (Tertiär) im Vergleich zu den Pegelständen ist eine hydraulische Verbindung zwischen Donau und beiden Grundwasserleitern (Quartär und Tertiär) erkennbar. Auf Grund gespannter Grundwassererhältnisse im Tertiär sind die Grundwasserschwankungen dort größer. Bei einem Donauwasserstand von 365 müNHN (etwa HQ_2) im Juli 2021 wurden maximale Grundwasserstände von rund 363 müNHN gemessen.

Die vorliegenden Messreihen bestätigen damit unsere Annahmen zu den vorgeschlagenen Grundwasserständen. Details zu hydrogeologischen Verhältnissen können unserem gesonderter Bericht, siehe Anlage 6, entnommen werden.

Bohrung	BK1 GwM	BK2 GwM	BK3 GwM	BK4 GwM
Wasserstand 1. GW - angetroffen				
Datum	24.11.20	26.11.20	03.12.20	19.11.20
m u. Gel.	4,5	4,0	4,0	4,5
müNHN	361,58	361,22	361,64	361,51
Wasserstand 1. GW - angestiegen auf				
Datum	24.11.20	26.11.20	06.12.20	19.11.20
m u. Gel.	4,27	3,69	3,95	4,0
müNHN	361,81	361,53	361,69	362,02
nach	10 min	10 min	3 Tage 14 h 45 min	10 min
Bohrung				
Wasserstand 2. GW - angetroffen				
Datum	25.11.20	26.11.20	07.12.20	23.11.20
m u. Gel.	13,0	13,0	11,3	13,0
müNHN	363,08	352,22	354,34	353,01
Wasserstand 2. GW - angestiegen auf				
Datum	25.11.20	26.11.20	07.12.20	24.11.20
m u. Gel.	12,14	9,31	10,72	8,52
müNHN	353,94	355,91	354,92	357,49
nach	30 min	15 min	15 min	13 h 15 min
Wasserstand 3. GW - angetroffen				
Datum	-	26.11.20	07.12.20	-
m u. Gel.	-	16,50	17,50	-
müNHN	-	348,72	348,14	-
Wasserstand 3. GW - angestiegen auf				
Datum	-	30.11.20	07.12.20	-
m u. Gel.	-	4,52	9,87	-
müNHN	-	360,70	355,77	-
nach	-	3 Tage 15 h 10 min	20 min	-
Ruhewasserspiegel am 13.01.21				
m u. ROK	3.GW	1.GW	1.GW	-
müNHN	5,42	4,25	4,64	-
müNHN	361,52	361,85	361,87	-

Tabelle 5: Grundwasserstände während der Erkundung bzw. Stichtagsmessung

Das Grundwasser kann im Sinne der DIN 4030 bzw. DIN EN 206-1 schwach betonangreifend (XA 1) sein, da durch Oxidation der in den Schichten des Tertiärs enthaltenen Pyritkonkretionen erhöhte Sulfatgehalte auftreten können.

5.2 Ergebnisse Hydraulischer Versuche

Die Ergebnisse der durchgeführten hydraulischen Versuche zur Bestimmung der Durchlässigkeit sind detailliert in unserer Stellungnahme vom 22.02.21 (Anlage 6) dargestellt und können wie folgt zusammengefasst werden:

Die Quartären Kiese zeigen anhand der Durchlässigkeitsbeiwerte einen heterogenen Aufbau mit niedrigeren k_f -Werten von im Mittel $k_f = 6,5 \cdot 10^{-5}$ m/s im Bereich der BK 2 GwM und im Bereich der BK 3 GwM von $k_f = 5,6 \cdot 10^{-4}$ m/s. Der tertiäre Grundwasserleiter aus schluffigen Feinsand besitzt einen mittleren k_f -Wert von $7,9 \cdot 10^{-5}$ m/s.

Darüber hinaus wurden die im Zuge der Herstellung der Grundwassermessstellen gemachten Aufzeichnungen bewertet. Hierzu wurden die Klarspülprotokolle der drillexpert GmbH ausgewertet. Beim Klarspülen werden die Rückstände der Bohrspülung, die unvermeidbar sind und während des Bohrvorgangs in die wasserführenden Schichten eingetragen werden, entfernt und der Brunnen entschlammt sowie entsandet.

Dieser Vorgang wurde drei Mal in allen drei Messstellen, BK 1 GwM, BK 2 GwM und BK 3 GwM, durchgeführt und protokolliert. Der dritte Klarspülvorgang ergibt für die Auswertung auf die hydraulischen Parameter die belastbarsten Ergebnisse und wird im Folgenden für jede Messstelle beschrieben und ausgewertet.

5.2.1 Klarspülen der BK 2 GwM und BK 3 GwM im Quartär

BK 2 GwM: Der Ruhewasserstand wurde vor Beginn des Klarspülens auf 4,38 m unter Rohroberkante (ROK) (361,84 müNHN) gelotet. Durch den Pumpstart mit einer Förderrate von anfangs 1,66 l/s und einer schnellen Eindrosselung auf 0,59 l/s fiel der Wasserstand in der Messstelle um 3,72 m auf 358,12 müNHN. Die Förderrate wurde dann wieder kontinuierlich auf 1 l/s erhöht und für 1 Stunde konstant betrieben. Eine höhere Förderrate war aufgrund der geringen Wassersäule von 4,1 m in der Grundwassermessstelle bzw. im Grundwasserleiter nicht möglich. Nach insgesamt 2 Stunden wurde die Pumpe gestoppt und der Wiederanstieg gemessen. Der Ruhewasserstand stellte sich nach kurzer Zeit wieder ein. Der Wasserstandsverlauf und die Entnahmerate sind grafisch in Anlage 4.1.1 dargestellt.

Zur Ermittlung der Transmissivität und der hydraulischen Durchlässigkeit des Grundwasserleiters wurde der Wiederanstieg nach Theis (Anlage 4.1.2) ausgewertet. Die Transmissivität berechnet sich zu $T = 2,11 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ und der Durchlässigkeitsbeiwert zu $k_f = 5,14 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$.

Eine Abschätzung aus dem stationären Versuchsverlauf nach Darcy bei einer Förderrate von 1 l/s, einer Absenkung von 3,72 m und einer grundwassererfüllten Mächtigkeit von 4,1 m berechnet sich der Durchlässigkeitsbeiwert zu $k_f = 5,16 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$.

BK 3 GwM: Der Ruhewasserstand vor Beginn des Klarspülens lag bei 4,80 m unter Rohroberkante (ROK) (361,84 müNHN). Bei Pumpbeginn mit 1,66 l/s fiel der Wasserstand in der Messstelle um 2,72 m auf 359,12 müNHN. Um ein Trockenfallen der Pumpe zu verhindern, wurde auch hier die Förderrate wieder gedrosselt und dann kontinuierlich auf 0,91 l/s erhöht. Nach einer Laufzeit von 1 Stunde bei 0,91 l/s wurde die Pumpe gestoppt und der Wiederanstieg gemessen. Der Ruhewasserstand stellte sich sofort wieder ein. Der Wasserstandsverlauf und die Entnahmerate sind grafisch in Anlage 4.2.1 dargestellt.

Aufgrund der sofortigen Wiedereinstellung des Ruhewasserstands nach Abschaltung der Förderpumpe kann der Wiederanstieg nicht nach Theis ausgewertet werden. Daher wurde der stationäre Versuchsablauf bei konstanter Förderrate von 0,91 l/s, einer Absenkung von 2,73 m und einer grundwassererfüllten Mächtigkeit von 3,3 m nach der Darcy-Gleichung abgeschätzt: Der Durchlässigkeitsbeiwert wurde somit auf $k_f = 7,95 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ ermittelt.

5.2.2 Klarspülen der BK 1 GwM im Tertiär

Der Ruhewasserstand in der BK 1 GwM wurde vor Beginn des Klarspülens auf 6,01 m unter Rohroberkante (ROK) (361,01 müNHN) gemessen. Der Pumpstart mit einer Förderrate von 1,66 l/s erzeugte eine Absenkung des Wasserstands von 8,57 m auf 352,5 müNHN in der Messstelle. Während der konstanten Entnahme von 1,66 l/s erhöhte sich der Wasserstand geringfügig auf 352,95 müNHN. Nach 2 Stunden wurde die Pumpe gestoppt und der Wiederanstieg gemessen. Nach 15 Minuten wurde die Aufzeichnung nicht weiter fortgesetzt. Zu diesem Zeitpunkt lag der Wasserstand noch 0,11 m unter dem Ruhewasserstand vor Versuchsbeginn. Der Wasserstandsverlauf und die Entnahmerate sind grafisch in Anlage 4.3.1 dargestellt.

Zur Ermittlung der hydraulischen Parameter wurden zwei Bewertungsverfahren zur Analyse des instationären Wasserstandsverlaufs herangezogen: die Absenkung wurde nach Cooper & Jacob I (Anlage 4.3.2) und der Wiederanstieg nach Theis (Anlage 4.3.3) ausgewertet. Die Transmissivität berechnet sich nach Cooper & Jacob I zu $T = 6,21 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ bzw. nach Theis

zu $T = 3,09 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ und der Durchlässigkeitsbeiwert nach Cooper & Jacob I zu $k_f = 1,05 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ und nach Theis zu $k_f = 5,24 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$.

Die Abschätzung des stationären Wasserstandsverlaufs bei konstanter Förderrate von 1,66 l/s, einer Absenkung von 8,12 m und einer grundwassererfüllten Mächtigkeit der tertiären Schichten von 5,5 m nach Darcy ergibt einen k_f -Wert von $2,9 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$.

6 Eigenschaften von Böden und Fels

Bodenmechanische Versuche sind erforderlich, um die angetroffenen Böden mit Hilfe objektiver Vergleichswerte bodenmechanisch klassifizieren und charakteristische Werte für erdstatische Berechnungen festlegen zu können. Im vorliegenden Fall haben wir durchgeführt:

- **Feldversuche** (Abschnitt 6.1): Rammsondierungen und Bohrlochrammsondierungen/ Borehole Dynamic Probing (BDP) sowie Penetrometerversuche,
- **Laborversuche** (Abschnitt 6.2): Bestimmungen des natürlichen Wassergehalts, der Fließ- und Ausrollgrenzen, der Kornverteilung und der Zusammendrückbarkeit an ausgewählten Bodenproben.

Die Versuche erlauben, qualitative und quantitative Unterschiede der Baugrundeigenschaften zu erfassen. Zur Darstellung der Tiefenabhängigkeit sind sie teilweise in die Schichtenprofile (Anlage 2) und die geologischen Geländeschnitte (Anlage 3.1) eingearbeitet.

Die Klassifikationen und charakteristischen Kennwerte sind in Abschnitt 6.3 zusammengestellt.

In Abschnitt 6.4 sind die Homogenbereiche des Baugrunds nach den Allgemeinen Technischen Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) der VOB – Teil C beschrieben.

6.1 Ergebnisse der Feldversuche

Sondierungen geben über den gemessenen Eindringwiderstand q_c (MN/m^2) beziehungsweise über die für 10 cm Eindringung gemessenen Schläge N_{10} einen Anhalt über die Lagerungsdichte nichtbindiger Böden sowie über die Konsistenz beziehungsweise undrained Scherfestigkeit bindiger Böden.

Bei Kenntnis der Kornverteilung der Böden beziehungsweise der Bodengruppen auf Grund von Indexversuchen (Abschnitt 6.2) lassen sich daraus bodenmechanische Kennwerte ableiten.

Zur Ermittlung der undränierten Scherfestigkeit der **Auenablagerungen** und der Lagerungsdichte der **quartären Kiese** und des **Tertiärs** wurden sechs Rammsondierungen mit der schweren Rammsonde (DPH) durchgeführt. Die Ergebnisse der Sondierungen sind als Anlage 2.3 beigefügt. Die Rammsondierungen DPH 1 bis DPH 6 ergaben:

- In den Auenablagerungen lag der Eindringwiderstand N_{10} überwiegend zwischen 0 und 5 und ist damit weicher, teilweise sehr weicher und steifer Konsistenz zuzuordnen.
- In den quartären Kiesen wurden unterhalb des Grundwasserspiegels Schlagzahlen $0 \leq N_{10} \leq 10$, im Mittel bei $N_{10} = 5$ aufgenommen. Die Interpretation dieser Ergebnisse in Anlehnung an die Vorgaben in DIN 4094 ergibt, dass die Kiessande überwiegend mit Lagerungsdichten $D \approx 0,35$, also im Übergangsbereich von lockerer zu mitteldichter Lagerung anstehen.
- Die Bandbreite der Schlagzahlen im Tertiär liegt bei $6 \leq N_{10} \leq 50$. Niedrigere Schlagzahlen, im Mittel bei $N_{10} \approx 10$, wurden nahezu durchgehend in den Rammsondierungen DPH 1 und DPH 6, im Westen des Baufelds, gemessen. In den Rammsondierungen DPH 2 bis DPH 5, in der Mitte und im Osten des Baufelds, wurden im Mittel höhere Schlagzahlen gemessen, hier $N_{10} \approx 25$. Aus den festgestellten Schlagzahlen kann für alle Rammsondierungen eine überwiegend dichte oder sehr dichte Lagerung der nichtbindigen Anteile abgeleitet werden. An den wechselnden, meist geringen Schluffanteilen des Tertiärs kann eine überwiegend halbfeste und feste Konsistenz der bindigen Anteile abgeleitet werden, wobei insbesondere bei erhöhten Tonanteilen die Schlagzahlen durch Mantelreibungseffekte beeinflusst sein kann.

Darüber hinaus wurden während der jetzt durchgeführten Erkundung in vier Bohrungen insgesamt acht Bohrlochrammsondierungen (BDP), Sondierungen mit geschlossener Spitze durchgeführt. Sie erlauben, ähnlich wie die Rammsondierungen, bodenmechanische Kennwerte abzuleiten und punktuell tiefenabhängige Unterschiede im Baugrund zu erkennen. Die Ergebnisse der BDP-Versuche sind unter den Bohrprofilen der Bohrungen als drei Schlagzahlen N_{15} für je 15 cm Eindringung angegeben. Die Schlagzahl für die Eindringung von 15 cm bis 45 cm heißt N_{30} und ist neben den Bohrprofilen, Anlage 2.1, in der jeweiligen Tiefenlage des Versuchs angegeben.

- Alle Versuche wurden im schluffigen Tertiär durchgeführt. Die Tiefenlage der Versuche liegt zwischen rund 354 müNHN und 348 müNHN.
- Die Versuche in den schluffigen Bereichen des Tertiärs liefern Schlagzahlen N_{30} zwischen 22 und 77, im Mittel von etwa 45 und weisen damit auf undränierte Scherfestigkeiten von $200 \text{ kN/m}^2 \leq c_u \leq 500 \text{ kN/m}^2$ beziehungsweise eine halbfeste und feste Konsistenz hin.

Nach den in DIN 4094-2, Anhang B.4, angegebenen Korrelationen ergeben sich Steifemoduln $25 \text{ kN/m}^2 \leq E_s \leq 65 \text{ kN/m}^2$, die sich mit unseren bisherigen Erfahrungswerten decken.

Bei der Aufnahme der Schichtenfolgen der Kernbohrung BK 4 wurde an bergfrischen Bohrkernen des **Tertiärs** die einaxiale Druckfestigkeit q_u mit dem Taschenpenetrometer bestimmt, um die manuelle Konsistenzansprache objektiv zu überprüfen.

Das Penetrometer besteht im Wesentlichen aus einem Druckstempel mit Durchmesser 6,3 mm, der mit stetiger Belastung bis zu einer Markierung langsam von Hand in den Boden eingedrückt wird. Der Eindringwiderstand, als einaxiale Druckfestigkeit $q_u = 2 \cdot c_u$ aufgetragen, wird direkt als Federweg an der Skala des Geräts abgelesen. Der c_u -Wert ist ein Indexwert für die undrained Scherfestigkeit des Bodens.

An Bohrkernen aus dem Tertiär wurden 13 Kohäsionswerte des undrained Bodens c_u zwischen 50 kN/m^2 und 225 kN/m^2 , im Mittel 150 kN/m^2 , gemessen. Der gemessene Höchstwert ist dabei kein realer Maximalwert, da versuchsbedingt keine Werte über 225 kN/m^2 ermittelt werden können. Die mit dem Taschenpenetrometer ermittelten q_u -Werte in kN/cm^2 sind in Anlage 2.1.4 angegeben.

6.2 Ergebnisse der Laborversuche

An fünf Proben der **quartären Kiese** wurde nach DIN EN ISO 14 688 und DIN 18 196 die Korngrößenverteilung bestimmt. Demnach sind die quartären Kiese als schwach schluffige, schwach bis stark sandige Kiese mit einem Schluffanteil von weniger als 5 % (Anlage 5.2.1) als Kiese (GU, GI und GW) zu bezeichnen. Die aus den Kornverteilungen abzuleitende Wasserdurchlässigkeit liegt zwischen $k_f = 5,6 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$ bis $1,1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$, im Mittel bei $k_f = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$.

Diese aus den Korngrößenverteilungen ermittelten Wasserdurchlässigkeiten sind im Vergleich zu den Durchlässigkeiten aus beiden in den quartären Kiesen durchgeführten Kurzzeit-Pumpversuchen bzw. Pump- und Versickerungsversuche, siehe Anlagen 5.2.1 und 6, um rund eine Zehnerpotenz höher. Auf Grund der Kernansprachen im Feld, muss davon ausgegangen werden, dass wegen der feineren Zusammensetzung der Kiese zur Basis hin die Durchlässigkeit abnimmt und deshalb die Pumpversuche mit einer Absenkung bis nahezu zur Basis des Kiesel beeinflusst.

Das **Tertiär** ist nach DIN EN ISO 14 688 und DIN 18 196 als feinkörniger Boden und mit Wassergehalten an der Fließgrenze w_L von etwa 48 % und an der Ausrollgrenze w_P von etwa 19 %, als mittelplastischer Ton (TM) zu bezeichnen, siehe Anlage 5.1.

Der natürliche Wassergehalt w_n wurde an 29 Proben bestimmt; er lag zwischen 14 % und 34 %, im Mittel bei 22 %. Im Vergleich mit den Fließ- und Ausrollgrenzen hatten damit drei Proben weiche, die 26 anderen Proben steife Konsistenz.

Im Vergleich der Wassergehalte zu den Ergebnissen der Fließ- und Ausrollgrenzen stehen die so ermittelten Konsistenzen der untersuchten Proben allerdings im Widerspruch zu den im Feld angesprochenen Konsistenzen. Dies erklärt sich daraus, dass der Tonanteil hochaktive Minerale enthält und damit eine hohe Aktivitätszahl aufweist.

Die natürlichen Wassergehalte sind in Anlage 2, rechts neben den Bohrprofilen aufgeführt.

An zwei Proben des sandigen **Tertiärs** wurde nach DIN EN ISO 14 688 und DIN 18 196 die Korngrößenverteilung bestimmt. Demnach ist das Tertiär als schwach schluffige Sande (siehe Anlage 5.2.2) als Sand-Schluff-Gemisch (SU) zu bezeichnen. Die aus den Kornverteilungen abzuleitende Wasserdurchlässigkeit liegt zwischen $k_f = 6 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ bis $3 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$, im Mittel bei $k_f = 1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$.

Im Vergleich mit den aus hydraulischen Versuchen ermittelten Wasserdurchlässigkeiten zeigen diese Durchlässigkeiten eine gute Übereinstimmung.

An drei Sonderproben der Güteklasse 1 aus BK 1, BK 2 und BK 3 aus dem Tertiär in jeweils rund 13,1 m Tiefe wurde ein Eindimensionaler Kompressionsversuch (Oedometerversuch) durchgeführt, um den Steifemodul E_s zu bestimmen und Aussagen zum Konsolidationsverhalten zu bekommen. Die Versuchsprogramme wurden auf die Belastung durch die geplante Auflast abgestimmt. Die Auswahl der Proben erfolgte bewusst. Zum einen, um die Proben in die Versuchsapparatur einbauen zu können und zum anderen, um die untere Grenze des Steifemoduln zu erhalten, womit die Ergebnisse für die weiteren erdstatischen Berechnungen auf der sicheren Seite liegen. Die Versuchsergebnisse sind in den Anlagen 5.3 dargestellt und zusammen mit den Indexwerten bei Ein- und Ausbau aufgelistet. Die in den Versuchen ermittelten Steifemoduln E_s aus den maßgeblichen Spannungsbereichen sind in nachfolgender Tabelle 5 dargestellt.

Vergleicht man die aus den Bohrlochrammsondierungen ermittelten Steifemoduln mit denen aus den Oedometerversuchen, fällt auf, dass die in Abschnitt 6.1 beschriebenen über denen der Oedometerversuche liegen. Wie bereits oben beschrieben lässt sich dies durch die Auswahl der Proben im bodenmechanischen Labor erklären, um bei vergleichbarer Tiefenlage und im selben Spannungsbereich, Ergebnisse auf der sicheren Seite liegend zu erhalten.

Spannung [kN/m ²]	Erstbelastung			Wiederbelastung		
	Steifemoduln E_s [MN/m ²]			Steifemoduln E_s [MN/m ²]		
	min	max	mittel	min	max	mittel

50 - 100	4,6	5,6	5,2			
100 - 200	5,9	7,1	6,6	15,7	19,0	16,8
200 - 400	13,9	15,8	14,7	23,0	23,8	23,4
400 - 800	21,6	26,3	23,9			

Tabelle 5: Oedometerversuche an schluffigen Tertiär-Proben

Aus den Zeit-Setzungs-Diagrammen der Oedometerversuche kann der Konsolidierungswert im Mittel zu $c_v = 1,54 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ermittelt werden. Hiermit ergibt sich der Wasserdurchlässigkeitsbeiwert k_f zu $1,1 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$ bis $9,9 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$, im Mittel zu $k_f = 1 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$. Das schluffig tonige Tertiär ist damit nach DIN 18130 sehr schwach durchlässig. Die ermittelten Wasserdurchlässigkeiten liegen damit deutlich am unteren Rand der Erfahrungswerte für das Tertiär.

Weitere Angaben zu den Konsolidierungsbeiwerten oder der Wasserdurchlässigkeiten können den entsprechenden Anlagen 5.3 und 6 entnommen werden.

6.3 Klassifikation und charakteristische Kennwerte

Anhand der Bodenansprache im Gelände, der diskutierten Ergebnisse der Feld- und Laborversuche sowie unseren Erfahrungen mit bodenmechanisch gleichartigen Böden kann der angetroffene Baugrund in Anlehnung an bautechnische Regelwerke klassifiziert und durch charakteristische Kennwerte für statische Untersuchungen beschrieben werden.

Das Baugrundstück liegt nach DIN 4149:2005-04, Teil 1, und der vorläufigen Karte der Erdbebenzonen der Bundesrepublik Deutschland in der neuesten Fassung in Erdbebenzone 0. Maßgebend für diese Festlegung ist die Oberste Baubehörde des Bundeslandes Bayern. Das Baufeld liegt danach in der Gemarkung Ingolstadt Stadt, wofür die Untergrundklasse T und die Baugrundklasse C zutreffend sind.

Das Baugrundstück liegt nach DIN 4149:2005-04 und der Karte der Erdbebenzone der Bundesrepublik Deutschland in der Gemarkung Ingolstadt und damit in Erdbebenzone 0. Maßgebend für diese Festlegung ist die Oberste Baubehörde des Bundeslandes Bayern. Das Baufeld liegt danach in der Gemarkung Ingolstadt Stadt, wofür die Untergrundklasse T und die Baugrundklasse C zutreffend sind.

geologische Bezeichnung	Auffüllungen	Auenablagerungen	quartäre Kiese
Lagerungsdichte	mitteldicht, dicht	-	locker, mitteldicht
Konsistenz (vorherrschend)	halbfest, fest	weich /steif	-
Klassifikationen			
Bodengruppe (DIN 18 196)	GW,GI,SU, SU*,TL,X ¹⁾	TL,TM,SU,SU*	GI,GE,GW
Bodenklasse (DIN 18 300)	3,4,5	3,4	3,4
Frostempfindlichkeit	mittel, sehr ²⁾	sehr	nicht
Klasse nach ZTV E-StB 17	F2, F3 ²⁾	F3	F1
charakteristische Kennwerte			
Wichte γ [kN/m ³]	21/19 ²⁾	19	21
unter Auftrieb γ' [kN/m ³]	11/9 ²⁾	10	11
Reibungswinkel φ' [°]	35/25 ²⁾	27,5	35 (30-37,5)
Kohäsion c' [kN/m ²]	0/5 ²⁾	2-5	0
Steifemodul E_s [MN/m ²] für Setzungsberechnungen Spannungsbereich: 300 – 600 kN/m ²	-	8 (8-12)	40 ³⁾ (30-60)

1) gilt für Bauwerksreste oder dergleichen, die in Auffüllungen nicht auszuschließen sind

2) für schluffige Auffüllungen

3) bei Wiederbelastung darf der doppelte Wert angesetzt werden

Tabelle 6: Klassifikationen und charakteristische Kennwerte

geologische Bezeichnung	Tertiär			
	tonig, oberhalb 354 müNHN	354 müNHN - 345 müNHN	schluffig, 345 müNHN	sandig, unterhalb 345 müNHN
Lagerungsdichte	-	-	-	-
Konsistenz (vorherrschend)	halbfest, fest		steif - fest	dicht, sehr dicht
Klassifikationen				
Bodengruppe (DIN 18 196)	SU,SU*,ST, TL,TM		SU*,SU, TL,TM,(USt)	SU*,SU ,SE,SI,SW
Bodenklasse (DIN 18 300)	3,4		3,4,6	3,4
Frostempfindlichkeit	sehr		sehr	mittel, sehr
Klasse nach ZTV E-StB 17	F3		F3	F2, F3
charakteristische Kennwerte				
Wichte γ [kN/m ³]	20		21	20
unter Auftrieb γ' [kN/m ³]	10		11	10
Reibungswinkel φ' [°]	27,5		27,5	32,5 (32,5-35)
Kohäsion c' [kN/m ²]	7,5 (5-8)		10 (8-12)	2,5 (0-5)
undrainierte Kohäsion c_u [kN/m ²]	150-250		200-500	-
Steifemodul E_s [MN/m ²] für Setzungsberechnungen Spannungsbereich: 300 – 600 kN/m ²	30 ¹¹ (20-40)		40 ¹¹ (30-50)	60 ¹¹ (40-80)

3) bei Wiederbelastung darf der 2,5fache Wert angesetzt werden

Tabelle 7: Klassifikationen und charakteristische Kennwerte

6.4 Homogenbereiche

Nach den Allgemeinen Technischen Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) der VOB/C, Ausgabe 2019, ist der Baugrund in Homogenbereiche einzuteilen. Bei der Definition der Homogenbereiche sind die verfahrens- und gerätespezifischen Besonderheiten für jedes Gewerk zu berücksichtigen.

Nach derzeitigem Kenntnisstand wird für das vorliegende Bauvorhaben mit Homogenbereiche folgender Gewerke des Tiefbaus entsprechend den ATVs gerechnet:

- DIN 18 300, Erdarbeiten,
- DIN 18 301, Bohrarbeiten und
- DIN 18 304, Ramm-, Rüttel- und Pressarbeiten.

Zur Vereinfachung von Ausschreibung, Aufmaß und Abrechnung werden die Homogenbereiche einheitlich für alle erwarteten Bauverfahren festgelegt. Die Homogenbereiche sind in Tabelle 8 anhand der Bandbreite ihrer Kennwerte definiert dargestellt.

Homogenbereich	A	B1	B2
geologische Bezeichnung	Auffüllungen, Auenablagerungen	quartäre Kiese	Tertiär
Bodengruppe (DIN 18 196)	GW,GI,SU, SU*,TL,X ¹⁾	GI,GE,GW, SU,SU*	SU*,SU,ST, SI,SW, TL,TM,USt
Korngrößenverteilung (DIN 18 123) (T+U / S / G [%])	-	0-10/10-40/50-90	0-90/10-90/0-10
Stein-/ Blockanteile (DIN EN ISO 14 688-2)	<30/<10	<30/<10	<10/<10
Lagerungsdichte (DIN 18 126)	mitteldicht, dicht	locker, mitteldicht	mitteldicht bis sehr dicht
Plastizitätszahl I _p (DIN 18 122-1)	0-15	-	10-30
Konsistenzzahl I _c (DIN 18 122-1)	0,75-1,25	-	0,5 - >1,0
Wassergehalte [%]	15-25	-	10-30
undrainierte Kohäsion c _u [kN/m ²]	-	-	150-500
Dichte ρ [t/m ³]	1,9-2,1	1,7-2,2	1,85-2,2
Abrasivität (NF P94-430-1)	-	erfahrungsgemäß schwach abrasiv	nicht bestimmbar
organische Anteile, Glühverlust [%] (DIN 18 128)	<5	<5	<5
Benennung + Beschreibung organischer Anteil	ggf. Wurzelwerk	ggf. Holzreste	-

1) für Steine und Blöcke im Unterbau oder Fundamentreste

Tabelle 8: Homogenbereiche nach DIN 18 300, DIN 18 301 und DIN 18 304.

Die Homogenbereiche gelten für das Lösen, Laden, Fördern, Einbauen und Verdichten von Boden, Fels und sonstigen Stoffen im Zusammenhang mit der DIN 18 300. Die Homogenbereiche nach DIN 18 301 gelten für Bohrungen jeder Art. Die Homogenbereiche nach DIN 18 304 gelten für das Einbringen und Ziehen von Bohlen, Pfählen, Trägern, Rohren, Lanzen und dergleichen durch Rammen, Rütteln oder Pressen.

7 Bautechnische Folgerungen

Für den angetroffenen und beschriebenen Baugrund können zur weiteren Planung und Herstellung des Gebäudes Empfehlungen und Hinweise

- zur Gründung (Abschnitt 7.1),

- zur Baugrube (Abschnitt 7.2),
 - zu den gegenseitigen Einflüssen von Grundwasser und Bauwerk (Abschnitt 7.3),
 - zu Hinterfüllung und Erddruck (Abschnitt 7.4),
 - zu Verkehrsflächen (Abschnitt 7.5) und
 - zu Versickerung von Niederschlags- und Oberflächenwasser (Abschnitt 7.6)
- gemacht werden.

7.1 Gründung

Die Baugrubensohle für die Herstellung des zweiten Untergeschosses wird zwischen 358,94 müNNH und 356,79 müNNH liegen. Die Baugrubensohlen des zweiten Untergeschosses liegen damit in den quartären Kiese und im Tertiär. Alle Untergeschosse liegen unterhalb des Grundwasserspiegels, siehe Anlagen 3.1 und Abschnitt 5.1.

Bei den angegebenen Einwirkungen, siehe Abschnitt 2, sehen wir nach unseren Berechnungen zwei Gründungsmöglichkeiten, die wir nachfolgend untersuchen:

- eine Plattengründung, siehe Abschnitt 7.1.1, und
- eine Pfahlgründung, siehe Abschnitt 7.1.2.

In Abschnitt 7.1.3 geben wir eine Gründungsempfehlung, eine Kombination aus den in den Abschnitten 7.1.1 und 7.1.2 gemachten Empfehlungen.

Wegen der hier vorhandenen Bauhöhe und unter Berücksichtigung der Dauerhaftigkeit des Bauwerks empfehlen wir die Verformungen der Gründung während ihrer Herstellung und auch zeitlich danach in ausgewählten Zeitabschnitten geodätisch zu kontrollieren. Dazu sollte ein detailliertes **Messkonzept** erstellt werden. Hierbei können wir Sie gerne unterstützen.

7.1.1 Plattengründung

Der unter der Gründungssohle anstehende nahezu homogene Baugrundaufbau mit zugleich ausreichend tragfähigen Böden, hier die quartären Kiese und überwiegend das Tertiär, ermöglicht eine Gründung mit Hilfe einer statisch wirksamen, lastverteilenden Bodenplatte. Auf Grund des in der Bauwerkshöhe gestaffelten Gebäudes muss mit unterschiedlich hohen Verformungen gerechnet werden, welche auf Bauwerksverträglichkeit zu prüfen sind.

Die Bemessung der Bodenplatte kann mit dem Bettungs- oder mit dem Steifemodulverfahren erfolgen. Wir haben vereinfachte Berechnungen mit dem Steifemodulverfahren durchgeführt und daraus Bettungsmoduln abgeleitet. Die Berechnungen erfolgen auf Basis

der charakteristischen Einwirkungen, siehe Abschnitt 2, und den in Abschnitt 6 genannten Steifemoduln. Während für das Steifemodulverfahren direkt die in Tabelle 7 angegebenen Steifemoduln verwendet werden können, sind die Bettungsmoduln keine Bodenkennwerte, sondern von den Baugrundsteifigkeiten, den Beanspruchungen sowie der Bauwerkssteifigkeit und Bodenplattengeometrie abhängige Größen, die über Setzungsberechnungen für das in der Höhe gestaffelte Bauwerk und seine Belastung individuell zu ermitteln sind.

Hierzu wurden unter Näherung von Geometrie und Lasten eine Berechnung des Systems der Untergeschosse und Boden mittels Finite Element Methode durchgeführt. Dabei haben wir auch die Aushubentlastung, die ständig wirkenden Auftriebslasten des ins Grundwasser einbindenden Bauwerks sowie etwa 80 % der Lasten als setzungswirksam berücksichtigt.

Als Ergebnis dieser Berechnungen können der Bemessung der Bodenplatte nach dem Bettungsmodulverfahren folgende Bettungsmoduln zu Grunde gelegt werden. Diese und die auf Grund der Belastung entstehenden Setzungen können nachfolgender Tabelle 9 entnommen werden:

Gebäudeteil	charakteristischen Sohldruckspannung $\sigma_k^{1)}$ [kN/m ²]	Setzung s [cm]	Bettungsmodul k_s [MN/m ³]
Hochhausturm	250	~ 5-7	4
Längsriegel	175	1,5 - 3	7
Tiefgarage	125	< 1,5	8,5
Bodenplattenrandstreifen ²⁾	-	-	15

1) für den Gebäudeteil angenommene mittlere Bodenpressung

2) Breite des Randstreifens entspricht der doppelten Bodenplattendicke

Tabelle 9: Mittlere charakteristischen Sohldruckspannung, Bettungsmoduln und Setzungen einer Platten-gründung.

Die in Tabelle 9 genannten Setzungen mit bis zu 7 cm sind bei alleiniger Betrachtung unmittelbar unter dem Hochhausturm aus unserer Sicht und bei entsprechender Berücksichtigung bei der Planung bauwerksverträglich. Jedoch nehmen nördlich davon, im Tiefgaragenbereich die Setzungen im Mittel auf bis zu 1,5 cm ab. Aus der Berechnung ergeben sich trotz Berücksichtigung der Bauwerkssteifigkeit der Untergeschoss Setzungsdifferenzen in der Größenordnung von 1/200 bis 1/300. Derartige Gebäudeverdrehungen sind nach Angabe in der Literatur und eigenen Erfahrungen nicht mehr bauwerksverträglich und erfordern daher weitere Maßnahmen, welche im nachfolgenden Abschnitt 7.1.3 beschrieben sind.

7.1.2 Pfahlgründung

Alternativ beziehungsweise in Kombination zur beschriebenen Flachgründung auf einer statisch wirksamen Bodenplatte kann auch eine Pfahlgründung nach DIN 1054, Abschnitt 7, ausgeführt werden, mit der die Lasten in tiefere Baugrundsichten abgetragen werden.

Bei einer Tiefgründung in den sandigen Schichten des Tertiärs, somit unterhalb ca. 345 müNHN, ist mit hohen Widerständen am Pfahlfuß zu rechnen.

Als Pfahlsysteme können unter diesen Randbedingungen Bohrpfähle oder Verdrängungspfähle zum Einsatz kommen.

Beim Einsatz von Bohrpfähle empfehlen wir folgende charakteristische Widerstands-Werte für den **Bruchwert der Pfahlmantelreibung** $q_{s,k}$ und **Pfahlspitzenwiderstand** $q_{b,k}$ anzusetzen, siehe Tabelle 10:

Tertiär	Tiefenlage [müNHN] ¹⁾	Bruchwert der Pfahlmantelreibung $q_{s,k}$ [kN/m ²] ¹⁾	Pfahlspitzenwiderstand $q_{b,k}$ [MN/m ²]
tonig	> 354	80	-
schluffig	354 – 345	110	-
sandig	< 345	140	4

Tabelle 10: Bruchwert der Pfahlmantelreibung $q_{s,k}$ und Pfahlspitzenwiderstand $q_{b,k}$ für Bohrpfähle

Zum zulässigen Abstand von Einzelpfählen bzw. zur Reduzierung der Pfahllasten bei engen Abständen der Bohrpfähle empfehlen wir folgende Regelung: Bis zu Abständen der Pfahlachsen von $3 \cdot D$ (D = Pfahldurchmesser) müssen keine Abminderungen vorgenommen werden. Bei einer tangierenden Pfahlwand (Abstand $1 \cdot D$) verringert sich die Fläche, in der Mantelreibung übertragen werden kann, auf 64 % ($=100 \cdot 2/\pi$) des Pfahlumfangs. Beim Spitzendruck ist zu berücksichtigen, dass mit abnehmendem Pfahlabstand der beim Einzelpfahl vorliegende dreidimensionale Spannungszustand in ein ebenes Problem übergeht. Die EA-Pfähle beinhaltet Nomogramme zur Bewertung von Pfahlgruppen, zu deren Anwendung jedoch detaillierte Kenntnisse der Pfahleinbindung und des Verformungszustands erforderlich sind.

Nach der früheren Norm für Bohrpfähle DIN 4014, Tabelle 6, ist bei tangierenden Pfählen bzw. bei einer durchgehenden Pfahlwand der Spitzendruck auf 60 % abzumindern. Wir empfehlen daher, auf die von uns angegebenen Werte für Einzelpfähle folgende Abminderungsfaktoren für die Gesamtwiderstände in Abhängigkeit der Pfahlabstände zu verwenden:

Achsabstand in einer Pfahlreihe	1·D	1,5·D	2·D	2,5·D	≥ 3·D
Abminderungsfaktor	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

Diese Abminderungen gelten für Pfahlreihen mit wiederholten engen Pfahlabständen. Falls nur zwei Pfähle zueinander geringe Abstände aufweisen, sind die Reduktionen geringer. Die Mantelfläche für zwei tangierende Pfähle reduziert sich auf das Verhältnis $(2 + \pi)/(2 \cdot \pi) = 0,82$, für die Abminderung des Spitzendrucks empfehlen wir in Anlehnung an die frühere DIN 4014 einen Faktor von 0,9. Auf dieser Grundlage geben wir für einzelne benachbarte Pfähle in engem Abstand folgende Abminderungsfaktoren bezogen auf den Widerstand eines Einzelpfahles an:

Achsabstand von 2 Einzelpfählen	1·D	1,5·D	2·D	2,5·D	≥ 3·D
Abminderungsfaktor	0,85	0,89	0,93	0,96	1,0

Bei benachbarten Pfählen, z. B. im Bereich der aussteifenden Kerne, bei denen sowohl hinsichtlich einer Reihung von Pfählen als auch zwischen unmittelbar benachbarten Pfählen unterschiedlich enge Abstände geplant sind, gilt der kleinere der genannten Abminderungsfaktoren. Bei Außenpfählen von Pfahlreihen kann das Einzelpfahlkriterium zur Anwendung kommen.

Bei einer Bohrpfahlgründung ist für das Gebäude mit Setzungen von rund 2 cm zu rechnen. Dabei ist vorausgesetzt, dass die Bohrlochsohlen, z. B. mit einem Bohreimer, sauber berräumt werden, um den vollständigen Kraftschluss verformungsarm sicherzustellen.

Bei der Herstellung von Bohrpfählen sind die Vorgaben der DIN EN 1536 zu beachten. Für die Vergabe von Bohrarbeiten sollte DIN 18301 beachtet werden.

Auf Grund der für hydraulische Nachweise ungünstigen Verhältnisse des Tertiärs und den in den tertiären Sanden gespannt anstehenden Grundwasser, sind die Pfähle vom Niveau des anstehenden Grundwassers aus herzustellen. Eine Wasserauflast zur Vermeidung eines Bodeneintritts ins Bohrrrohr sollte vorgesehen werden.

Die Kiese können für die Arbeiten mit dem Bohrgerät als ausreichend tragfähig eingestuft werden, sind jedoch nur schlecht befahrbar. Als Arbeitsplanum ist daher eine Lage verdichtet eingebauter Grobschotter ($d \geq 30$ cm) ausreichend.

Für die Herstellung von in das Grundwasser einbindenden Tiefgründungselementen wird eine wasserrechtliche Genehmigung erforderlich. Gerne wirken wir in diesem Zusammenhang bei der Vorbereitung des Genehmigungsverfahrens durch die Erstellung eines Erläuterungsberichtes mit.

7.1.3 Gründungsempfehlung

Unter Berücksichtigung der stark unterschiedlichen Belastungen, den teils verträglichen Setzungen bei einer Plattengründung und unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten empfehlen wir die Planung einer Kombination aus Pfahl- und Plattengründung, eine sogenannte Kombinierte-Pfahl-Plattengründung (KPP). Dabei ist es voraussichtlich ausreichend Pfähle nur im Bereich des Hochhausturms anzuordnen, um die die Differenzsetzung zu den benachbarten, geringer belasteten Gebäudebereiche so zu verringern, dass die Verdrehungen im Gebäude verträglich bleiben.

Die übrigen Gebäudeteile, Längsriegel oder Tiefgarage, können nach unseren ersten Berechnungen, wie in Abschnitt 7.1.1 beschrieben, auf einer statisch wirksamen Bodenplatte gegründet werden.

Für die zu untersuchende kombinierte Pfahl-Plattengründung (KPP) des Hochhausturms haben wir mit den gegebenen Einwirkungen Berechnungen durchgeführt, um Angaben für Entwurfsplanungen im Hinblick auf die Dimensionierung der Bodenplatte, der Pfähle und deren Anordnung zu ermitteln.

- die in die Dimensionierung der Gründung einzuführenden Bettungsmoduln,
 - Pfahl-Ersatzfedersteifigkeiten und
 - die Pfahlanordnung
- festzulegen.

Im Ergebnis dieser Berechnungen wurde auch der wesentliche Entwurfsparameter bei der Bemessung einer KPP, die Lastaufteilung zwischen Fundamentplatte und Gründungspfählen, die mit dem sogenannten Pfahlplatten-Koeffizienten α_{KPP} beschrieben wird und angibt welcher Anteil der effektiven Bauwerkslast R'_{tot} über die Pfähle in den Baugrund abgetragen wird:

$$\alpha_{KPP}(s) = \sum R_{pile,j,k}(s) / R'_{tot,k}(s)$$

zu etwa 50 % bestimmt.

Es ist somit davon auszugehen ist, dass rund 50 % der effektiven Bauwerkslast über die Fundamentplatte bzw. über die Gründungspfähle abgetragen werden. Eine KPP ist somit ausführbar.

Im Allgemeinen wird ein Pfahl-Plattenkoeffizient von $\alpha_{KPP}(s) \approx 0,4$ bis $0,8$ angestrebt.

Bei einer höheren Anzahl von Gründungspfählen verschiebt sich das Verhältnis hin zu einem größeren Pfahlplatten-Koeffizienten α_{KPP} beziehungsweise zu einem geringeren Lastabtrag der statisch wirksamen Bodenplatte.

In der Literatur wird aus ökonomischen Gründen ein Verhältnis von Pfahlabstand e zu Pfahldurchmesser d : $e/d = 4,5$ empfohlen, da erst bei größeren Pfahlabständen die Tragwirkung der Fundamentplatte sowohl im Hinblick auf die direkte Lastabtragung über die Sohlpressung als auch indirekt im Hinblick auf ihre Wirkung hinsichtlich der Tragfähigkeit der Pfähle optimal genutzt wird.

Bei Anordnung der Pfähle etwa im Stützenraster (5,4 m x 6,75 m) und einem Pfahldurchmesser von $d = 1,2$ m beträgt das Verhältnis rund $e/d = 5$ und liegt somit nahe am beschriebenen optimalen Verhältnis aus der Literatur.

Aus unseren mit dem Finite Element Methode durchgeführten Spannungs- und Setzungsberechnungen unter Berücksichtigung des Tragverhaltens von Pfählen mit einer Einbindung in die Schichten des sandigen Tertiärs können für die Berechnungen des Tragwerksplaners mit dem Bettungsmodulverfahren und Ersatzfedersteifigkeiten für die Pfähle unterhalb dem Hochhausturm folgende Parameter abgeleitet werden:

- Bettungsmodul Bodenplatte: $k_s = 4-6 \text{ MN/m}^3$,
- Ersatzfedersteifigkeit Pfähle: $c_v = 100 \text{ MN/m}$ bis $c_v = 200 \text{ MN/m}$,
- Pfahllänge: $L = 13,5 \text{ m}$ und
- Pfahleinwirkungen: $E_k = \leq 6 \text{ MN}$ für Bohrfahldurchmesser mit $d = 1,2 \text{ m}$.

Entscheidend für die Empfehlung, unter dem Hochhausturm eine KPP zur Gründung auszuführen, ist die Reduktion der Setzungen. Die rechnerischen Setzungen der KPP betragen rund 2 cm bis 3 cm und liegen somit in der Größenordnung der Setzungen des Längsriegels und sind aus geotechnischer Sicht bauwerksverträglich gegenüber dem Tiefgaragen- beziehungsweise Erdgeschossbereich.

Entsprechend den Empfehlungen zur Dimensionierung von Pfahlplattengründungen kann auf den Nachweis der Pfähle verzichtet werden. Für die Gründung ist die Gesamtstandsicherheit jedoch über den Nachweis der Grundbruchsicherheit zu führen. Wegen der großen Einbindetiefe des Gebäudes von bis zu 8,0 m des Hochhausturms sowie einer mittleren, charakteristischen Sohlruckspannung von im Mittel rund 250 kN/m^2 im Hochhausturm wird dieser Nachweis hier nicht maßgebend.

Da Bettungsmoduln und Pfahlfedersteifigkeit von den Gebäudesteifigkeiten, den Einwirkungen und der Anordnung der Pfähle abhängen sind die durchgeführten Berechnungen im Zuge der weiteren Planung zu verifizieren und gegebenenfalls die Bettungsmoduln und Pfahlfedersteifigkeiten iterativ zu bestimmen. Pfahlplattengründungen können unter Umständen erhöhte Aufwendungen bei der Genehmigung erfordern. Es sollte daher im Vorfeld abgeklärt werden, ob eine Zustimmung im Einzelfall erforderlich wird.

7.1.4 Auftriebssicherung

Wie in Abschnitt 2 beschrieben wird im Tiefgaragen- beziehungsweise Erdgeschossbereich, zweigeschossig unterkellerte Gebäude in Teilbereichen nicht mit nach oben aufgehenden Geschossen überbaut. Zur Auftriebssicherung werden daher Mikropfähle erforderlich beziehungsweise empfohlen, deren Empfehlungen und Hinweise nachfolgend beschrieben werden.

Entsprechend DIN 1054 / DIN EN 1997 und den Vorgaben der Ausführungsnorm für Mikropfähle DIN 14 199:2015-07 sind für Mikropfähle mit Zugbeanspruchung Probelastungen durchzuführen.

Probelastungen an Vorversuchs-Mikropfählen zur Festlegung von Tragfähigkeitswerten für den Entwurf und Planung, wie in DIN 14 199 vorgeschlagen, brauchen auf Grund uns vorliegender Erfahrungswerte nicht durchgeführt werden.

Die Probelastung können daher im Zuge der Ausführung an gesondert hergestellten Versuchspfählen durchgeführt werden, da bei einem Versuch an Bauwerkspfählen das Last-Verschiebungsverhalten des Pfahls nachhaltig beeinträchtigt werden kann. Mit den Probenpfählen wird die in der Bemessung angesetzte Mantelreibung nachgewiesen.

Werden die Mikropfähle nachverpresst, wobei wir dabei davon ausgehen, dass die Verpressöffnungen im Abstand von maximal 3 m vom Pfahlfuß bis 5 m unterhalb des Pfahlkopfes angeordnet sind und alle Öffnungen zweimal nachverpresst werden, können die nachfolgend genannten Pfahlmantelreibungswerte $q_{s,k}$ für Pfahldurchmesser zum Ansatz gebracht werden:

Tertiär	Tiefenlage [müNHN]	Bruchwert der Pfahlmantelreibung $q_{s,k}$ [kN/m ²]
tonig	> 354	120
schluffig, sandig	354 – 345	180

Tabelle 11: Bruchwert der Pfahlmantelreibung $q_{s,k}$ für zweimal nachverpresste Mikropfähle ($D_S \leq 0,30$ m).

Auf dem obersten Meter (unter der Baugrubensohle) sollte keine Mantelreibung angesetzt werden. Daher wird auch kein Pfahlmantelreibungswert für die quartären Kiese angegeben.

Um die volle Mantelreibung über die gesamte Pfahllänge ohne Abminderung ansetzen zu können, sollte die Pfahllänge auf 12 m begrenzt werden.

Üblicherweise liegen die Verschiebungen bei zugbelasteten Mikropfählen unter Gebrauchslast bei etwa 1 cm. Abhängig von der Pfahllänge ergibt sich damit die Federsteifigkeit für die Pfähle.

Abstände kleiner 1 m zwischen Pfählen sollte aus herstellungstechnischen Gründen nicht gewählt werden, da dann gesonderte Untersuchungen erforderlich werden.

Beim Nachweis der Zugpfahlgruppe, Grenzzustand GEO-2, ist nachzuweisen, dass eine ausreichende Sicherheit gegen Abheben der gesamten Pfahlgruppe gegeben ist. Hierzu kann die Pfahlgruppe als "großer Einzelpfahl" betrachtet werden und der der Zugkraft widerstehende "angehängte Bodenkörper" berechnet werden. Bei engen Pfahlabständen ist darauf zu achten, dass die Innenpfähle an der Gesamttragfähigkeit nur das im Rastermaß der Pfähle zwischenliegende Bodenmaterial aktivieren können. Die Rand- und Eckpfähle müssen somit in der Lage sein, dass außerhalb der Pfahlgruppe aktivierte Bodengewicht auch über Mantelreibung aktivieren zu können.

Die Ausführung der Mikropfähle ist in DIN EN 14 199 geregelt. Wir weisen hierbei insbesondere auf folgende Abschnitte hin:

- Abschnitt 8.1.3: "Vor Beginn der Arbeiten sollte eine genaue Verfahrensbeschreibung erstellt werden."
- Abschnitt 8.1.5: "Soweit möglich, die Abnahmeversuchs-Mikropfähle in der Nähe von Baugrundaufschlüssen hergestellt werden."
- Abschnitt 9.1.5: "Während der Ausführung muss der Baugrund beobachtet werden und alle unerwarteten Veränderungen oder Merkmale, die für die Pfahleigenschaften von Bedeutung sind, müssen entsprechend den Festlegungen der Projektspezifikation aufgezeichnet werden."
- Abschnitt 9.3.1.2: "Die grundsätzlichen Anforderungen für Probelastungen an Mikropfählen sind in DIN EN 1997-1 enthalten."

In Ergänzung zur Ausführungsnorm empfehlen wir eine alternierende Herstellungsreihenfolge, wie bei der Herstellung von Ankern üblich, durchzuführen, beziehungsweise ein Mindestabstand von 5 m einzuhalten. Damit können Umläufigkeiten, vor allem beim Nachverpressen bei engen Pfahlabständen, weitgehend vermieden werden.

Die Höhe des Bohrplanums ist auf den Grundwasserstand abzustimmen. Aufwärtsgerichtete Strömungen im Bohrloch während des Abbindens der Zementsuspension beeinträchtigen die Dauerhaftigkeit und Tragfähigkeit der Pfähle negativ.

7.2 Herstellen der Baugrube

Die Baugrubensohle wird unter Berücksichtigung von Bodenplattenstärke und Unterbau etwa zwischen 358,94 müNHN und 356,79 müNHN liegen. Die Baugrube bindet in den Randbereichen zwischen rund 7,2 m und 8,5 m sowie in den aussteifenden Kernen rund 9,3 m ins

Gelände ein. Die Baugrubensohle des zweiten Untergeschosses liegt zum Großteil nahezu vollflächig in den quartären Kiesen. Die Mächtigkeit des verbleibenden Kiesel ist gering und kann lokal auch bereits vollständig fehlen, daher können tertiäre Böden in den Aushubsohlen nicht ausgeschlossen werden. Die Aushubsohlen der Kerne liegen im Tertiär. Alle Sohlen des zweiten Untergeschosses liegen unterhalb des Grundwasserspiegels, siehe Anlagen 3.

Die Empfehlungen und Hinweise zum Herstellen der Baugrube sind wie folgt gegliedert:

- Die Wiederverwendbarkeit des Baugrubenaushubs wird in Abschnitt 7.2.1 behandelt.
- Zur Ausbildung des Verbaus nehmen wir im Abschnitt 7.2.2 Stellung.
- Die Herstellung von Baugrubenböschungen wird in Abschnitt 7.2.3 behandelt.
- Auf die erforderliche Wasserhaltung gehen wir in Abschnitt 7.2.4 ein.

Aus Sicht der aktuell vorliegenden Planung, Lage und Tiefe der Untergeschosse, empfehlen wir die Hinweise aus nachfolgenden Abschnitten zu kombinieren. Zusammenfassend empfehlen wir das zweite Untergeschoss mit einem Baugrubenverbau herzustellen. Die Gebäudekerne innerhalb des zweiten Untergeschosses können im Schutze einer Baugrubenböschung hergestellt werden.

7.2.1 Wiederverwendbarkeit des Baugrubenaushubs

Die Bodenklassen der zu lösenden Böden sind in Tabelle 6 und Tabelle 7 genannt, die Klassifizierung für die Beschreibung der Homogenbereiche sind in Abschnitt 6.4 genannt.

Der Homogenbereich A, bestehend aus dem ehemaligen Straßenoberbau, umgelagerten Feinsanden und Schluffen, sowie den Auenablagerungen sind für weitere erdbautechnische Aufgaben mit hohen Anforderungen an die Tragfähigkeit nur bedingt geeignet. Wird der bestehende Straßenoberbau separat abgetragen, ist dieser für weitere erdbautechnische Aufgaben mit hohen Anforderungen geeignet.

Die auszuhebenden quartären Kiese, Homogenbereich B1, sind für eine Wiederverwendung im Erdbau geeignet, wenn diese durch Lagerung ausreichend entwässert sind. Wir weisen jedoch darauf hin, dass vor einer Wiederverwendung die umwelttechnischen Gesichtspunkte zu beachten sind, siehe hierzu gesonderte Stellungnahme, orientierende abfallrechtliche Einstufung, S&P, vom 25.01.21. Die erforderlichen Prüfungen und Maßnahmen sollten mit den Gutachtern und dem Amt abgestimmt werden.

7.2.2 Baugrubenverbau

Im Baufeld wird die planmäßige Aushubsohle des zweiten Untergeschosses zwischen rund 4,5 m und 6,7 m unterhalb des vorgeschlagenen bauzeitlichen Bemessungswasserstandes

liegen, siehe Abschnitt 5. Bei den anstehenden Böden, dem vorhandenen Grundwasserspiegel und der hohen Wasserdurchlässigkeit der quartären Kiese wird es erforderlich, die Baugruben im Schutze eines technisch wasserundurchlässigen Verbaus herzustellen. Unter den gegebenen wasserrechtlichen und hydraulischen Randbedingungen empfehlen wir die Herstellung eines Spundwandverbaus, der für die erforderliche Grundwasserumläufigkeit im Endzustand wieder gezogen werden kann.

Der seitliche Grundwasserzufluss durch die gut durchlässigen quartären Kiese wird hierbei durch das Einbringen einer "dichten" Spundwand verhindert. Der Grundwasserzufluss über die Baugrubensohle wird dabei durch das natürlich anstehende bindige Tertiär direkt unterhalb der Baugrubensohle verhindert beziehungsweise auf ein verträgliches Maß reduziert.

Eine ausreichend abdichtende Wirkung in Kombination mit einer Restwasserhaltung kann bei einer Mindesteinbindetiefe von $t \geq 2,5$ m ins Tertiär unterhalb der Baugrubensohle angenommen werden. Größere Einbindetiefen können aus dem Nachweis des hydraulischen Grundbruchs erforderlich werden. Bei Nachweisen gegen Versagen durch hydraulischen Grundbruch sind für Baugrubenwände im Bereich des zweiten Untergeschosses günstige Untergrundverhältnisse anzunehmen. Oberhalb des in Abschnitt 5 genannten bauzeitlichen Bemessungswasserstandes bei 363,5 müNHN sind im Spundwandverbau Entspannungsöffnungen vorzusehen.

Für den Verbau wird eine statische Berechnung erforderlich, die mit den bodenmechanischen Kennwerten aus Abschnitt 6 und dem in Abschnitt 4 dargestellten Schichtenverlauf aufzustellen ist. Die Wahl des Erddruckansatzes richtet sich normalerweise nach den möglichen Verformungen in der Nachbarschaft des Verbaus.

Als Erddruckneigungswinkel δ kann bei der Erddruckermittlung für den aktiven Erddruckanteil bei einer Spundwand $\delta = 2/3 \cdot \varphi'$ angesetzt werden.

Infolge Wandreibung und geneigten Ankern (siehe unten) müssen durch den Verbau auch Vertikalkräfte abgetragen werden. Für den Einbindebereich kann eine charakteristische Mantelreibung mit $q_{s,k} = 100 \text{ kN/m}^2$ und ein charakteristischer Spitzendruck mit $q_{b,k} = 2.000 \text{ kN/m}^2$ im Tertiär Anwendung finden. Die Mantelreibung sollte bis in eine Tiefe von 2,5 m unterhalb der Baugrubensohle nur auf der Baugrubenseite und darunter dann beidseitig angesetzt werden.

Die Ermittlung der ansetzbaren Aufstandsfläche A_b von wellenförmigen Spundwandprofilen kann gemäß den Empfehlungen nach Weißenbach nach $A_b = X \cdot h$ mit der Profilhöhe h und dem vom Öffnungswinkel des Profils abhängigen Abminderungsfaktor X erfolgen.

Auf Grund der Verbauhöhe von bis rund 8,5 m zur Herstellung des zweiten Untergeschosses sowie bei den vorhandenen Abmessungen der Baugruben, die eine Absteifung innerhalb der Baugrube nur mit erhöhtem Aufwand zulässt, wird eine Verankerung der Baugrubenumschließung erforderlich. Ausreichend Platz für eine Vorböschung bis zum bauzeitlichen Bemessungswasserstand steht lediglich im Norden des Baufelds zur Verfügung, vorausgesetzt dieser geplante Randstreifen wird nicht durch die Baustelleneinrichtung genutzt.

Die Verpressanker sind gemäß DIN EN 1997-1 und DIN 1054 zu dimensionieren und nach DIN EN 1537 bzw. DIN SPEC 18 537 herzustellen und zu prüfen. Für die Anker sind Eignungsprüfungen an mindestens drei Ankern durchzuführen. Die Prüflast beträgt $P_p = 1,1 E_d$. Auf diese kann verzichtet werden, wenn entsprechende Prüfergebnisse für unter gleichartigen Ausführungsbedingungen hergestellten Anker in gleichartigen Böden vorliegen.

Ebenso müssen für alle Anker Abnahmeprüfungen mit $P_p = 1,1 E_d$ durchgeführt werden. Bei der Bemessung der Anker sind u. a. die für die Prüfungen festgelegten Grenzen zu den Stahlspannungen gemäß DIN EN 1997-1 zu beachten.

Über Ankerkräfte (Ankerwiderstände) machen wir keine vertragsrelevanten Angaben, da sie im Wesentlichen von Bohrverfahren, Bohrdurchmesser, Länge des Verpresskörpers, Verpressdruck und der Anzahl der Nachverpressungen abhängen. Wir gehen davon aus, dass mit Verpresslängen von 5 m im Kies und bei 6 m bis 7 m im Tertiär nachfolgende charakteristische Herausziehwiderstände erreichbar sind, wobei wir im Kies eine Verpressung über die Verrohrung und im Tertiär mindestens zwei Nachverpressungen voraussetzen. (Anmerkung: Die Erstverpressung im Zuge der Ankerherstellung bleibt dabei unberücksichtigt.)

- quartäre Kiese $R_{a,k}$ bis 800 kN
- Tertiär $R_{a,k}$ bis 600 kN

Bei Ausnutzung der genannten Herausziehwiderstände können, abhängig vom Bohrverfahren, Herstellverfahren, Anordnung der Verpressschläuche, zuzüglich zur Erstverpressung, in den Nachverpressvorgängen bis zu 250 kg Zement je Anker vom Baugrund aufgenommen werden. Wir empfehlen deshalb, in der Ausschreibung bereits Mehrmengen zu berücksichtigen und schon in den Hauptpositionen der Verankerungen 150 kg Zement je Anker für Nachverpressarbeiten mit aufzunehmen.

Für das Einbringen der Spundwände in das Tertiär ist ein hoher Eindringwiderstand zu erwarten, weshalb Vorbohren oder Hochdruckspülhilfen geboten sein können. Um mit dem Vorbohren keine Umläufigkeiten der Spundwände zu schaffen, darf ohne ergänzende Nachweise der ausreichenden Dichtigkeit der unterste Meter oberhalb der Zieltiefe nicht vorgebohrt werden.

7.2.3 Baugrubenböschungen

Bei aktuell vorliegender Planung werden die Baugrubensohle aussteifende Kerne beziehungsweise der Treppenhäuser rund 1,0 m und 1,5 m unterhalb der umliegenden Baugrubensohle des zweiten Untergeschosses liegen.

Ohne rechnerische Nachweise der Standsicherheit dürfen nach DIN 4124 bei nichtbindigen sowie weichen bindigen, natürlichen Böden und einer Höhe bis 5 m bauzeitliche Böschungen mit einer Neigung von 45° hergestellt werden.

Im vorliegenden Fall, Restmächtigkeiten von quartären Kiese und schluffige Böden in der Baugrubenböschung unterhalb des Bemessungswasserstandes, empfehlen wir für bauzeitliche Böschungen durchgängig von einer maximalen Böschungsneigung von 45° auszugehen. Voraussetzung ist eine dem Aushub vorauslaufend eingerichtete und betriebene Wasserhaltung, die den Grundwasserspiegel im Bereich des Aushubs für die Unterfahrten bis unter die Baugrubensohle sicher absenkt.,

Unter Umständen kann auch eine Entwässerung der Böschungen über Dränscheiben (mit dem Greifer hergestellte Dränbetonlamellen), im Zuge des Aushubs erfolgen, wenn diese vorab vom Planum des zweiten Untergeschosses aus hergestellt wurden.

Aufgrund der Witterungsempfindlichkeit des in den Böschungsfanken anstehenden überwiegend schluffigen Tertiärs weichen die Oberflächen der Böschungen bei Niederschlag rasch auf und verlieren ihre Standfestigkeit. Nach der Fertigstellung von Böschungen sind daher unverzüglich Erosionsschutzmaßnahmen vorzusehen.

Bei allen Böschungen muss stets ein lastfreier Streifen von mindestens 1 m an der Böschungsschulter freigehalten werden. Falls Aushubmaterial auf dem Grundstück zwischengelagert wird, ist ein Mindestabstand von 2 m zwischen Böschungsschulter und Zwischendeponie einzuhalten.

7.2.4 Wasserhaltung

Für die Herstellung des zweiten Untergeschosses mit einer Untergeschossfläche von rund 2.600 m² kommt die Aushubsohle zwischen etwa 358,9 müNHN und 356,6 müNHN, rund 7,0 m bis 9,5 m unter dem derzeitigen Geländeniveau und damit bis etwa 7 m unter dem bauzeitlichen Bemessungswasserspiegel zu liegen. Die Aushubsohle liegt zum Großteil in den quartären Kiesen, teilweise im Übergangsbereich der quartären Kiese zum Tertiär und für die Treppenhäuser im Tertiär.

Innerhalb der durch den Spundwandverbau umschlossenen Baugrube, siehe Abschnitt 7.2.2, oder der Baugrubenböschung, siehe Abschnitt 7.2.3, wird eine Wasserhaltung erforderlich, mit der zunächst das im Porenraum vorhandene Wasser und später nachströmendes Wasser durch unvermeidliche Undichtigkeiten der Spundwand, unter der Spundwand hindurch und aus dem Tertiär gefasst und abgeleitet wird. Das Wasser aus dem Kies kann mit Hilfe weniger Pumpensümpfe erfasst werden. Schwieriger ist es, das Wasser an der Basis des Kieses aus den Mulden der Tertiäroberfläche zu fassen und Wasser in den Feinsanden des Tertiärs ausreichend zu entspannen. Ohne eine Entspannung des Wassers im Tertiär besteht die Gefahr, dass beim Freilegen der Sohle von unten nachströmendes Wasser - auch bei nur geringen Mengen - die Lagerungsdichte von Sandlinsen bis zur Verflüssigung verringert beziehungsweise den Grobschluff stark und schnell aufweicht

Beim Baugrubenaushub im Tertiär hat sich deshalb ein abschnittsweises Vorgehen und Verlegen von Dränleitungen in einen Flächenfilter bewährt. Dafür empfehlen wir für folgende Bereiche:

- Längsriegel mit Treppenhaus und
- Hochhausturm mit Treppenhaus

nachfolgendes Vorgehen:

- Voraushub der Baugrube im Trockenen bis zu einem Niveau von rund 1 m bis 2 m über der geplanten Aushubsohle. Wir gehen davon aus, dass dieses Zwischenniveau in den quartären Kiesen liegt.
- Betreiben der Wasserhaltung mit Pumpensümpfen und Fortführen des Aushubs abschnittsweise bis zur endgültigen Sohle, wobei vorab von Abschnitten bis etwa 5 m Breite ausgegangen werden kann. Unmittelbar nach Erreichen der endgültigen Sohle abschnittsweises und kleinflächiges Verlegen eines Vlieses (GRK 3) und Aufbringen einer Dränkiesschicht (Körnung 2/32 mm) in mindestens 30 cm Stärke (Abschnitt 7.3).
- Einbau von Dränrohren und Quersaugern in den Kiesfilter und Betrieb der offenen Wasserhaltung über Pumpensümpfe.
- Abdecken des Kiesfilters mittels Folie und Aufbringen einer Sauberkeitsschicht aus unbewehrtem Beton.
- Sollten bautechnisch bedingt lokale Vertiefungen unter das planmäßige (einheitliche) Aushubniveau ausgeführt werden müssen, kann hierzu eine Vakuumwasserhaltung erforderlich werden. Alternativ kann in Abhängigkeit der Lage und Größe der Tiefpunkt auch als temporärer Pumpensumpf genutzt werden. Dabei sollte in der Vertiefung anstatt des sonst vorgesehenen Kiesfilters Dränbeton an Sohle und Wänden vorgesehen werden.

Der Restwasseranfall in die nach unten offene Baugrube lässt sich mit vereinfachten hydraulischen Berechnungen abschätzen, ist jedoch maßgeblich von der Durchlässigkeit des

Tertiärs und damit den Schluff- und Tonanteilen direkt unterhalb der Baugrubensohle des zweiten Untergeschosses abhängig. Da mächtige Lagen von Feinsande erst unterhalb von 347 müNNH zu erwarten sind, werden die Restwassermengen vermutlich gering sein. Zur Abschätzung maximaler Restwassermengen haben wir in den Schichten des Tertiärs einen auf der sicheren Seite liegenden Durchlässigkeitsbeiwert im schluffigen, tonigen Tertiär von $k_f = 1 \times 10^{-6}$ m/s angenommen. Darüber hinaus haben wir, entsprechend baupraktischer Erfahrung, einen Restwasseranfall von 1,5 l/s je 1.000 m² Spundwandfläche zum Ansatz gebracht.

Damit ergibt sich in einer Vordimensionierung einer rechnerisch zu fördernde Gesamtwassermenge von etwa $Q_{ges} = 2$ bis 3 l/s für die Baugrube des 2. Untergeschosses mit Spundwandverbau. Zur Abdeckung von Unwägbarkeiten in der Wasserdurchlässigkeit des Tertiärs, sollte die Wasserhaltung gerätetechnisch auf die doppelte Menge ausgelegt werden.

Bevor das geförderte Wasser in eine Vorflut eingeleitet werden kann, werden zur Sedimentation eventueller Feinteile ausreichend dimensionierte Absetzbecken erforderlich.

Wir weisen darauf hin, dass für alle Maßnahmen im Grundwasser, also die temporäre Grundwasserentnahme und die permanente Einbindung von Gebäudeteilen ins Grundwasser ein Wasserrechtsverfahren erforderlich wird.

Die Aushubebenen der Baugruben für den Neubau binden deutlich unter den Druckwasserspiegel des sandigen Tertiärs ein. Daraus ergibt sich auf Grund des Risikos eines möglichen hydraulischen Versagens durch Aufschwimmen eine Begrenzung in der maximalen Tiefenlage der Baugrubensohle beziehungsweise eine gegebenenfalls erforderliche Entspannung des Druckwasserspiegels.

Beim Nachweis gegen "Hydraulisch verursachtes Versagen, Versagen durch Aufschwimmen" nach DIN 1054:2010-12 werden die destabilisierenden Kräfte den stabilisierenden Kräften gegenüber gestellt bzw. der Ausnutzungsgrad $\mu \leq 1,0$ berechnet wobei

$$\mu = \frac{G_{dst,k} \cdot \gamma_{G,dst}}{G_{stb,k} \cdot \gamma_{G,stb}} \quad \text{mit} \quad \gamma_{G,dst} = 1,05; \quad \gamma_{G,stb} = 0,95 \quad (BS - T)$$

ist. Dabei sind:

- $G_{dst,k}$ charakteristische ständige destabilisierende Einwirkung.
- $\gamma_{G,dst}$ Teilsicherheitsbeiwert für ständige destabilisierende Einwirkungen im GZ UPL.
- $G_{stb,k}$ charakteristische stabilisierende ständige Einwirkung.
- $\gamma_{G,stb}$ Teilsicherheitsbeiwert für ständige stabilisierende Einwirkungen im GZ UPL.

Auf Basis von uns durchgeführten rechnerischen Nachweisen gegen Aufschwimmen ergibt sich, dass bis zu einer Endkote der Baugrubensohle von $T \geq 355,2$ mNN ein vollflächiger Aushub ohne zusätzliche Maßnahmen möglich ist.

Für die derzeit vorgesehenen Aushubtiefen werden somit keine Maßnahmen zur Entspannung des sandigen Tertiärs erforderlich.

Sofern die Herstellung der Mikropfähle nicht von oberhalb des Grundwasserspiegels erfolgt, muss über Anordnung von Entspannungsbohrungen das tertiär soweit entspannt werden, dass über die Tiefe der Pfahlbohrungen eine Entspannung bis auf Bohrplanum erfolgt, um das Abbinden der Zementsuspension und damit die Tragfähigkeit der Pfähle nicht durch strömendes Wasser ungünstig zu beeinflussen. Eine derartige Grundwasserentspannung bedarf einer Planung und ist unter Umständen nicht genehmigungsfähig. Wir empfehlen daher hierauf zu verzichten und die Mikropfähle von einem Niveau oberhalb des Grundwasserstandes herzustellen.

7.3 Bauwerk und Grundwasser

Das in den Erkundungen angetroffene Grundwasser lag bei etwa 362 müNHN, siehe Abschnitt 5. Somit bindet das Bauwerk ins Grundwasser ein. Aus den Grundwassergleichkarten der Ingolstädter Kommunalbetriebe AöR kann für das Baufeld ein Mittlerer Grundwasserstand von rund 362,1 müNHN und ein mittlerer höchster Grundwasserstand von etwa 362,70 müNHN entnommen werden. Wie bereits in Abschnitt 5 beschrieben schlagen wir einen **Bemessungswasserstand für das Bauwerk von 364,75 müNHN** vor.

Für die Untergeschosse liegt somit folgende Wassereinwirkungsklassen vor beziehungsweise sind folgende Abdichtungen gemäß DIN 18 533-1:2017-07 erforderlich:

W2.2-E: hohe Einwirkung von drückendem Wasser, > 3 m Eintauchtiefe; erfordert Abdichtung nach Abschnitt 8.6.2 der Norm (für Bauteile mit Einbindung > 3 m unter die niedrigste endgültige Geländeoberkante im Bauwerksbereich, ohne Dränung).

Auf Grund des bis an die Basis des 1. Grundwasserleiter einbindenden Bauwerks wird dieser im Bereich des Gebäudes nahezu vollständig abgesperrt, so dass Umläufigkeitsmaßnahmen empfehlenswert sind und aus wasserrechtlichen Gesichtspunkten als erforderlich angesehen werden sollten.

Unterhalb dieses Bemessungswasserstandes sind alle Bauteile wasserundurchlässig und sicher gegen Aufschwimmen herzustellen und für einen Wasserstand von 364,75 müNHN zu bemessen.

Mit Hilfe eines Umläufigkeitssystems ist dafür Sorge zu tragen, dass im Oberstrom kein Grundwasser angestaut wird und im Unterstrom keine Absenkung stattfindet. Dazu sind unterhalb des Bemessungswasserspiegels ein insgesamt wasserdurchlässig verfüllter Arbeitsraum, z. B. aus Kies, oder Dränplatten beziehungsweise Dränmatten an den Bauwerkswänden geeignet.

Untern den Bodenplatten im Bereich des Längsriegels und des Hochhausturms trägt die Filterschicht aus Abschnitt 7.2.4 zur Umläufigkeit bei. Da nach Nordwesten die Oberfläche des Tertiärs abfällt und ist die Kiesmächtigkeit unterhalb der planmäßigen Bodenplatte des Bereichs Erdgeschoss ausreichend für die Wasserumläufigkeit.

Unter den Bodenplattenabschnitten des Hochhausturmes und des Längsriegels ist daher mindestens 30 cm mächtige gut durchlässige Filterschicht als Liefermaterial vorhanden sein. Im Bereich des nur durch das Erdgeschoss überbauten Tiefgaragenbereichs mit einer planmäßigen Aushubkote von 358,935 müMHN kann auf Grund der verbleibenden Kiesmächtigkeit auf den Kiesfilter verzichtet werden.

Sofern die Filterstabilität nicht über die Korngrößenverteilung vom anstehenden Boden und Kiesfilterschicht sichergestellt werden kann, ist zwischen dem anstehenden Boden und dem Kiesfilter ein Filtervlies vorzusehen. Da auf dem Kies das ordnungsgemäße Verlegen der Bewehrung für die Bodenplatten schlecht möglich ist, wird zusätzlich das Aufbringen einer Sauberkeitsschicht empfohlen. In diesem Fall sollte die Kiesschicht durch eine Folie geschützt werden.

Die Kiesfilterschicht unter den Sohlen muss wasserwegig mit den Drän- und Ausgleichsschichten an den Außenwänden verbunden werden.

Das System für die Grundwasserumläufigkeit ist im Rahmen eines Wasserrechtsverfahrens mit den zuständigen Behörden abzustimmen.

7.4 Hinterfüllung und Erddruck

Für Hinterfüllungen von Bauwerken (Verfüllung von Baugruben) werden hinsichtlich Materialwahl und Verdichtungsanforderungen in Deutschland bei Hoch- und Industriebauten die Regeln des Erdbaus im Straßenbau beachtet. Grundregelwerk ist dabei die ZTV E-StB 17¹. Unsere Empfehlungen in den Abschnitten 7.4 beruhen ebenfalls darauf.

¹ Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau, Ausgabe 2017; Hrsg. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FSGV), Köln

Wegen den unmittelbar anschließenden Verkehrsflächen im Norden und Westen mit vergleichsweise hohen Anforderungen an die Tragfähigkeit und zur Reduzierung von Sackungen sind die Arbeitsräume mit grobkörnigen, gut verdichtbarem und gut abgestuftem Material zu verfüllen, das lagenweise eingebaut und auf einen Verdichtungsgrad von $D_{Pr} \geq 100\%$ der einfachen Proctordichte verdichtet wird. Die Kontrolle der erzielten Verdichtungsqualität sollte in Anlehnung an die Methode M 3 für das Prüfen der Bodenverdichtung nach der ZTV E-StB 17 erfolgen.

Als Verfüllmaterial für Arbeitsräume kommen in Frage:

- Grobkörniger Aushubboden von der Baustelle, vorzugsweise die quartären Kiese, Homogenbereich B1, oder als Fremdmaterial.
- Grobkörniges Fremdmaterial
 - Siebschutt 0/45 mm, Feinanteil $\leq 15\%$ oder
 - Korn-/Breckkorngemische der Lieferkörnung 0/32 mm bzw. 0/56 mm.

Auf unverschiebliche Außenwände ist nach DIN 4085 ein erhöhter aktiver Erddruck beziehungsweise der Erdruchdruck anzusetzen. Unter Berücksichtigung der natürlich anstehenden Böden und des empfohlenen Materials zur Arbeitsraumverfüllung kann ein Erddruckbeiwert von $K_{mh} = 0,4$ angesetzt werden. Im oberflächennahen Bereich muss zur Berücksichtigung der horizontalen Verspannung infolge der Verdichtung in engen Arbeitsräumen ein Mindesterdruddruck von $e_v = 25 \text{ kN/m}^2$ berücksichtigt werden.

Für die Hinterfüllung der geböschten Gruben zur Herstellung der Treppenhäuser, siehe Abschnitt 7.2.3, ist besonders darauf zu achten, dass:

- aufgeweichte Böden in den Böschungsflanken abzuziehen sind,
- der Anschluss des Hinterfüllbereichs an die Böschung stufenförmig und verzahnt ausgeführt werden muss,
- das Erdmaterial im Hinterfüllbereich gleichmäßig in Lagen einzubauen und zu verdichten ist und
- das Erdmaterial in Lagen von höchstens 30 cm einzubauen ist.

7.5 Verkehrsflächen und Aufbau unter Bodenplatten

Der Aufbau von Verkehrsflächen orientiert sich an den "Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen", Ausgabe 2012 (RStO 12). Für die hier vorgesehenen Verkehrsflächen ist eine Zuordnung zu Belastungsklasse Bk 0,3 möglich. Wir empfehlen jedoch die nächst höhere Belastungsklasse BK 1,0. Entsprechend Bk 1,0 ist auf der Oberfläche einer kombinierten Frostschutz- und Tragschicht (KFT) ein Verformungsmodul

$E_{v2} \geq 120 \text{ MN/m}^2$ zu fordern. Zusätzlich ist die Verdichtung der KFT über einen Verhältniswert $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,2$ im Plattendruckversuch nachzuweisen.

Da Ingolstadt nach den RStO 12 in Frosteinwirkungszone II liegt, ist eine Minstdicke des frostsicheren Oberbaus von 55 cm (Bk 1,0) einzuhalten.

7.6 Versickerung

Im Hinblick auf die Planung von Versickerungseinrichtungen gemäß dem DWA-Regelwerk sind die Wasserdurchlässigkeit und das Wasseraufnahmevermögen des Baugrundes relevant. Die Durchlässigkeit des Untergrundes muss mindestens $k_f = 1 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ betragen.

Der Mindestabstand von 1 m von Versickerungsanlage zum in Abschnitt 5 genannten mittleren höchsten Grundwasserstand von etwa 362,70 mÜNN sollte eingehalten werden. Aus den uns zur Verfügung gestellten Unterlagen gehen die geplanten Sohlen der Sickermulden nicht hervor. Diese wird jedoch mindestens rund 0,5 m unter dem umliegenden Gelände und somit in den sandigen und kiesigen Auffüllungen liegen.

Die unterlagernden Auenablagerungen sind erfahrungsgemäß schwach wasserdurchlässig und somit für eine Versickerung nicht geeignet. Dies bedeutet auch, dass eine Versickerung in den überlagernden Auffüllungen nicht möglich ist, da die unterlagernden Auenablagerungen den vertikalen Sickerweg nahezu absperren. Die ab rund 2,5 m unter Gelände anstehenden quartären Kiese sind auf Grund ihrer Durchlässigkeit, siehe Abschnitt 5 und 6.2, für eine Versickerung auf dem Baufeld geeignet.

Wir empfehlen als Wasserdurchlässigkeitsbeiwert auf der sicheren Seite liegend und aufgrund der geringen Entfernung zur geplanten Versickerungsanlage den aus dem Kurzzeit-Pumpversuch BK2 GWM ermittelten Wert von $k_f < 1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ zu wählen.

Alternativ zur geplanten Rigolenversickerung ist eine Versickerung in den Brunnen denkbar. Aus der hydraulischen Auswertung des 2-stufigen Auffüllversuchs, siehe Anlage 6, geht hervor, dass die dauerhafte Versickerungsleistung der bestehenden Brunnen insgesamt 1,5 l/s beträgt. Werden die Brunnen auf einen Durchmesser von 0,8 m aufgebohrt, kann die Versickerungsleistung auf 2,5 l/s erhöht werden.

Für die Versickerung wird ein wasserrechtliches Verfahren zur Erteilung einer Erlaubnis erforderlich.

8 Mitwirkung bei der Bauplanung und Ausführung

Sollten zu unseren Ausführungen und Vorschlägen **Fragen** bestehen, sind wir gerne bereit, unseren Bericht zu erläutern und unsere Vorschläge zu begründen.

Das **geologische Modell des Baugrunds**, das Grundlage unserer bautechnischen Empfehlungen ist, resultiert aus punktuellen Aufschlüssen. Es kann den Baugrund daher nicht exakt beschreiben, und Abweichungen - vor allem hinsichtlich der Schichtgrenzen - zwischen den Erkundungspunkten sind möglich. Eine **Baugrundüberprüfung** während der Erdarbeiten ist daher zwingend erforderlich:

- Abweichungen von der beschriebenen Schichtung und Beschaffenheit des Untergrunds und von den angegebenen Grundwasserverhältnissen sind uns sofort mitzuteilen.
- Die ersten Gründungssohlen sind von uns abnehmen zu lassen. Wir bitten, uns rechtzeitig zu benachrichtigen.

Die Angaben zur **Gründung** beruhen außer dem Baugrundmodell auch auf den uns vorliegenden Bauwerksunterlagen und Lastangaben. **Planerische oder konstruktive Änderungen** gegenüber den in Abschnitt 2 beschriebenen Abmessungen, Lasten und Einflüssen, die auf das Gründungskonzept Einfluss haben könnten, sind uns daher mitzuteilen.

Im Rahmen der **weiteren Bauplanung und Bauausführung** werden weitere Arbeiten erforderlich, bei denen wir fachlich beraten und kontrollierend tätig werden können:

- Entwurf, Planung und erdstatische Berechnung von Gründungsmaßnahmen, Stützbauwerken und Baugrubenverbau und
- Bauüberwachung, Fachbauleitung, fachliche Bauberatung.

Bei Bedarf bitten wir um frühzeitige Benachrichtigung.

Für die Pfahlgründung und für die Mikropfähle zur Auftriebssicherung empfehlen wir, eine **geotechnische Fachbauleitung** vorzusehen. Auf jeden Fall muss die Herstellung der ersten und stichprobenartig von weiteren Pfähle geotechnisch überwacht werden.

Die **außerhalb des Baufelds liegenden Grundwasser-Messstellen**, BK 1-3 GWM, sind für die Dauer der Bauausführung zu schützen und zugänglich zu halten.

Wir empfehlen, nach Beendigung der Baumaßnahme beim Amt anzufragen, ob Interesse an einer Übernahme der Grundwasser-Messstellen besteht. Ist dies, und davon gehen wir aus, nicht der Fall, so empfehlen wir, u. a. auch aus haftungsrechtlichen Gründen, die Messstellen fachgerecht zu verschließen.

Wir können dann das weitere Vorgehen: Planen der Verschließung, Abstimmen mit der Unteren Wasserbehörde, Vergabe und Abnahme der Arbeiten, mit den Beteiligten abstimmen.

<u>Anlagen</u>	Anlage
Lagepläne der geplanten Lagerhalle	
▪ Übersichtslageplan (M 1:25 000)	1.1
▪ Lageplan (M 1:250) der Erkundungspunkte und Verlauf der geologischen Schnitte (Anlage 3.1)	1.2
Gelände-Erkundung (M 1:100)	
▪ Kurzzeichen und Abkürzungen nach DIN 4023 und DIN 18 196	2.0
▪ Schichtenfolgen der Kernbohrungen	
- BK 1 GwM	2.1.1
- BK 2 GwM	2.1.2
- BK 3 GwM	2.1.3
- BK 4	2.1.4
▪ Schichtenfolgen der Kleinbohrungen	
- BS 1 und BS 2	2.2.1
- BS 3	2.2.2
▪ Schichtenfolgen der Rammsondierungen	
- DPH 1	2.3.1
- DPH 2	2.3.2
- DPH 3	2.3.3
- DPH 4	2.3.4
- DPH 5	2.3.5
- DPH 6	2.3.6
▪ Fotodokumentation der Kernbohrungen	
- BK 1 (3 Blatt)	2.4.1
- BK 2 (2 Blatt)	2.4.2
- BK 3, (2 Blatt)	2.4.3
- BK 4 (3 Blatt)	2.4.4
Baugrundmodell	
▪ Geologische Geländeschnitte (M 1:200/100)	
- SW-NO-Geländeschnitt 1	3.1.1
- SW-NO-Geländeschnitt 2	3.1.2
▪ Schichtlagerungs- und Schichtmächtigkeitskarten (M 1:250)	
- Höhenlage (müNHN) der Oberfläche der quartären Kiese	3.2.1
- Höhenlage (müNHN) der Oberfläche des Tertiärs	3.2.2

Grundwasser: Hydraulische Vorerkundung

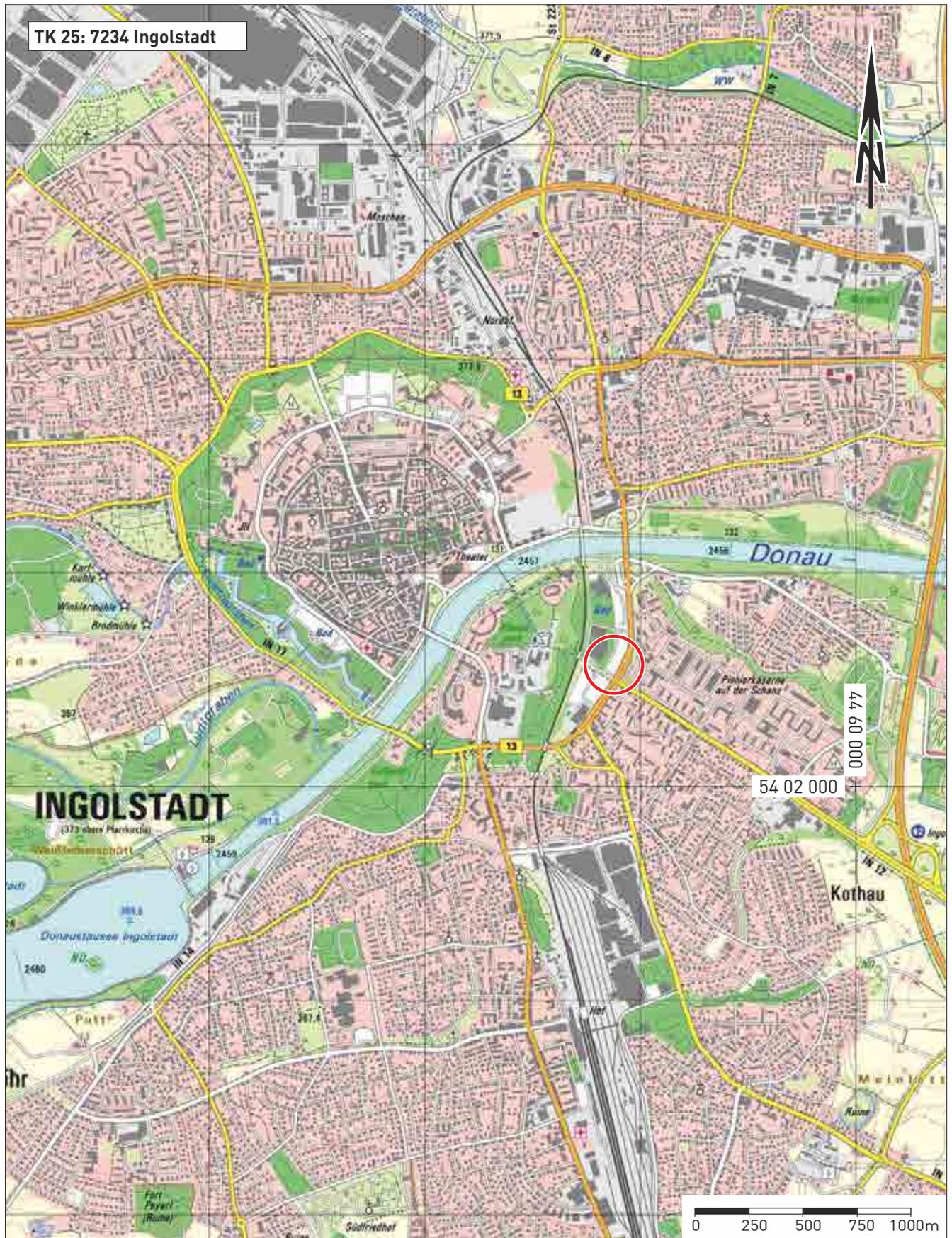
- BK 2 GwM (Quartär)
 - Wasserstandsverlauf und Entnahmerate 4.1.1
 - Auswertung des Wiederanstiegs nach Theis 4.1.2
- BK 3 GwM (Quartär)
 - Wasserstandsverlauf und Entnahmerate 4.2
- BK 1 GwM (Tertiär)
 - Wasserstandsverlauf und Entnahmerate 4.3.1
 - Auswertung der Absenkung nach Cooper & Jacob I 4.3.2
 - Auswertung des Wiederanstiegs nach Theis 4.3.3

Bodenmechanische Laborversuche

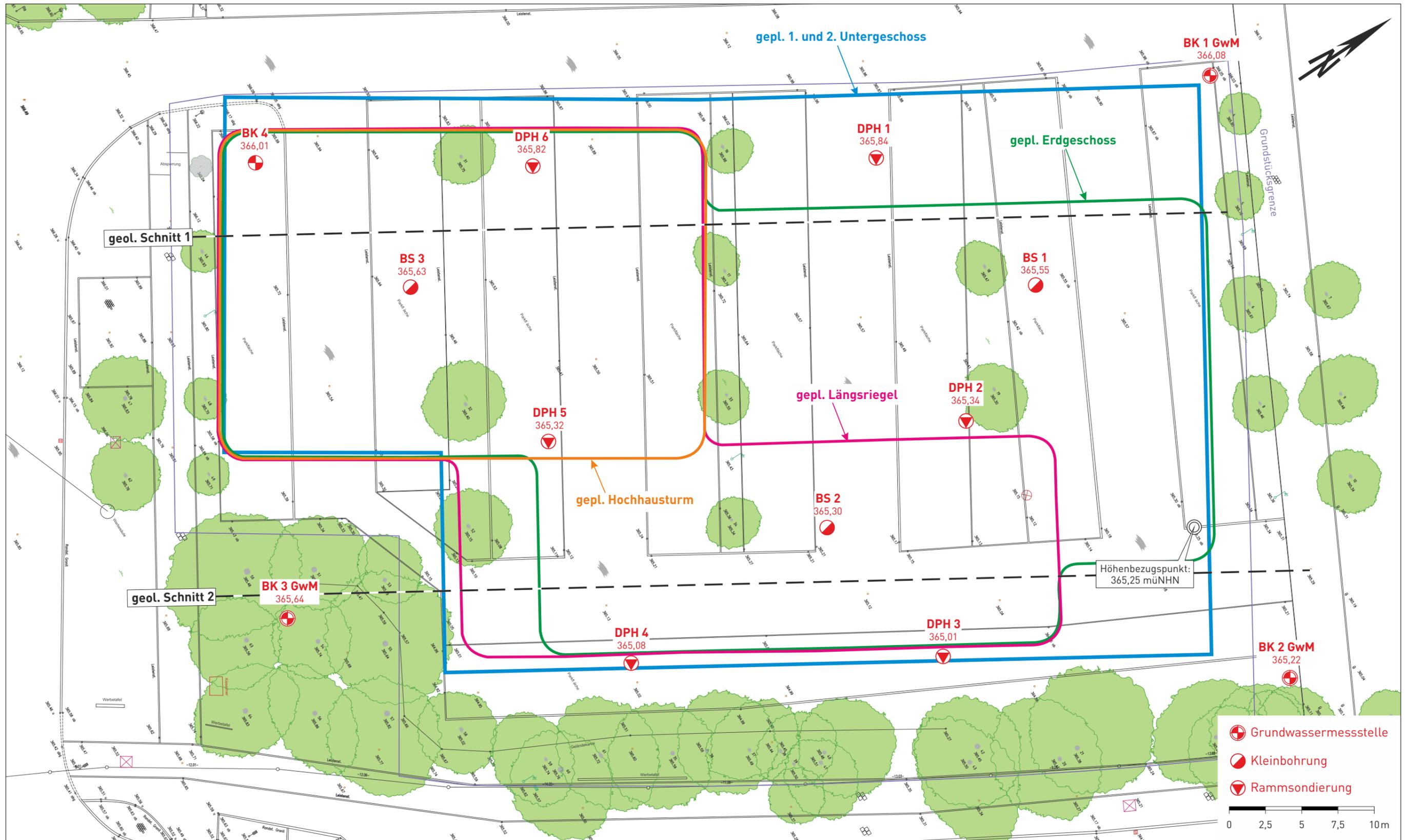
- Zustandsgrenzen des Tertiärs 5.1
- Korngrößenverteilungen
 - der quartären Kiese 5.2.1
 - des Tertiärs 5.2.2
- Eindimensionaler Kompressionsversuch,
Oedometerversuch nach DIN 18 135
 - BK 1: 13,08 m – 13,15 m (2 Blatt) 5.3.1
 - BK 2: 13,00 m – 13,10 m (2 Blatt) 5.3.2
 - BK 3: 13,20 m – 13,30 m (2 Blatt) 5.3.3

Hydraulische Versuche

- S&P-Stellungnahme vom 22.02.21: Hydrogeologischer Bericht: Auffüllversuche und Grundwasserganglinien (21 Blatt) 6
-



Übersichtslageplan mit Lage der VR-Bank	gez. me gepr. Sc	Maßstab 1:25 000
--	---------------------	---------------------



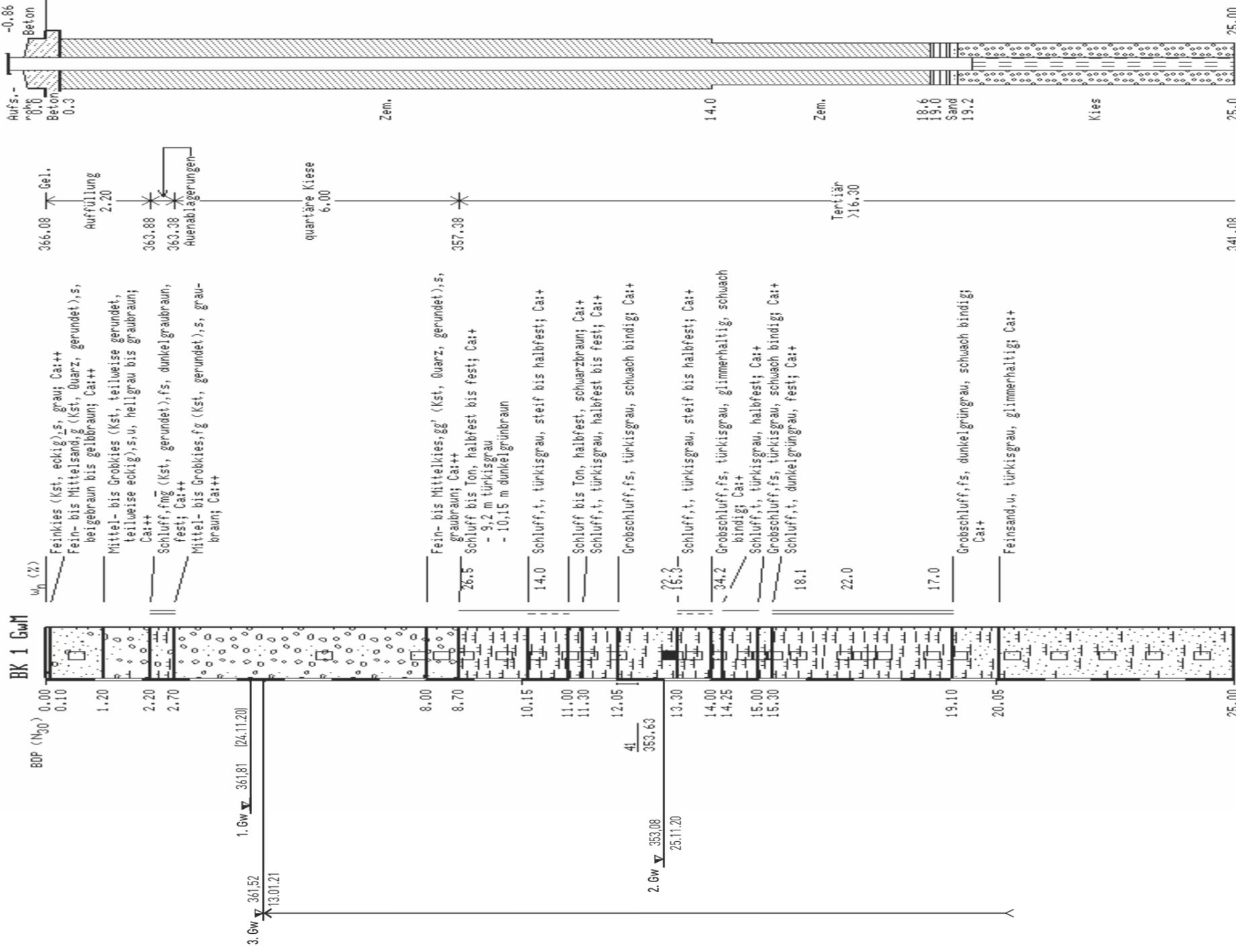
Lageplan mit Lage der Erkundungspunkte und Verlauf der geologischen Schnitte

gez. AJ	Maßstab 1:250
gepr. PB	

<p>Untersuchungsstellen</p> <ul style="list-style-type: none"> SCH Schurf BK Kernbohrung BS Kleinbohrung 	<p>Rammsondierung (Dynamic Probing)</p> <ul style="list-style-type: none"> DPL leichte Sonde (light) DPM mittelschwere Sonde (medium) DPH schwere Sonde (heavy) 	<p>Bodenproben</p> <ul style="list-style-type: none"> Güteklasse 1 Güteklasse 3 Kernstück 																																																																				
<p>Bodenarten-Beschreibung</p> <table border="0" style="width:100%;"> <tr><td>A</td><td>Auffüllung</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Y</td><td>Blöcke</td><td>y</td><td>mit Blöcken</td></tr> <tr><td>X</td><td>Steine</td><td>x</td><td>steinig</td></tr> <tr><td>G</td><td>Kies</td><td>g</td><td>kiesig</td></tr> <tr><td>S</td><td>Sand</td><td>s</td><td>sandig</td></tr> <tr><td>U</td><td>Schluff</td><td>u</td><td>schluffig</td></tr> <tr><td>T</td><td>Ton</td><td>t</td><td>tonig</td></tr> <tr><td>H</td><td>Humus, Torf</td><td>h</td><td>humos, torfig</td></tr> <tr><td>F</td><td>Faulschlamm</td><td>o</td><td>org. Anteile</td></tr> <tr><td>Mg</td><td>Mergel</td><td>mg</td><td>mergelig</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>dol.</td><td>dolomitisch</td></tr> </table>	A	Auffüllung			Y	Blöcke	y	mit Blöcken	X	Steine	x	steinig	G	Kies	g	kiesig	S	Sand	s	sandig	U	Schluff	u	schluffig	T	Ton	t	tonig	H	Humus, Torf	h	humos, torfig	F	Faulschlamm	o	org. Anteile	Mg	Mergel	mg	mergelig			dol.	dolomitisch	<p>Korngrößen</p> <p>f fein m mittel g grob</p> <p>grobkörnige Nebenteile (Massenanteile Körnungslinie)</p> <p>· schwach (< 15%) - stark (> 30%)</p> <p>feinkörnige Nebenteile (Einfluss auf Verhalten des Bodens)</p> <p>· schwach - stark</p>	<p>Konsistenz</p> <p>}} breiig } weich : steif halbfest fest</p> <p>Kalkgehalt (Aufbraus-Test: 10% HCl)</p> <p>Ca:0 kalkfrei Ca:+ kalkhaltig Ca:++ stark kalkhaltig</p>																								
A	Auffüllung																																																																					
Y	Blöcke	y	mit Blöcken																																																																			
X	Steine	x	steinig																																																																			
G	Kies	g	kiesig																																																																			
S	Sand	s	sandig																																																																			
U	Schluff	u	schluffig																																																																			
T	Ton	t	tonig																																																																			
H	Humus, Torf	h	humos, torfig																																																																			
F	Faulschlamm	o	org. Anteile																																																																			
Mg	Mergel	mg	mergelig																																																																			
		dol.	dolomitisch																																																																			
<p>Felsarten-Beschreibung</p> <table border="0" style="width:100%;"> <tr><td>Z</td><td>Fels allgemein</td></tr> <tr><td>Zv</td><td>Fels verwittert</td></tr> <tr><td>Ko, Br</td><td>Konglomerat, Brekzie</td></tr> <tr><td>Sst</td><td>Sandstein</td></tr> <tr><td>Utst, Tst</td><td>Schluffstein, Tonstein</td></tr> <tr><td>Mst, Kst</td><td>Mergelstein, Kalkstein</td></tr> <tr><td>Dst</td><td>Dolomitstein</td></tr> <tr><td>Gyst</td><td>Gipsstein</td></tr> <tr><td>Mem</td><td>Massige Metamorphite (z.B. Gneis)</td></tr> <tr><td>Pl</td><td>Plutonite (z.B. Granit)</td></tr> <tr><td>Vu</td><td>Vulkanite (z.B. Basalt)</td></tr> </table>	Z	Fels allgemein	Zv	Fels verwittert	Ko, Br	Konglomerat, Brekzie	Sst	Sandstein	Utst, Tst	Schluffstein, Tonstein	Mst, Kst	Mergelstein, Kalkstein	Dst	Dolomitstein	Gyst	Gipsstein	Mem	Massige Metamorphite (z.B. Gneis)	Pl	Plutonite (z.B. Granit)	Vu	Vulkanite (z.B. Basalt)	<p>Abschätzung der einaxialen Druckfestigkeit (Df) im Feld</p> <table border="0" style="width:100%;"> <tr> <td><u>Bezeichnung</u></td> <td><u>Feldversuch</u></td> </tr> <tr> <td>außerordentlich gering</td> <td>mit Fingernagel leicht ritzbar</td> </tr> <tr> <td>sehr gering</td> <td>mit Messer ritzbar, durch feste Aufschläge mit Hammerspitze zu zerbröckeln</td> </tr> <tr> <td>gering</td> <td>mit Messer schwer ritzbar, durch feste Aufschläge mit Hammerspitze schwach einkerbar</td> </tr> <tr> <td>mäßig hoch</td> <td>mit Messer nicht mehr ritzbar, durch einen festen Hammerschlag zu zerbrechen</td> </tr> <tr> <td>hoch</td> <td>nur durch mehrere Hammerschläge zu zerbrechen</td> </tr> <tr> <td>sehr hoch</td> <td>nur durch sehr viele Hammerschläge zu zerbrechen</td> </tr> <tr> <td>außerordentlich hoch</td> <td>durch Schläge mit dem Hammer lösen sich nur Splitter</td> </tr> </table>	<u>Bezeichnung</u>	<u>Feldversuch</u>	außerordentlich gering	mit Fingernagel leicht ritzbar	sehr gering	mit Messer ritzbar, durch feste Aufschläge mit Hammerspitze zu zerbröckeln	gering	mit Messer schwer ritzbar, durch feste Aufschläge mit Hammerspitze schwach einkerbar	mäßig hoch	mit Messer nicht mehr ritzbar, durch einen festen Hammerschlag zu zerbrechen	hoch	nur durch mehrere Hammerschläge zu zerbrechen	sehr hoch	nur durch sehr viele Hammerschläge zu zerbrechen	außerordentlich hoch	durch Schläge mit dem Hammer lösen sich nur Splitter	<p>Zerlegung</p> <p>⚡ klüftig</p> <p>Schichtflächenabstand</p> <table border="0" style="width:100%;"> <tr> <td><u>Bezeichnung</u></td> <td><u>Abstand [mm]</u></td> </tr> <tr> <td>sehr dick</td> <td>größer als 2000</td> </tr> <tr> <td>dick</td> <td>2000 bis 600</td> </tr> <tr> <td>mittel</td> <td>600 bis 200</td> </tr> <tr> <td>dünn</td> <td>200 bis 60</td> </tr> <tr> <td>sehr dünn</td> <td>60 bis 20</td> </tr> <tr> <td>grob laminiert</td> <td>20 bis 6</td> </tr> <tr> <td>fein laminiert</td> <td>kleiner als 6</td> </tr> </table> <p>Kluffflächenabstand</p> <table border="0" style="width:100%;"> <tr> <td><u>Bezeichnung</u></td> <td><u>Abstand [mm]</u></td> </tr> <tr> <td>sehr weitständig</td> <td>größer als 2000</td> </tr> <tr> <td>weitständig</td> <td>2000 bis 600</td> </tr> <tr> <td>mittelständig</td> <td>600 bis 200</td> </tr> <tr> <td>engständig</td> <td>200 bis 60</td> </tr> <tr> <td>sehr engständig</td> <td>60 bis 20</td> </tr> <tr> <td>außerordentlich engständig</td> <td>kleiner als 20</td> </tr> </table>	<u>Bezeichnung</u>	<u>Abstand [mm]</u>	sehr dick	größer als 2000	dick	2000 bis 600	mittel	600 bis 200	dünn	200 bis 60	sehr dünn	60 bis 20	grob laminiert	20 bis 6	fein laminiert	kleiner als 6	<u>Bezeichnung</u>	<u>Abstand [mm]</u>	sehr weitständig	größer als 2000	weitständig	2000 bis 600	mittelständig	600 bis 200	engständig	200 bis 60	sehr engständig	60 bis 20	außerordentlich engständig	kleiner als 20
Z	Fels allgemein																																																																					
Zv	Fels verwittert																																																																					
Ko, Br	Konglomerat, Brekzie																																																																					
Sst	Sandstein																																																																					
Utst, Tst	Schluffstein, Tonstein																																																																					
Mst, Kst	Mergelstein, Kalkstein																																																																					
Dst	Dolomitstein																																																																					
Gyst	Gipsstein																																																																					
Mem	Massige Metamorphite (z.B. Gneis)																																																																					
Pl	Plutonite (z.B. Granit)																																																																					
Vu	Vulkanite (z.B. Basalt)																																																																					
<u>Bezeichnung</u>	<u>Feldversuch</u>																																																																					
außerordentlich gering	mit Fingernagel leicht ritzbar																																																																					
sehr gering	mit Messer ritzbar, durch feste Aufschläge mit Hammerspitze zu zerbröckeln																																																																					
gering	mit Messer schwer ritzbar, durch feste Aufschläge mit Hammerspitze schwach einkerbar																																																																					
mäßig hoch	mit Messer nicht mehr ritzbar, durch einen festen Hammerschlag zu zerbrechen																																																																					
hoch	nur durch mehrere Hammerschläge zu zerbrechen																																																																					
sehr hoch	nur durch sehr viele Hammerschläge zu zerbrechen																																																																					
außerordentlich hoch	durch Schläge mit dem Hammer lösen sich nur Splitter																																																																					
<u>Bezeichnung</u>	<u>Abstand [mm]</u>																																																																					
sehr dick	größer als 2000																																																																					
dick	2000 bis 600																																																																					
mittel	600 bis 200																																																																					
dünn	200 bis 60																																																																					
sehr dünn	60 bis 20																																																																					
grob laminiert	20 bis 6																																																																					
fein laminiert	kleiner als 6																																																																					
<u>Bezeichnung</u>	<u>Abstand [mm]</u>																																																																					
sehr weitständig	größer als 2000																																																																					
weitständig	2000 bis 600																																																																					
mittelständig	600 bis 200																																																																					
engständig	200 bis 60																																																																					
sehr engständig	60 bis 20																																																																					
außerordentlich engständig	kleiner als 20																																																																					
<p>Kalkgehalt (s. Boden)</p>																																																																						
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Verwitterungsstufen</th> <th>VS 5</th> <th>VS 4</th> <th>VS 3</th> <th>VS 2</th> <th>VS 1</th> <th>VS 0</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gesteinstyp</td> <td>Boden</td> <td>Boden</td> <td>Boden + Gestein</td> <td>Gestein</td> <td>Gestein</td> <td>Gestein</td> </tr> <tr> <td>Bezeichnung</td> <td>zersetzt</td> <td>vollständig verwittert</td> <td>stark verwittert</td> <td>mäßig verwittert</td> <td>schwach verwittert</td> <td>frisch</td> </tr> <tr> <td>Beschreibung</td> <td>gesamtes Gestein zu Boden umgewandelt, ohne Gefüge</td> <td>gesamtes Gestein zu Boden umgewandelt, Gefüge größtenteils unversehrt</td> <td>mehr als die Hälfte des Gesteins zersetzt oder zerfallen Gestein liegt als zusammenhängendes Steinskelett oder Steinkern vor.</td> <td>weniger als die Hälfte des Gesteins verwittert oder zersetzt</td> <td>Verfärbung</td> <td>möglicherweise leichte Verfärbung</td> </tr> </tbody> </table>							Verwitterungsstufen	VS 5	VS 4	VS 3	VS 2	VS 1	VS 0	Gesteinstyp	Boden	Boden	Boden + Gestein	Gestein	Gestein	Gestein	Bezeichnung	zersetzt	vollständig verwittert	stark verwittert	mäßig verwittert	schwach verwittert	frisch	Beschreibung	gesamtes Gestein zu Boden umgewandelt, ohne Gefüge	gesamtes Gestein zu Boden umgewandelt, Gefüge größtenteils unversehrt	mehr als die Hälfte des Gesteins zersetzt oder zerfallen Gestein liegt als zusammenhängendes Steinskelett oder Steinkern vor.	weniger als die Hälfte des Gesteins verwittert oder zersetzt	Verfärbung	möglicherweise leichte Verfärbung																																				
Verwitterungsstufen	VS 5	VS 4	VS 3	VS 2	VS 1	VS 0																																																																
Gesteinstyp	Boden	Boden	Boden + Gestein	Gestein	Gestein	Gestein																																																																
Bezeichnung	zersetzt	vollständig verwittert	stark verwittert	mäßig verwittert	schwach verwittert	frisch																																																																
Beschreibung	gesamtes Gestein zu Boden umgewandelt, ohne Gefüge	gesamtes Gestein zu Boden umgewandelt, Gefüge größtenteils unversehrt	mehr als die Hälfte des Gesteins zersetzt oder zerfallen Gestein liegt als zusammenhängendes Steinskelett oder Steinkern vor.	weniger als die Hälfte des Gesteins verwittert oder zersetzt	Verfärbung	möglicherweise leichte Verfärbung																																																																
<p>Grundwasser (Gw)</p>	<p>Gw-Spiegel / Gw-Stand</p> <table border="0" style="width:100%;"> <tr> <td style="text-align: center;"></td> <td>100,00 müNHN</td> <td>undefiniert oder nach Bohrende</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"></td> <td>100,00 müNHN</td> <td>angebohrt</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"></td> <td>100,00 müNHN</td> <td>in Ruhe im ausgebauten Bohrloch</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">20.12.1998 Datum</p> <p style="text-align: center;"> Vernässung oberhalb des Gw</p>						100,00 müNHN	undefiniert oder nach Bohrende		100,00 müNHN	angebohrt		100,00 müNHN	in Ruhe im ausgebauten Bohrloch	<table border="0" style="width:100%;"> <tr><td></td><td>Aufsatzrohr</td></tr> <tr><td></td><td>Ringraumzementation</td></tr> <tr><td></td><td>Filterrohr</td></tr> <tr><td></td><td>Sumpfrohr</td></tr> <tr><td></td><td>Quellton</td></tr> <tr><td></td><td>Bohrendtiefe</td></tr> </table>		Aufsatzrohr		Ringraumzementation		Filterrohr		Sumpfrohr		Quellton		Bohrendtiefe																																											
	100,00 müNHN	undefiniert oder nach Bohrende																																																																				
	100,00 müNHN	angebohrt																																																																				
	100,00 müNHN	in Ruhe im ausgebauten Bohrloch																																																																				
	Aufsatzrohr																																																																					
	Ringraumzementation																																																																					
	Filterrohr																																																																					
	Sumpfrohr																																																																					
	Quellton																																																																					
	Bohrendtiefe																																																																					
<p>Normen: DIN EN ISO 14688, DIN EN ISO 14689-1 DIN 4022, DIN 4023</p>						<p>gez. AJ gepr. PB</p>																																																																
<p>Beschreibung der Schichtenfolgen: Kurzzzeichen und Abkürzungen</p>																																																																						

TK 25: 7234 Ingolstadt
 R ≈ 44 58 871 / H ≈ 54 02 610
 Lage siehe auch Anlage 1.2
 Ansatzhöhe: 366,08 m üNN (Gel.)

gehört vom: Fa. Drilllexpert
 vom: 24.11.-02.12.20
 aufgenommen: Dipl.-Geol. P. Bröhl/S&P
 G: S&P AUFTR20'20144' BK01.kpr; 21.01.2021



Bohrverfahren:

- 14,0 m Rammkernbohrung \varnothing 140 mm
- 25,0 m Rotationskernbohrung mit SK6L \varnothing 146 mm
- 14,0 m Hilfsverrohrung \varnothing 178 mm
- 25,0 m Hilfsverrohrung \varnothing 140 mm
- 10,5 m Vollbohrung \varnothing 324 mm
- 25,0 m Vollbohrung \varnothing 273 mm

Bodenproben: 0,8 m; 9,0 m; 9,8 m; 10,5 m; 11,2 m; 11,6 m; 12,2 m; 13,4 m; 13,8 m; 14,3 m; 14,9 m; 15,2 m; 15,5 m; 16,0 m; 17,0 m; 17,3 m; 17,5 m; 17,8 m; 18,8 m; 19,4 m; 20,5 m; 21,5 m; 22,5 m; 23,5 m; 24,5 m

Eimerproben: 5,0-6,0 m; 7,0-8,0 m; 8,0-8,5 m
 Sonderproben: 13,0-13,3 m
 Geruch unauffällig

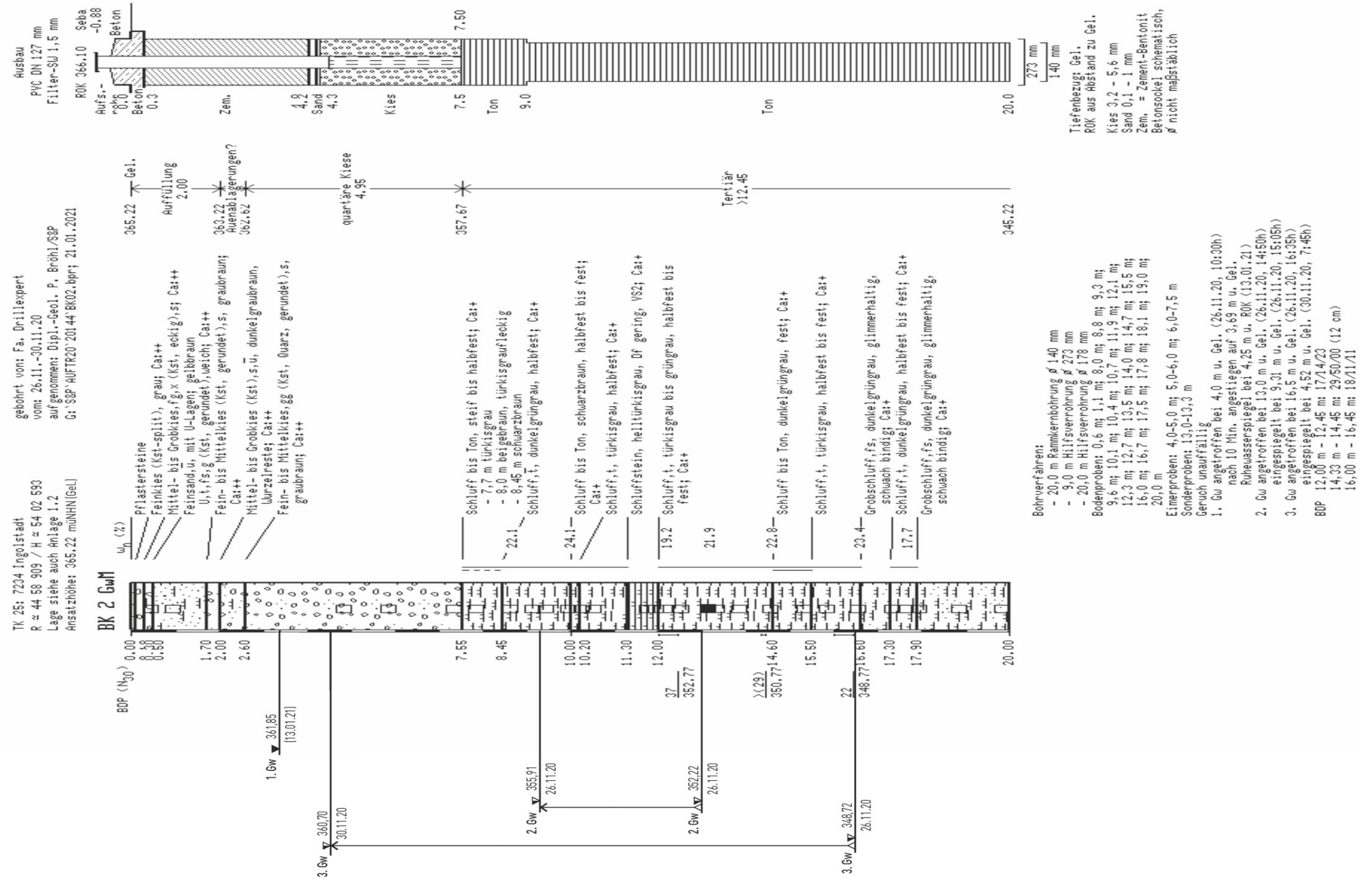
1. Gw angetroffen bei 4,5 m u. Gel. (24.11.20, 17:30h) nach 10 Min. angestiegen auf 4,27 m u. Gel.
 2. Gw angetroffen bei 13,0 m u. Gel. (25.11.20, 10:15h)
 3. Gw Ruhewasserspiegel bei 5,42 m u. ROK (13.01.21)

BDP 12,00 m - 12,45 m; 08/20/21

Schichtenfolge der Kernbohrung BK 1 GwM

gez. AJ
 gepr. PB

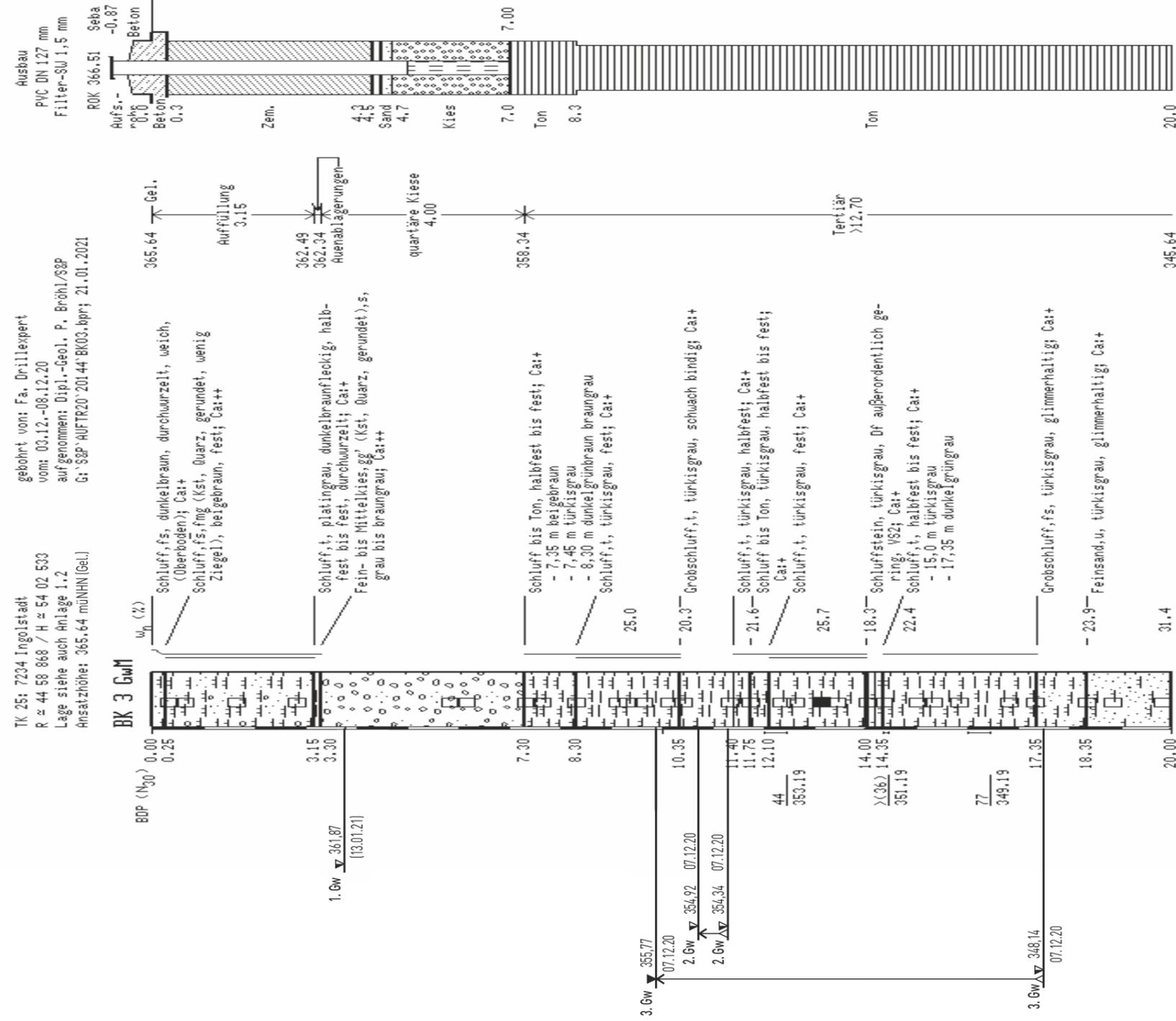
Maßstab
 1:100



Schichtenfolge der Kernbohrung BK 2 GwM

gez. AJ
 gepr. PB

Maßstab
 1:100



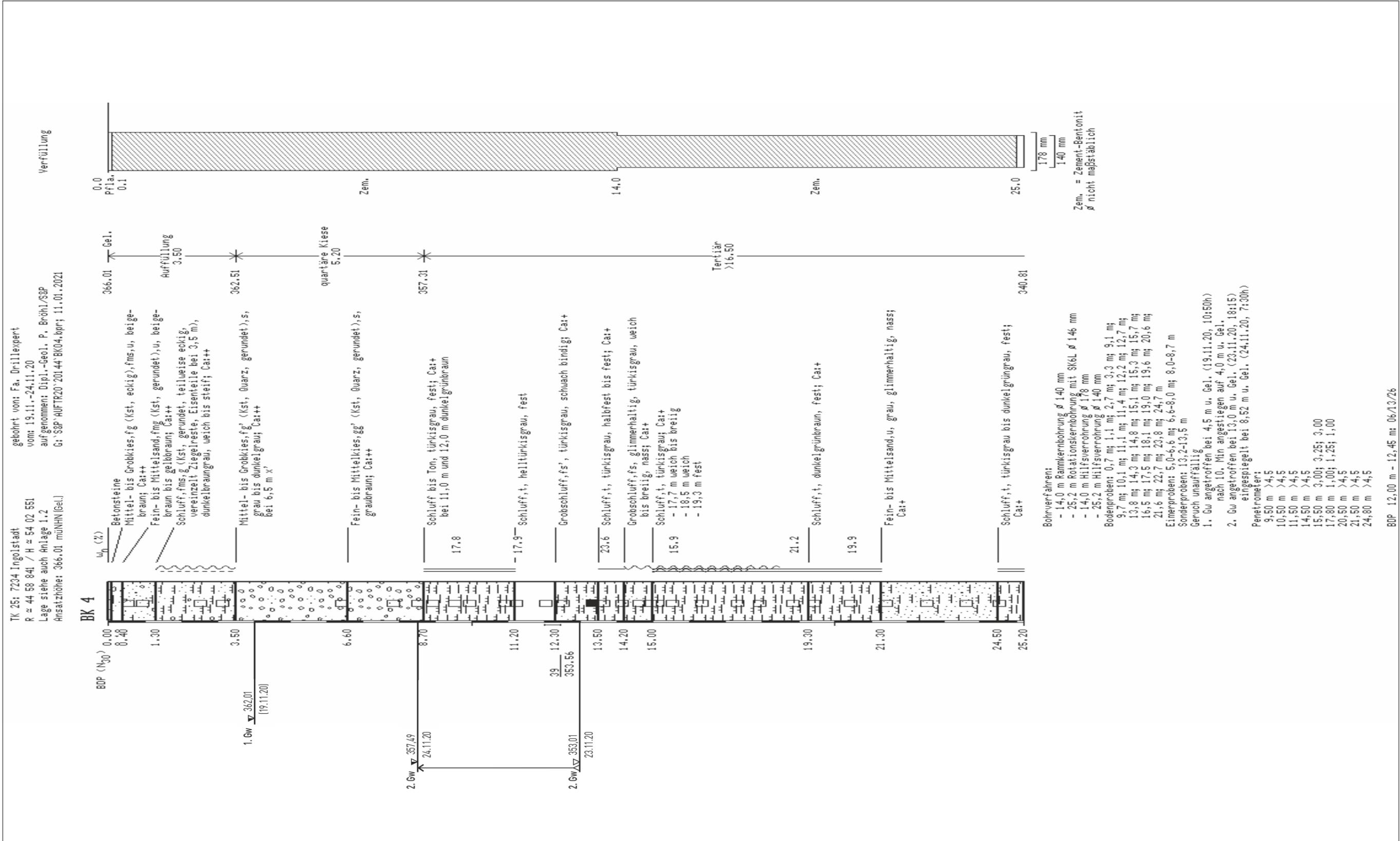
Bohrverfahren:
 - 20,0 m Rammkernbohrung ϕ 140 mm
 - 8,3 m Hilfsverrohrung ϕ 273 mm
 - 20,0 m Hilfsverrohrung ϕ 178 mm
Bodenproben: 0,5 m; 0,8 m; 1,8 m; 3,0 m; 3,0 m; 7,5 m; 7,8 m; 8,5 m; 9,3 m; 9,5 m; 9,8 m; 10,3 m; 10,6 m; 11,5 m; 11,9 m; 12,5 m; 12,8 m; 13,6 m; 14,2 m; 14,5 m; 15,2 m; 15,5 m; 16,0 m; 17,0 m; 17,5 m; 18,5 m; 19,0 m; 20,0 m
Eimerproben: 5,0-6,0 m; 6,0-6,3 m
Sonderproben: 13,0-13,3 m
Geruch un auffällig
 1. Gw angetroffen bei 4,0 m u. Gel. (03.12.20, 16:50h) angestiegen auf 3,95 m u. Gel. (07.12.20, 07:35h) Ruhewasserspiegel 4,64 m u. ROK (13.01.21)
 2. Gw angetroffen bei 11,3 m u. Gel. (07.12.20, 11:50h) nach 15 Min. angestiegen auf 10,72 m u. Gel.
 3. Gw angetroffen bei 17,5 m u. Gel. (07.12.20, 15:40h) eingespiegelt bei 9,87 m u. Gel. (07.12.20, 16:00h)

BOP 12,00 m - 12,45 m: 23/24/20
 14,33 m - 14,45 m: 36/50/00 (12 cm)
 16,00 m - 16,45 m: 29/36/41

TK 25: 7234 Ingolstadt
 R \approx 44 58 868 / H \approx 54 02 533
 Lage siehe auch Anlage 1.2
 Ansatzhöhe: 365.64 m üNNH (Gel.)
 gehört vom: Fa. Drillexpert
 vom: 03.12.-08.12.20
 aufgenommen: Dipl.-Geol. P. Brühl/S&P
 G: S&P AUFTR 20'20144' BK03.kpr; 21.01.2021

Schichtenfolge der Kernbohrung BK 3 GwM

gez. AJ
 gepr. PB
 Maßstab 1:100

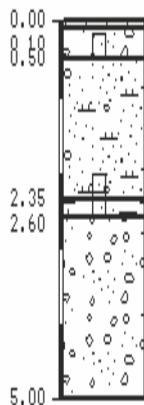


Schichtenfolge der Kernbohrung BK 4
 gez. AJ
 gepr. PB
 Maßstab 1:100

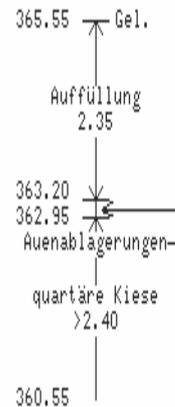
TK 25: 7234 Ingolstadt
 R ≈ 44 58 877 / H ≈ 54 02 592
 Lage siehe auch Anlage 1.2
 Ansatzhöhe: 365.55 müNHN(Gel.)

gebohrt von: Bröhl und Klingler/S&P
 am: 30.11.20
 aufgenommen: Dipl.-Geol. P. Bröhl/S&P
 G:'S&P'AUFTR20'20144'BS01.bpr; 11.01.2021

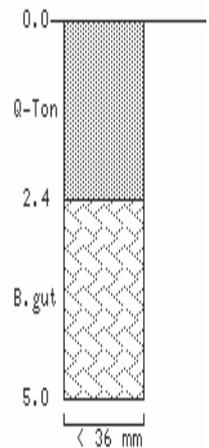
BS 1



- Pflastersteine
- Fein- bis Mittelkies (Kst, eckig), s, beigebraun; Ca:++
- Fein- bis Mittelsand, u, fmg' (Kst, gerundet), beigebraun bis gelbbraun; Ca:++
- Schluff, t', fs, fmg (Kst, Quarz, gerundet), dunkelgrau-braun, halbfest; Ca:++
- Fein- bis Mittelkies (Kst, Quarz, gerundet), s, grau; Ca:++



Verfüllung



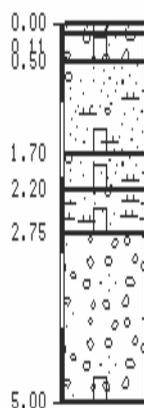
bei 2,35 m u. Gel. Bohrloch verstürzt
 Bodenproben: 0,1-0,5 m; 0,5-2,35 m; 2,35-2,6 m
 Geruch unauffällig

0-Ton = Quellton
 ∅ nicht maßstäblich

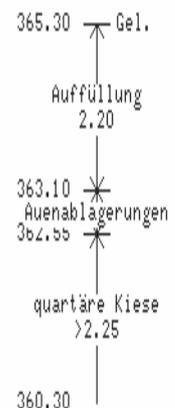
TK 25: 7234 Ingolstadt
 R ≈ 44 58 883 / H ≈ 54 02 571
 Lage siehe auch Anlage 1.2
 Ansatzhöhe: 365.30 müNHN(Gel.)

gebohrt von: Bröhl und Klingler/S&P
 am: 30.11.20
 aufgenommen: Dipl.-Geol. P. Bröhl/S&P
 G:'S&P'AUFTR20'20144'BS02.bpr; 11.01.2021

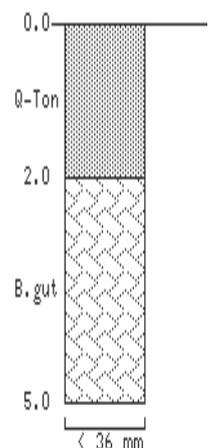
BS 2



- Asphalt, schwarz
- Fein- bis Mittelkies (Kst, eckig), s, grau; Ca:++
- Fein- bis Mittelsand, u', fmg (Kst, gerundet), beigebraun bis gelbbraun; Ca:++
- Feinsand, u, g (Kst, gerundet, teilweise eckig), grau-braun; Ca:++
- bei 3,0 m Ziegelreste
- Schluff, fs, fg' (Kst, gerundet), dunkelgrau-braun, halbfest, mit fs-Lagen ∅ 1 cm; Ca:++
- Fein- bis Mittelkies, gg' (Kst, Quarz, gerundet), s, grau; Ca:++
- Fein- bis Mittelkies (Kst, Quarz, gerundet), s, grau; Ca:++



Verfüllung



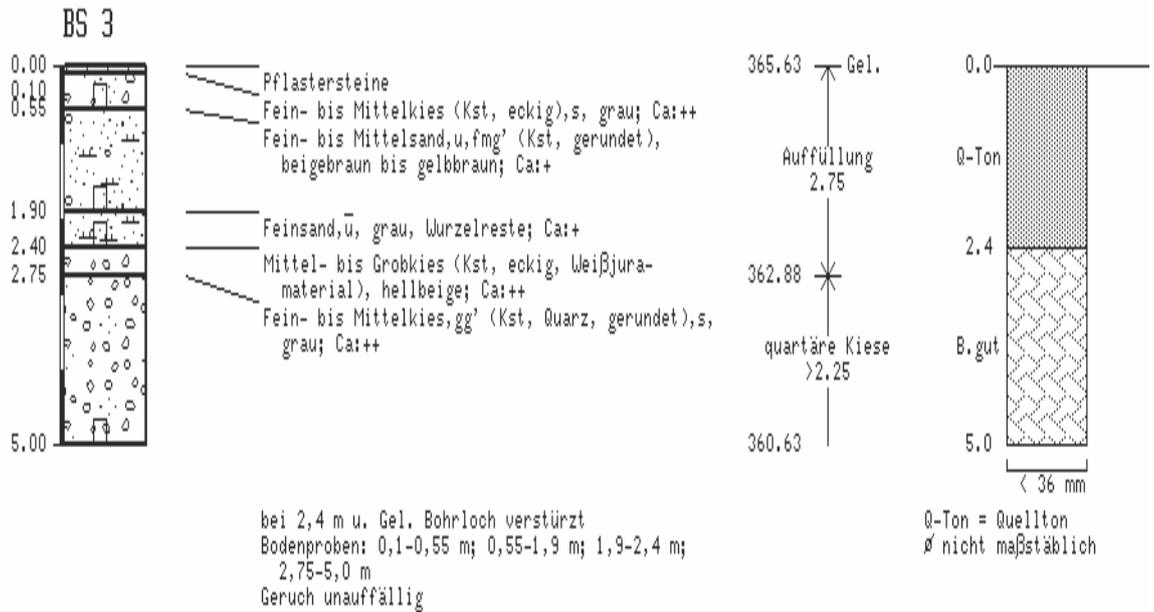
bei 2,0 m u. Gel. Bohrloch verstürzt
 Bodenproben: 0,0-0,11 m; 0,11-0,5 m; 0,5-1,7 m;
 1,7-2,2 m; 2,2-2,75 m; 2,75-5,0 m
 Geruch unauffällig

0-Ton = Quellton
 ∅ nicht maßstäblich

TK 25: 7234 Ingolstadt
 R ≈ 44 58 854 / H ≈ 54 02 555
 Lage siehe auch Anlage 1.2
 Ansatzhöhe: 365.63 müNHN(Gel.)

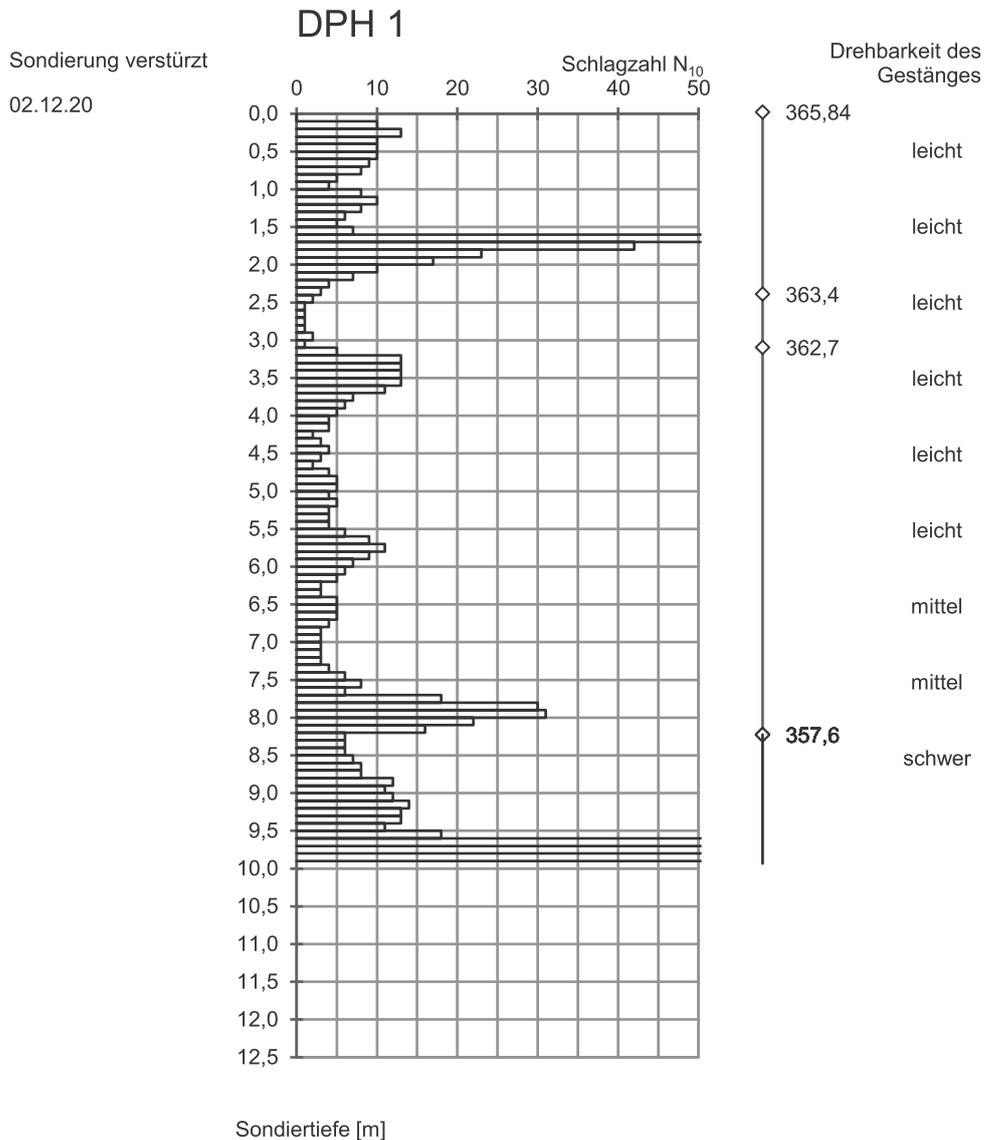
gebohrt von: Bröhl und Klingler/S&P
 am: 30.11.20
 aufgenommen: Dipl.-Geol. P. Bröhl/S&P
 G: 'S&P'AUFTR20'20144'BS03.kpr; 11.01.2021

Verfüllung



TK25: 7234 Ingolstadt
 R ≈ 44 58 864 H ≈ 54 02 588
 Lage siehe Anlage 1.2
 Ansatzhöhe: 365,84 müNHN (= Gelände)

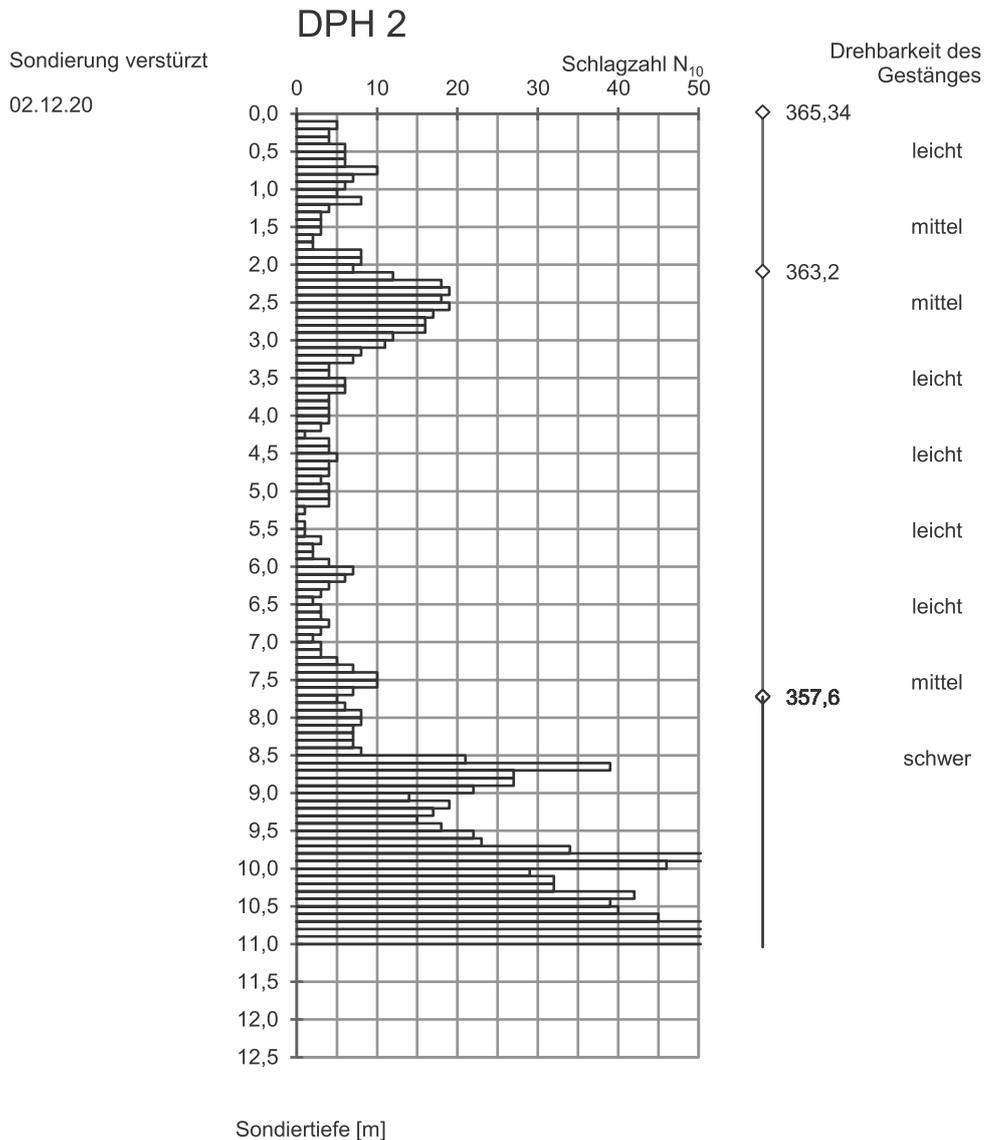
Sondierung
 Geräteführer: Klingler/S&P
 Datum: 02.12.20
 Datei: 20144r1.ra2



Schichtunterkante [müNHN]	Mächtigkeit [m]	Schicht- bezeichnung
363,4	2,4	Auffüllung
362,7	0,7	Auenablagerungen
357,6	5,1	quartäre Kiese
< 355,9		Tertiär

TK25: 7234 Ingolstadt
 R ≈ 44 58 883 H ≈ 54 02 583
 Lage siehe Anlage 1.2
 Ansatzhöhe: 365,34 müNHN (= Gelände)

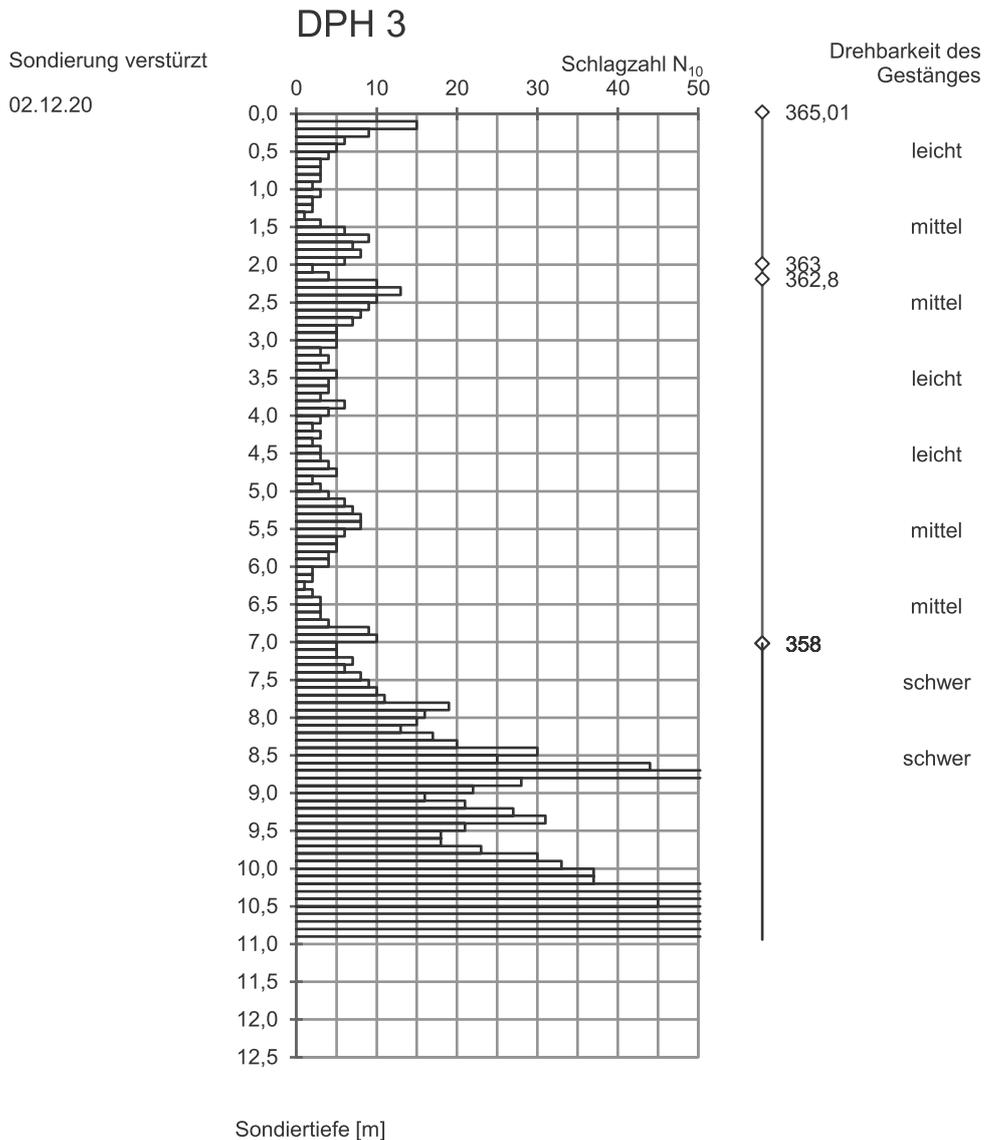
Sondierung
 Geräteführer: Klingler/S&P
 Datum: 02.12.20
 Datei: 20144r2.ra2



Schichtunterkante [müNHN]	Mächtigkeit [m]	Schichtbezeichnung
363,2	2,1	Auffüllung
357,6	5,6	quartäre Kiese
< 354,3		Tertiär

TK25: 7234 Ingolstadt
 R ≈ 44 58 896 H ≈ 54 02 573
 Lage siehe Anlage 1.2
 Ansatzhöhe: 365,01 müNHN (= Gelände)

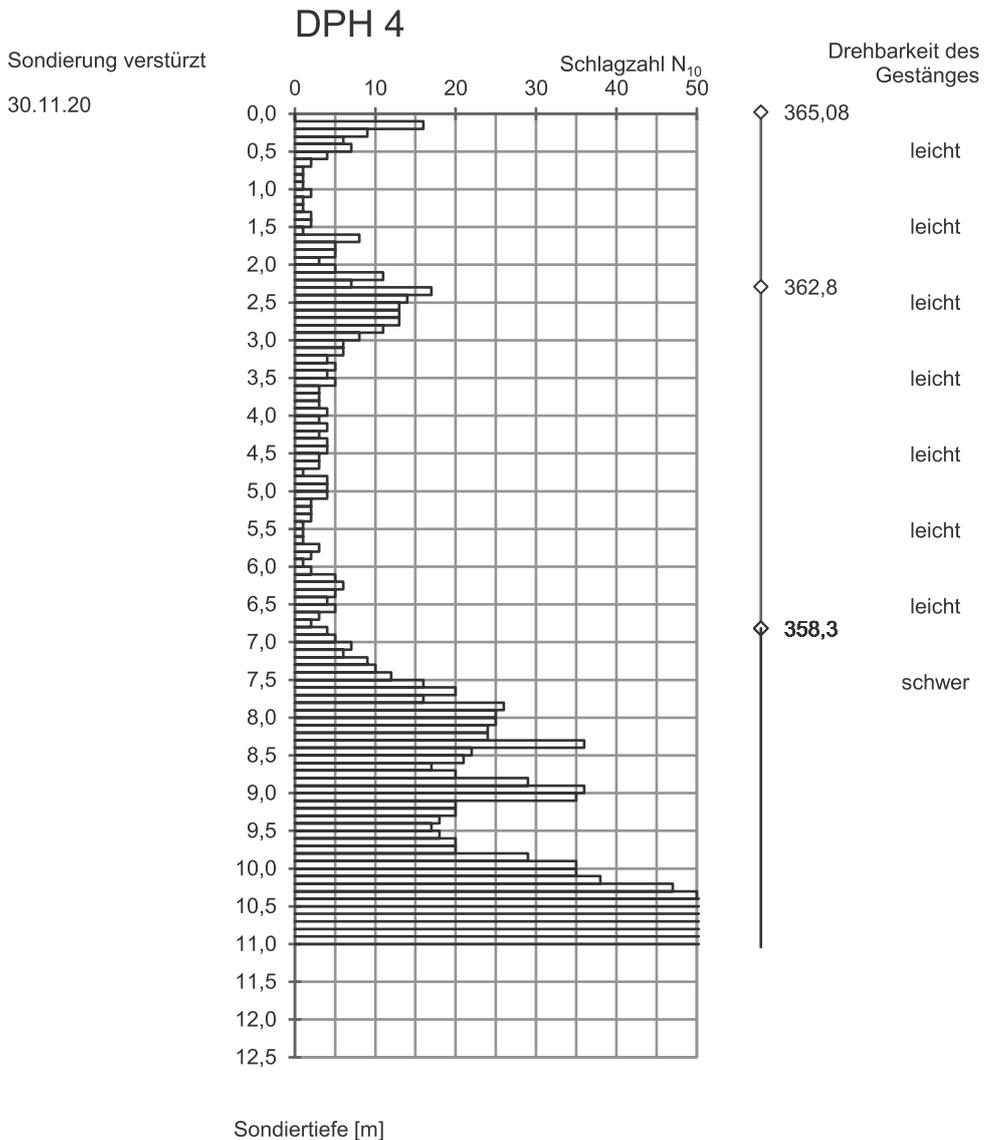
Sondierung
 Geräteführer: Klingler/S&P
 Datum: 02.12.20
 Datei: 20144r3.ra2



Schichtunterkante [müNHN]	Mächtigkeit [m]	Schicht- bezeichnung
363,0	2,0	Auffüllung
362,8	0,2	Auenablagerungen
358,0	4,8	quartäre Kiese
< 354,1		Tertiär

TK25: 7234 Ingolstadt
 R ≈ 44 58 884 H ≈ 54 02 555
 Lage siehe Anlage 1.2
 Ansatzhöhe: 365,08 müNHN (= Gelände)

Sondierung
 Geräteführer: Klingler/S&P
 Datum: 30.11.20
 Datei: 20144r4.ra2



Schichtunterkante [müNHN]	Mächtigkeit [m]	Schichtbezeichnung
362,8	2,3	Auffül l ung
358,3	4,5	quartäre Kiese
< 354,1		Tertiär

TK25: 7234 Ingolstadt

R ≈ 44 58 869 H ≈ 54 02 558

Lage siehe Anlage 1.2

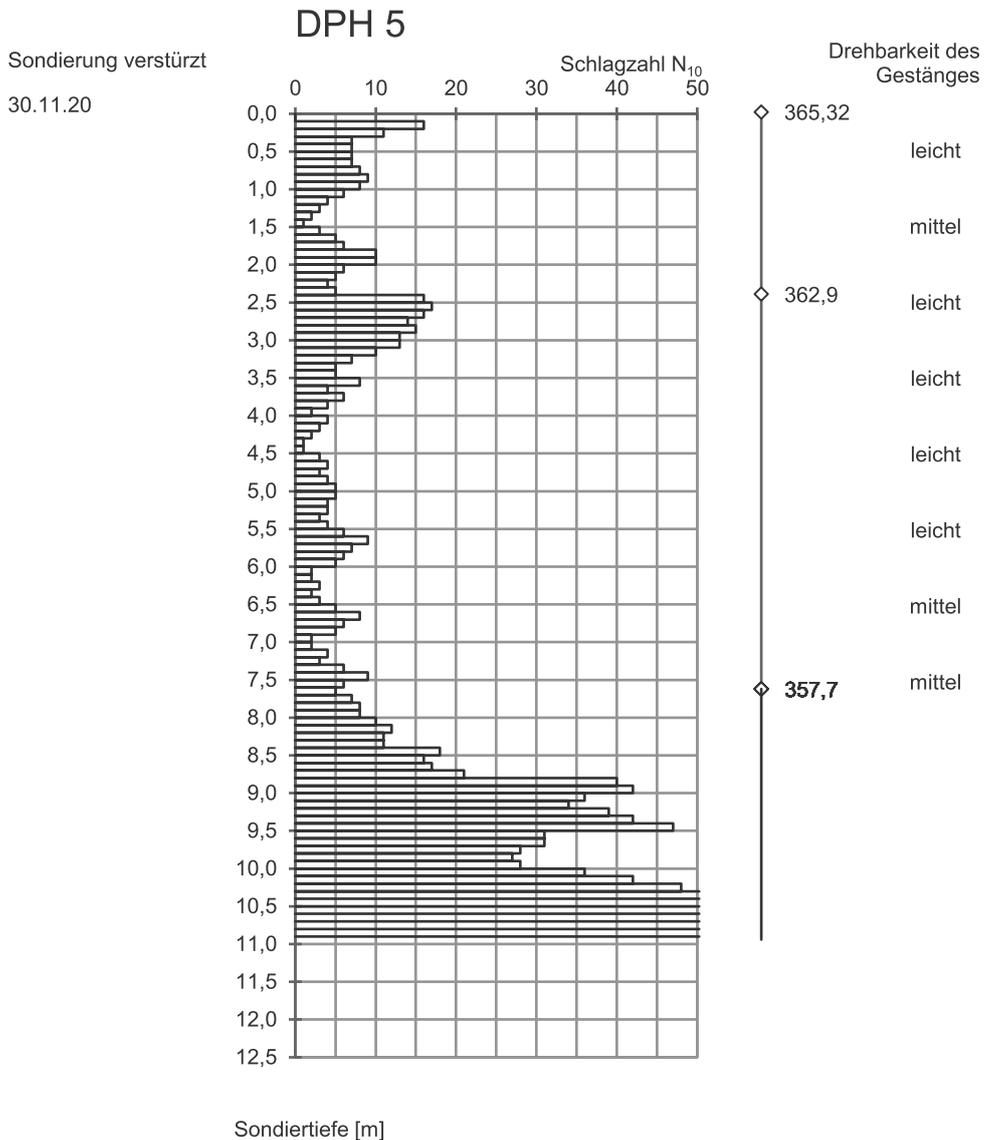
Ansatzhöhe: 365,32 müNHN (= Gelände)

Sondierung

Geräteleiter: Klingler/S&P

Datum: 30.11.20

Datei: 20144r5.ra2



Schichtunterkante [müNHN]	Mächtigkeit [m]	Schicht- bezeichnung
362,9	2,4	Auffül lung
357,7	5,2	quartäre Kiese
< 354,4		Tertiär

TK25: 7234 Ingolstadt

R ≈ 44 58 852 H ≈ 54 02 567

Lage siehe Anlage 1.2

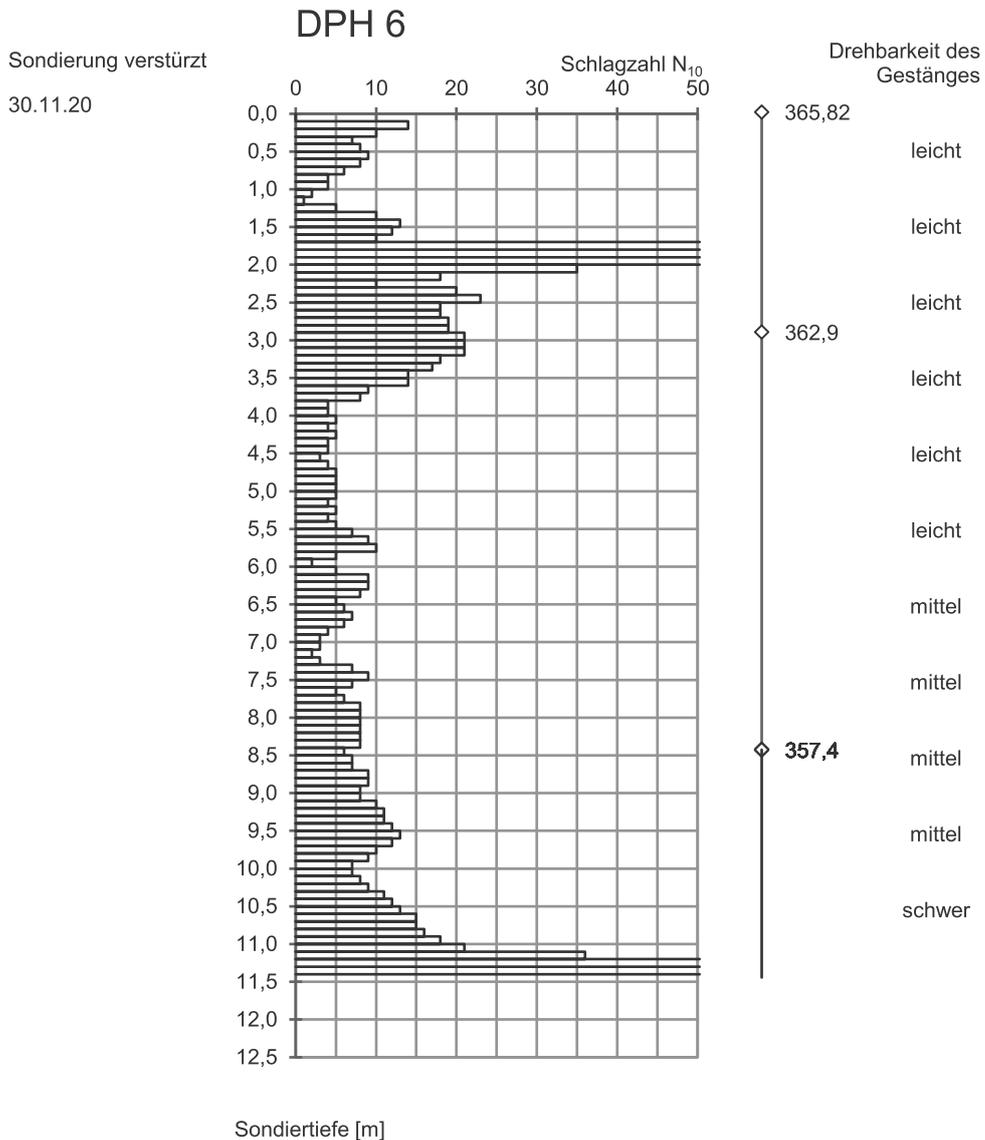
Ansatzhöhe: 365,82 müNHN (= Gelände)

Sondierung

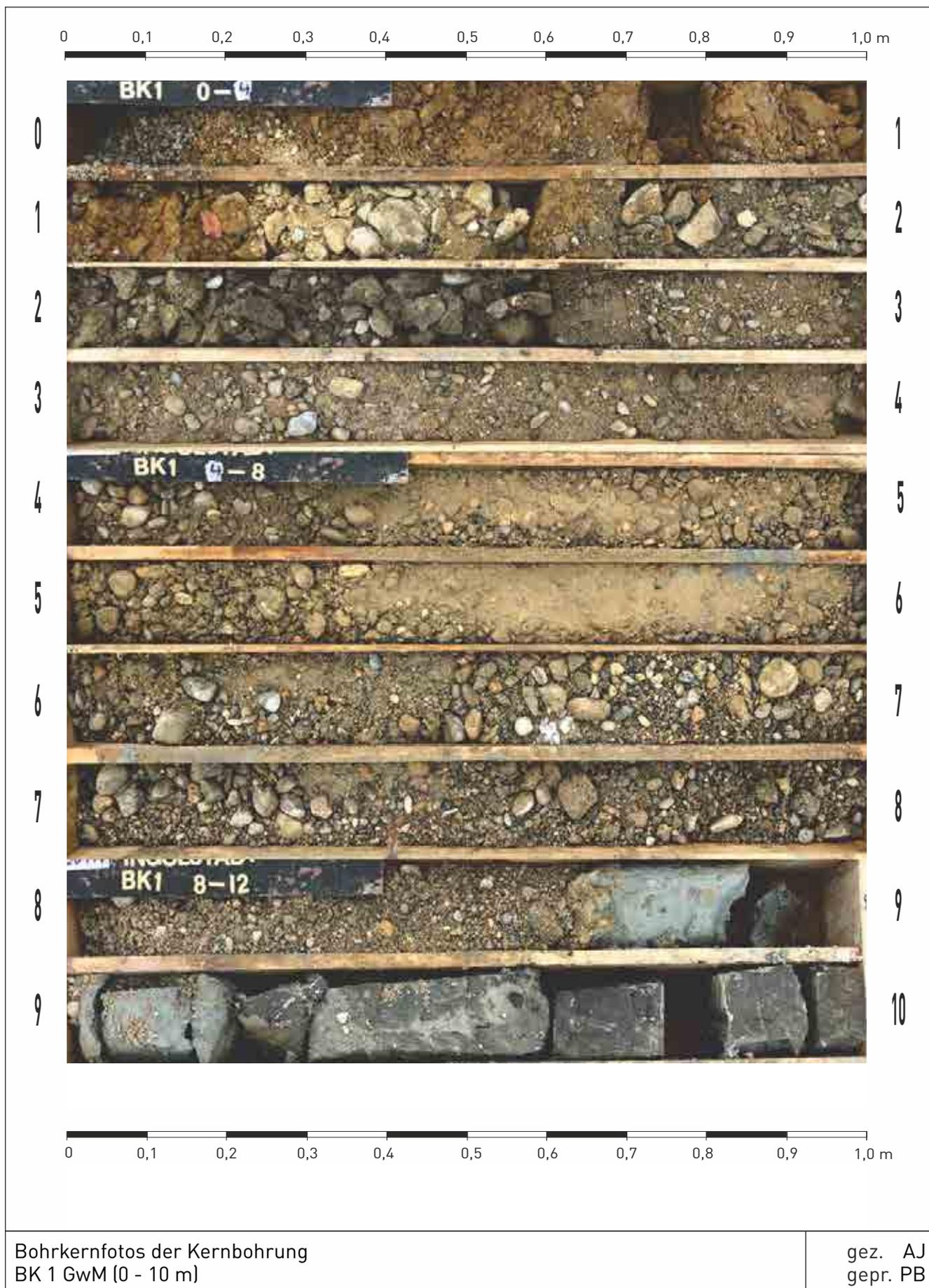
Geräteleiter: Klingler/S&P

Datum: 30.11.20

Datei: 20144r6.ra2

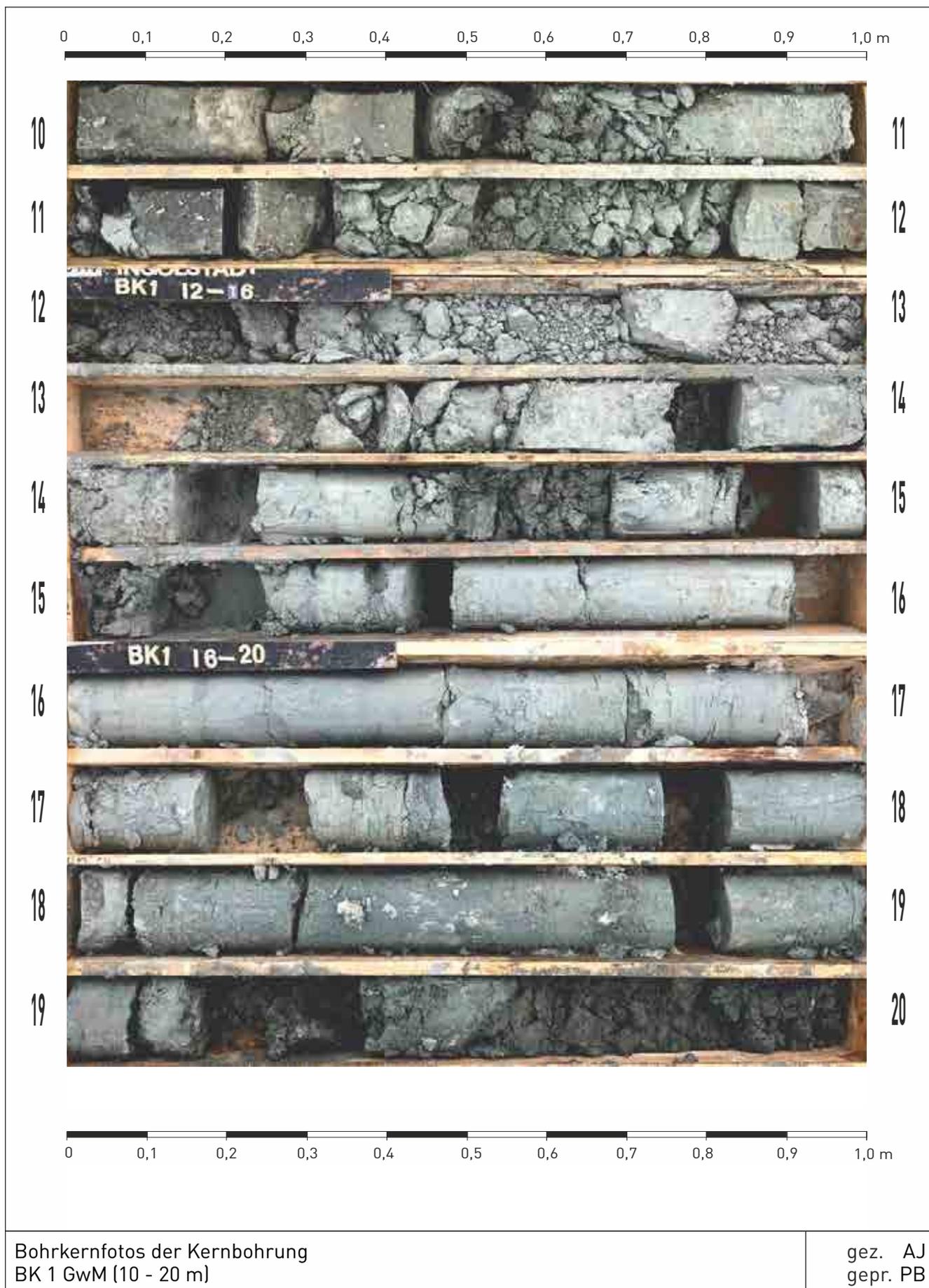


Schichtunterkante [müNHN]	Mächtigkeit [m]	Schicht- bezeichnung
362,9	2,9	Auffül l ung
357,4	5,5	quartäre Kiese
< 354,4		Tertiär



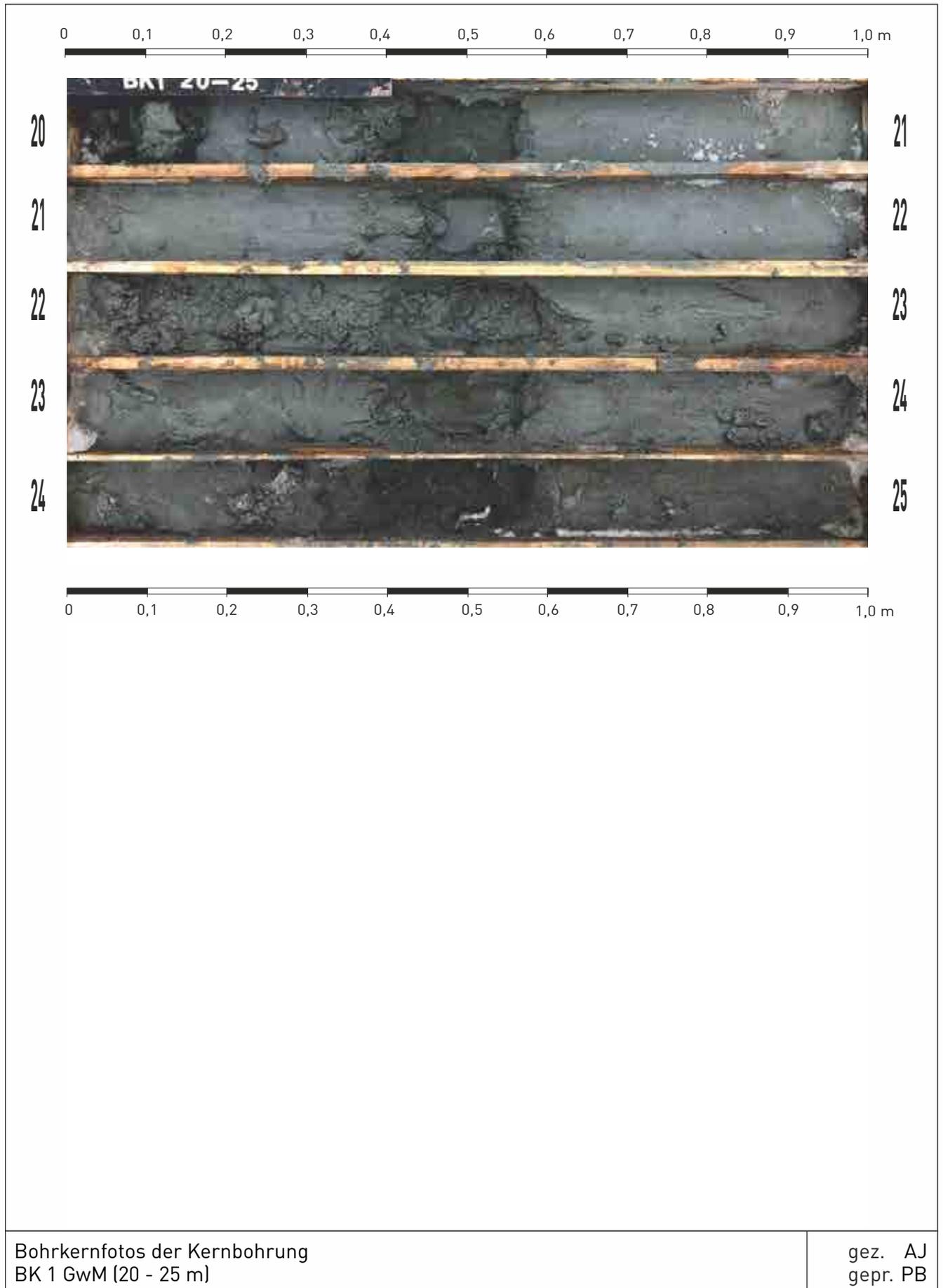
Bohrkernfotos der Kernbohrung
BK 1 GwM (0 - 10 m)

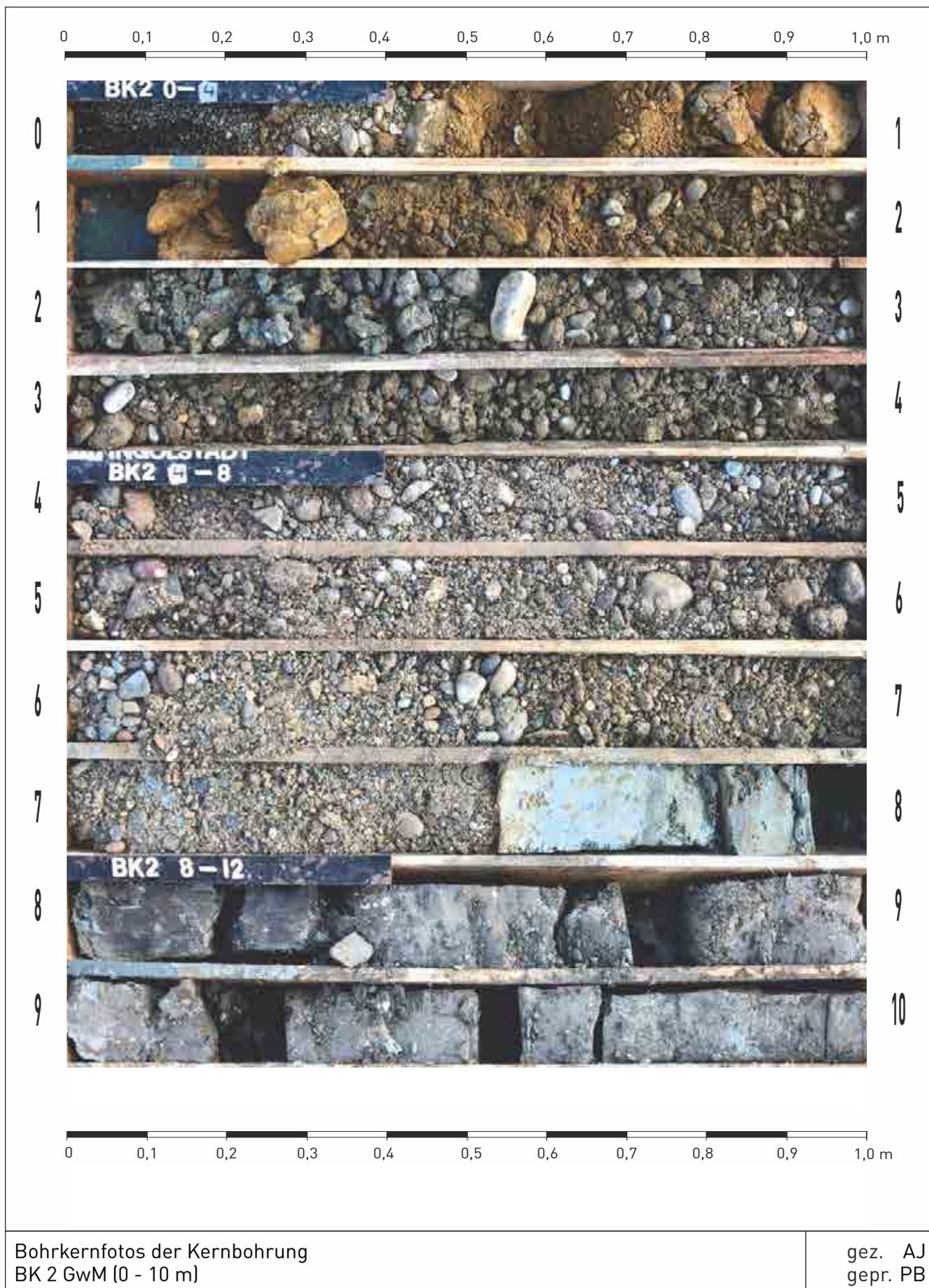
gez. AJ
gepr. PB

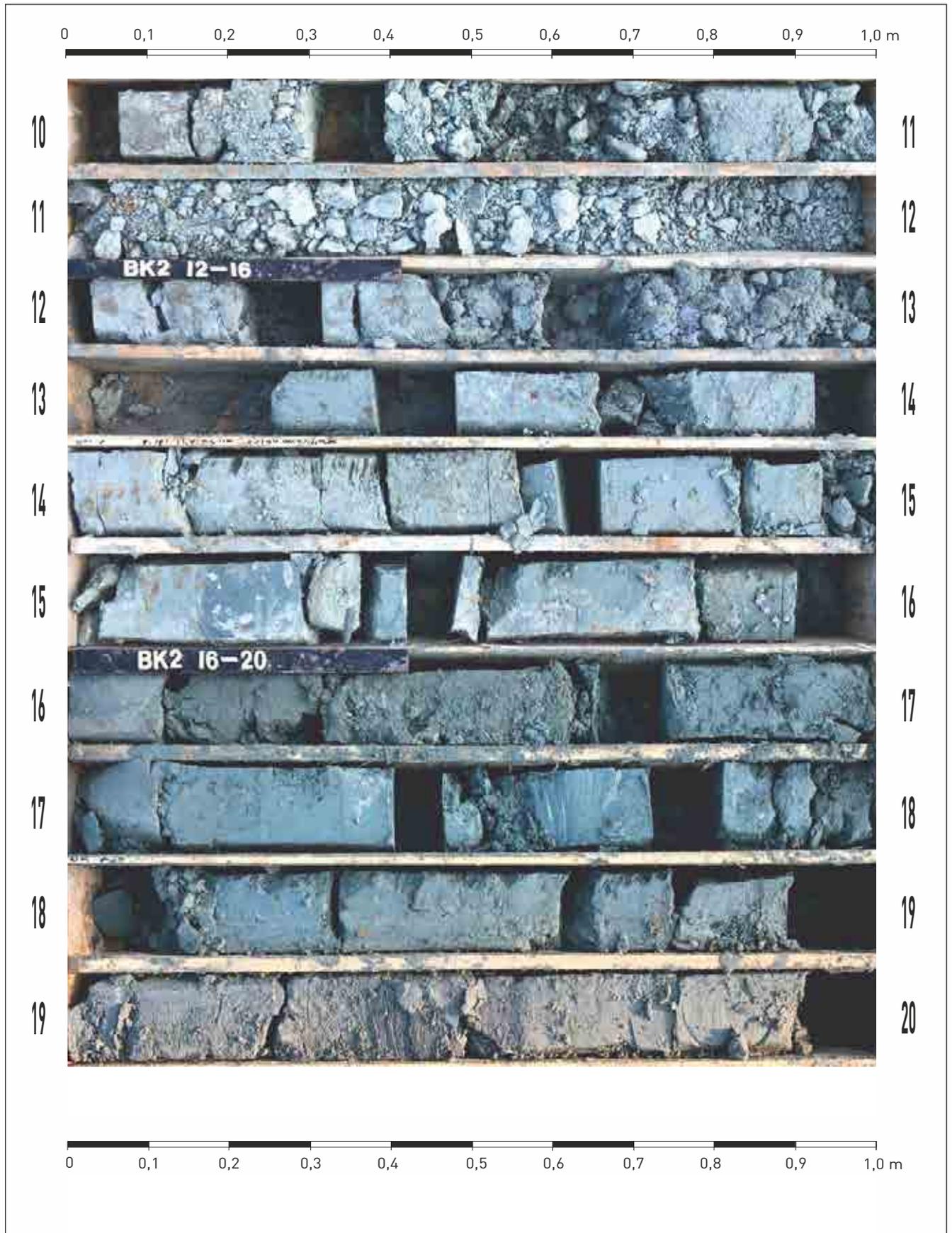


Bohrkernfotos der Kernbohrung
BK 1 GwM (10 - 20 m)

gez. AJ
gepr. PB







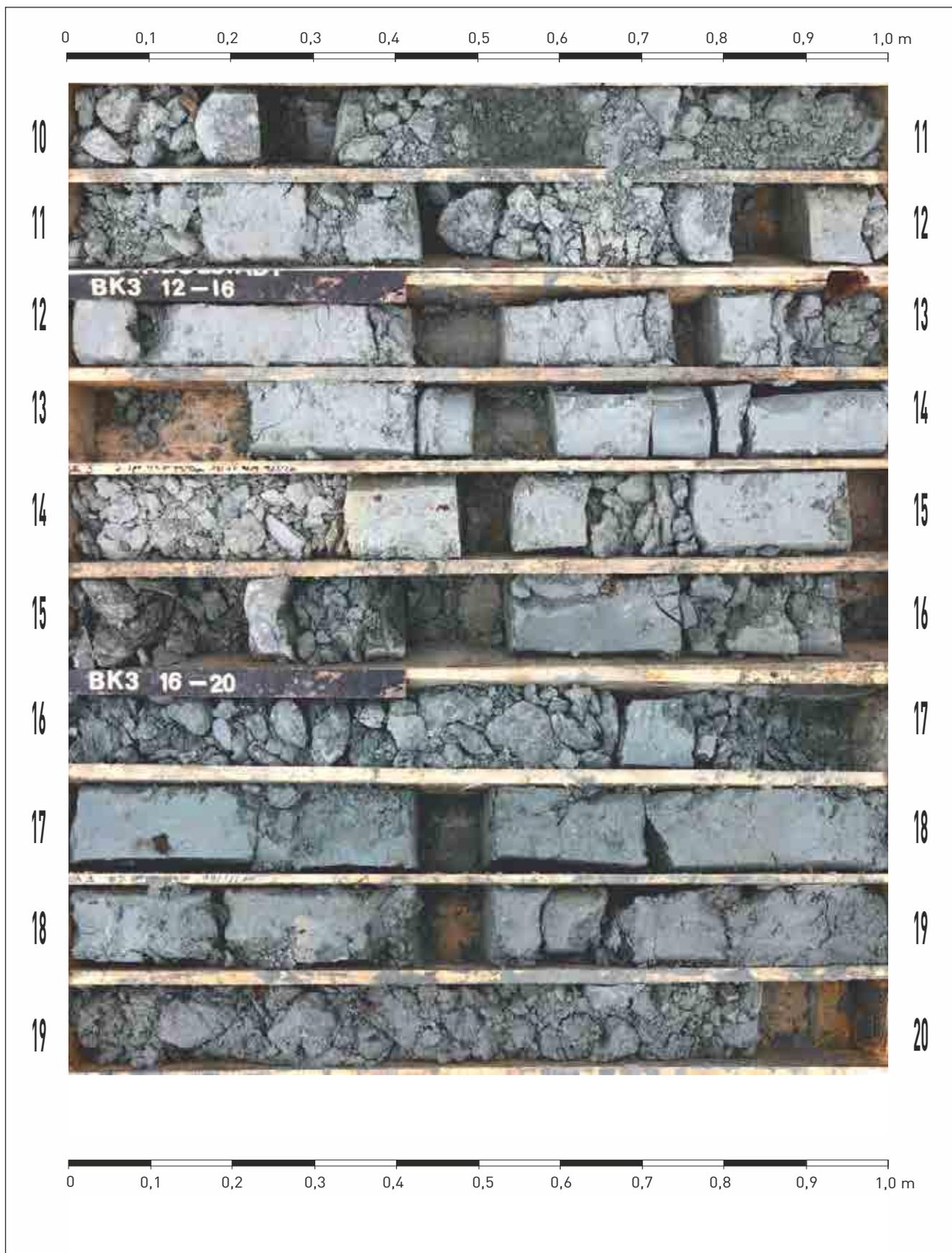
Bohrkernfotos der Kernbohrung
BK 2 GwM (10 - 20 m)

gez. AJ
gepr. PB



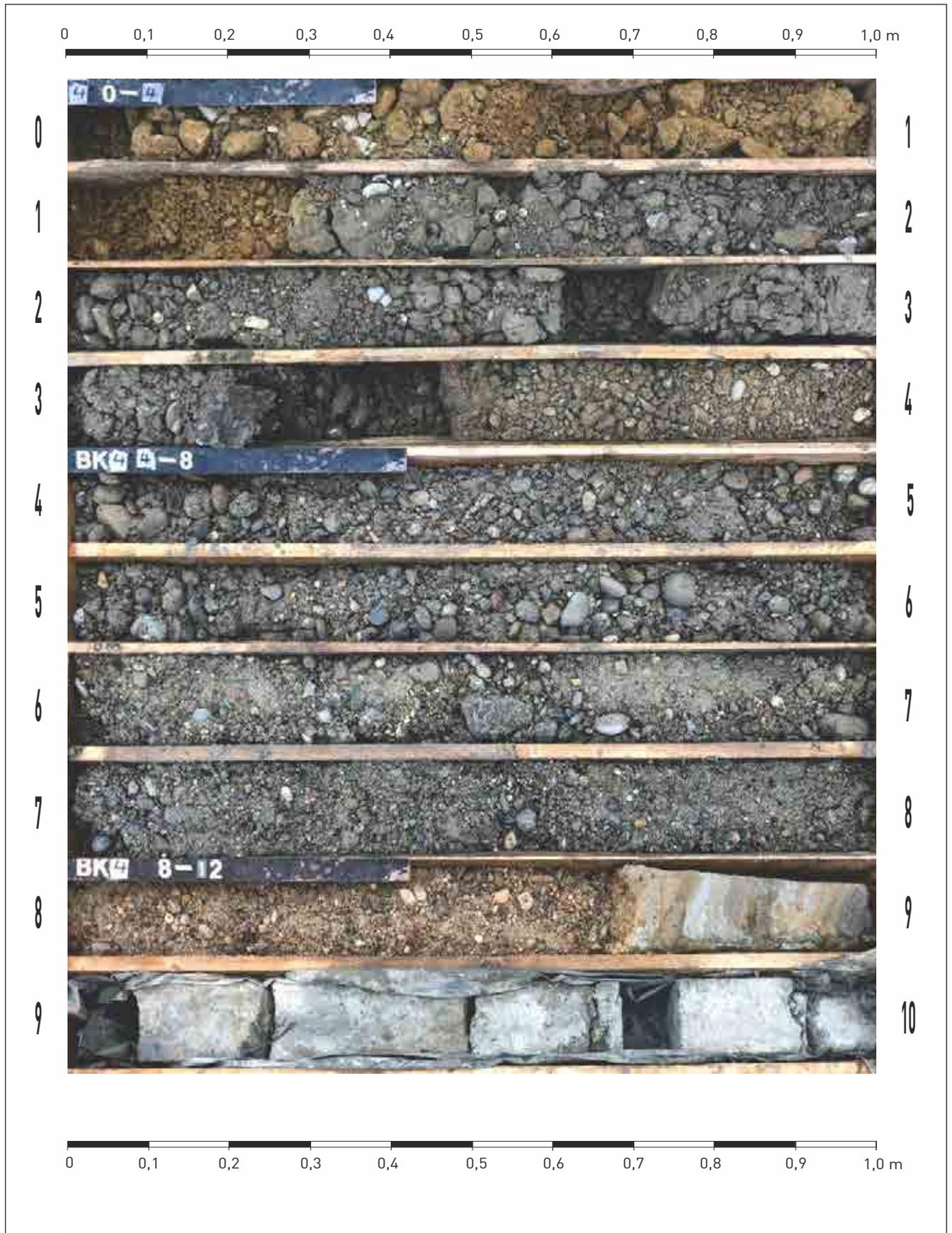
Bohrkernfotos der Kernbohrung
BK 3 GwM (0 - 10 m)

gez. AJ
gepr. PB



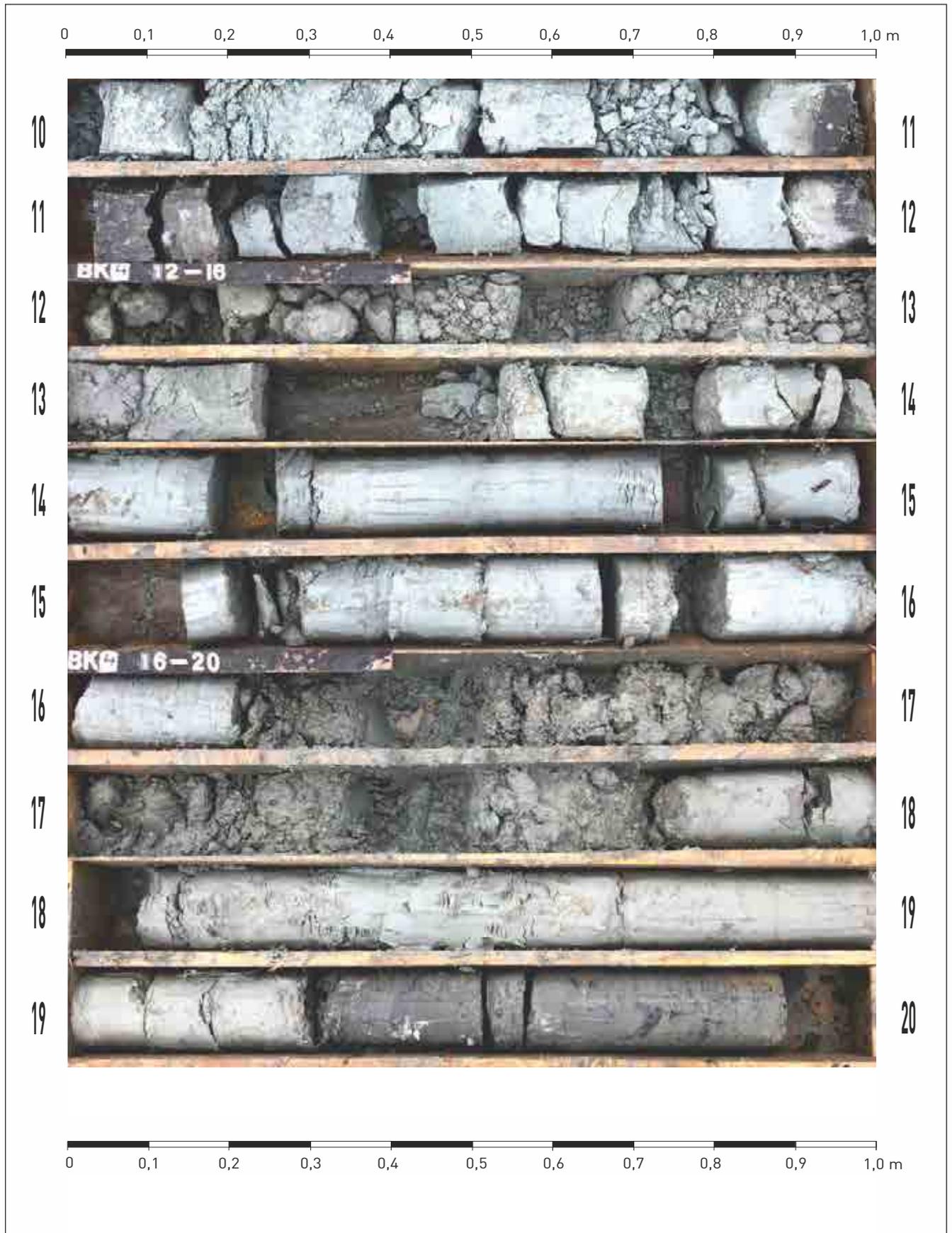
Bohrkernfotos der Kernbohrung
BK 3 GwM (10 - 20 m)

gez. AJ
gepr. PB



Bohrkernfotos der Kernbohrung
BK 4 (0 - 10 m)

gez. AJ
gepr. PB



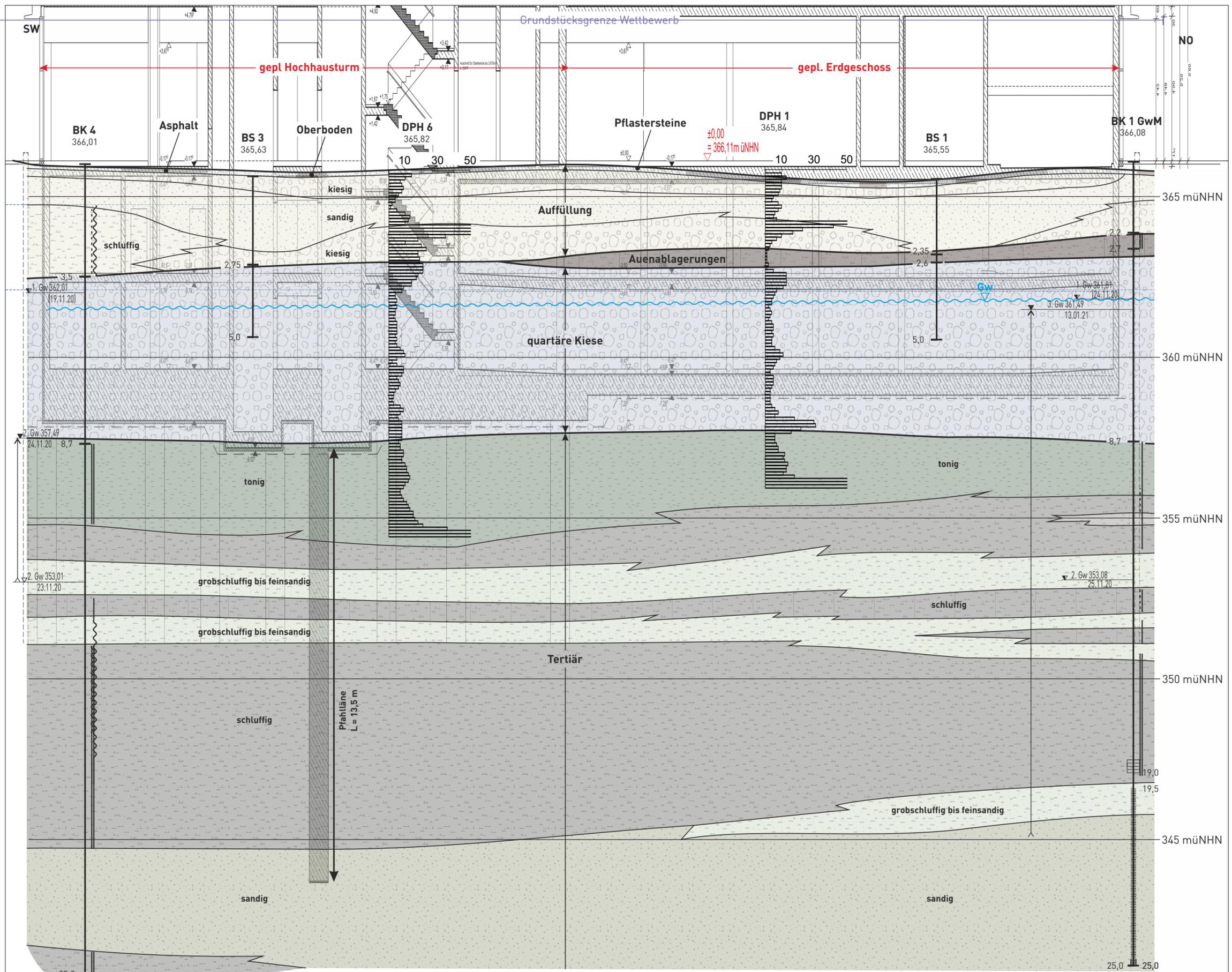
Bohrkernfotos der Kernbohrung
BK 4 (10 - 20 m)

gez. AJ
gepr. PB



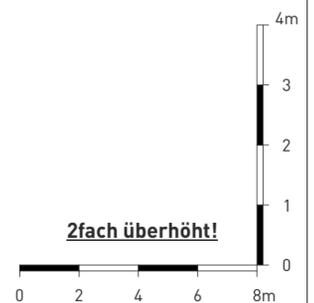
Bohrkernfotos der Kernbohrung
BK 4 (20 - 25,3 m)

gez. AJ
gepr. PB



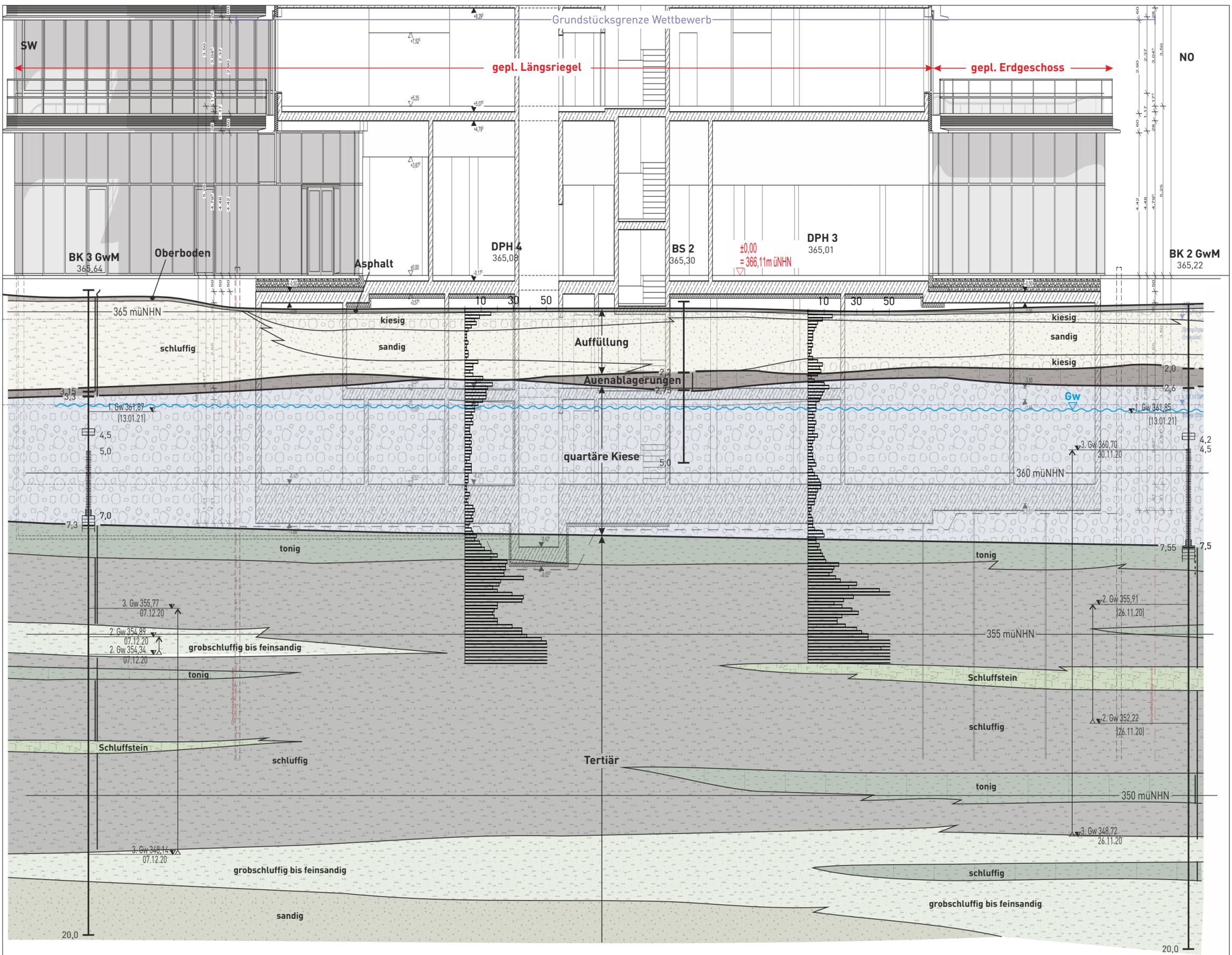
20-144 Ingolstadt, Südliche Ringstraße 64: VR-Bank Bayern Mitte
 Geotechnischer Bericht, Status 08/2021

Anlage 3.1.1
 20144hz311 / 23.08.2021



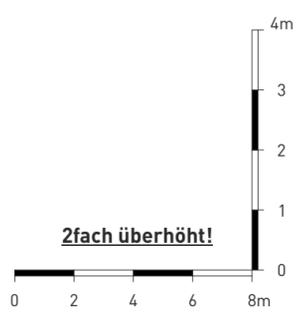
Geologischer SW-NO-Geländeschnitt 1
 [Schnittführung siehe Anlage 1.2]

gez. AJ
 gepr. PB
 Maßstab
 1:200/100



20-144 Ingolstadt, Südliche Ringstraße 64: VR-Bank Bayern Mitte
 Geotechnischer Bericht, Status 08/2021

Anlage 3.1.2
 20144hz312 / 23.08.2021



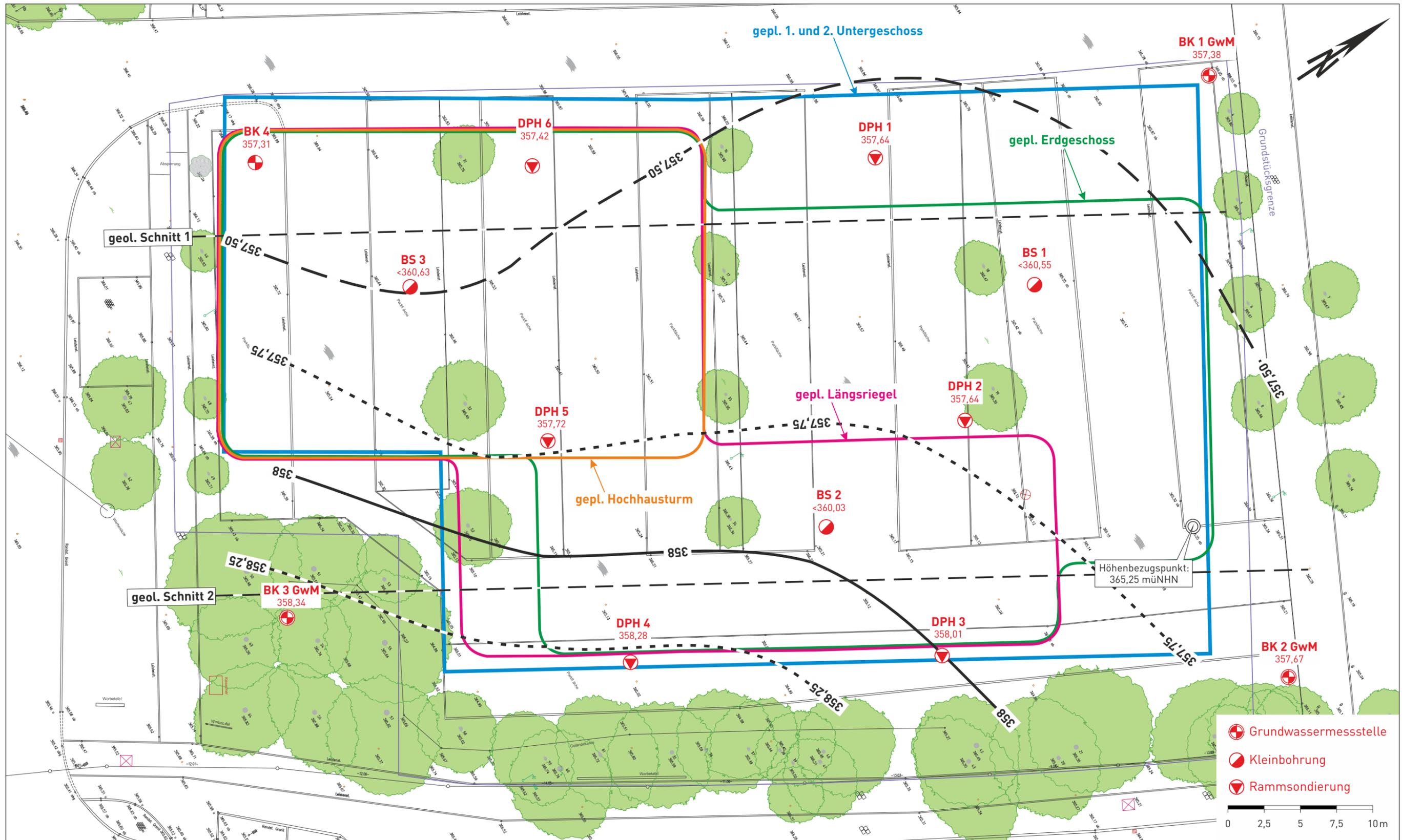
Geologischer SW-NO-Geländeschnitt 2
 [Schnittführung siehe Anlage 1.2]

gez. AJ
 gepr. PB
 Maßstab
 1:200/100



Höhenlage (müNHN) der Oberfläche der quartären Kiese

gez. AJ	Maßstab 1:250
gepr. PB	

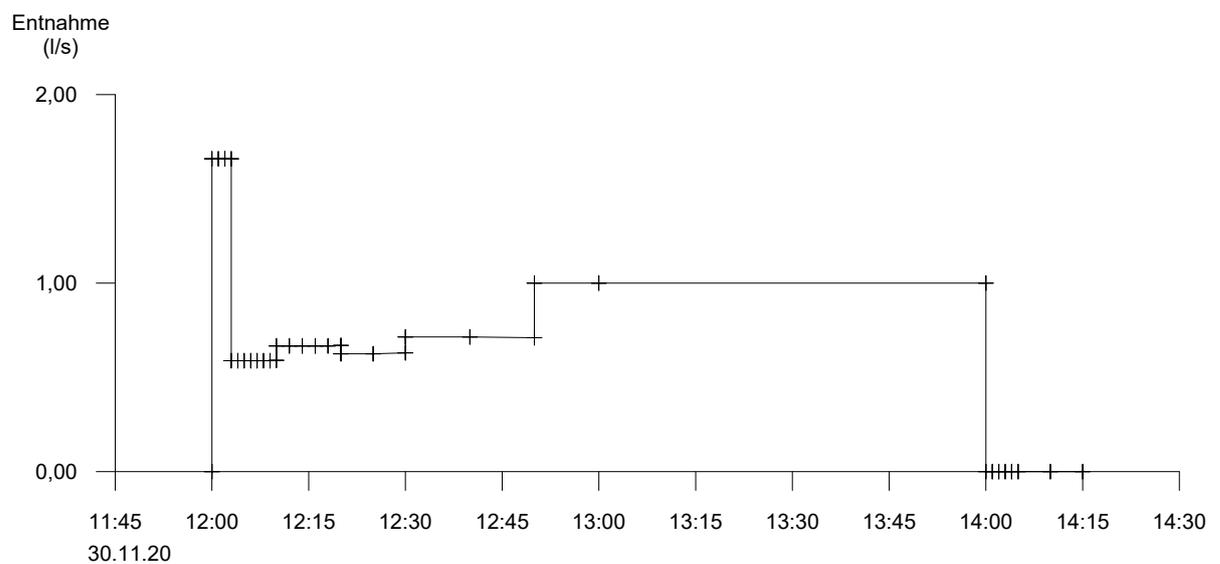
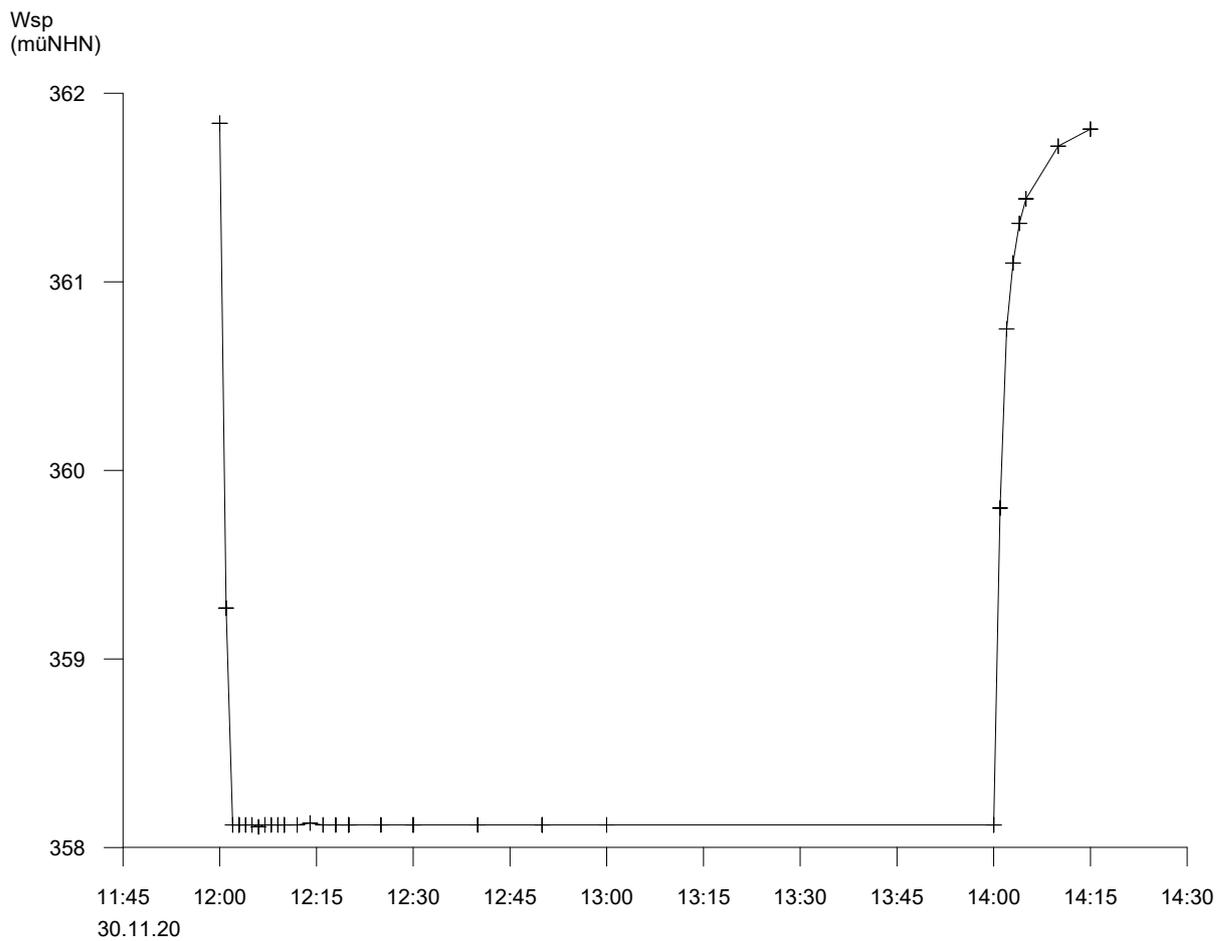


Höhenlage (müNNH) der Oberfläche des Tertiärs

- Grundwassermessstelle
- Kleinbohrung
- Rammsondierung



gez. AJ	Maßstab 1:250
gepr. PB	

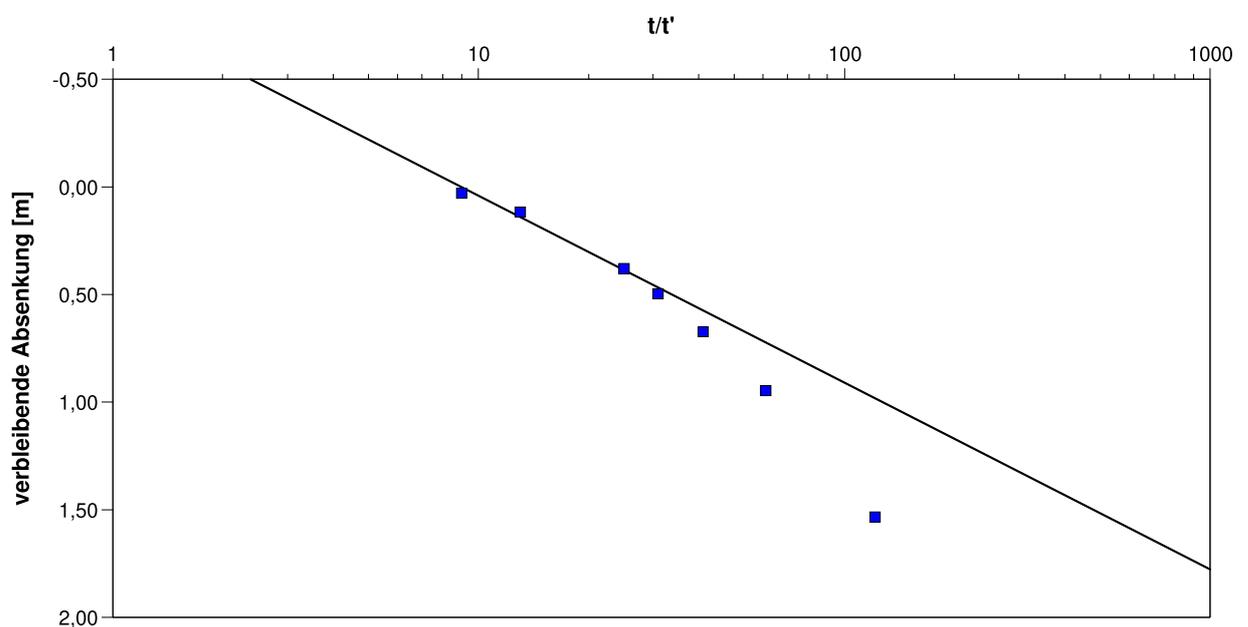


G:\s&p\AUFR20\20144\Pumpversuche\20144-BK2-PV3-WspmNN_Q.grf

Klarspülen (3. Wiederholung) in der BK 2 im Quartär:
Wasserspiegelgang und Entnahme am 30.11.20 von 12.00 Uhr bis 14.00 Uhr

gez. ks
gepr. Bü/LK

			Pumpversuchsauswertung		
			Projekt: VR-Bank Bayern Mitte		
			Projekt-Nr: 20-144		
			Auftraggeber:		
Ort: Ingolstadt, Südliche Ringstraße 64		Pumpversuch: Klarspülen (3. Wdh.)		Pumpbrunnen: BK 2 GwM (Quartär)	
Durchgeführt von: drillexpert				Versuchsdatum: 08.12.2020	
Bearbeiter: LK		Theis Wiederanstieg		Datum: 13.01.2021	
Aquifermächtigkeit: 4,10 m		Förderrate: variabel, Ø 1 [l/s]			

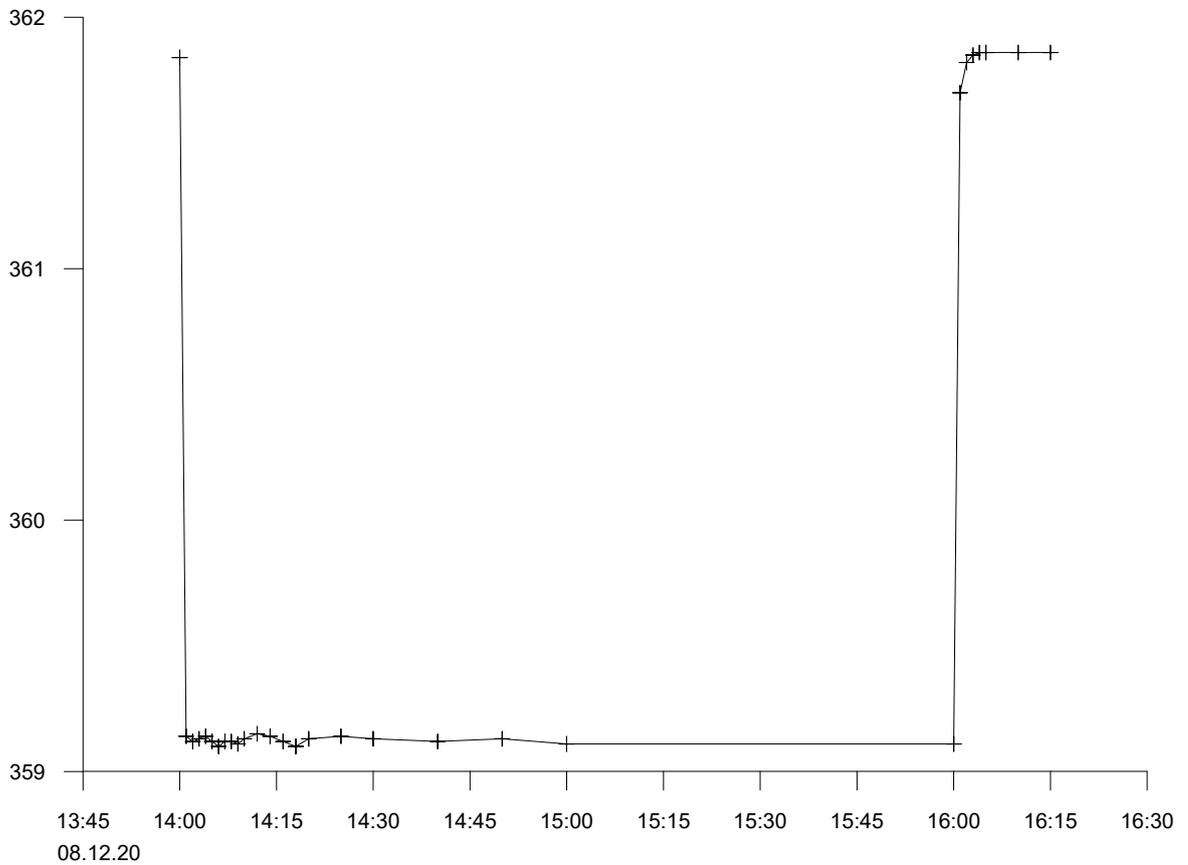


Berechnungsergebnisse nach THEIS & JACOB				
Beobachtungsbrunnen	Transmissivität [m ² /s]	Hydraul. Durchlässigkeit [m/s]	Abstand zum Pumpbr.	
BK 2 GwM (Quartär)	2,11 × 10 ⁻⁴	5,14 × 10 ⁻⁵	0,06	

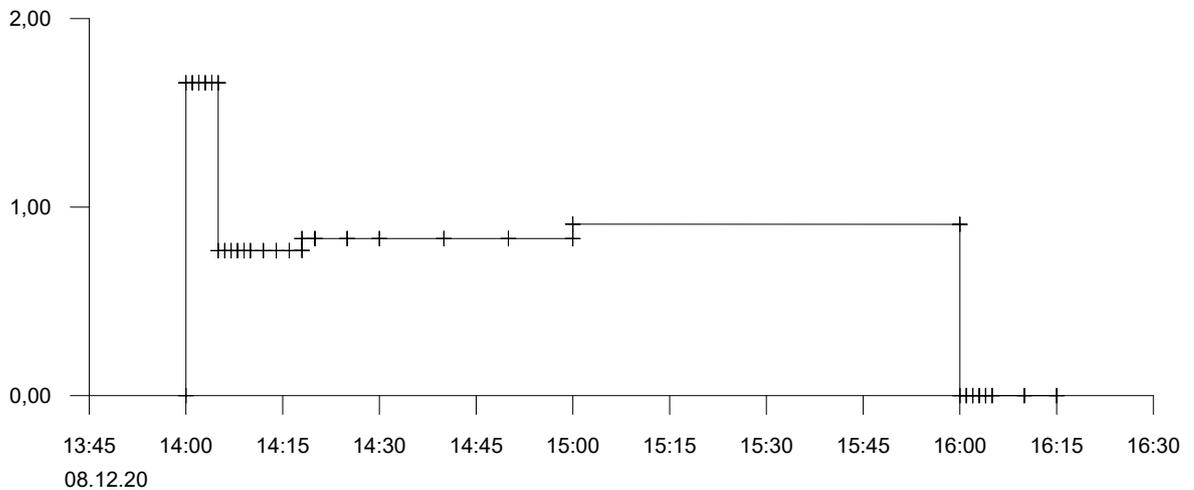
BK 2 GwM (Quartär)
Auswertung des Wiederanstiegs nach Theis

gez. AJ
gepr. LK

Wsp
(müNHN)



Entnahme
(l/s)

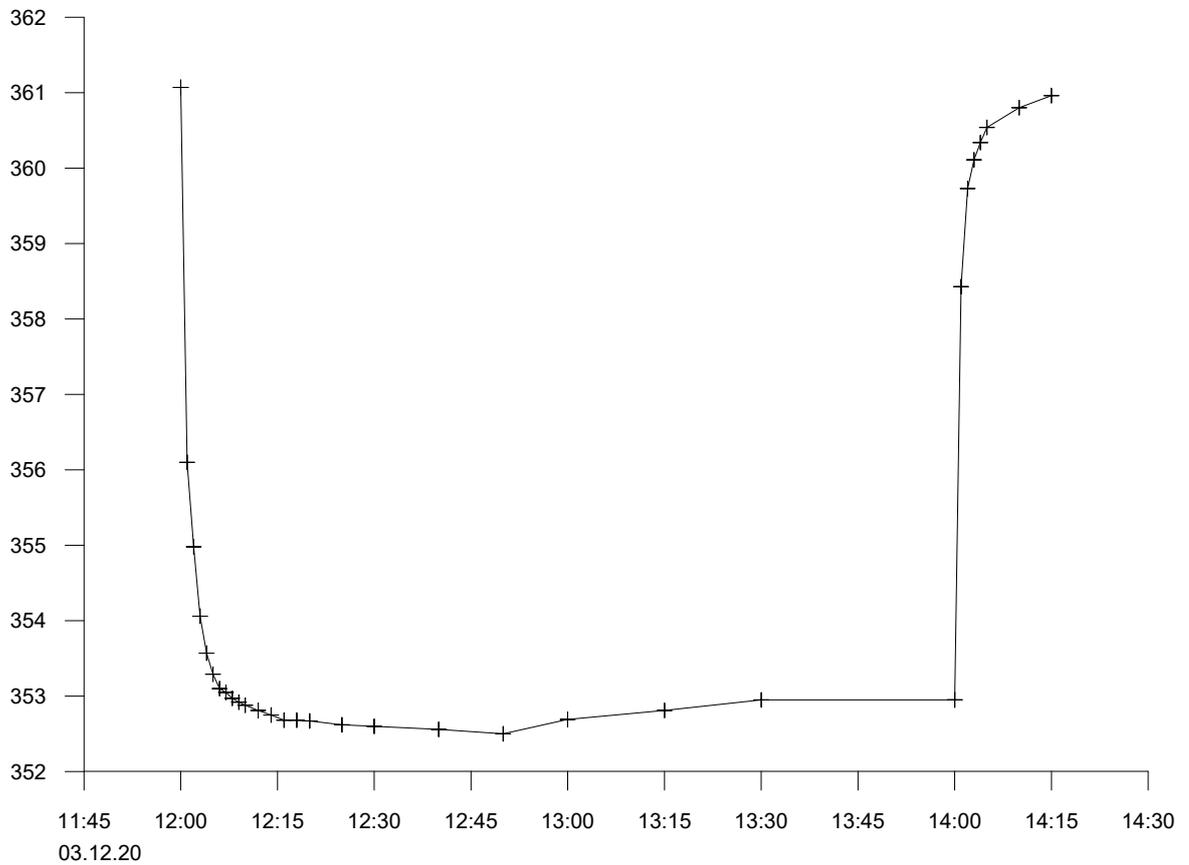


G:\s&p\AUFR20\20144\Pumpversuche\20144-BK3-PV3-WspmNN_Q.grf

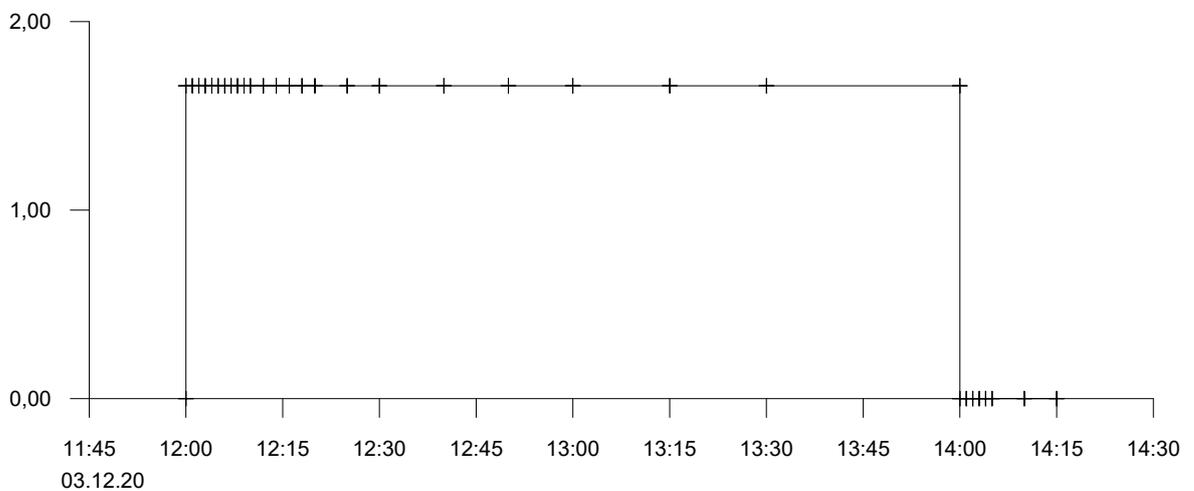
Klarspülen (3. Wiederholung) in der BK 3 im Quartär:
Wasserspiegelgang und Entnahme am 08.12.20 von 14.00 Uhr bis 16.00 Uhr

gez. ks
gepr. Bü/LK

Wsp
(müNHN)



Entnahme
(l/s)



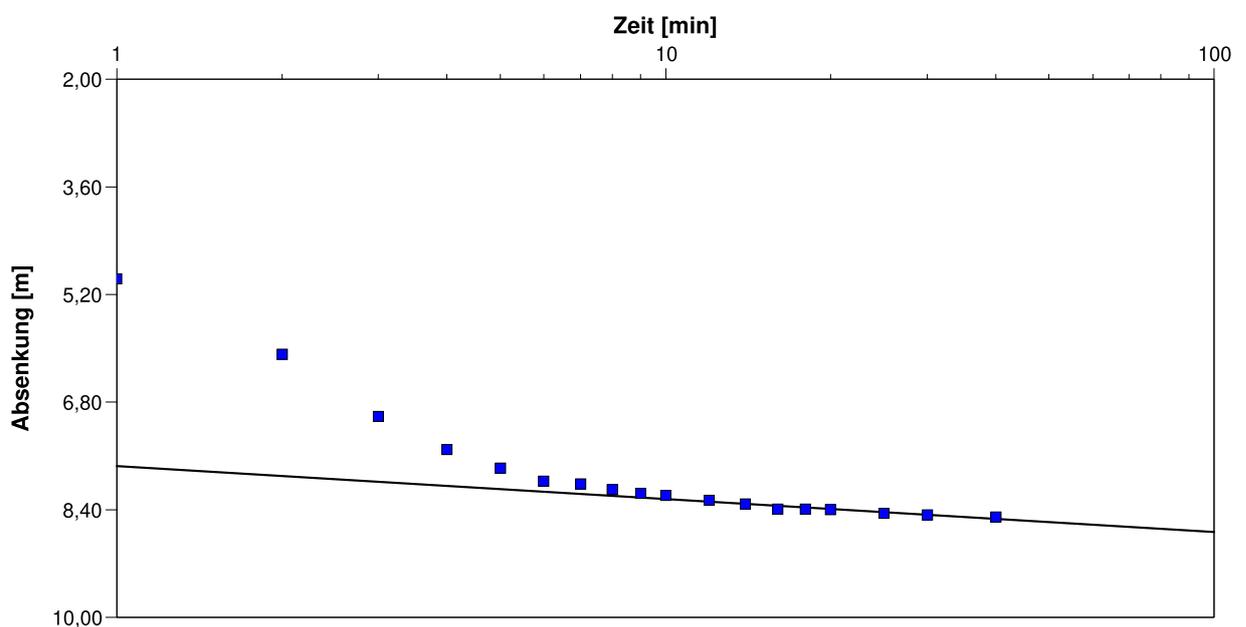
G:\s&p\AUFR20\20144\Pumpversuche\20144-BK1-PV3-WspmNN_Q.grf

Klarspülen (3. Wiederholung) in der BK 1 im Tertiär:
Wasserspiegelgang und Entnahme am 03.12.20 von 12.00 Uhr bis 14.00 Uhr

gez. ks
gepr. Bü/LK

		Pumpversuchsauswertung	
		Projekt: VR-Bank Bayern Mitte	
		Projekt-Nr: 20-144	
		Auftraggeber:	

Ort: Ingolstadt, Südliche Ringstraße 64	Pumpversuch: Klarspülen (3. Wdh.)	Pumpbrunnen: BK 1 GwM (Tertiär)
Durchgeführt von: drillexpert		Versuchsdatum: 03.12.2020
Bearbeiter: LK	Cooper & Jacob I	Datum: 13.01.2021
Aquifermächtigkeit: 5,90 m	Förderrate: variabel, Ø 1,66 [l/s]	

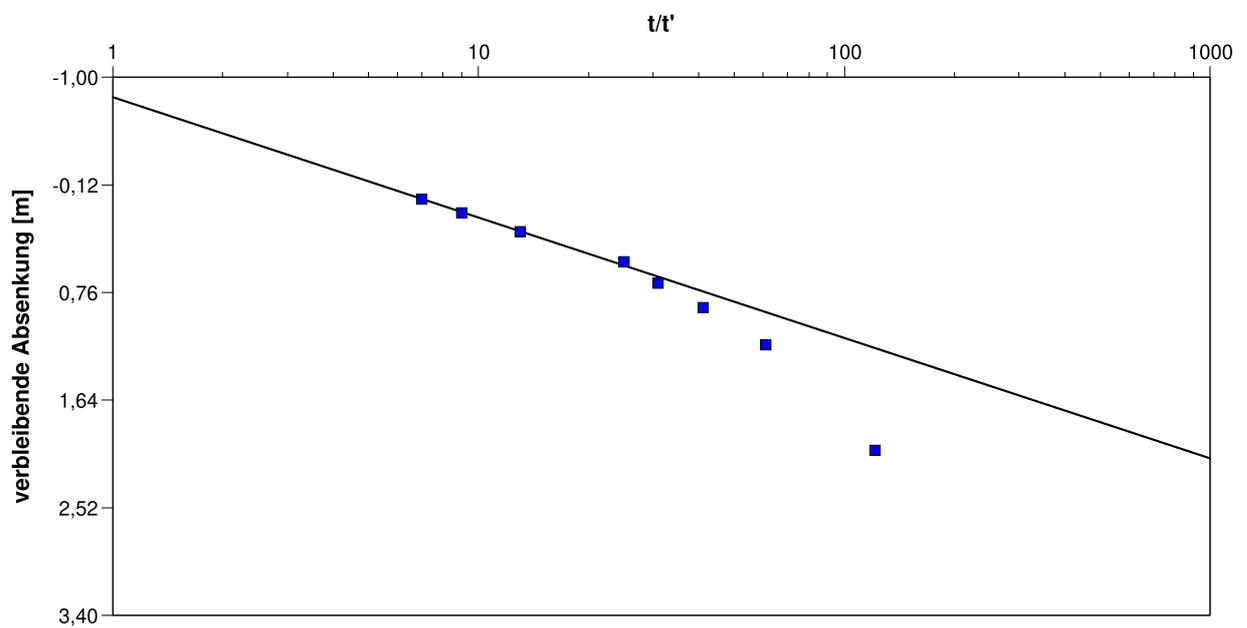


Berechnungsergebnisse nach COOPER & JACOB					
Beobachtungsbrunnen	Transmissivität [m ² /s]	Hydraul. Durchlässigkeit [m/s]	Speicherkoeffizient	Abstand zum Pumpbr.	
BK 1 GwM (Tertiär)	$6,21 \times 10^{-4}$	$1,05 \times 10^{-4}$	$3,13 \times 10^{-15}$	0,06	

BK 1 GwM (Tertiär)
Auswertung der Absenkung nach Cooper & Jacob I

gez. AJ
gepr. LK

			Pumpversuchsauswertung		
			Projekt: VR-Bank Bayern Mitte		
			Projekt-Nr: 20-144		
			Auftraggeber:		
Ort: Ingolstadt, Südliche Ringstraße 64		Pumpversuch: Klarspülen (3. Wdh.)		Pumpbrunnen: BK 1 GwM (Tertiär)	
Durchgeführt von: drillexpert				Versuchsdatum: 03.12.2020	
Bearbeiter: LK		Theis Wiederanstieg		Datum: 13.01.2021	
Aquifermächtigkeit: 5,90 m		Förderrate: variabel, Ø 1,66 [l/s]			

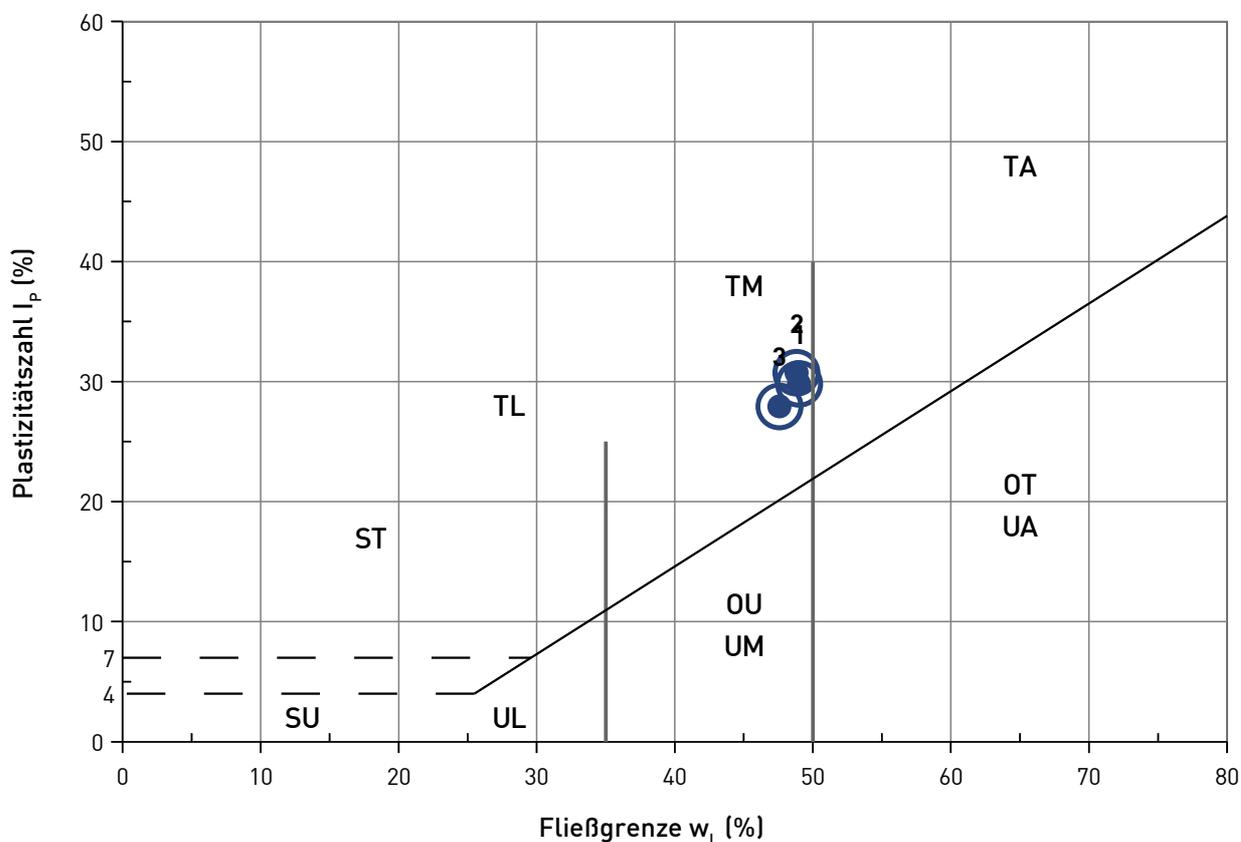


Berechnungsergebnisse nach THEIS & JACOB				
Beobachtungsbrunnen	Transmissivität [m ² /s]	Hydraul. Durchlässigkeit [m/s]	Abstand zum Pumpbr.	
BK 1 GwM (Tertiär)	3,09 × 10 ⁻⁴	5,24 × 10 ⁻⁵	0,06	

BK 1 GwM (Tertiär)
Auswertung des Wiederanstiegs nach Theis

gez. AJ
gepr. LK

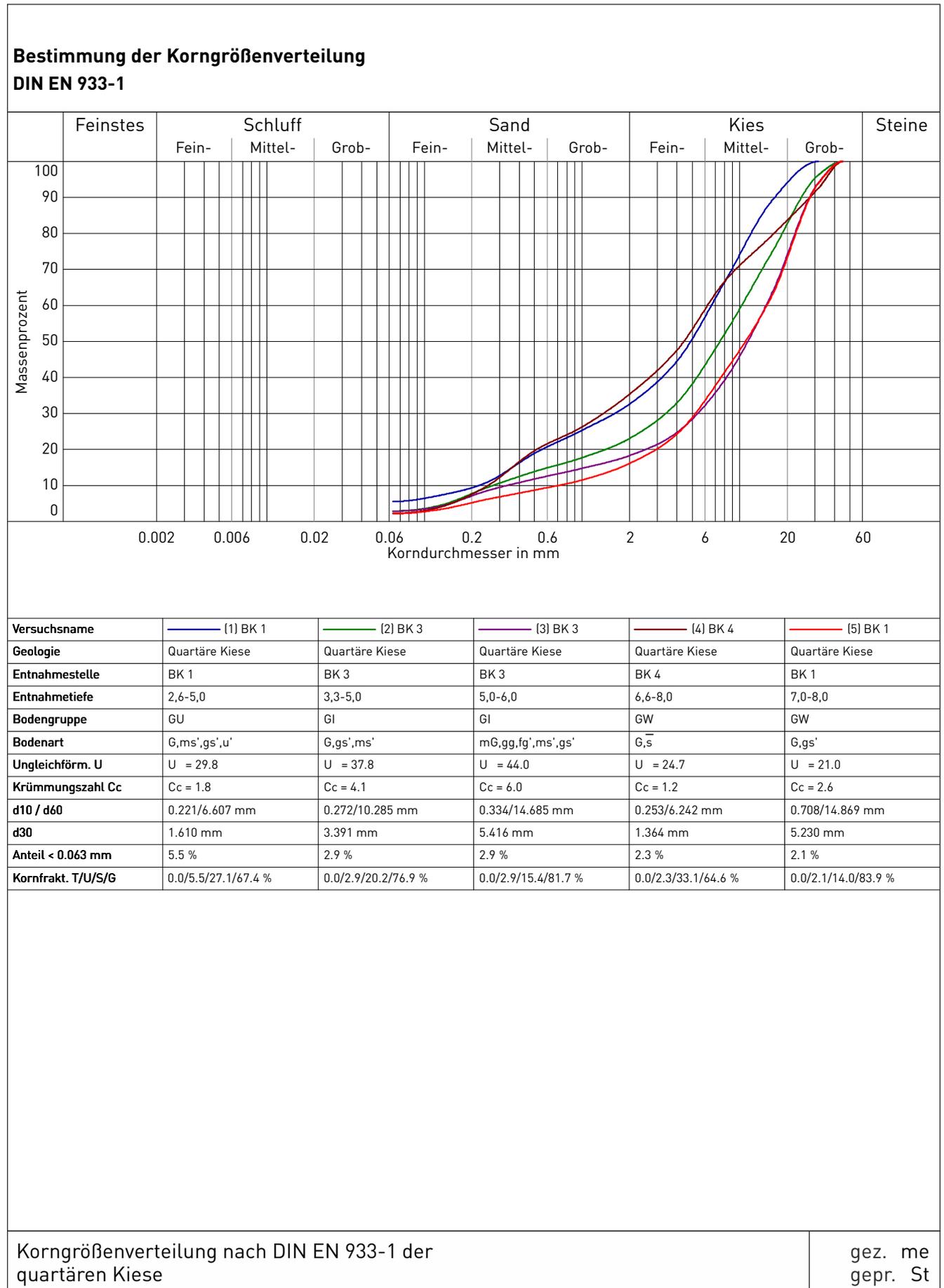
Zustandsgrenzen nach DIN EN ISO 17892-12

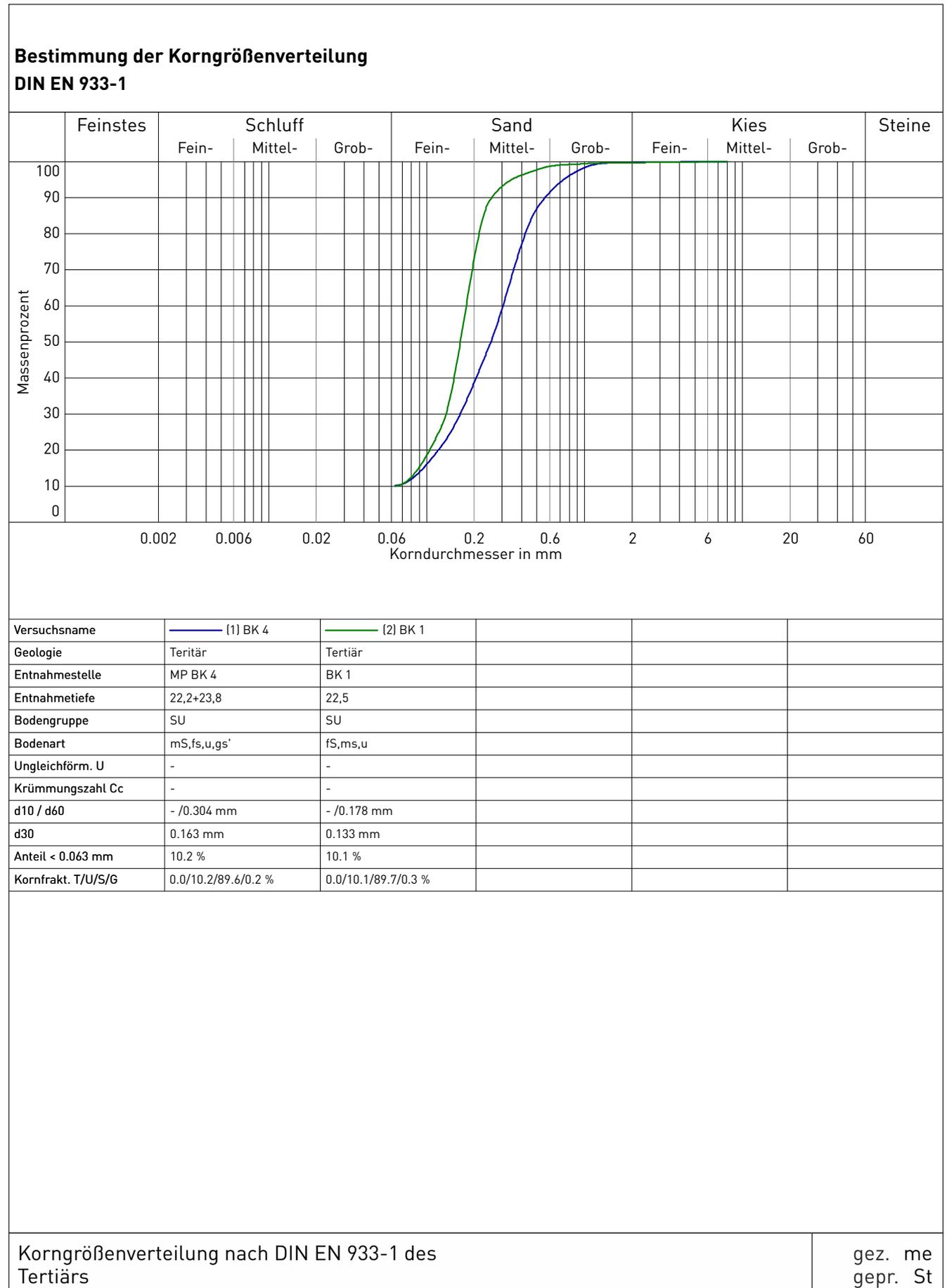


Probe Nr.		1	2	3
Aufschluss		BK 1	BK 2	BK 3
Entnahmetiefe	(m u. Gel.)	13,08 bis 13,15	13,0 bis 13,3	13,0 bis 13,3
Bodenart		gU, t, fs	U, t, fs'	gU, t
Geologie		Tertiär	Tertiär	Tertiär
Natürl. Wassergehalt	w_n (%)	22,2	21,9	25,7
Überkorn	\ddot{u} (%)	0,0	0,0	0,0
Wassergehalt Matrix	$w_{<0,4}$ (%)	22,2	21,9	25,7
Fließgrenze	w_L (%)	49,0	48,8	47,6
Ausrollgrenze	w_P (%)	19,2	18,1	19,6
Plastizitätszahl	I_p (%)	29,8	30,7	27,9
Konsistenzzahl	I_c (-)	0,90	0,88	0,78
Konsistenz		steif	steif	steif

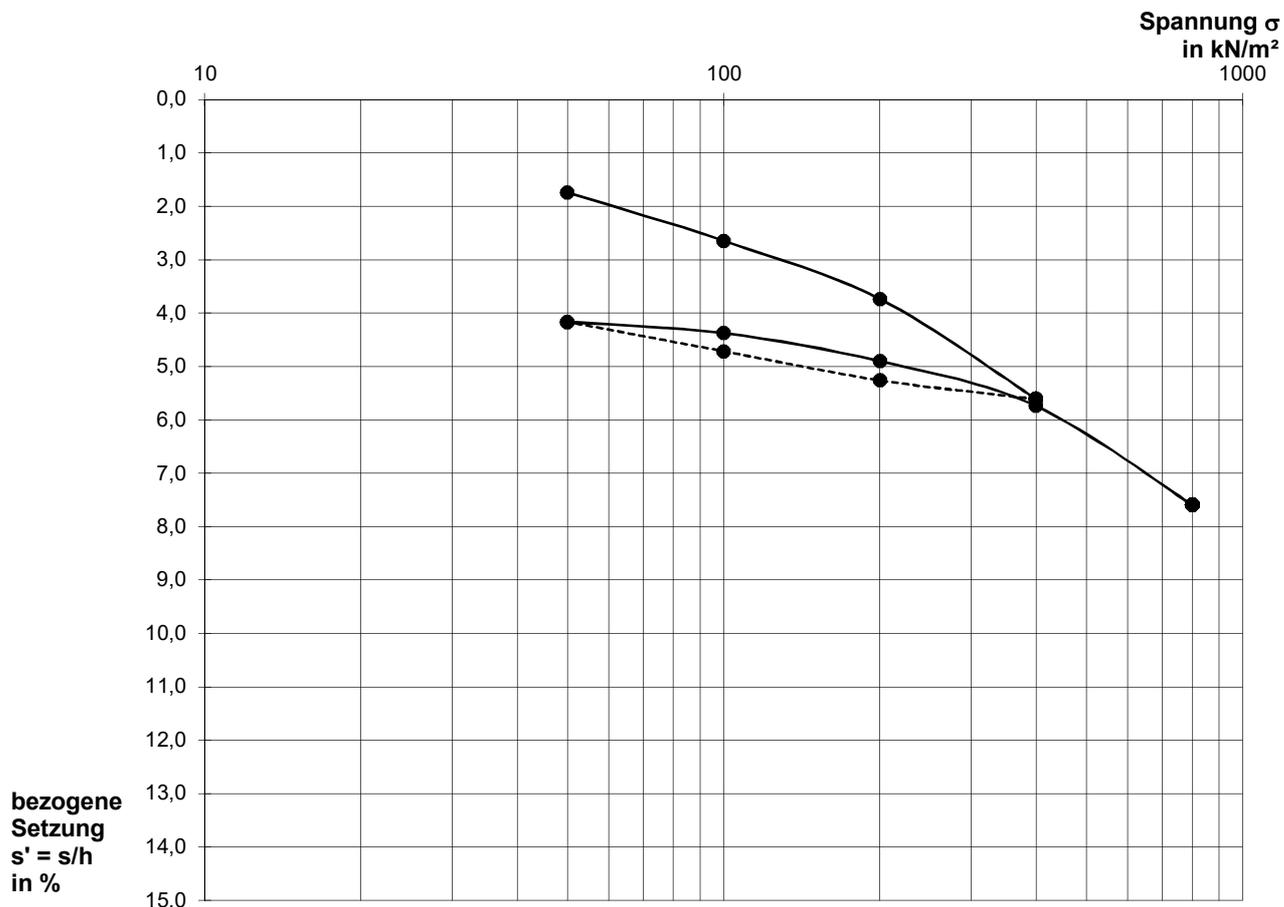
Bodenklassifikation nach DIN 18196:

SU Sand-Schluff-Gemisch	TL Ton, leichtplastisch	OU Schluffe mit organischen Beimengungen oder organogene Schluffe
ST Sand-Ton-Gemisch	TM Ton, mittelplastisch	OT Tone mit organischen Beimengungen oder organogene Tone
UL Schluff, leichtplastisch	TA Ton, ausgeprägt plastisch	
UM Schluff, mittelplastisch		
UA Schluff, ausgeprägt zusammendrückbar		





ausgeführt durch:	hv	Aufschluß:	BK 1
Datum:	18.12.20	Entnahmetiefe:	13,08 - 13,15
geprüft durch:	Ju/St	Bodenart:	gU,t,fs
disk/file:	G:\s&p\AUFT20\20144\Labor\Oer	Geologie:	Tertiär



Einbau (Vorlast 50 kPa):

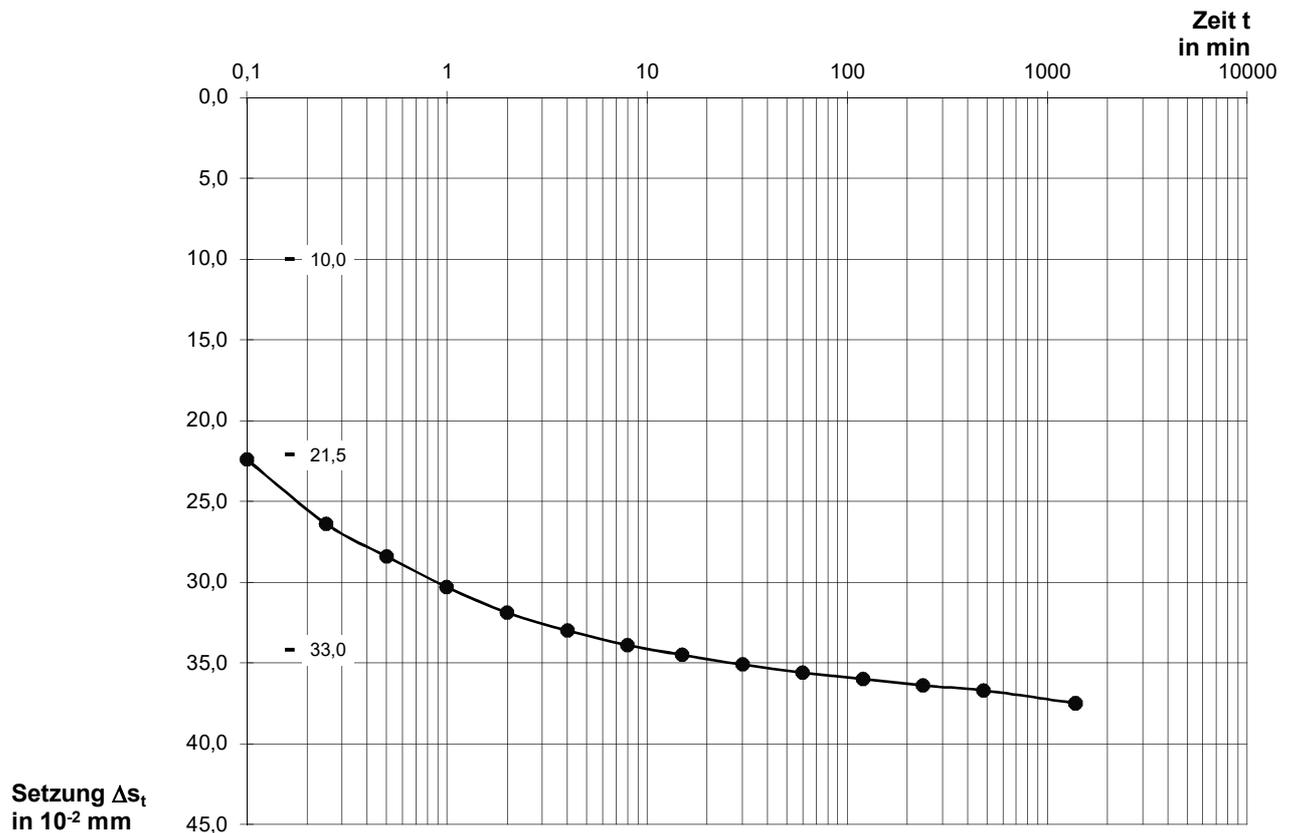
Probendurchmesser	d =	75 mm
Probenhöhe	$h_0 =$	20 mm
Einbauwassergehalt	w =	22,2 %
Dichte	r =	1,986 g/cm ³
Trockendichte	$r_d =$	1,625 g/cm ³
Korndichte	$r_s =$	2,67 g/cm ³
Porenzahl	e =	0,643
Porenanteil	n =	0,391
Sättigungsgrad	$S_r =$	92 %

Spannung in kN/m ²	Steifemodul E_s in MN/m ²	
	Erst- belastung	Wieder- belastung
50-100	4,6	
100-200	5,9	19,0
200-400	13,9	23,8
400-800	21,6	

Ausbau:

Ausbauwassergehalt	w =	28,9 %
--------------------	-----	--------

ausgeführt durch:	hv	Aufschluß:	BK 1
Datum:	18.12.20	Entnahmetiefe:	13,08 - 13,15
geprüft durch:	Ju/St	Bodenart:	gU,t,fs
disk/file:	G:\s&p\AUFT20\20144\Labor\Oed Geologie:		Tertiär



Spannungsstufe $s = 400 \text{ kN/m}^2$
 Probenhöhe $h = 19,25 \text{ mm}$
 Steifemodul $E_s = 13,9 \text{ MN/m}^2$
 (bei $s = 200-400 \text{ kN/m}^2$)

Konsolidierungsbeiwert

$$c_v = \frac{0,197 \cdot h^2}{4 \cdot t_{50}} = 1,52 \text{ E-05 m}^2/\text{s}$$

Probe beidseitig entwässert

Auswertung: $\Delta s_0 = 10,0 \times 10^{-2} \text{ mm}$
 $\Delta s_{50} = 21,5 \times 10^{-2} \text{ mm}$
 $\Delta s_{100} = 33,0 \times 10^{-2} \text{ mm}$
 $\Delta s_{\text{max}} = 37,5 \times 10^{-2} \text{ mm}$
 $t_{50} = 0,02 \text{ min}$

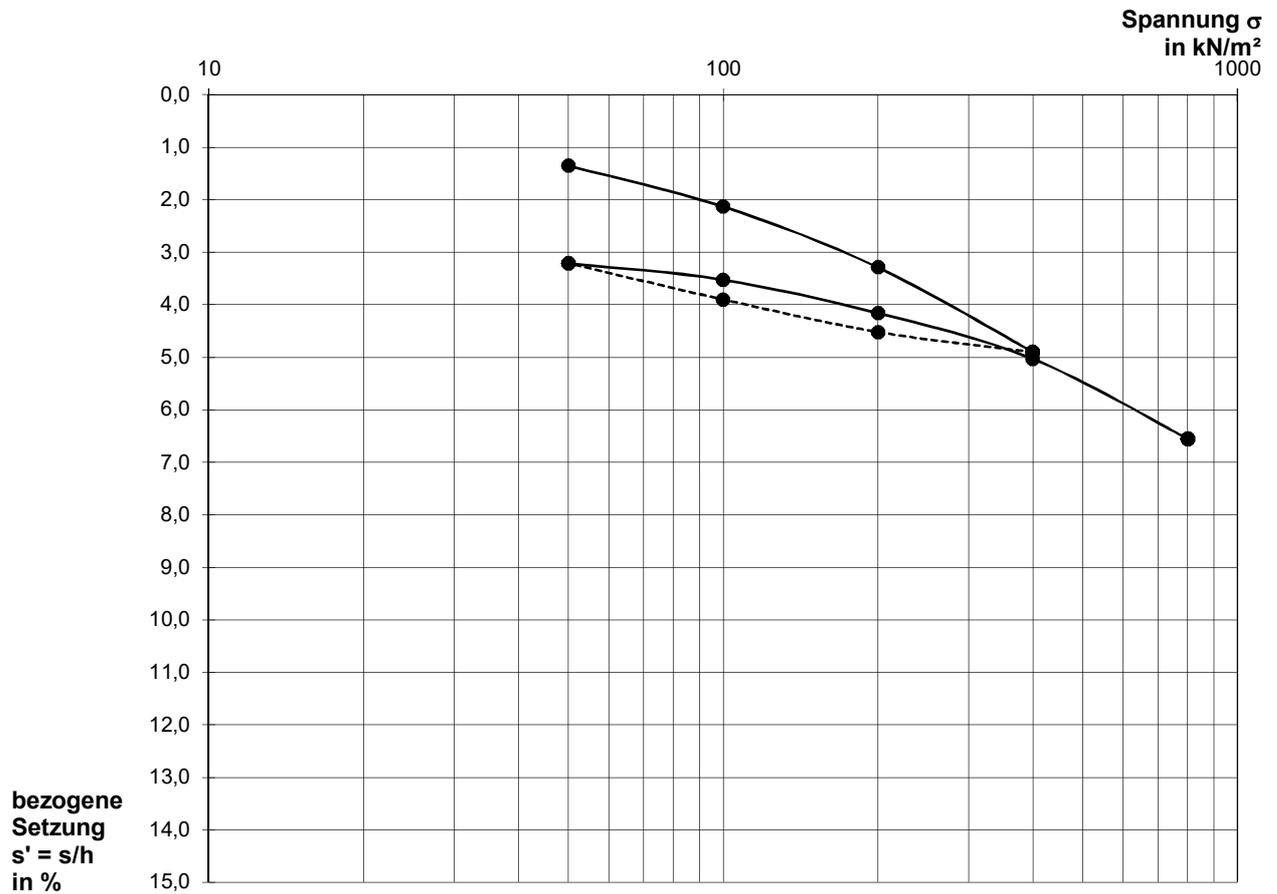
Durchlässigkeitsbeiwert

$$k = 0,05 \cdot \frac{\gamma_w \cdot h^2}{E_s \cdot t_{50}} = 1,11 \text{ E-08 m/s}$$

Oedometerversuch, Zeit-Setzungs-Diagramm nach Casagrande
 Tertiär; BK 1: 13,08 - 13,15

Anlage
 5.3.1b

ausgeführt durch:	hv	Aufschluß:	BK 2
Datum:	18.12.20	Entnahmetiefe:	13,00 - 13,10
geprüft durch:	Ju/St	Bodenart:	U,t,fs'
disk/file:	G:\s&p\AUFT20\20144\Labor\Oer	Geologie:	Tertiär



Einbau (Vorlast 50 kPa):

Probendurchmesser	d =	75 mm
Probenhöhe	$h_0 =$	20 mm
Einbauwassergehalt	w =	21,9 %
Dichte	r =	1,935 g/cm ³
Trockendichte	$r_d =$	1,588 g/cm ³
Korndichte	$r_s =$	2,67 g/cm ³
Porenzahl	e =	0,682
Porenanteil	n =	0,405
Sättigungsgrad	$S_r =$	86 %

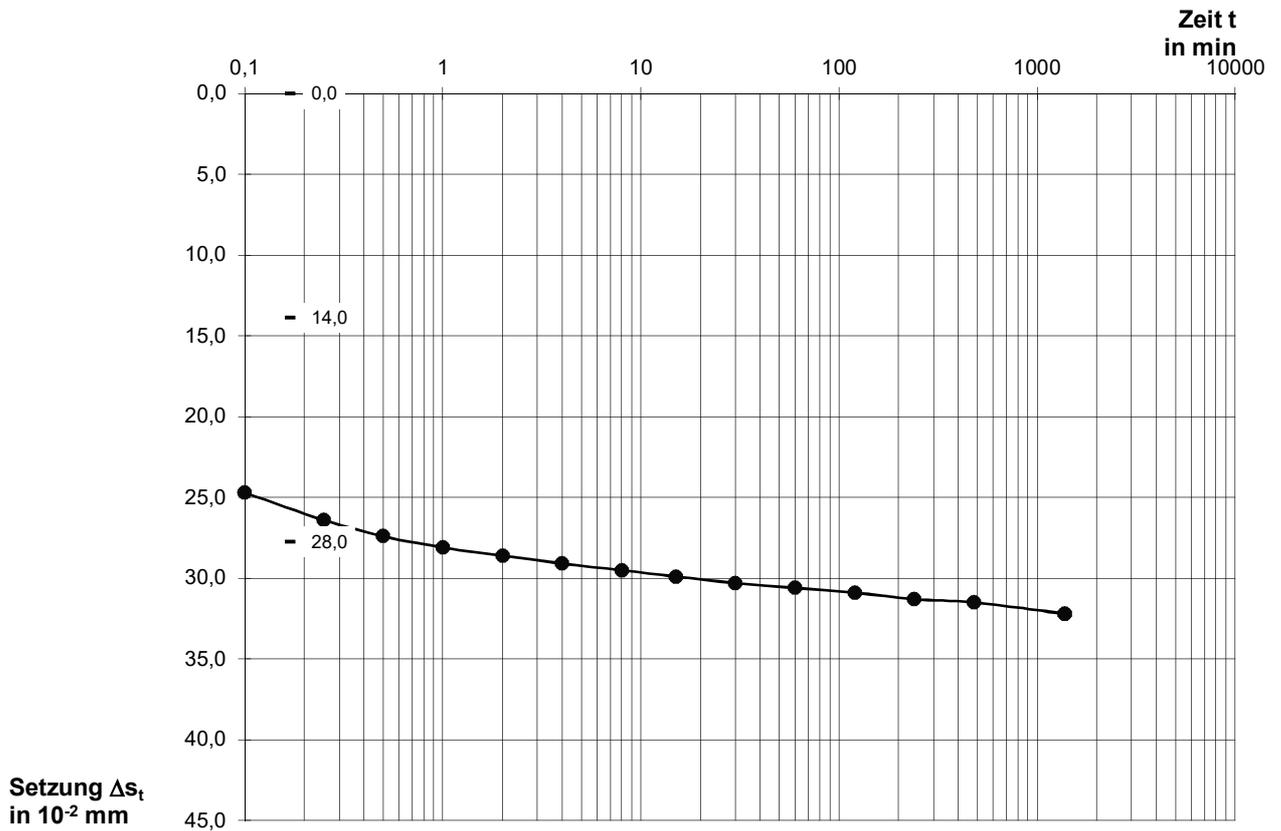
Spannung in kN/m ²	Steifemodul E_s in MN/m ²	
	Erst- belastung	Wieder- belastung
50-100	5,4	
100-200	6,8	15,7
200-400	14,5	23,0
400-800	26,3	

Ausbau:
Ausbauwassergehalt w = 20,2 %

Oedometerversuch, Spannungs-Setzungs-Diagramm
Tertiär; BK 2: 13,00 - 13,10

Anlage
5.3.2a

ausgeführt durch:	hv	Aufschluß:	BK 2
Datum:	18.12.20	Entnahmetiefe:	13,00 - 13,10
geprüft durch:	Ju/St	Bodenart:	U,t,fs'
disk/file:	G:\s&p\AUFT20\20144\Labor\Oed Geologie:		Tertiär



Spannungsstufe $s = 400 \text{ kN/m}^2$
 Probenhöhe $h = 19,34 \text{ mm}$
 Steifemodul $E_s = 14,5 \text{ MN/m}^2$
 (bei $s = 200-400 \text{ kN/m}^2$)

Konsolidierungsbeiwert

$$c_v = \frac{0,197 \cdot h^2}{4 \cdot t_{50}} = 1,54 \text{ E-05 m}^2/\text{s}$$

Probe beidseitig entwässert

Auswertung: $\Delta s_0 = 0,0 \times 10^{-2} \text{ mm}$
 $\Delta s_{50} = 14,0 \times 10^{-2} \text{ mm}$
 $\Delta s_{100} = 28,0 \times 10^{-2} \text{ mm}$
 $\Delta s_{\text{max}} = 32,2 \times 10^{-2} \text{ mm}$
 $t_{50} = 0,02 \text{ min}$

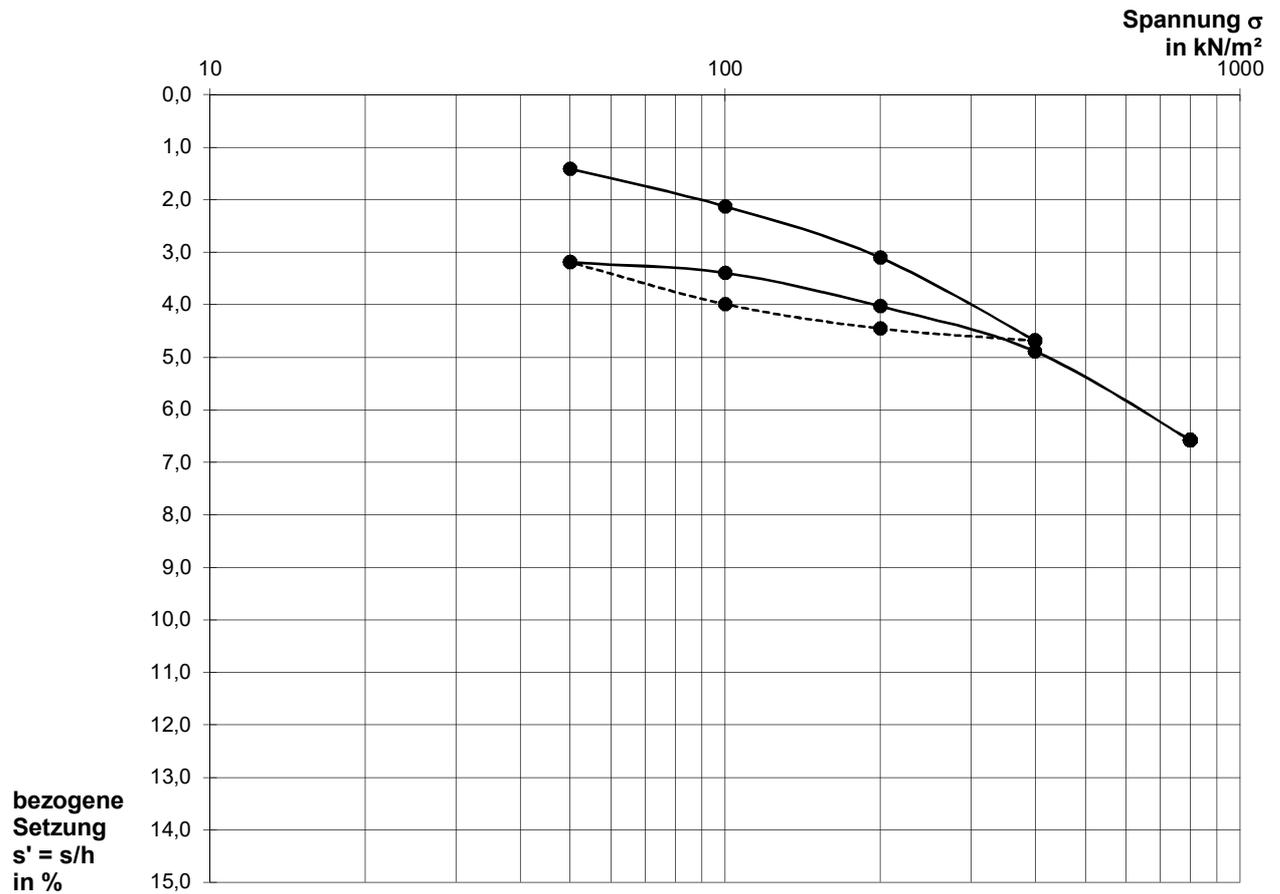
Durchlässigkeitsbeiwert

$$k = 0,05 \cdot \frac{\gamma_w \cdot h^2}{E_s \cdot t_{50}} = 1,08 \text{ E-08 m/s}$$

Oedometersversuch, Zeit-Setzungs-Diagramm nach Casagrande
 Tertiär; BK 2: 13,00 - 13,10

Anlage
 5.3.2b

ausgeführt durch:	hv	Aufschluß:	BK 3
Datum:	18.12.20	Entnahmetiefe:	13,20 - 13,30
geprüft durch:	Ju/St	Bodenart:	gU,t'
disk/file:	G:\s&p\AUFT20\20144\Labor\Oer	Geologie:	Tertiär



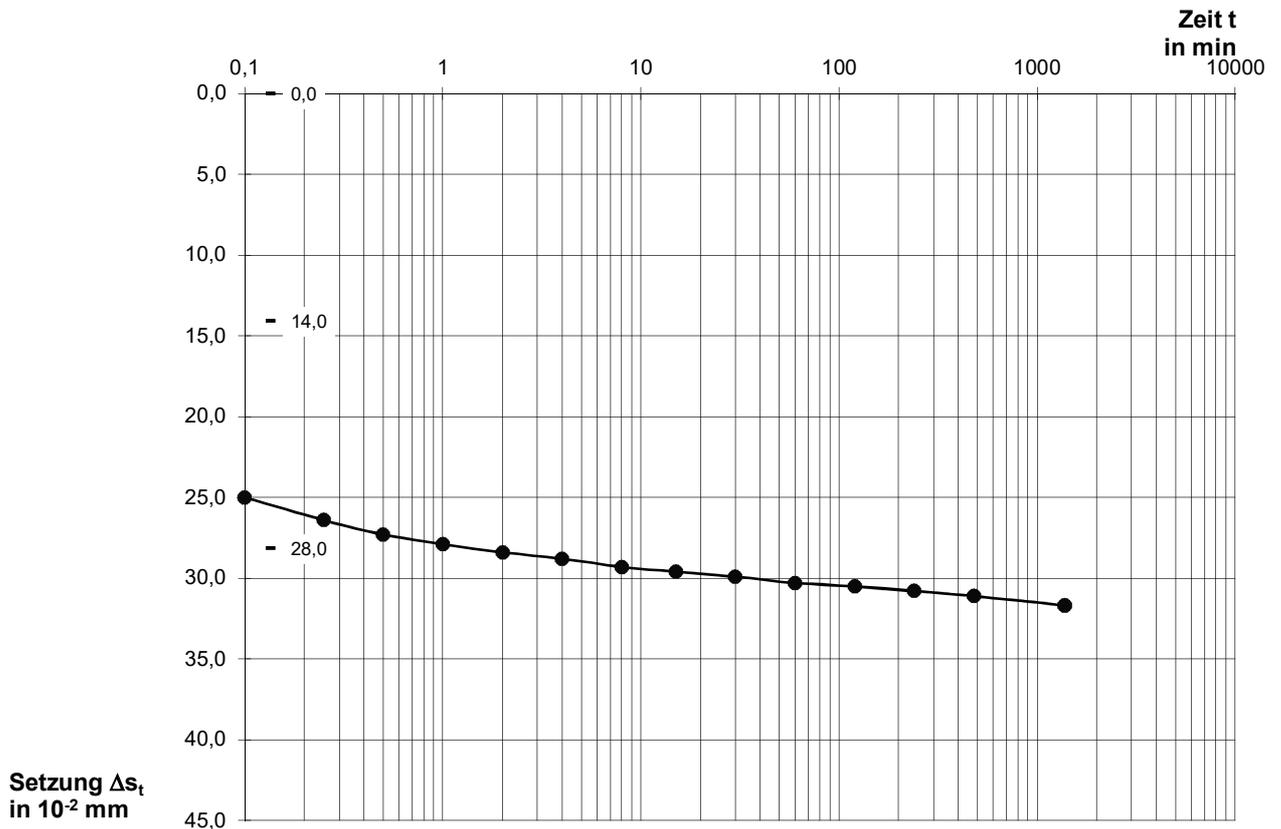
Einbau (Vorlast 50 kPa):

Probendurchmesser	d = 75 mm
Probenhöhe	$h_0 = 20$ mm
Einbauwassergehalt	w = 25,7 %
Dichte	$r = 1,879$ g/cm ³
Trockendichte	$r_d = 1,495$ g/cm ³
Korndichte	$r_s = 2,67$ g/cm ³
Porenzahl	e = 0,786
Porenanteil	n = 0,440
Sättigungsgrad	$S_r = 87$ %

Spannung in kN/m ²	Steifemodul E_s in MN/m ²	
	Erst- belastung	Wieder- belastung
50-100	5,6	
100-200	7,1	15,7
200-400	15,8	23,3
400-800	23,7	

Ausbau:
Ausbauwassergehalt w = 28,6 %

ausgeführt durch:	hv	Aufschluß:	BK 3
Datum:	18.12.20	Entnahmetiefe:	13,20 - 13,30
geprüft durch:	Ju/St	Bodenart:	gU,t'
disk/file:	G:\s&p\AUFT20\20144\Labor\Oed Geologie:		Tertiär



Spannungsstufe $s = 400 \text{ kN/m}^2$
 Probenhöhe $h = 19,38 \text{ mm}$
 Steifemodul $E_s = 15,8 \text{ MN/m}^2$
 (bei $s = 200-400 \text{ kN/m}^2$)

Konsolidierungsbeiwert

$$c_v = \frac{0,197 \cdot h^2}{4 \cdot t_{50}} = 1,54 \text{ E-05 m}^2/\text{s}$$

Probe beidseitig entwässert

Auswertung: $\Delta s_0 = 0,0 \times 10^{-2} \text{ mm}$
 $\Delta s_{50} = 14,0 \times 10^{-2} \text{ mm}$
 $\Delta s_{100} = 28,0 \times 10^{-2} \text{ mm}$
 $\Delta s_{\text{max}} = 31,7 \times 10^{-2} \text{ mm}$
 $t_{50} = 0,02 \text{ min}$

Durchlässigkeitsbeiwert

$$k = 0,05 \cdot \frac{\gamma_w \cdot h^2}{E_s \cdot t_{50}} = 9,90 \text{ E-09 m/s}$$

Oedometerversuch, Zeit-Setzungs-Diagramm nach Casagrande
 Tertiär; BK 3: 13,20 - 13,30

Anlage
 5.3.2b

S&P-Stellungnahme vom 22.02.21

Hydrogeologischer Bericht: Auffüllversuche und
Grundwasserganglinien

(21 Blatt)

Smoltczyk & Partner GmbH Untere Waldplätze 14 70569 Stuttgart

Ed. Züblin AG
Bereich München
Standort Ingolstadt
Herrn Dipl.-Ing. Stephan Klier
Ferdinand-Braun-Str. 6
85057 Ingolstadt

Stuttgart, 22.02.2021
758887-01
LK/St/Ju/lg

Dr. Lisa Krienen
krienen@smoltczykpartner.de
0711 / 131 64-27

per E-Mail: stephan.klier@zueblin.de

20-144 Ingolstadt, Südliche Ringstraße 64: VR-Bank Bayern Mitte

Hydrogeologischer Bericht: Auffüllversuche und Grundwasserganglinien

Sehr geehrter Herr Klier,

auf der Grundlage unseres Leistungs- und Honorarvorschlags (LHVA5059a) vom 17.09.20, Ihrer Beauftragung vom 26.10.20 sowie nach telefonischer Abstimmung haben wir am 03.02. und 04.02.21 in den bestehenden Grundwassermessstellen Auffüllversuche zur Bestimmung der hydraulischen Durchlässigkeit und der Versickerungsfähigkeit des quartären Untergrunds durchgeführt. Des Weiteren wurden am 03.02.21 Grundwasserproben aus dem Quartären und dem Tertiären Grundwasserleiter entnommen und von einem akkreditierten Labor analysiert

Der vorliegende hydrogeologische Bericht beinhaltet die ausgewerteten Ergebnisse der durchgeführten Versuche und der hydrochemischen Untersuchung sowie eine Bewertung der seit dem 13.01.21 aufgezeichneten Grundwasserständen und daraus abgeleitete bautechnische Rückschlüsse.

1 Auffüllversuche

Versuchsdurchführung: Am 03.02.21 wurde ein 2-stufiger Auffüllversuch in der Messstelle BK 2 GwM und am 04.02.21 ein 1-stufiger Auffüllversuch in der BK 3 GwM durchgeführt.

Smoltczyk & Partner GmbH
Untere Waldplätze 14
70569 Stuttgart
Tel. 0711 / 131 64-0

Amtsgericht Stuttgart HRB 9451
www.SmoltczykPartner.de
post@SmoltczykPartner.de

Büro Heilbronn
Lindenstraße 16
74232 Abstatt
Tel. 07062 / 914 23 55
Büro Oberschwaben
Heinrich-Hertz-Straße 6
88250 Weingarten
Tel. 0751 / 767 820 98

Geschäftsführende Gesellschafter
Dipl.-Ing. Hartmut Reichenbach
Dipl.-Geol. Dr. Martin Brodbeck
Dr.-Ing. Annette Lächler
Dipl.-Ing. Holger Jud
Gesellschafter
Dr.-Ing. Thomas Rumpelt
Dr.-Ing. Berthold Rilling

Sachverständige für Geotechnik
Beratende Ingenieure VBI
Beratende Geowissenschaftler BDG
Mitglied von
Ingenieurkammer BW,
AIV, ASCE, DGGT, DVGW, FGSV,
IAEG, IGS, ISRM, ISSMGE, ITVA, VDI

Beide Grundwassermessstellen sind im Quartär-Grundwasserleiter verfiltert. Die Wasserentnahme erfolgte für beide Versuche aus der Tertiär-Grundwassermessstelle BK 1 GwM.

Vor Beginn der Wassereingabe in eine Messstelle wurde der Ruhewasserstand gelotet. Während der Wassereingabe mit einer konstanten Eingaberate, erfolgte die Aufzeichnung des Wasseranstiegs innerhalb der Messstelle über eine eingebaute Drucksonde mit Datenlogger. Die Eingaberate wurde zuvor so gewählt, dass ein Beharrungszustand erreicht und über einen Zeitraum konstant gehalten werden konnte. Im Beharrungszustand entspricht die Eingaberate der Wassermenge, die durch die Filterstrecke der Messstelle in den Grundwasserleiter infiltriert. Nach 3,5 Stunden (BK 2 GwM) bzw. 2,5 Stunden (BK 3 GwM) wurde die Wassereingabe gestoppt und die Absenkung des Wasserstands gemessen. Beide Versuchsläufe sind über die graphische Auftragung der Wasserstände und der Eingaberaten in Anlage 3.1 (BK 2 GwM) bzw. Anlage 3.2 (BK 3 GwM) dargestellt.

Ebenfalls aufgezeichnet wurde der Wasserstand in der Tertiär-Messstelle BK 1 GwM aus der das Grundwasser für die Auffüllversuche entnommen wurde. Eine Graphik zum Wasserstandsverlauf und der Entnahmerate ist in Anlage 3.3 für den Auffüllversuch am 04.02.21 beigelegt.

Nachfolgende Tabelle 1 zeigt eine Zusammenfassung der Rahmenbedingungen sowie der Versuchsparameter. In Anlage 2 sind die Schichtenverzeichnisse und Ausbauprofile beider Messstellen beigelegt.

	Einheit	BK 2 GwM		BK 3 GwM
		1. Stufe	2. Stufe	
Datum		03.02.2021	03.02.2021	04.02.2021
Ruhewasserstand	mNN	362,29	358,85*	362,37
Eingaberate (Q)	l/s	0,158	0,222	0,968
Aufhöhung (H)	m	0,44	0,54	0,85
Filterstrecke: Länge	m	3	3	2
Filterstrecke: Durchmesser	mm	125	125	125

*Beharrungswasserstand der 1. Stufe

Tabelle 1: Versuchsparameter

Hydraulische Auswertung: Die Infiltration des eingegebenen Wassers erfolgt durch die Filterstrecke in den Grundwasser-erfüllten Bereich des Quartär-Grundwasserleiters. Zur Berechnung des Durchlässigkeitsbeiwerts (k_f -Wert) wurden die stationären Versuchszeiträume, die Beharrungszustände, ausgewertet.

Aus dem Versuch in der BK 2 GwM wurde der k_f -Wert über die Eingaberate von $Q = 0,158$ l/s und der Aufhöhung innerhalb der Messstelle von $H = 0,44$ m auf $k_f = 7,31 \cdot 10^{-4}$ m/s für die 1. Stufe und mit $Q = 0,222$ l/s sowie $H = 0,54$ m auf $k_f = 8,44 \cdot 10^{-5}$ m/s für die 2. Stufe berechnet. Die Auswertung des Versuchs in der BK 3 GwM ergab einen k_f -Wert von $3,14 \cdot 10^{-4}$ m/s mit $Q = 0,968$ l/s und $H = 0,85$ m. Die Ergebnisse stimmen mit den zuvor ermittelten k_f -Werten aus den Klarspül-Protokollen der Grundwassermessstellen (unser Geotechnischer Bericht 749895-01 vom 21.01.21) gut überein.

Die Aufzeichnung der Wasserstandsabsenkung durch die Grundwasserentnahme aus der Tertiär-Messstelle BK 1 GwM entspricht überschlägig den zuvor ermittelten k_f -Werten aus den Klarspül-Protokollen (unser Geotechnischer Bericht 749895-01 vom 21.01.21) und wird daher im Rahmen dieser Stellungnahme nicht tiefergehend ausgewertet.

Alle ermittelten k_f -Werte sind in nachfolgender Tabelle 2 zusammengefasst:

k_f -Werte [m/s]	BK 2 GwM (Quartär)	BK 3 GwM (Quartär)	BK 1 GwM (Tertiär)
Siebkornganalysen	-	$5,6 \cdot 10^{-2}$ bis $1,1 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-5}$ bis $3 \cdot 10^{-4}$
<u>Klarspül-Protokolle</u>			
Wiederanstieg nach Theis	$5,14 \cdot 10^{-5}$	-	$5,24 \cdot 10^{-5}$
Absenkung nach Cooper & Jacob I	-	-	$1,05 \cdot 10^{-4}$
Abschätzung nach Darcy	$5,16 \cdot 10^{-4}$	$7,95 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$
Auffüllversuche	$7,88 \cdot 10^{-5}$	$3,14 \cdot 10^{-4}$	-

Tabelle 2: Durchlässigkeitsbeiwerte (k_f -Werte) aus den durchgeführten hydraulischen Versuchen

Die Quartären Kiese zeigen anhand der Durchlässigkeitsbeiwerte einen heterogenen Aufbau mit niedrigeren k_f -Werten von im Mittel $k_f = 6,5 \cdot 10^{-5}$ m/s im Bereich der BK 2 GwM und im Bereich der BK 3 GwM von $k_f = 5,6 \cdot 10^{-4}$ m/s. Der tertiäre Grundwasserleiter aus schluffigen Feinsand besitzt einen mittleren k_f -Wert von $7,9 \cdot 10^{-5}$ m/s. Sollen die bestehenden Messstellen für eine Versickerung des aus der Wasserhaltung stammenden Wassers genutzt werden, sollte die Aufhöhung im Brunnen auf 1,5 m gegenüber dem Außenwasserstand bzw. bis maximal 364,5 mNN begrenzt bleiben.

Es darf davon ausgegangen werden, dass die dauerhafte Versickerungsleistung der bestehenden Brunnen insgesamt 1,5 l/s beträgt. Werden die Brunnen auf einen Durchmesser von 0,8 m aufgebohrt, kann die Versickerungsleistung auf 2,5 l/s erhöht werden.

2 Hydrochemische Untersuchung

Am 03.02.21 wurden Grundwasserproben aus den Messstellen BK 1 GwM (Tertiär) und BK 3 GwM (Quartär) als Pumpproben entnommen. Das grundwassererfüllte Messstellenvolumen wurde dabei vor der Probennahme drei Mal ausgetauscht und auf Konstanz der Vor-Ort-Parameter beobachtet. Nach der Probennahme wurden die Proben gekühlt transportiert und von der Analytik-Team GmbH analysiert. Die Analysenergebnisse sind in Anlage 4 beigefügt.

In nachfolgender Tabelle 3 sind die wichtigsten Analysenergebnisse zusammengestellt:

Parameter	Einheit	BK 3 GwM (Quartär)	BK 1 GwM (Tertiär)
<u>Vor-Ort-Parameter</u>			
pH-Wert	-	6,97	7,65
elektrische Leitfähigkeit	µS/cm	1296	528
Temperatur	°C	14,2	12,5
<u>Laborergebnisse</u>			
Sauerstoffgehalt	mg/l	2,5	1,1
Calcium	mg/l	150	75
Natrium	mg/l	75	5,2
Kalium	mg/l	7,6	1,4
Eisen	mg/l	<0,025	<0,025
Mangan	mg/l	0,081	0,061
Nitrat	mg/l	23	<2
Sulfat	mg/l	58	14
Hydrogencarbonat	mg/l	530	340
Chlorid	mg/l	120	<3,0

Tabelle 3: Zusammengefasste Analysenergebnisse der Grundwasserbeprobung

Die Grundwässer zeigen einen sich deutlich unterscheidenden Chemismus: Das Quartäre Grundwasser aus der BK 3 GwM besitzt mit 1.296 µS/cm eine sehr hohe elektrische Leitfähigkeit, die anhand der hohen Natrium-, Calcium-, Kalium- und Chloridgehalten aus Einträgen von Streusalz resultiert. Das Tertiäre Grundwasser ist von diesen Einträgen nicht betroffen und zeigt mit 528 µS/cm eine weitaus geringere elektrische Leitfähigkeit.

In beiden Grundwasserproben wurden Mangankonzentrationen mit 0,081 mg/l in der BK 3 GwM (Quartär) und 0,061 mg/l in der BK 1 GwM (Tertiär) festgestellt, die bei einem andauernden Brunnenbetrieb zu einer Verockerung des Brunnenfilters führen können.

Nach DIN 4030 sind beide Grundwässer als nicht betonangreifend einzustufen. Wir empfehlen jedoch, Bauteile die ins Tertiär eingreifen auf einem Betonangriff XA1 auszulegen.

3 Grundwasserganglinien

Seit dem 13.01.21 werden die Grundwasserstände in den Messstellen BK 2 GwM (Quartär) und BK 1 GwM (Tertiär) aufgezeichnet. Die Wasserstandsverläufe sind graphisch in Anlage 5 dargestellt. Zusätzlich sind die Wasserstände der Donau am Pegel Luitpoldstraße (Anlage 5.1) und die Niederschlagstagesummen der Station Kösching (Anlage 5.2) aufgetragen.

Die Pegelstände der Donau zeigen eine durch die Schneeschmelze resultierende Hochwasserwelle, die am 28.01.21 am Pegel Luitpoldstraße ankam. Der Donauwasserstand stieg von 361,98 mNN auf 364,44 mNN binnen 40 Stunden. Beide Grundwasserleiter zeigen eine sofortige Reaktion auf den Anstieg des Flusswasserstands mit Erhöhungen von knapp 30 cm auf 362,28 mNN in der BK 2 GwM (Quartär) und um 66 cm auf 362,41 mNN in der BK 1 GwM (Tertiär) bis zum Auslesedatum am 04.02.21. Somit besteht eine hydraulische Verbindung beider Grundwasserleiter zur Donau.

Aus den Anstiegen der Wasserstände in beiden Messstellen ist weiterhin ein Rückschluss auf die hydraulischen Verhältnisse in den Grundwasserleitern möglich: Im Vergleich zum Wasserstandsverlauf in der Quartär-Messstelle BK 2 GwM steigt der Wasserstand in der Tertiär-Messstelle BK 1 GwM schneller und mit 13 cm über das maximal aufgezeichnete Höhenniveau in der Quartär-Messstelle. Daraus ist zu schließen, dass die Wasser Oberfläche des Tertiären Grundwasserleiters durch die überlagernden Schluffe im Bereich des Bau-felds gespannt ist. Die Grundwasseroberfläche der Quartären Kiese ist hingegen frei. Es besteht somit keine hydraulische Verbindung zwischen den Grundwasserleitern im Untersuchungsbereich. Dieser Sachverhalt wird durch den unterschiedlichen Chemismus der Grundwässer bestätigt.

Anhand der vorliegenden Grundwasserganglinien bis zum 04.02.21 (Anlage 5) ist noch nicht ersichtlich, ob die höchsten Grundwasserstände bereits erreicht wurden. Eine aktuelle Abfrage der Donau-Wasserstände vom 15.02.21 ergab jedoch fallende Flusswasserstände, so dass von einem Abfall der Grundwasserstände ausgegangen werden kann. Die Grundwasserganglinien sowie Pegelstände in Anlage 5 werden mit dem nächsten Auslesetermin der Datenlogger im Mai 2021 von uns aktualisiert. Wir werden die Ergebnisse in einem separaten Bericht für Sie dokumentieren.

4 Bautechnische Rückschlüsse

Im Geotechnischen Bericht vom 21.01.21 haben wir in Abschnitt 5 Bemessungswasserstände für den Bauzustand und Endzustand empfohlen sowie in Abschnitt 7.2 Empfehlungen und Hinweise zum Herstellen der Baugruben ausgesprochen. Messungen des Grundwasserstandes im Baufeld können zur Überprüfung des auf Basis großräumiger Betrachtungen festgelegten temporären Bemessungswasserstandes herangezogen werden.

Anhand der festgestellten direkten Verbindung des quartären und tertiären Grundwasserleiters zur Donau und der im Messzeitraum erfassten Donauwasserstände (bis etwa 1,5 m unter HW_{10}) mit den zugehörigen Grundwasserschwankungen kann auf derzeitiger Datenbasis der temporäre Bemessungswasserstand bis 363,5 mNN für den quartären und tertiären Grundwasserleiter bestätigt werden. Eine weitere Überprüfung ist jedoch nach den zu erwartenden Frühjahrshochwässern zu empfehlen.

Der ohnehin aus großräumigen Betrachtungen zur ermittelnde Bemessungswasserstand im Endzustand bleibt von lokalen Betrachtungen unberührt. Für die derzeit geplante Aushubsohle (354,5 mNN) des 3. UG konnte eine auftriebssichere Ausführung nur bei Begrenzung des Grundwasserspiegels im Tertiär auf 363,2 mNN durch sogenannte Überlaufbrunnen nachgewiesen werden.

Auf Grund der jetzt festgestellten hydraulischen Verbindung des tertiären Grundwasserleiters mit der Donau muss von einer mehrmaligen Überschreitung des rechnerischen Wertes gerechnet werden.

Mit weniger tiefen Aushubhöhen reduziert sich die Wahrscheinlichkeit des maximal zulässigen Grundwasserstandes im Tertiär. Genaue Angaben zur Ausbildung und Anzahl der Überlaufbrunnen können erst mit Vorliegen der Aushubsohle erarbeitet werden.

Abhängig davon ist im Absenkungsfall auch die zu fördernde Wassermenge aus überschlägigen Berechnungen jedoch mit Förderraten bis 5 l/s zu rechnen.

Wir empfehlen die entsprechenden Maßnahmen und Nachweise im Rahmen der detaillierten Planung zu vertiefen. Dabei gehen wir davon aus, dass uns dann die Messergebnisse bis Mai 2021, nächste geplante Auslesung der Grundwassermessstände, zur Bearbeitung vorliegen und mögliche Überschreitungen auch zeitlich etwa eingeschränkt werden können. Damit können die zu ermittelnden Förderraten auch in Bezug auf die Bauzeit bewertet werden.

Wir weisen hier auch nochmals darauf hin, dass die Grundwasserabsenkung im Tertiär einer wasserrechtlichen Genehmigung bedarf.

Für Rückfragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung.

Freundliche Grüße



Smoltczyk & Partner GmbH




Anlagen

Anlage

Lagepläne

- Übersichtslageplan (M 1:25 000) 1.1
- Lageplan (M 1:250) mit Lage der Grundwassermessstellen 1.2

Schichtenverzeichnisse und Ausbauprofile der Grundwassermessstellen

- Kurzzeichen und Abkürzungen nach DIN 4023 und DIN 18 196 2.0
- BK 1 GwM 2.1
- BK 2 GwM 2.2
- BK 3 GwM 2.3

Auffüllversuche

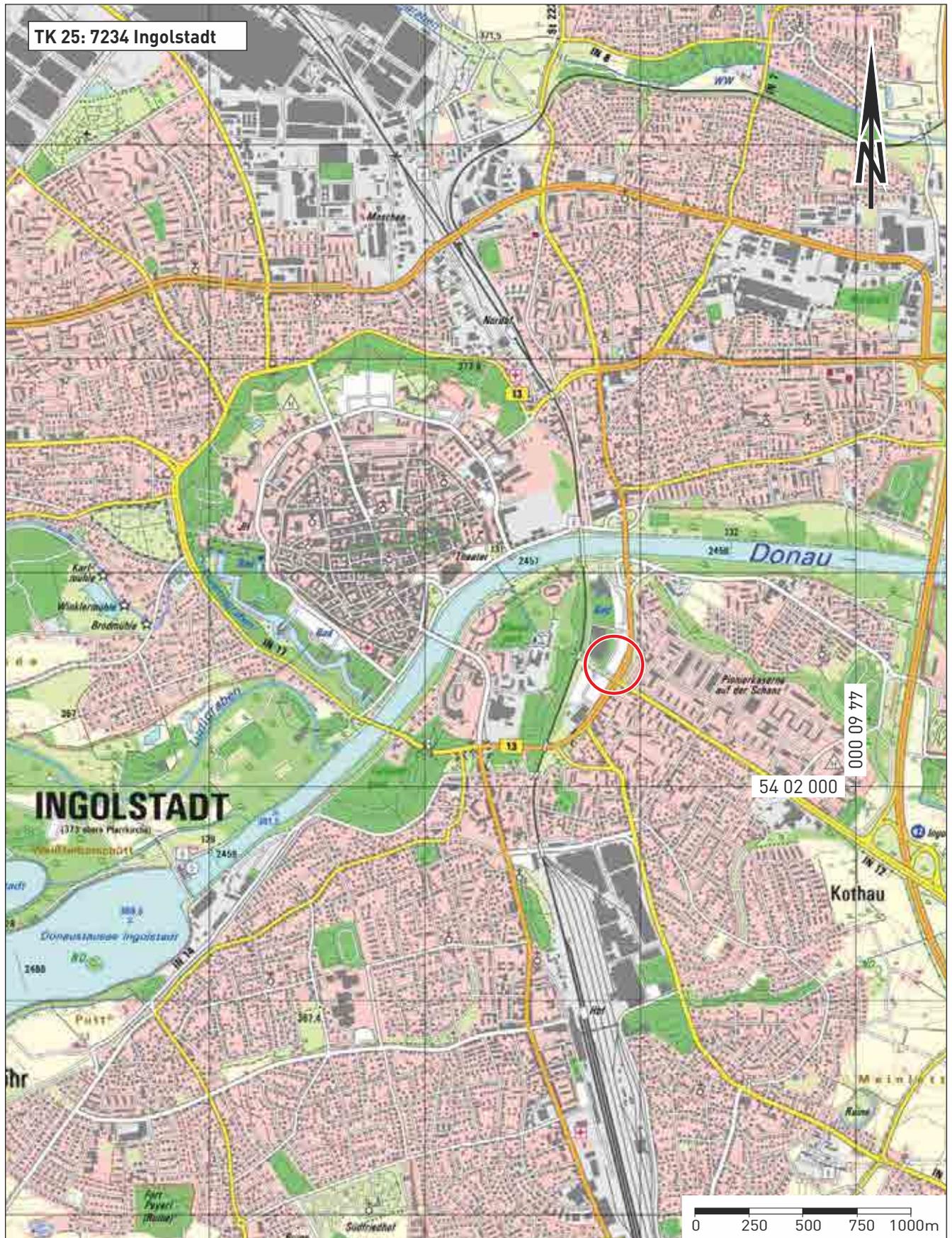
- BK 2 GwM (Quartär): Wasserstandsverlauf und Eingaberate 3.1
- BK 3 GwM (Quartär): Wasserstandsverlauf und Eingaberate 3.2
- BK 1 GwM (Tertiär): Wasserstandsverlauf und Entnahmerate 3.3

Analysenergebnisse der Gw-Beprobung am 03.02.21

- Prüfbericht 2102065 der Analytik-Team GmbH (2 Blatt) 4

Grundwasserganglinien

- Tertiär-/Quartär-Grundwasserganglinie und Ganglinie der Donau am Pegel Luitpoldstraße 5.1
- Tertiär-/Quartär-Grundwasserganglinien, Ganglinie der Donau am Pegel Luitpoldstraße und Niederschlagstagesummen 5.2



Übersichtslageplan
mit Lage der VR-Bank

gez. me
gepr. Sc

Maßstab
1:25 000



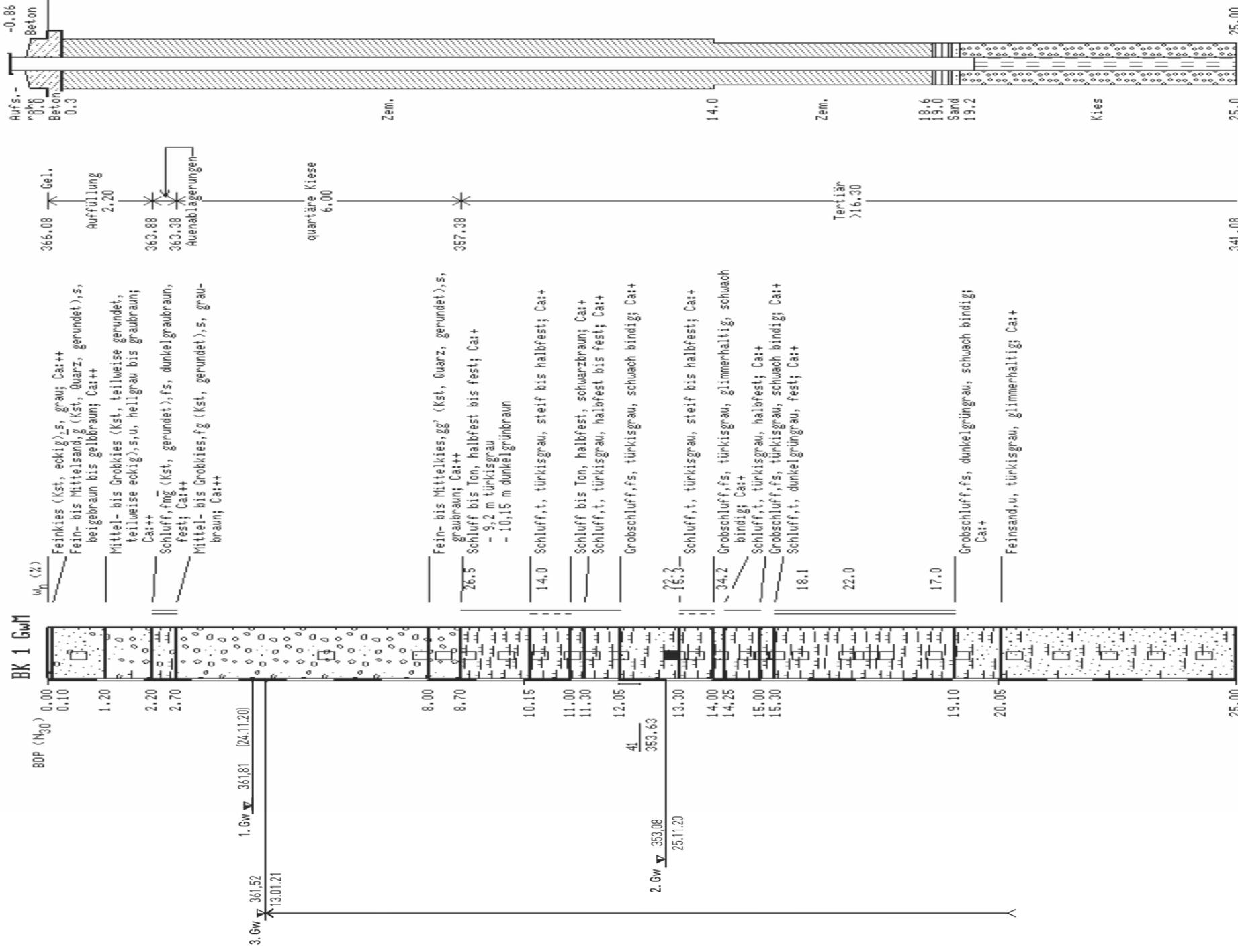
Lageplan mit Lage der Grundwassermessstellen

gez. AJ
 gepr. PB
 Maßstab
 1:250

<p>Untersuchungsstellen</p> <ul style="list-style-type: none"> SCH Schurf BK Kernbohrung BS Kleinbohrung 	<p>Rammsondierung (Dynamic Probing)</p> <ul style="list-style-type: none"> DPL leichte Sonde (light) DPM mittelschwere Sonde (medium) DPH schwere Sonde (heavy) 	<p>Bodenproben</p> <ul style="list-style-type: none"> Güteklasse 1 Güteklasse 3 Kernstück 																																																																															
<p>Bodenarten-Beschreibung</p> <table border="0" style="width:100%;"> <tr><td>A</td><td>Auffüllung</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Y</td><td>Blöcke</td><td>y</td><td>mit Blöcken</td></tr> <tr><td>X</td><td>Steine</td><td>x</td><td>steinig</td></tr> <tr><td>G</td><td>Kies</td><td>g</td><td>kiesig</td></tr> <tr><td>S</td><td>Sand</td><td>s</td><td>sandig</td></tr> <tr><td>U</td><td>Schluff</td><td>u</td><td>schluffig</td></tr> <tr><td>T</td><td>Ton</td><td>t</td><td>tonig</td></tr> <tr><td>H</td><td>Humus, Torf</td><td>h</td><td>humos, torfig</td></tr> <tr><td>F</td><td>Faulschlamm</td><td>o</td><td>org. Anteile</td></tr> <tr><td>Mg</td><td>Mergel</td><td>mg</td><td>mergelig</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>dol.</td><td>dolomitisch</td></tr> </table>	A	Auffüllung			Y	Blöcke	y	mit Blöcken	X	Steine	x	steinig	G	Kies	g	kiesig	S	Sand	s	sandig	U	Schluff	u	schluffig	T	Ton	t	tonig	H	Humus, Torf	h	humos, torfig	F	Faulschlamm	o	org. Anteile	Mg	Mergel	mg	mergelig			dol.	dolomitisch	<p>Korngrößen</p> <p>f fein m mittel g grob</p> <p>grobkörnige Nebenteile (Massenanteile Körnungslinie)</p> <p>· schwach (< 15%) - stark (> 30%)</p> <p>feinkörnige Nebenteile (Einfluss auf Verhalten des Bodens)</p> <p>· schwach - stark</p>	<p>Konsistenz</p> <p>}} breiig } weich : steif halbfest fest</p> <p>Kalkgehalt (Aufbraus-Test: 10% HCl)</p> <p>Ca:0 kalkfrei Ca:+ kalkhaltig Ca:++ stark kalkhaltig</p>																																			
A	Auffüllung																																																																																
Y	Blöcke	y	mit Blöcken																																																																														
X	Steine	x	steinig																																																																														
G	Kies	g	kiesig																																																																														
S	Sand	s	sandig																																																																														
U	Schluff	u	schluffig																																																																														
T	Ton	t	tonig																																																																														
H	Humus, Torf	h	humos, torfig																																																																														
F	Faulschlamm	o	org. Anteile																																																																														
Mg	Mergel	mg	mergelig																																																																														
		dol.	dolomitisch																																																																														
<p>Felsarten-Beschreibung</p> <table border="0" style="width:100%;"> <tr><td>Z</td><td>Fels allgemein</td><td></td></tr> <tr><td>Zv</td><td>Fels verwittert</td><td></td></tr> <tr><td>Ko, Br</td><td>Konglomerat, Brekzie</td><td></td></tr> <tr><td>Sst</td><td>Sandstein</td><td></td></tr> <tr><td>Utst, Tst</td><td>Schluffstein, Tonstein</td><td></td></tr> <tr><td>Mst, Kst</td><td>Mergelstein, Kalkstein</td><td></td></tr> <tr><td>Dst</td><td>Dolomitstein</td><td>gering</td></tr> <tr><td>Gyst</td><td>Gipsstein</td><td></td></tr> <tr><td>Mem</td><td>Massige Metamorphite (z.B. Gneis)</td><td></td></tr> <tr><td>Pl</td><td>Plutonite (z.B. Granit)</td><td>mäßig hoch</td></tr> <tr><td>Vu</td><td>Vulkanite (z.B. Basalt)</td><td></td></tr> </table>	Z	Fels allgemein		Zv	Fels verwittert		Ko, Br	Konglomerat, Brekzie		Sst	Sandstein		Utst, Tst	Schluffstein, Tonstein		Mst, Kst	Mergelstein, Kalkstein		Dst	Dolomitstein	gering	Gyst	Gipsstein		Mem	Massige Metamorphite (z.B. Gneis)		Pl	Plutonite (z.B. Granit)	mäßig hoch	Vu	Vulkanite (z.B. Basalt)		<p>Abschätzung der einaxialen Druckfestigkeit (Df) im Feld</p> <table border="0" style="width:100%;"> <tr> <td><u>Bezeichnung</u></td> <td><u>Feldversuch</u></td> </tr> <tr> <td>außerordentlich gering</td> <td>mit Fingernagel leicht ritzbar</td> </tr> <tr> <td>sehr gering</td> <td>mit Messer ritzbar, durch feste Aufschläge mit Hammerspitze zu zerbröckeln</td> </tr> <tr> <td>gering</td> <td>mit Messer schwer ritzbar, durch feste Aufschläge mit Hammerspitze schwach einkerbar</td> </tr> <tr> <td>mäßig hoch</td> <td>mit Messer nicht mehr ritzbar, durch einen festen Hammerschlag zu zerbrechen</td> </tr> <tr> <td>hoch</td> <td>nur durch mehrere Hammerschläge zu zerbrechen</td> </tr> <tr> <td>sehr hoch</td> <td>nur durch sehr viele Hammerschläge zu zerbrechen</td> </tr> <tr> <td>außerordentlich hoch</td> <td>durch Schläge mit dem Hammer lösen sich nur Splitter</td> </tr> </table>	<u>Bezeichnung</u>	<u>Feldversuch</u>	außerordentlich gering	mit Fingernagel leicht ritzbar	sehr gering	mit Messer ritzbar, durch feste Aufschläge mit Hammerspitze zu zerbröckeln	gering	mit Messer schwer ritzbar, durch feste Aufschläge mit Hammerspitze schwach einkerbar	mäßig hoch	mit Messer nicht mehr ritzbar, durch einen festen Hammerschlag zu zerbrechen	hoch	nur durch mehrere Hammerschläge zu zerbrechen	sehr hoch	nur durch sehr viele Hammerschläge zu zerbrechen	außerordentlich hoch	durch Schläge mit dem Hammer lösen sich nur Splitter	<p>Zerlegung</p> <p>⚡ klüftig</p> <p>Schichtflächenabstand</p> <table border="0" style="width:100%;"> <tr> <td><u>Bezeichnung</u></td> <td><u>Abstand [mm]</u></td> </tr> <tr> <td>sehr dick</td> <td>größer als 2000</td> </tr> <tr> <td>dick</td> <td>2000 bis 600</td> </tr> <tr> <td>mittel</td> <td>600 bis 200</td> </tr> <tr> <td>dünn</td> <td>200 bis 60</td> </tr> <tr> <td>sehr dünn</td> <td>60 bis 20</td> </tr> <tr> <td>grob laminiert</td> <td>20 bis 6</td> </tr> <tr> <td>fein laminiert</td> <td>kleiner als 6</td> </tr> </table> <p>Kluffflächenabstand</p> <table border="0" style="width:100%;"> <tr> <td><u>Bezeichnung</u></td> <td><u>Abstand [mm]</u></td> </tr> <tr> <td>sehr weitständig</td> <td>größer als 2000</td> </tr> <tr> <td>weitständig</td> <td>2000 bis 600</td> </tr> <tr> <td>mittelständig</td> <td>600 bis 200</td> </tr> <tr> <td>engständig</td> <td>200 bis 60</td> </tr> <tr> <td>sehr engständig</td> <td>60 bis 20</td> </tr> <tr> <td>außerordentlich engständig</td> <td>kleiner als 20</td> </tr> </table>	<u>Bezeichnung</u>	<u>Abstand [mm]</u>	sehr dick	größer als 2000	dick	2000 bis 600	mittel	600 bis 200	dünn	200 bis 60	sehr dünn	60 bis 20	grob laminiert	20 bis 6	fein laminiert	kleiner als 6	<u>Bezeichnung</u>	<u>Abstand [mm]</u>	sehr weitständig	größer als 2000	weitständig	2000 bis 600	mittelständig	600 bis 200	engständig	200 bis 60	sehr engständig	60 bis 20	außerordentlich engständig	kleiner als 20
Z	Fels allgemein																																																																																
Zv	Fels verwittert																																																																																
Ko, Br	Konglomerat, Brekzie																																																																																
Sst	Sandstein																																																																																
Utst, Tst	Schluffstein, Tonstein																																																																																
Mst, Kst	Mergelstein, Kalkstein																																																																																
Dst	Dolomitstein	gering																																																																															
Gyst	Gipsstein																																																																																
Mem	Massige Metamorphite (z.B. Gneis)																																																																																
Pl	Plutonite (z.B. Granit)	mäßig hoch																																																																															
Vu	Vulkanite (z.B. Basalt)																																																																																
<u>Bezeichnung</u>	<u>Feldversuch</u>																																																																																
außerordentlich gering	mit Fingernagel leicht ritzbar																																																																																
sehr gering	mit Messer ritzbar, durch feste Aufschläge mit Hammerspitze zu zerbröckeln																																																																																
gering	mit Messer schwer ritzbar, durch feste Aufschläge mit Hammerspitze schwach einkerbar																																																																																
mäßig hoch	mit Messer nicht mehr ritzbar, durch einen festen Hammerschlag zu zerbrechen																																																																																
hoch	nur durch mehrere Hammerschläge zu zerbrechen																																																																																
sehr hoch	nur durch sehr viele Hammerschläge zu zerbrechen																																																																																
außerordentlich hoch	durch Schläge mit dem Hammer lösen sich nur Splitter																																																																																
<u>Bezeichnung</u>	<u>Abstand [mm]</u>																																																																																
sehr dick	größer als 2000																																																																																
dick	2000 bis 600																																																																																
mittel	600 bis 200																																																																																
dünn	200 bis 60																																																																																
sehr dünn	60 bis 20																																																																																
grob laminiert	20 bis 6																																																																																
fein laminiert	kleiner als 6																																																																																
<u>Bezeichnung</u>	<u>Abstand [mm]</u>																																																																																
sehr weitständig	größer als 2000																																																																																
weitständig	2000 bis 600																																																																																
mittelständig	600 bis 200																																																																																
engständig	200 bis 60																																																																																
sehr engständig	60 bis 20																																																																																
außerordentlich engständig	kleiner als 20																																																																																
<p>Kalkgehalt (s. Boden)</p>																																																																																	
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Verwitterungsstufen</th> <th>VS 5</th> <th>VS 4</th> <th>VS 3</th> <th>VS 2</th> <th>VS 1</th> <th>VS 0</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gesteinstyp</td> <td>Boden</td> <td>Boden</td> <td>Boden + Gestein</td> <td>Gestein</td> <td>Gestein</td> <td>Gestein</td> </tr> <tr> <td>Bezeichnung</td> <td>zersetzt</td> <td>vollständig verwittert</td> <td>stark verwittert</td> <td>mäßig verwittert</td> <td>schwach verwittert</td> <td>frisch</td> </tr> <tr> <td>Beschreibung</td> <td>gesamtes Gestein zu Boden umgewandelt, ohne Gefüge</td> <td>gesamtes Gestein zu Boden umgewandelt, Gefüge größtenteils unversehrt</td> <td>mehr als die Hälfte des Gesteins zersetzt oder zerfallen Gestein liegt als zusammenhängendes Steinskelett oder Steinkern vor.</td> <td>weniger als die Hälfte des Gesteins verwittert oder zersetzt</td> <td>Verfärbung</td> <td>möglicherweise leichte Verfärbung</td> </tr> </tbody> </table>							Verwitterungsstufen	VS 5	VS 4	VS 3	VS 2	VS 1	VS 0	Gesteinstyp	Boden	Boden	Boden + Gestein	Gestein	Gestein	Gestein	Bezeichnung	zersetzt	vollständig verwittert	stark verwittert	mäßig verwittert	schwach verwittert	frisch	Beschreibung	gesamtes Gestein zu Boden umgewandelt, ohne Gefüge	gesamtes Gestein zu Boden umgewandelt, Gefüge größtenteils unversehrt	mehr als die Hälfte des Gesteins zersetzt oder zerfallen Gestein liegt als zusammenhängendes Steinskelett oder Steinkern vor.	weniger als die Hälfte des Gesteins verwittert oder zersetzt	Verfärbung	möglicherweise leichte Verfärbung																																															
Verwitterungsstufen	VS 5	VS 4	VS 3	VS 2	VS 1	VS 0																																																																											
Gesteinstyp	Boden	Boden	Boden + Gestein	Gestein	Gestein	Gestein																																																																											
Bezeichnung	zersetzt	vollständig verwittert	stark verwittert	mäßig verwittert	schwach verwittert	frisch																																																																											
Beschreibung	gesamtes Gestein zu Boden umgewandelt, ohne Gefüge	gesamtes Gestein zu Boden umgewandelt, Gefüge größtenteils unversehrt	mehr als die Hälfte des Gesteins zersetzt oder zerfallen Gestein liegt als zusammenhängendes Steinskelett oder Steinkern vor.	weniger als die Hälfte des Gesteins verwittert oder zersetzt	Verfärbung	möglicherweise leichte Verfärbung																																																																											
<p>Grundwasser (Gw)</p> <table border="0" style="width:100%;"> <tr> <td style="text-align: center;"> </td> <td> <p>100,00 mNN undefiniert oder nach Bohrende</p> <p>100,00 mNN angebohrt</p> <p>100,00 mNN in Ruhe im ausgebauten Bohrloch</p> <p>20.12.1998 Datum</p> <p> Vernässung oberhalb des Gw</p> </td> <td style="vertical-align: top;"> <p> Aufsatzrohr</p> <p> Ringraumzementation</p> <p> Filterrohr</p> <p> Sumpfrohr</p> <p> Quellton</p> <p> Bohrendtiefe</p> </td> </tr> </table> <p>Normen: DIN EN ISO 14688, DIN EN ISO 14689-1 DIN 4022, DIN 4023</p>								<p>100,00 mNN undefiniert oder nach Bohrende</p> <p>100,00 mNN angebohrt</p> <p>100,00 mNN in Ruhe im ausgebauten Bohrloch</p> <p>20.12.1998 Datum</p> <p> Vernässung oberhalb des Gw</p>	<p> Aufsatzrohr</p> <p> Ringraumzementation</p> <p> Filterrohr</p> <p> Sumpfrohr</p> <p> Quellton</p> <p> Bohrendtiefe</p>																																																																								
	<p>100,00 mNN undefiniert oder nach Bohrende</p> <p>100,00 mNN angebohrt</p> <p>100,00 mNN in Ruhe im ausgebauten Bohrloch</p> <p>20.12.1998 Datum</p> <p> Vernässung oberhalb des Gw</p>	<p> Aufsatzrohr</p> <p> Ringraumzementation</p> <p> Filterrohr</p> <p> Sumpfrohr</p> <p> Quellton</p> <p> Bohrendtiefe</p>																																																																															
<p>Beschreibung der Schichtenfolgen: Kurzzzeichen und Abkürzungen</p>						<p>gez. AJ gepr. PB</p>																																																																											

TK 25: 7234 Ingolstadt
 R ≈ 44 58 871 / H ≈ 54 02 610
 Lage siehe auch Anlage 1.2
 Ansatzhöhe: 366,08 mNN (= Gel.)

gehört vom: Fa. Drilllexpert
 vom: 24.11.-02.12.20
 aufgenommen: Dipl.-Geol. P. Bröhl/S&P
 G: S&P AUFTR20'20144'BK01.kprj; 21.01.2021



Bohrverfahren:

- 14,0 m Rammkernbohrung Ø 140 mm
- 25,0 m Rotationskernbohrung mit SK6L Ø 146 mm
- 14,0 m Hilfsverrohrung Ø 178 mm
- 25,0 m Hilfsverrohrung Ø 140 mm
- 10,5 m Vollbohrung Ø 324 mm
- 25,0 m Vollbohrung Ø 273 mm

Bodenproben: 0,8 m; 9,0 m; 9,8 m; 10,5 m; 11,2 m; 11,6 m; 12,2 m; 13,4 m; 13,8 m; 14,3 m; 14,9 m; 15,2 m; 15,5 m; 16,0 m; 17,0 m; 17,3 m; 17,5 m; 17,8 m; 18,8 m; 19,4 m; 20,5 m; 21,5 m; 22,5 m; 23,5 m; 24,5 m

Eimerproben: 5,0-6,0 m; 7,0-8,0 m; 8,0-8,5 m
 Sonderproben: 13,0-13,3 m
 Geruch unauffällig

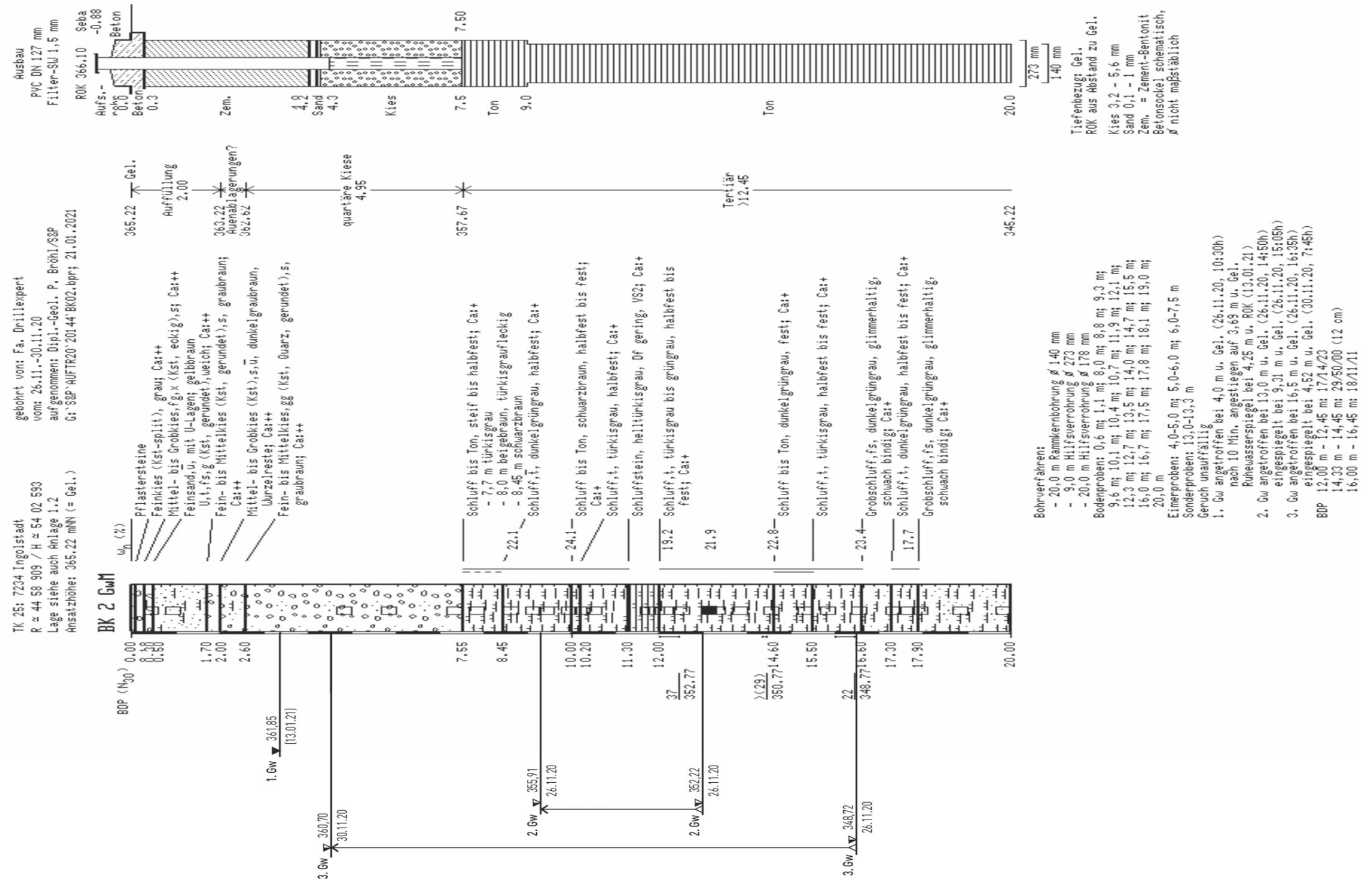
1. Gw angetroffen bei 4,5 m u. Gel. (24.11.20, 17:30h) nach 10 Min. angestiegen auf 4,27 m u. Gel.
 2. Gw angetroffen bei 13,0 m u. Gel. (25.11.20, 10:15h)
 3. Gw Ruhewasserspiegel bei 5,42 m u. ROK (13.01.21)

BDP 12,00 m - 12,45 m; 08/20/21

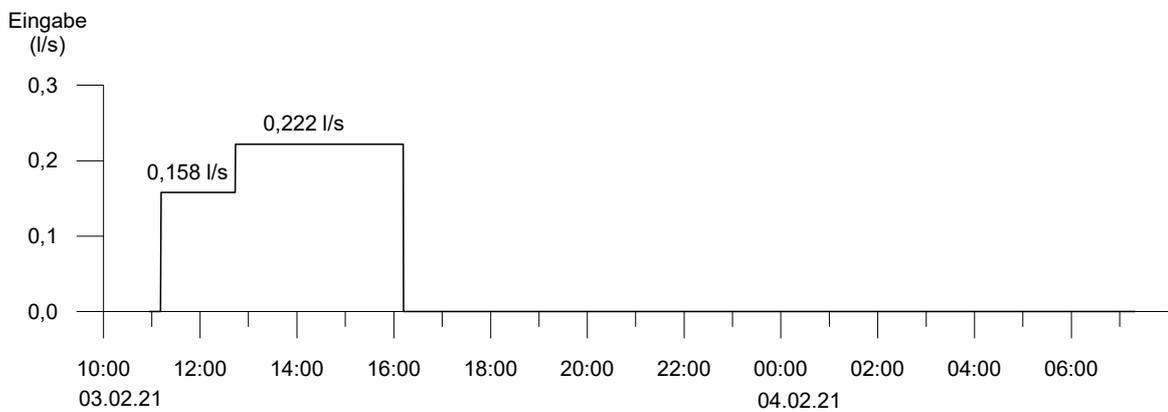
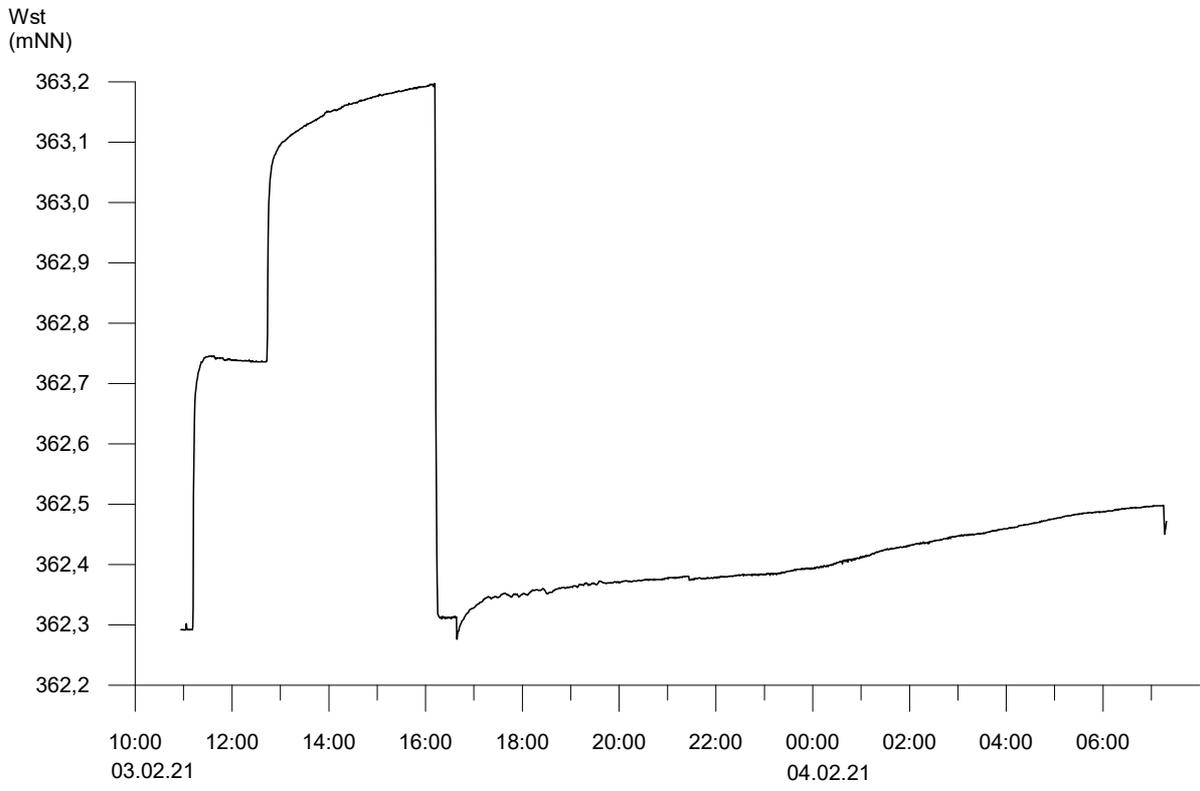
Schichtenfolge der Kernbohrung BK 1 GwM

gez. AJ
 gepr. PB

Maßstab
 1:100



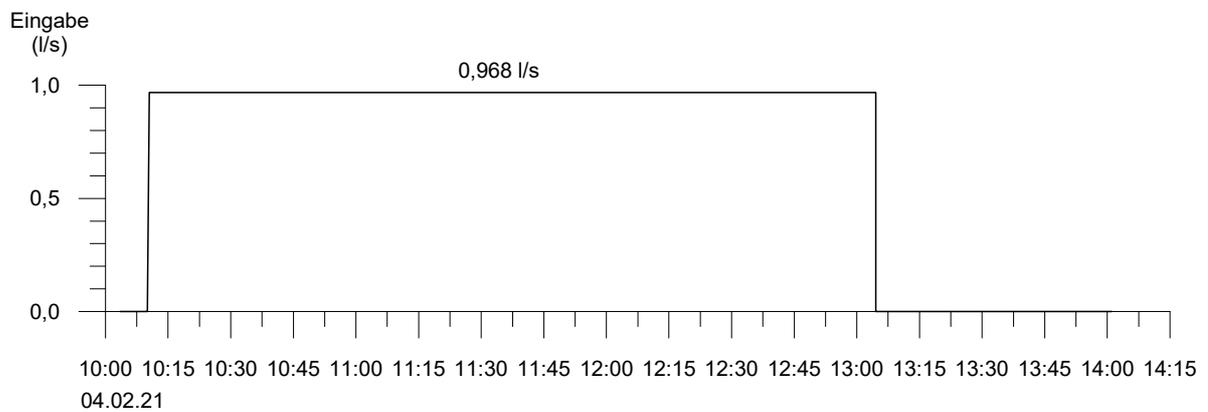
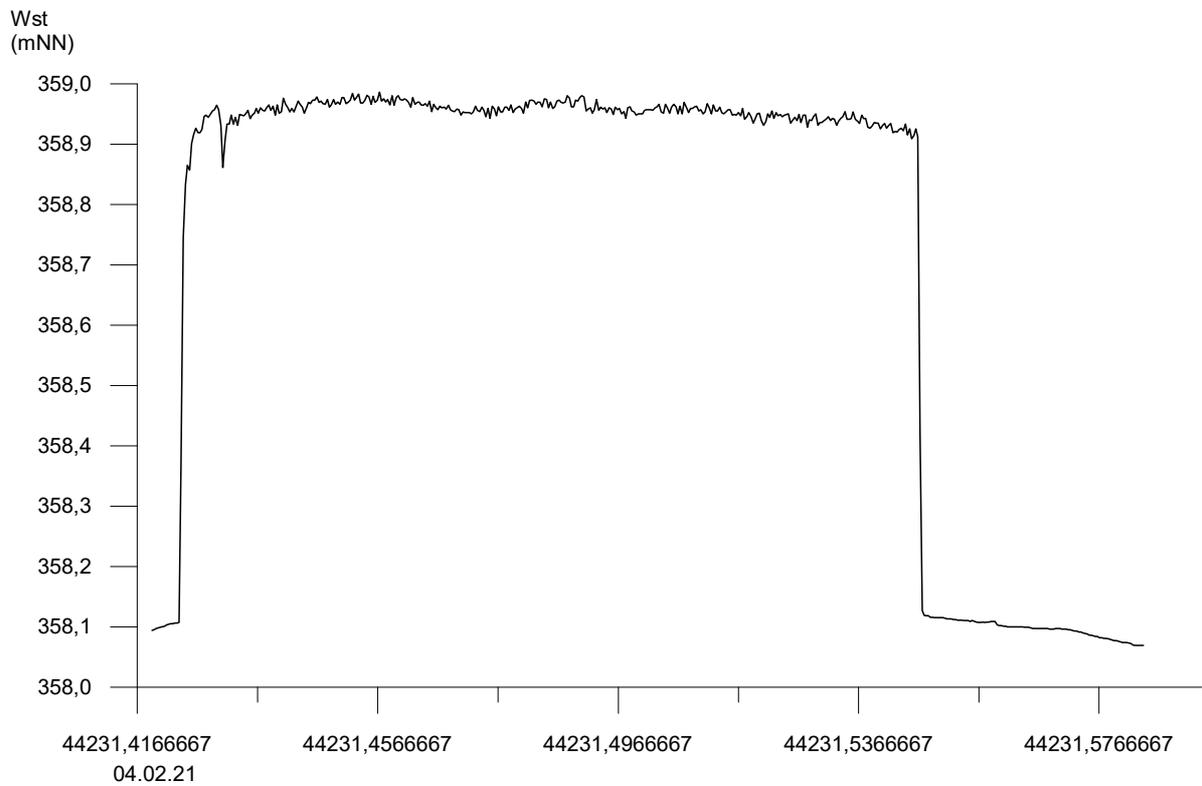
Schichtenfolge der Kernbohrung BK 2 GwM



G:\s&p\AUFR20\20144\Anlagen\d - Hydrogeologischer Bericht\20144-BK2.grf

Wasserstandsverlauf und Eingaberaten BK 2 GwM (Quartär)
vom 03.02.21, 10:56 Uhr bis 04.02.21, 7:18 Uhr

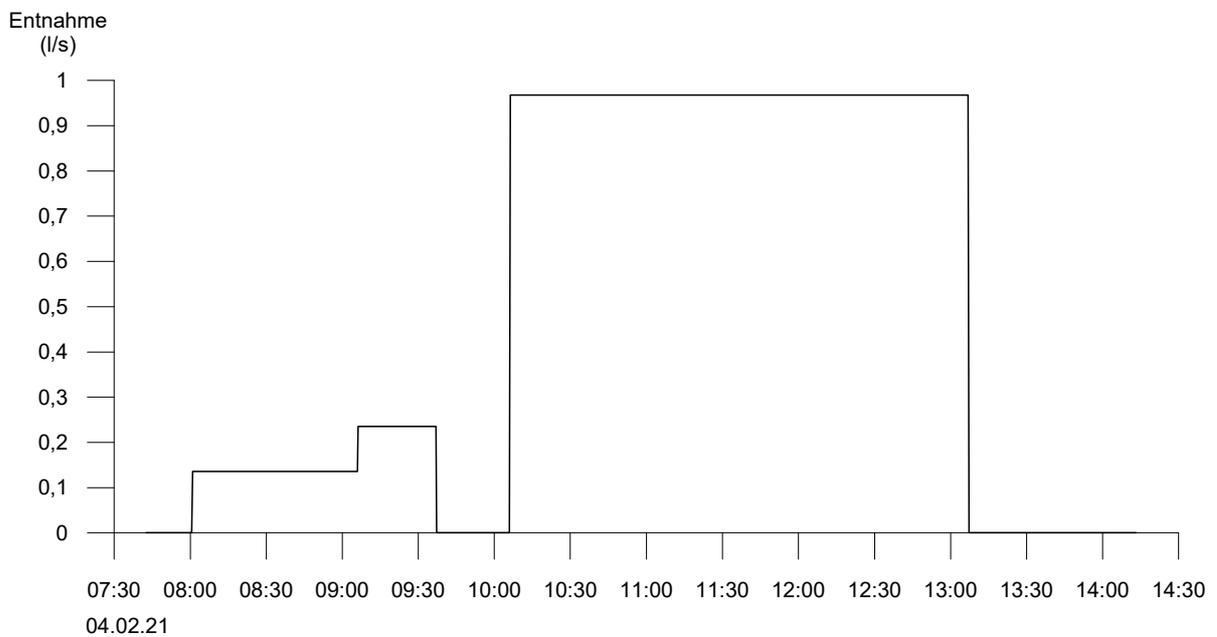
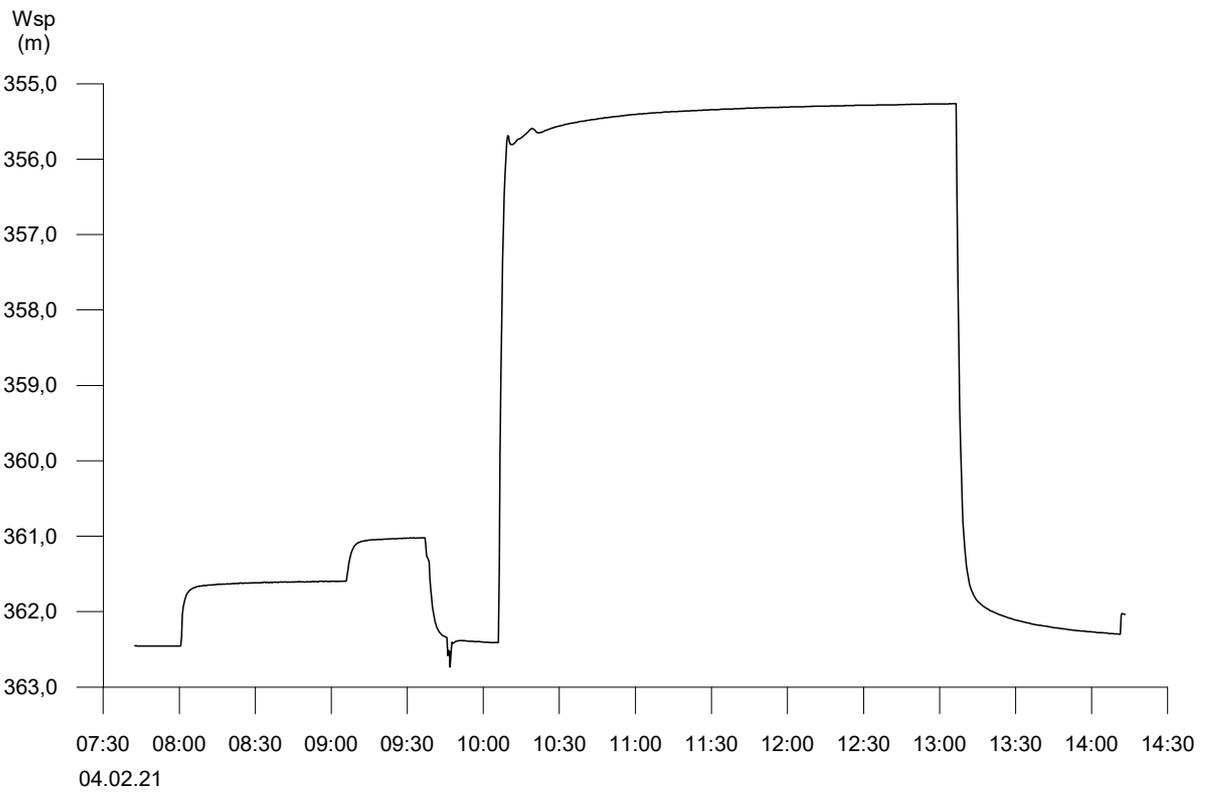
gez. ks
gepr. LK



G:\s&p\AUFR20\20144\Anlagen\d - Hydrogeologischer Bericht\20144-BK3-2.Versuch.grf

Wasserstandsverlauf und Eingaberaten BK 3 GwM (Quartär):
am 04.02.21, von 10:03 Uhr bis 14:01 Uhr

gez. ks
gepr. LK



G:\s&p\AUFR20\20144\Anlagen\d - Hydrogeologischer Bericht\20144-BK1-PV4_Wsp_Q.grf

Wasserstandsverlauf und Eingaberaten
BK 1 am 04.02.21 von 7:42 Uhr bis 14:13 Uhr

gez. ks
gepr. LK

Analysenergebnisse der Gw-Beprobung am 03.02.21
(Prüfbericht 2102065 der Analytik-Team GmbH)

(2 Blatt)

Probenahme
und
Erstellung
von
Analysen

auf den
Gebieten
Wasser, Boden,
Luft, Abfall,
Altlasten und
Klärschlamm

ANALYTIK-TEAM
GmbH



Daimler Str. 6
70736 Fellbach-
Oeffingen
Tel. 07 11/95 19 42-0
Fax 07 11/95 19 42-42
info@analytik-team.de
www.analytik-team.de

Prüfbericht: 2102065

Analytik im Wasser

Auftraggeber: Smolczyk & Partner GmbH, Untere Waldplätze 14, 70569 Stuttgart
Projekt: 20-144 Ingolstadt, Südliche Ringstraße: Volksbank
Projektbearbeiter: Herr Jud
Probenahme: 03.02.2021 durch Auftraggeber
Bearbeitungszeitraum: 09.02.- 12.02.2021

Untersuchungsbefund:

Parameter	BK 1	BK 3	Dimension
Farbe	farblos	farblos	---
Trübung	klar	klar	---
Geruch	geruchlos	geruchlos	---
pH-Wert	7,5	7,1	---
Temperatur	18	18	°C
elektr. Leitfähigkeit bei 25°C	520	1300	µS/cm
SAK-254	< 0,10	0,65	m ⁻¹
SAK-436	< 0,10	< 0,10	m ⁻¹
Sauerstoff	1,1	2,5	mg/l
Säurekapazität bis pH 4,3	5,5	8,7	mmol/l
Gesamthärte	17	28	°dH
Calcium	75	150	mg/l
Magnesium	26	30	mg/l
Natrium	5,2	75	mg/l
Kalium	1,4	7,6	mg/l
Eisen	< 0,025	< 0,025	mg/l
Mangan	0,061	0,081	mg/l
Ammonium	< 0,050	< 0,050	mg/l
Phosphat	< 0,050	< 0,050	mg/l
Bor	< 0,10	< 0,10	mg/l
Sulfat	14	58	mg/l
Nitrat	< 2,0	23	mg/l
AOX	< 0,010	0,12	mg/l
DOC	< 1,0	1,8	mg/l
Hydrogencarbonat	340	530	mg/l

Farbe: DIN EN ISO 7887 (C1) : 1994-12
 Geruch: DEV B 1/2 : 1971
 Elektr. Leitfähigkeit: DIN EN 27888 : 1993-11
 Säure-/Basenkapazität: DIN 38409 H 7 : 2005-12
 Gesamt-/Karbonathärte: DIN 38409 H 6 : 1986-01
 Ammonium: DIN 38406-E 5-1 : 1983-10
 SAK-254: DIN 38404 C 3 : 2005-07
 Phosphat: DIN EN ISO 6878 : 2004-09
 DOC: DIN EN 1484 : 1997-08

Trübung: DIN EN ISO 7027 (C2) : 2000-04
 pH-Wert: DIN EN ISO 10523 : 2012-04
 Sauerstoff: DIN EN 25814
 Metalle: DIN EN ISO 11885 : 2009-09
 Chlorid/Nitrat/Sulfat: DIN EN ISO 10304-1 : 2009-07
 Hydrogencarbonat: DIN 38409 H 7 : 2005-12
 SAK-436: DIN EN ISO 7887 : 2012-04
 AOX: DIN EN ISO 9562 : 2005-02

Trübung: DIN EN ISO 7027 (C2) : 2000-04
 pH-Wert: DIN EN ISO 10523 : 2012-04
 Sauerstoff: DIN EN 25814
 Metalle: DIN EN ISO 11885 : 2009-09
 Chlorid/Nitrat/Sulfat: DIN EN ISO 10304-1 : 2009-07
 Hydrogencarbonat: DIN 38409 H 7 : 2005-12
 SAK-436: DIN EN ISO 7887 : 2012-04
 AOX: DIN EN ISO 9562 : 2005-02

Probenahme
und
Erstellung
von
Analysen

auf den
Gebieten
Wasser, Boden,
Luft, Abfall,
Altlasten und
Klärschlamm

ANALYTIK-TEAM
GmbH



Daimler Str. 6
70736 Fellbach-
Oeffingen
Tel. 07 11/95 19 42-0
Fax 07 11/95 19 42-42
info@analytik-team.de
www.analytik-team.de

Prüfbericht: 2102065 Analytik im Wasser

Auftraggeber: Smoltczyk & Partner GmbH, Untere Waldplätze 14, 70569 Stuttgart
Projekt: 20-144 Ingolstadt, Südliche Ringstraße: Volksbank
Projektbearbeiter: Herr Jud
Probenahme: 03.02.2021 durch Auftraggeber
Bearbeitungszeitraum: 09.02.- 12.02.2021

Untersuchungsbefund:

Parameter	BK 1	BK 3	Dimension
pH-Wert	7,5	7,1	---
Temperatur	18	18	°C
KMnO ₄ -Verbrauch	1,5	1,9	mg/l
Ammonium	< 0,050	< 0,050	mg/l
Calcium	75	150	mg/l
Magnesium	26	30	mg/l
Gesamthärte	17	28	°dH
Kalklösende Kohlensäure	< 15	< 15	mg CO ₂ /l
Chlorid	< 3,0	120	mg/l
Sulfat	14	58	mg/l
Sulfid	< 0,10	< 0,10	mg/l
Beurteilung nach DIN 4030	Nicht angreifend	Nicht angreifend	---

pH-Wert:	DIN EN ISO 10523 : 2012-04	KMnO ₄ -Verbrauch:	DIN EN ISO 8467 : 1995-05
Ammonium:	DIN 38406-E 5-1 : 1983-10	Calcium/Magnesium:	DIN EN ISO 11885 : 2009-09
Kalklösende Kohlensäure:	DIN 38404 C 10 : 2012-02	Chlorid/Sulfat:	DIN EN ISO 10304-1 : 2009-07
Sulfid:	DIN 38405 D 27 : 1992-07	Gesamthärte:	DIN 38409 H 6 : 1986-01

Parameter	BK 1	BK 3	Dimension
pH-Wert	7,5	7,1	---
Temperatur	18	18	°C
c (Ca ²⁺)	1,9	3,8	mol/m ³
Säurekapazität bis pH 4,3	5,5	8,7	mol/m ³
c (Cl ⁻) + 2*c (SO ₄ ²⁻)	0,38	4,6	mol/m ³

pH-Wert:	DIN EN ISO 10523 : 2012-04	Calcium:	DIN EN ISO 11885 : 2009-09
Säurekapazität:	DIN 38409 H 7 : 2005-12	Chlorid/Sulfat:	DIN EN ISO 10304-1 : 2009-07

Probeninformationen:

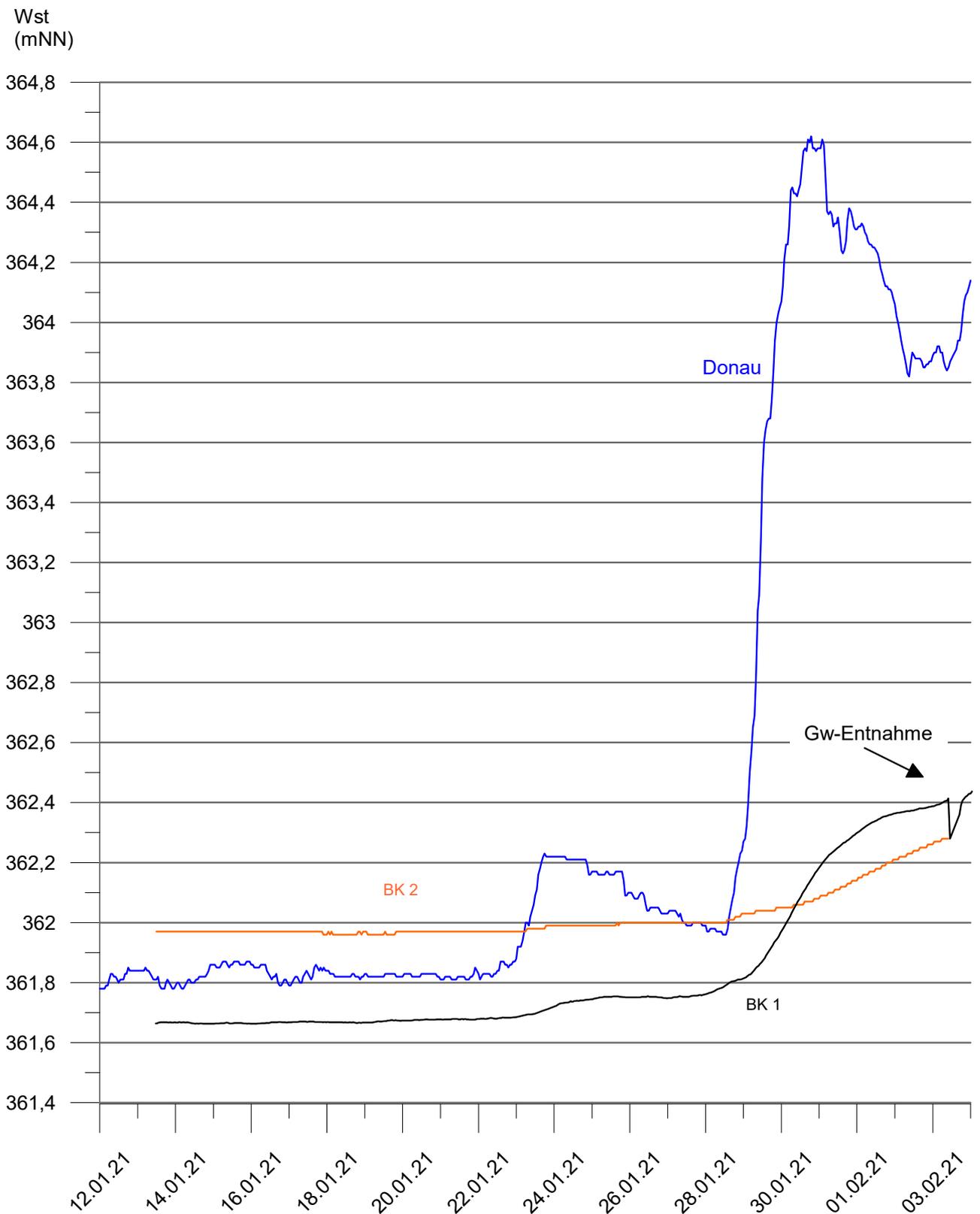
Probenbezeichnung:	BK 1	BK 3
Labornummer:	2102065-1	2102065-2
Matrix:	Wasser	Wasser
Probenbehälter:	3 x 1l Glasflasche + 1l PE-Flasche + 2 x 0,25l Glasschliffflasche	3 x 1l Glasflasche + 1l PE-Flasche + 2 x 0,25l Glasschliffflasche
Probenmenge:	4,5l	4,5l

Anmerkung: Die im Prüfbericht aufgeführten Untersuchungsergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände. Die auszugsweise Vervielfältigung, ohne unsere schriftliche Genehmigung, ist nicht zulässig. Prüfberichte berücksichtigen die aktuellen Normforderungen der DIN EN ISO 17025:2005.

Fellbach, den 12. Februar 2021
 Analytik-Team GmbH
 i.V.



Dieses Dokument wurde elektronisch erstellt und ist auch ohne Unterschrift gültig.



G:\s&p\AUFR20\20144\Anlagen\d - Hydrogeologischer Bericht\20144-BK1-BK2-Donau.grf

Grundwasserstände BK 2 (Quartär) und BK 1 (Tertiär) und Wasserstände Donau
 Pegel Luitpoldstraße vom 13.01.21 bis 03.02.21

gez. ks
 gepr. LK

