

**Geotechnischer Bericht**  
zum Bauvorhaben der  
Stadt Markdorf  
Grundschulkonzeption in 88677 Markdorf

---

BV-Code: BV 000 38 269

Aktenzeichen: AZ 21 03 041

Bauvorhaben: Stadt Markdorf  
Grundschulkonzeption  
Paracelsusstraße  
in 88677 Markdorf  
- Baugrunderkundung -

Auftraggeber: Stadt Markdorf  
Rathausplatz 1  
88677 Markdorf

Bearbeitung: M.Sc.-Geol. Veronika Schmidt

Datum: 31.08.2021

## Inhaltsverzeichnis

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Vorgang</b> .....  | <b>4</b>  |
| <b>2</b> | <b>Geomorphologie des Untersuchungsgebietes</b> .....                     | <b>5</b>  |
| 2.1      | Morphologie und Geologie des Untersuchungsareals .....                    | 5         |
| <b>3</b> | <b>Geotechnisches Baugrundmodell</b> .....                                | <b>8</b>  |
| 3.1      | Bautechnische Beschreibung der Schichten .....                            | 8         |
| 3.2      | Bodenmechanische Laborversuche .....                                      | 12        |
| 3.2.1    | Wassergehaltsbestimmung nach DIN 18121.....                               | 12        |
| 3.2.2    | Zustandsgrenzen nach Atterberg (DIN 18 122) .....                         | 13        |
| 3.2.3    | Korngrößenverteilung.....   | 13        |
| 3.2.4    | Glühverlust nach DIN 18128 .....  | 15        |
| 3.3      | Bodenkennwerte und Bodenklassifizierung .....                             | 15        |
| <b>4</b> | <b>Georisiken</b> .....   | <b>18</b> |
| 4.1      | Seismische Aktivität .....  | 18        |
| <b>5</b> | <b>Hydrogeologie</b> .....  | <b>18</b> |
| 5.1      | Grundwasserverhältnisse.....  | 18        |
| 5.2      | Versickerungsfähigkeit der Böden nach DWA A – 138 (August 2008).....      | 19        |
| <b>6</b> | <b>Grundbautechnische Empfehlungen und baubegleitende Maßnahmen</b> ..... | <b>20</b> |
| 6.1      | Baumaßnahme.....  | 20        |
| 6.2      | Baugrundkriterien.....  | 21        |
| 6.3      | Gründungsempfehlung.....  | 22        |
| 6.4      | Baugrube .....  | 26        |
| 6.5      | Trockenhaltung von Bauwerken .....  | 27        |
| <b>7</b> | <b>Abfallrechtliche Aushubvorbereitung</b> .....                          | <b>28</b> |
| 7.1      | Probenahme .....  | 28        |
| 7.2      | Analysenergebnis und abfallrechtliche Bewertung .....                     | 28        |
| <b>8</b> | <b>Hinweise und Empfehlungen</b> .....                                    | <b>30</b> |

**AZ 21 03 041, BV Stadt Markdorf, Grundschulkonzeption in 88677 Markdorf**

### **Anlagenverzeichnis**

- 1.1 Übersichtslageplan, ohne Maßstab
- 1.2 Lageplan mit Untersuchungspunkten, M 1: 500
- 2.1-3 Geotechnische Baugrundschnitte, M.d.H. 1 : 100, M.d.L. unmaßstäblich
- 3 Fotodokumentation zu den Bohrkernen
- 4.1-6 Bodenmechanische Laboruntersuchungen
- 5.1-3 Pfahl-Widerstands-Setzungsdiagramme
- 6.1-3 Probenahmeprotokolle
- 7 Laboranalysenbericht der BVU GmbH

### **Verwendete Unterlagen und Literatur**

- [1] müller + marcus - planungsbüro GmbH, Im Bahnhof, 88690 Uhlkingen-Mühlhofen: Grundschulneubau mit Sporthalle Markdorf, Vorentwurf:
  - [1.1] Entwurf Variante 2, M 1 : 200 / M 1 : 100, Stand 22.06.2021
  - [1.2] Entwurf Variante 1, M 1 : 200 / M 1 : 100, Stand 14.07.2021
- [2] Geologische Karte von Baden-Württemberg, Blatt 8222 Markdorf, Maßstab 1 : 25 000
- [3.1] DIN EN 1997-1, Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik, Teil 1 Allgemeine Regeln
- [3.2] DIN EN 1997-2, Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik, Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds
- [3.3] DIN EN 1997-2/NA, Nationaler Anhang, National festgelegte Parameter
- [3.4] DIN 1054:2012-12; Baugrund- Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1
- [3.5] DIN EN 1998-1/NA, Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben
- [4] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Theodor-Heuss-Allee 17, 53773 Hennef: Arbeitsblatt DWA-A 138: Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser, August 2008
- [5] Empfehlungen des Arbeitskreises Baugruben „EAB“, 6. Auflage
- [6] EA Pfähle, Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“, 2. Auflage
- [7] DIN EN 1998-1/NA:2011-01, Erdbebenzonenkarte
- [8] Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums Baden-Württemberg für die Verwertung von als Abfall eingestuftem Bodenmaterial, vom 14. März 2007 - AZ .: 25-8980.08M20 Land/3

AZ 21 03 041, BV Stadt Markdorf, Grundschulkonzeption in 88677 Markdorf

## 1 Vorgang

Die Stadt Markdorf beabsichtigt, ihr Bildungszentrum in der Ensisheimer Straße 30 durch den Neubau einer Grundschule mit Sporthalle zu erweitern. Die Grundschule soll dabei in westlicher Richtung zum bestehenden Schulstandort zu liegen kommen.

Im Zusammenhang mit der geplanten Baumaßnahme wurde die Fa. BauGrund Süd beauftragt, die geologische und hydrogeologische Beschaffenheit des Untergrundes zu erkunden und die Ergebnisse, gemäß Eurocode 7, in einem geotechnischen Bericht nach DIN EN 1997-1 bzw. DIN EN 1997-2 zusammenfassend darzustellen und gründungstechnisch zu bewerten.

Für eine erste Erfassung bzw. Beurteilung der geologischen Schichtenabfolge bzw. Untergrundverhältnisse kamen im Zeitraum vom 19.04.2021 bis 20.04.2021 drei großkalibrige Rammkernbohrungen BK 1-3/21 mit durchgehenden Gewinn gekernter Bodenproben bis in eine Tiefe zwischen 7,00 m (BK 2-3/21) bzw. 10,00 m (BK 1/21) unter der Geländeoberkante (u. GOK) zur Ausführung.

In Ergänzung zu den Rammkernbohrungen wurde zur Ermittlung des Lagerungszustandes bzw. der Festigkeit des Untergrundes sowie zur Abgrenzung der geologischen Schichtenfolge drei Rammsondierungen (DPH 1-3/21) mit der schweren Rammsonde (dynamic probing heavy) nach DIN EN ISO 22476-2 abgeteuft. Die Rammsondierungen erreichten dabei eine Tiefe von 4,10 m bis 8,00 m unter GOK.

Mit den niedergebrachten Rammkernbohrungen wurden im westlichen bzw. südwestlichen Bereich des Untersuchungsareals bis in einer Tiefe von 10,0 m unter GOK feinkornreichen Böden in einer nur sehr weichen bis weichen Konsistenz aufgeschlossen, so dass zur Verifizierung der Bodenkennwerte sowie zur Feststellung der Tiefenlage tragfähiger Bodenschichten als auch zur Abgrenzung der nur gering tragfähigen Bodenschichten das Aufschlussprogramm um vier Drucksondierungen (Cone Penetration Test) CPT 1-4/21 nach DIN EN ISO 22476-1 erweitert wurde. Die Drucksondierungen endeten in einer Tiefe zwischen 6,05 m bis 33,44 m unter GOK, da in den jeweiligen Tiefen kein weiterer Sondierfortschritt aufgrund der Festigkeit des Untergrundes möglich war. Die Lage der Drucksondierungen orientierte sich dabei an den Gebäudeecken, der am 15.07.2021 im Nachgang übermittelten Entwurfspläne [1].

Die Lage des Untersuchungsareals ist im Übersichtslageplan der Anlage 1.1 ersichtlich. Der Standort der einzelnen Untersuchungspunkte ist in der Anlage 1.2 dargestellt und richtete sich nach der Zugänglichkeit des Areals in Bezug auf die morphologischen Verhältnisse sowie den bestehenden Bewuchs. Die Ansatzpunkte der Aufschlüsse wurden vor Ort durch Mitarbeiter der Fa. BauGrund Süd ausgepflockt sowie nach Lage und Höhe mittels GPS eingemessen. Die Koordinaten (UTM) und Absoluthöhen (NHN) der Ansatzstellen sind im Lageplan der Anlage 1.2 enthalten.

**AZ 21 03 041, BV Stadt Markdorf, Grundschulkonzeption in 88677 Markdorf**

Die mit den Rammkernbohrungen aufgeschlossenen Bodenschichten wurden nach DIN EN ISO 14688-1 (2018-05), DIN 18196 (2011-05), DIN 18300 (2019-09) und DIN 18301 (2019-09) ingenieurgeologisch aufgenommen, wobei stratigraphisch gleiche Schichten zusammengefasst worden sind und diese daher von der genormten Farbgebung für Lockergesteine teilweise abweichen können. Anschließend erfolgte aus den Bohrprofilen sowie anhand der Ramm- und Drucksondierungsdiagramme die Ausarbeitung eines geologischen Baugrundmodells, welches in den Anlagen 2.1-3 wiedergegeben ist.

Die mit den Aufschlüssen zu Tage gefördert und in Kernkisten ausgelegten Böden sind in der Fotodokumentation der Anlage 3 abgebildet.

Aus den Bohrungen wurden gestörte Proben entnommen und im Erdbaulabor der Fa. BauGrund Süd bodenmechanisch untersucht. Die Ergebnisse der Laborversuche sind im Detail in den Anlagen 4.1-6 dokumentiert.

Die Anlagen 5.1-2 enthalten exemplarische Pfahl-Widerstands-Setzungsdiagramme für den Fall einer Tieffundation des Bauvorhabens auf mantelverpressten Mikropfählen.

Um eventuelle Schadstoffgehalte des als Aushub anfallenden Bodens festzustellen und um eine abfallrechtliche und bodenschutzrechtliche Ersteinschätzung abgeben zu können, wurde im Rahmen der Baugrunduntersuchung eine stichprobenartige Erkundung des Untersuchungsareals durchgeführt. Die Probenahme-Protokolle und die Untersuchungsergebnisse sind in den Anlagen 6.1-3 und 7 enthalten.

## **2 Geomorphologie des Untersuchungsgebietes**

### **2.1 Morphologie und Geologie des Untersuchungsareals**

Der für den Neubau der Grundschule vorgesehene Standort befindet sich im südlichen Stadtgebiet von Markdorf rd. 75 m in westlicher Richtung zum Bildungszentrum von Markdorf und weist eine L - förmige Grundfläche auf.

In nordöstlicher Richtung grenzt die Ensisheimer Straße an das Areal an. In westlicher bzw. nordwestlicher Richtung schließen sich Wohnbebauungen und in südlicher Richtung ein Skaterpark an die Untersuchungsfläche an. Zwischen dem Baugrundstück und den Wohnbebauungen befindet sich der Quellgraben, der in südlicher Richtung entwässert. Entlang der südlichen bzw. östlichen Grundstücksgrenze verläuft ein Zufahrtsweg, der zu dem Skaterpark sowie der südlich gelegenen Sportanlage führt bzw. dessen weitere Abzweigung mittig im Areal in einer Sackgasse endet.

Das geplante Baufeld wurde zuletzt als Grünfläche genutzt und weist flächig einen Grasbewuchs auf. Entlang der Grundstücksgrenzen sowie vor allem im zentralen bzw. südlichen Bereich wird die Oberfläche von einem dichten Baum- und Buschbewuchs eingenommen, so dass hier die Zugänglichkeit für die Aufschlüsse deutlich eingeschränkt war.

**AZ 21 03 041, BV Stadt Markdorf, Grundschulkonzeption in 88677 Markdorf**



**Abb. 1: Blick von der Ensisheimer Straße in westlicher Richtung über das Untersuchungsareal**



**Abb. 2: Blick in westlicher Richtung auf Höhe der BK 2/21**

Morphologisch betrachtet befindet sich das Stadtgebiet von Markdorf und somit das Untersuchungsareal in einer ausgeprägten Senke bzw. Talebene, die von zahlreichen kleineren Abflüssen durchzogen wird, die von den aufsteigenden, umliegenden Moränenhügeln bzw. in nördlicher Richtung von dem Molasserücken in die Talebene entwässern. Das Gelände selbst weist ein Gefälle von den nordwestlich gelegenen Ausläufern eines Moränenhügels in südliche bzw. südöstliche Richtung auf, so dass sich zwischen den einzelnen Aufschlusspunkten ein Höhenunterschied von rd. 5 m ergibt,

Aus geologischer Sicht wird der tiefere Untergrund im Voralpenraum von Ablagerungsformen der Molasse bestimmt, die sich während des Tertiärs in der Vorlandsenke der Alpen abgelagert hat und sich im angrenzenden Bereich zu den Alpen aus erodierten Gesteinen und Sedimenten der umliegenden Gebirgszüge zusammensetzt. Aufgrund der Tiefenlage der Molassesedimente wurden diese jedoch im direkten Aufschlussverfahren nicht angetroffen.

Im Zuge der letzten Vereisungsphase wurden die Molassesedimente durch die vorstoßenden Gletscher, im vorliegenden Fall dem Rheingletscher, überprägt. Mit dem Rückzug der Gletscher lagerten sich mächtige Sedimentdecken aus Moränenkiesen und -sandem sowie Diamikten ab, die zur Ausbildung der typischen, hügeligen Moränenlandschaft führten. In den Talsenken der Moränenhügel lagerten sich durch die Sedimentfracht der seitlich aus den Moränenhügeln zulaufenden Abflüsse junge Talfüllungen ab, die in der Zusammensetzung stark variieren und neben Sanden und Kiesen im Untersuchungsareal vorwiegend als tonige Schluffe mit zum Teil sandigen Zwischenlagen aufgeschlossen wurden. Vor allem bei vermehrter Staunässe können oberflächennah anmoorige Auelehme als auch torfige Bodenbildungen auftreten.

Im angrenzenden Bereich zur Ensisweiler Straße bzw. zur Bushaltestelle des Schulzentrums können darüber hinaus anthropogene Auffüllungen in den oberflächennahen Schichthorizonten auftreten.

AZ 21 03 041, BV Stadt Markdorf, Grundschulkonzeption in 88677 Markdorf

## 2.2 Allgemeine Baugrundbeschreibung

Mit den abgeteufte Aufschlüssen kann für das projektierte Bauareal folgende generalisierte Schichtenabfolge zugrunde gelegt werden:

|   |                    |
|---|--------------------|
| <b>Auffüllung</b><br>(Oberboden/Schluff)              | (Rezent)           |
| <b>Aueablagerungen</b><br>(Auelehm)                   | (Holozän)          |
| <b>Talablagerungen</b><br>(Tallehm,-sand)             | (Holozän)          |
| <b>Moränensedimente</b><br>(Grundmoräne, Moränensand) | (Würm, Pleistozän) |

Im Einzelnen wurden die erkundeten Schichten mit den abgeteufte Aufschlüssen in folgenden Schichttiefen festgestellt:

**Tabelle 1: Schichtglieder und Schichttiefen der Rammkernbohrungen (bis m unter Gelände)**

| Aufschluss | Auffüllung  | Aueablagerungen | Talablagerungen | Moränen-<br>sedimente |
|------------|-------------|-----------------|-----------------|-----------------------|
| BK 1/21    | 0,00 - 0,80 | 0,80 - 2,00     | 2,00 - 10,00*   | -                     |
| BK 2/21    | 0,00 - 0,80 | 0,80 - 3,00     | 3,00 - 6,80     | 6,80 - 7,00*          |
| BK 3/21    | 0,00 - 0,75 | -               | -               | 0,75 - 7,00*          |

\* Endtiefe Rammkernbohrungen

AZ 21 03 041, BV Stadt Markdorf, Grundschulkonzeption in 88677 Markdorf

**Tabelle 2: Schichtglieder und Schichttiefen Ramm- und Drucksondierungen (bis m unter Gelände)**

| Aufschluss** | Auffüllung  | Aueablagerungen | Talablagerungen | Moränen-sedimente |
|--------------|-------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| DPH 1/21     | 0,00 - 0,80 | 0,80 - 3,50     | 3,50 - 8,00*    | -                 |
| DPH 2/21     | 0,00 - 1,30 | -               | 1,30 - 3,50     | 3,50 - 4,10*      |
| DPH 3/21     | 0,00 - 1,20 | -               | -               | 1,20 - 6,00*      |
| CPT 1/21     | 0,00 - 0,50 | 0,50 - 3,80     | 3,80 - 6,30     | 6,30 - 7,94*      |
| CPT 2/21     | 0,00 - 0,70 | 0,70 - 2,00     | 2,00 - 15,70    | 15,70 - 33,44*    |
| CPT 3/21     | 0,00 - 0,80 | 0,80 - 2,40     | 2,40 - 21,50    | 21,50 - 24,54*    |
| CPT 4/21     | 0,00 - 1,00 | -               | 1,00 - 5,40     | 5,40 - 6,05*      |

\* Endtiefe Ramm-/Drucksondierung

\*\* Da es sich bei Sondierungen um ein indirektes Aufschlussverfahren handelt (keine Bodenförderung), sind die Schichtgrenzen als Interpolation zu betrachten

### 3 Geotechnisches Baugrundmodell

#### 3.1 Bautechnische Beschreibung der Schichten

Durch Interpolation der punktuellen Aufschlüsse wurde unter Berücksichtigung der geologischen Zusammenhänge ein räumliches Baugrundmodell entwickelt. Der Aufbau, die Zusammensetzung sowie die bautechnischen Eigenschaften des Untergrundes werden nachfolgend beschrieben. Das für das Areal zugrunde gelegte Baugrundmodell ist dabei zusammenfassend in den Anlage 2.1-3 dargestellt.

#### Auffüllung

Der oberste Schichtenhorizont wird von einem vereinzelt steinigen, organischen, schwach tonigen, sandigen Schluff mit einer dunkelbraunen Färbung gebildet. Entsprechend der innerstädtischen Lage sowie der aufgenommenen Ziegelbruchanteile von ca. 1 Vol-% ist davon auszugehen, dass es sich bei den feinkornreichen Böden um einen anthropogen umgelagerten bzw. beeinflussten Oberboden handelt.

Der umgelagerte Oberboden reicht bis in eine Tiefe von max. 0,80 m unter GOK. An den Oberboden schließt sich im Bereich der BK 3/21 ein schwach steiniger, toniger, sandiger Schluff mit einer ockerbraunen Färbung an, der ebenfalls vereinzelt Ziegelbruchstücke aufweist.

Gemäß der manuellen Bodenansprache des Bohrgutes ist die Konsistenz der Auffüllungen mit weich anzugeben. Dies wird durch die Schlagzahlen der schweren Rammsondierungen mit Werten von  $N_{10} = 1 - 2$  ( $N_{10}$  = Anzahl der Schläge pro 10 cm Eindringung des

**AZ 21 03 041, BV Stadt Markdorf, Grundschulkonzeption in 88677 Markdorf**

Sondiergestänges in den Boden) sowie anhand der Drucksondierungen mit einem Spitzendruck von  $q_c = 1 \text{ MN/m}^2$  bestätigt.

Die Auffüllungen sind im Vorfeld zur Baumaßnahme flächig abzutragen und können lediglich für statisch untergeordnete Zwecke, zum Beispiel als Geländeangleichung, im Sinne eines Oberbodens wiederverwendet werden.

### **Aueablagerungen**

An die aufgefüllten Bodenschichten schließen vor allem im westlichen bzw. südwestlichen Bereich des zu untersuchenden Areals Aueablagerungen an, die mit den Bohrungen als ein schwach toniger bis toniger, schwach sandiger bis sandiger, z.T. organischer bzw. torfiger Schluff aufgeschlossen wurden. In Abhängigkeit der organischen Beimengungen variiert die Färbung der Aueablagerungen zwischen einer braunen bis schwarzbraunen (deutliche Organik) bis hin zu einer grauen bis gelbbraunen (keine Organik) Färbung.

Anhand der manuellen Bodenansprache des Bohrgutes als auch der Schlagzahlen der schweren Rammsondierungen mit Werten von  $N_{10} = 1 - 2$  bzw. einem Spitzendruck der Drucksondierungen von  $q_c = 0,5 - 1 \text{ MN/m}^2$  ist für die Aueablagerungen eine nur weiche Konsistenz abzuleiten.

Die aus den Drucksondierungen berechnete undrainierte Kohäsion liegt innerhalb der Aueablagerungen bei einem Mittelwert von ca.  $c_u = 20 - 30 \text{ kN/m}^2$  und belegt die nur weiche Konsistenz der Sedimente.

Die Aueablagerungen stellen in der aufgeschlossenen weichen Zustandsform einen nur gering tragfähigen Untergrund dar, der insbesondere bei erhöhten organischen Anteilen bzw. torfigen Bestandteilen im Fall einer Lastaufbringung zu langanhaltenden sowie Bauwerks unverträglichen Setzungen neigt. Von einer Bauwerksgründung auf den Aueablagerungen wird daher dringlichst abgeraten.

### **Talablagerungen**

Im weiteren Schichtenverlauf gehen die Auesedimente ab einer Tiefe zwischen 2,00 m bis 3,80 m unter GOK in die jungen Talauauffüllungen über. Die Talablagerungen wurden im Zuge der Aufschlusskampagne in den direkten Aufschlüssen vorwiegend als feinkornreicher Boden in Form eines Tallehmes aufgeschlossen, in welchem immer wieder mit Zwischenlagen aus Talsanden gerechnet werden muss.

Die grau bis graublau gefärbten Tallehme setzen sich aus einem schwach tonigen bis tonigen Schluff mit variierendem Sandanteil von schwach sandig bis stark sandig zusammen. Die grau gefärbten Talsande sind als ein schwach toniger, schwach schluffiger bis schluffiger Fein- bis Mittelsand zu beschreiben. Innerhalb der Talablagerungen sind immer wieder Pflanzenreste (Schilfreste) zu erkennen.

Aufgrund der geringen Aufschlusstiefe der Rammkernbohrungen spiegelt sich die Wechsellagerung von Tallehmen mit Talsanden vor allem in den Diagrammen der Drucksondierungen wider.

**AZ 21 03 041, BV Stadt Markdorf, Grundschulkonzeption in 88677 Markdorf**

Die vorwiegend sandige Zusammensetzung zeigt sich in den fehlenden  $c_u$  - Werten. Die innerhalb der Talablagerungen kleinräumig wechselnde rollige, d.h. sandige Horizont erreichen eine Schichtstärke zwischen rd. 0,5 - 2,0 m.

Gemäß der manuellen Bodenansprache des Bohrgutes liegen die feinkornreichen Talablagerungen bis zur jeweiligen Endtiefe der Rammkernbohrungen in einer sehr weichen bis weichen Konsistenz vor. Die geringen Konsistenzen zeigen sich ebenfalls in den schweren Rammsondierungen sowie den Ergebnissen der Drucksondierungen wieder.

Anhand der schweren Rammsondierungen wurden für die Talablagerungen Werte von  $N_{10} = 1 - 11$  ermittelt, die auf eine weiche bis max. steife Konsistenz hindeuten. Vor allem bei tonreichen Sedimenten sind die Schlagzahlen der schweren Rammsondierungen häufig durch die Mantelreibung des Sondiergestänges verfälscht, so dass für eine genauere Beurteilung der Zustandsform bzw. Lagerungsdichte die Werte der Drucksondierungen heranzuziehen sind.

Die Drucksondierungen ergaben für die Talsedimente einen Spitzendruck von  $q_c = 0,5 - 1 \text{ MN/m}^2$  und bestätigen die in den Bohrungen aufgeschlossenen sehr weiche bis weiche Konsistenz der Tallehme. Die zwischengeschalteten Sandlagen zeigen sich in einem kurzen Anstieg des Spitzendrucks auf  $q_c = 2,5 - 4 \text{ MN/m}^2$  sowie einem Rückgang der berechneten undrainierten Schwerfestigkeit. Mit zunehmender Tiefe ist der Ausschlag beim Spitzendruck auch bei einer nicht ableitbaren, undrainierten Scherfestigkeit nur gering, so dass davon auszugehen ist, dass die Sedimente in einem wassergesättigten, sehr weichen Zustand vorliegen.

Zusammenfassend zeigt sich somit bei den Drucksondierungen ein ähnliches Bild wie bereits bei den Bohrungen, wonach die Talablagerungen in einer nur sehr weichen bis weichen Zustandsform anstehen.

Die aufgeschlossenen Talablagerungen stellen in der anstehenden Form einen setzungswilligen Baugrund dar, der je nach Belastungsintensität mit mehr oder weniger starken Untergrundverformungen reagieren wird. Darüber hinaus ist er, bedingt durch den hohen Feinanteil, als sehr frost- und witterungsempfindlich einzustufen und neigt in Kontakt mit Wasser zum Aufweichen und einer weiteren Herabsetzung der Konsistenz bzw. Tragfähigkeit.

Im Zuge von Aushubarbeiten ist darauf zu achten, dass die wasserführenden, sandreichen Talablagerungen thixotropen Eigenschaften aufweisen und im Anschnitt zum Ausfließen und einer damit verbundenen Instabilität der Böschungen neigen. Auf die Baugrubensohle selbst sind dynamische Einwirkungen zu vermeiden, da sich bei einer sandreichen, wassergesättigten Zusammensetzung der Talablagerungen nebst der Thixotropie auch mit dem sogenannten „Wasserbetteffekt“ zu rechnen ist.

### **Moränensedimente**

Im östlichen Bereich des Grundstückes, der sich nach derzeitigem Kenntnisstand außerhalb des geplanten Baufeldes befindet, wurden bereits in geringen Tiefen ab ca. 0,75 m unter GOK (BK 3/21) Moränensedimente aufgeschlossen.

**AZ 21 03 041, BV Stadt Markdorf, Grundschulkonzeption in 88677 Markdorf**

Die Moränensedimente wurden im direkten Aufschlussverfahren zunächst als eine sandreiche Grundmoräne freigelegt, die sich aus einem schwach kiesigen, tonigen, sandigen bis stark sandigen Schluff mit einer hellbraunen Färbung zusammensetzt. Im weiteren Schichtenverlauf geht die Grundmoräne ab einer Tiefe von 3,00 m unter GOK in einen schwach schluffigen Fein- bis Grobsand mit einer hellbraunen bis grauen Färbung über, der als Moränensand zu bezeichnen ist. Dieser sandige Boden wurden ebenfalls in der Bohrung BK 2/21 ab einer Tiefe von 6,80 m unter GOK freigelegt, so dass sich bereits in den direkten Aufschlüssen ein deutliches Abtauchen der Moränensedimente in westlicher Richtung darstellt.

In den indirekten Aufschlüssen, in Form der schweren Rammsondierungen zeigt sich der Übergang zu den Moränensedimenten in einem Anstieg der Schlagzahlen auf Werte von  $N_{10} = 5 - 23$ , die auch eine mind. mitteldichte Lagerungsdichte der Moränensande bzw. mind. steife Konsistenz der Grundmoräne hindeuten und die manuellen Bodenansprache des Bohrgutes bestätigten. In der Rammsondierung DPH 2/21 war in einer Tiefe von 4,10 m kein Sondierfortschritt mehr zu verzeichnen, der vermutlich in Zusammenhang mit einem Sondierhindernis (Stein/Block) im Untergrund steht.

Der Übergang zu den Moränensedimente ist ebenfalls in den Drucksondierungen CPT 1/21 sowie CPT 4/21 in einer Tiefe von 5,40 m (CPT 4/21) bzw. 6,30 m (CPT 1/21) zu erkennen. Der Spitzendruck steigt in den Moränensedimenten auf  $q_c = > 5 - 20 \text{ MN/m}^2$  an und belegt die mind. mitteldichte Lagerungsdichte der Moränensande bzw. min. steife Konsistenz der Grundmoräne. In den Drucksondierungen CPT 3/21 sowie CPT 4/21, welche im westlichen Bereich des Areals und somit im Bereich der tiefreichenden Talablagerungen zu liegen kamen, ist der Übergang zu den Moränensedimenten eher aus dem Anstieg der  $c_u$  - Werte als an dem Spitzendruck zu erkennen, was angesichts der geringen  $q_c$  - werte auf eine sehr feinkornreiche, tonige Zusammensetzung der Grundmoräne unterhalb der Talablagerungen schließen lässt.

Sofern die Moränensedimente (Grundmoräne) in einer mind. steifen Zustandsform bzw. die Moränensande in einer mind. mitteldichten Lagerungsdichte vorliegen, sind diese als mäßig bis gut tragfähiges Gründungssubstrat zu bezeichnen. Wie bereits die Talablagerungen handelt es sich ebenfalls bei der feinkornreichen Grundmoräne um einen stark frost- und witterungsempfindlichen Boden, der in Kontakt mit Wasser zum Aufweichen und einer Reduzierung seiner Zustandsform neigt.

AZ 21 03 041, BV Stadt Markdorf, Grundschulkonzeption in 88677 Markdorf

### 3.2 Bodenmechanische Laborversuche

Zusätzlich zu der manuellen Ansprache des Bohrgutes wurden bodenmechanische Laborversuche an gestörten Bodenproben durchgeführt. Die einzelnen Ergebnisse werden in den folgenden Ausführungen beschrieben.

#### 3.2.1 Wassergehaltsbestimmung nach DIN 18121

Der Wassergehalt einer Bodenprobe ist das Verhältnis des Gewichtes des Porenwassers zum Gewicht der trockenen Probe. Der natürliche Wassergehalt ist bei einem bindigen Boden ein entscheidender Faktor zur Bestimmung des Bodenzustandes bzw. der Konsistenz.

Die Ergebnisse der durchgeführten Wassergehaltsbestimmungen, welche die Erstellung eines Wassergehaltprofils aus der Bohrung BK 1/21 ermöglichen, sind in der Anlage 4.1 sowie in der Tabelle 3 dargestellt.

**Tabelle 3: Übersicht der durchgeführten Wassergehaltsbestimmungen**

| Aufschluss | Tiefe<br>(m u. GOK) | Geologische Einheit | Wassergehalt [%] |
|------------|---------------------|---------------------|------------------|
| BK 1/21    | 1,0                 | Auelehm             | 50,20            |
|            | 2,0                 |                     | 30,03            |
|            | 3,0                 | Talablagerungen     | 28,42            |
|            | 4,0                 |                     | 29,83            |
|            | 5,0                 |                     | 26,18            |
|            | 6,0                 |                     | 27,62            |
|            | 7,0                 |                     | 25,85            |
|            | 8,0                 |                     | 28,70            |
|            | 9,0                 |                     | 27,49            |
|            | 10,0                |                     | 28,67            |

Wie das aus der Aufschlussbohrungen BK 1/21 ermittelte Wassergehaltsprofil zeigt, liegt der Wassergehalt in den Auelehmen zwischen 30,03 % bis 50,20 % und weist vor allem in einer Tiefe von 1,0 m unter GOK mit einem Wassergehalt von 50,20 % auf eine deutliche Wassersättigung der Bodenschichten oder aber auch auf die erhöhten Organikgehalt bzw. Torfanteile in den Auelehmen hin, die sich durch ein gutes Wasserbindevermögen auszeichnen.

Innerhalb der Talablagerungen bewegen sich die Wassergehalte zwischen 25,85 % bis 29,83 % und belegen die durchgehend nur weiche Konsistenz der Sedimente, so dass die Ergebnisse der Drucksondierungen nochmals labortechnisch bestätigt werden.

**AZ 21 03 041, BV Stadt Markdorf, Grundschulkonzeption in 88677 Markdorf**

**3.2.2 Zustandsgrenzen nach Atterberg (DIN 18 122)**

Nach Atterberg wird der Übergang von der flüssigen zur bildsamen (knetbaren) Zustandsform als Fließgrenze, von der knetbaren zur halbfesten Zustandsform als Ausrollgrenze und von der halbfesten zur festen Zustandsform als Schrumpfgrenze bezeichnet.

Die Fließ- und Ausrollgrenzen dienen in Verbindung mit dem natürlichen Wassergehalt dazu, die Konsistenzzahl ( $I_c$ ) und damit die Zustandsform eines bindigen Erdstoffes (Korngröße  $\leq 0,063$  mm) zu bestimmen. Die Plastizitätszahl gibt an, wie sich die Eigenschaften eines Erdstoffes bei der Aufnahme von Wasser ändern.

Die Tabelle 4 gibt eine Übersicht der wichtigsten Kenngrößen der Atterberg - Auswertung wieder. Die Auswertungen zur Bestimmung der Zustandsgrenzen ist detailliert in der Anlage 4.2 hinterlegt.

**Tabelle 4: Übersicht der ermittelten Konsistenzgrenze**

| Aufschluss | Tiefe (m u. Gel.) | Konsistenzzahl $I_c$ | Wassergehalt [%] | Zustandsform | Bodengruppe | Geologische Einheit |
|------------|-------------------|----------------------|------------------|--------------|-------------|---------------------|
| BK 2/21    | 4,0               | 0,55                 | 36,6             | weich        | TA          | Talablagerungen     |

Anhand der Auswertung des Atterbergversuches wurde für den Tallehm der Bohrung BK 2/21 in einer Tiefe von 4,0 m unter GOK eine Konsistenzzahl von  $I_c = 0,55$  und somit eine weiche Konsistenz nachgewiesen. Der Wassergehalt ist mit 36,6 % sehr hoch und steht in Zusammenhang mit den Tonanteilen, die als stark wasserbindend anzusehen sind.

Nach der Lage im Plastizitätsdiagramm von Casagrande ist der Tallehm der Bodengruppe TA (ausgeprägt plastische Tone) zuzuordnen.

**3.2.3 Korngrößenverteilung**

Eine Korngrößenverteilung liefert eine erste Beurteilung des Baugrundes hinsichtlich der Durchlässigkeit, Frostempfindlichkeit, Zusammendrückbarkeit, Scherfestigkeit und Eignung als Filtermaterial.

Zur Ermittlung der Kornverteilung werden die Korngrößen getrennt, und zwar für die Korngrößen  $d > 0,063$  mm durch Sieben und für die Korngrößen  $d < 0,063$  mm durch Sedimentation (Schlämmen). Bei gemischtkörnigen Böden mit größeren Anteilen über bzw. unter  $d = 0,063$  mm wird eine kombinierte Sieb- und Schlämmanalyse durchgeführt.

Die aus den Kornverteilungskurven ermittelte Zusammensetzung ist im Detail in der Tabelle 5 sowie den Anlagen 4.3-5 aufgeführt.

AZ 21 03 041, BV Stadt Markdorf, Grundschulkonzeption in 88677 Markdorf

Tabelle 5: Übersicht der durchgeführten granulometrischen Analysen

| Aufschluss | Tiefe (m u. GOK.) | Kiesanteil [%] | Sandanteil [%] | Schluff/Tonanteil [%] | Bodenart   | Geologische Einheit | Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]                       |
|------------|-------------------|----------------|----------------|-----------------------|--|---------------------|---|
| BK 2/21    | 5,3 - 6,0         | 0,2            | 39,7           | 38,2 / 21,9           | Fein- bis Mittelsand, stark schluffig, tonig         | Talablagerung       | $1,4 \times 10^{-9}$<br>[ $2,8 \times 10^{-10}$ ]** |
| BK 3/21    | 2,0               | 13,0           | 37,7           | 40,2 / 9,0            | Schluff, stark sandig, schwach kiesig, schwach tonig | Grundmoräne         | $5,9 \times 10^{-8}$<br>[ $1,18 \times 10^{-8}$ ]** |
| BK 3/21    | 3,0 - 4,0         | 1,4            | 81,3           | 17,3 / -              | Fein- bis Mittelsand, schluffig                      | Moränensand         | $1,0 \times 10^{-5}$<br>[ $2,0 \times 10^{-6}$ ]**  |

\* Durchlässigkeitsbeiwert ermittelt nach USBR

\*\* korrigierter Durchlässigkeitsbeiwert nach DWA A-138

Die Ergebnisse der granulometrischen Analysen belegen für die **Talablagerungen** die zum Teil sandreiche Zusammensetzung aus einem tonigen, stark schluffigen Fein- bis Mittelsand. Mit einem Feinkornanteil ( $< 0,063$  mm) von 60,1 % sind jedoch die schluffigen und tonigen Bodenanteile maßgebend für die bodenmechanischen Eigenschaften, so dass der Boden der Bodengruppe SU\*/ST\* zuzuordnen ist.

Für die **Grundmoräne** zeigt sich anhand der Kornverteilung die typische gemischtkörnige Zusammensetzung aus einem schwach tonigen, kiesigen, stark sandigen Schluff, wobei die Grundmoräne mit 37,7 % hohe Sandanteile aufweist. Die granulometrische Analyse ergab für die **Moränensande** eine Zusammensetzung aus einem schluffigen Fein- bis Mittelsand.

Aus den Kornverteilungen wurde gemäß USBR für die Talablagerungen ein Durchlässigkeitsbeiwert von  $k_f = 1,4 \times 10^{-9}$  m/s, für die Grundmoräne ein Durchlässigkeitsbeiwert von  $k_f = 5,9 \times 10^{-8}$  m/s und für die Moränensande ein Durchlässigkeitsbeiwert von  $k_f = 1,0 \times 10^{-8}$  m/s, abgeleitet. Somit sind die feinkornreichen Böden in Form der Talablagerungen sowie der Grundmoräne als ein **schwach durchlässiger Boden** und die Moränensande als ein durchlässiger Boden nach DIN 18130 zu bewerten.

Nach dem DWA-A 138 Merkblatt, Anhang B „Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit“ sind die mittels Laborversuche (Kornverteilung) ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte für die Bemessung von Sickeranlagen mit einem Korrekturfaktor von 0,2 zu multiplizieren. Demnach ergibt sich für die Talablagerungen ein korrigierter Durchlässigkeitsbeiwert von  $k_f = 2,8 \times 10^{-9}$  m/s, für die Grundmoräne von  $k_f = 1,18 \times 10^{-8}$  m/s und für die Moränensande von  $k_f = 2,0 \times 10^{-6}$  m/s.

**AZ 21 03 041, BV Stadt Markdorf, Grundschulkonzeption in 88677 Markdorf**

**3.2.4 Glühverlust nach DIN 18128**

Der Glühverlust eines Bodens ist der auf die Trockenmasse bezogene Massenverlust, den der Boden beim Glühen erleidet. Zur Ermittlung des organischen Anteils der Böden wurden den Bohrungen gestörte Bodenproben entnommen und im bodenmechanischen Labor der Fa. BauGrund Süd untersucht. Die einzelnen Parameter können im Detail der Anlage 4.6 entnommen werden.

Die Ergebnisse der durchgeführten Bestimmung des Glühverlustes sind in der Tabelle 6 dargestellt.

**Tabelle 6: Ergebnisse der Glühverlustbestimmungen (Anl. 4.6)**

|                            |           |
|----------------------------|-----------|
| Aufschluss                 | BK 2/21   |
| Tiefe [m]                  | 2,0 - 3,0 |
| Mittelwert Glühverlust [%] | 13,82     |

Der Glühverlust des untersuchten, torfigen Auelehms wurde zu 13,82 % ermittelt. Nach DIN EN ISO 14688-2 sind die Böden damit als mittel organisch zu beschreiben.

**3.3 Bodenkennwerte und Bodenklassifizierung**

Aus erd- und grundbautechnischer Sicht sind für die im Untersuchungsgebiet aufgeschlossenen Böden folgende Bodenkennwerte zugrunde zu legen:

**Tabelle 7: Charakteristische Bodenkennwerte (Erfahrungswerte)**

| Schichten                 | Wichte (feucht) $\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ] | Wichte (u. Auftrieb) $\gamma_k'$ [kN/m <sup>3</sup> ] | Reib.-winkel dränert $\phi_k$ [°] | Kohäsion dränert $c_k$ [kN/m <sup>2</sup> ] | Steifemodul $E_s$ [MN/m <sup>2</sup> ] |
|---------------------------|---|---|-----------------------------------|---|--|
| Auffüllungen (Oberboden)  | 15,0 - 17,0                                     | 5,0 - 7,0   | 15,0 - 20,0                       | 0 - 1                                       | [0,5 - 1]                              |
| Auffüllung (Schluff)      | 17,0 - 19,0                                     | 7,0 - 9,0   | 20,0 - 25,0                       | 1 - 3                                       | 1 - 3                                  |
| Auelehm                   | 16,0 - 18,0                                     | 6,0 - 8,0   | 17,5 - 22,5                       | 1 - 3                                       | 1 - 3                                  |
| Talablagerungen           | 17,0 - 19,0                                     | 7,0 - 9,0   | 17,5 - 22,5                       | 1 - 3                                       | 2 - 4                                  |
| Grundmoräne (weich)       | 17,0 - 19,0                                     | 7,0 - 9,0   | 22,5 - 25,0                       | 2 - 4                                       | 5 - 8                                  |
| Grundmoräne (mind. steif) | 18,0 - 20,0                                     | 8,0 - 10,0  | 25,0 - 27,5                       | 5 - 10                                      | 20 - 40                                |
| Moränensand               | 18,0 - 20,0                                     | 8,0 - 10,0  | 30,0 - 32,5                       | 0 - 2*                                      | 20 - 50                                |

\*scheinbare Kohäsion

**AZ 21 03 041, BV Stadt Markdorf, Grundschulkonzeption in 88677 Markdorf**

Entsprechend der derzeit gültigen Normen ist ein Homogenbereich ein begrenzter Bereich aus einer oder mehreren Boden- und Felsschichten nach DIN 4020 und DIN EN 1997-2, dessen bautechnische Eigenschaften eine definierte Streuung aufweisen und sich von den Eigenschaften der abgegrenzten Bereiche abheben.

Der Oberboden bzw. aufgefüllte Oberboden wird in der nachfolgenden Unterteilung der Homogenbereiche nicht erfasst bzw. berücksichtigt. Zwar wird der Oberboden in der DIN 18320:2019-09 als eigenständiger Homogenbereich bezeichnet, aber in den folgenden Ausführungen nicht mit aufgenommen, da der vorliegende geotechnische Bericht sich auf die geotechnischen und nicht bodenkundlichen Fragestellungen zum Bauvorhaben bezieht.

Eine Bewertung bzw. Einstufung des Oberbodens selbst erfolgt neben der DIN 18320:2019-09 (Landschaftsbauarbeiten) unter Berücksichtigung bodenkundlicher Aspekte auch nach DIN 18915:2018-06 (Vegetationstechnik im Landschaftsbau - Bodenarbeiten) und DIN 19639:2019-09 (Bodenschutz bei Planung und Durchführung von Bauvorhaben).

Auf der Basis der vorliegenden Baugrundaufschlussresultate, den zum Baugrund vorliegenden Erfahrungswerten sowie aufgrund der bodenmechanischen Eigenschaften der anstehenden Baugrundsichten wird vorgeschlagen, die anstehenden Böden in die **Homogenbereiche** gemäß der Tabelle 8 zu unterteilen.

**Tabelle 8: Einteilung der Baugrundsichtung in Homogenbereiche**

| Homogenbereich | Baugrundsichtung     |
|----------------|----------------------|
| A              | Auffüllung (A)       |
| B              | Auelehm (AL)         |
| C              | Talablagerungen (TA) |
| D1             | Grundmoräne (GMO)    |
| D2             | Moränensand (MS)     |

Gemäß DIN 18300:2019-09 können für die o.a. Homogenbereiche folgende Eigenschaften und Kennwerte zugrunde gelegt werden. Aufgrund der nur geringen Tragfähigkeit der im Untergrund anstehenden Bodenschichten wird die Geotechnische Kategorie GK 2 im Folgenden angenommen:

AZ 21 03 041, BV Stadt Markdorf, Grundschulkonzeption in 88677 Markdorf

**Tabelle 9: Kennwerte/Eigenschaften der Homogenbereiche nach DIN 18300:2019-09 & DIN 18301: 2019-09(Erfahrungswerte)**

| Kennwert / Eigenschaft                                |   | Homogenbereich |                  |                            |                       |             |
|---|---|----------------|------------------|----------------------------|-----------------------|-------------|
|   |   | A              | B                | C                          | D1                    | D2          |
| Kornverteilung [%]                                    | T | 5 - 15         | 10 - 25          | 5 - 20                     | 5 - 20                | 0 - 5       |
|   | U | 50 - 70        | 50 - 70          | 35 - 60                    | 35 - 60               | 5 - 20      |
|   | S | 5 - 15         | 5 - 15           | 5 - 40                     | 15 - 40               | 60 - 85     |
|   | G | 0 - 5          | 0 - 5            | 0 - 5                      | 5 - 20                | 0 - 5       |
| Massenanteil Steine [%]                               |   | -              | -                | -                          | 0 - 10                | -           |
| Massenanteil Blöcke [%]                               |   | -              | -                | -                          | 0 - 5                 | -           |
| Massenanteil große Blöcke [%]                         |   | -              | -                | -                          | 0 - 3                 | -           |
| Lagerungsdichte                                       |   | -              | -                | -                          | -                     | mitteldicht |
| Konsistenz  |   | weich          | weich            | sehr weich bis weich       | weich bis mind. steif | -           |
| Konsistenzzahl $I_c$                                  |   | 0,50 - 0,7     | 0,5 - 0,60       | 0,40 - 0,60                | 0,50 - 1,00           | -           |
| Plastizitätszahl $I_p$ [%]                            |   | 10 - 20        | 20 - 50          | 5 - 40                     | -                     | -           |
| Wichte (feucht) $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]         |   | 17 - 19        | 16 - 18          | 17 - 19                    | 17 - 19               | 18 - 20     |
| Undränirte Scherfestigkeit $c_u$ [kN/m <sup>2</sup> ] |   | 20 - 60        | 20 - 50          | 20 - 50                    | 50 - 100              | -           |
| Wassergehalt $w_n$ [%]                                |   | 20 - 25        | 30 - 60          | 25 - 40                    | 15 - 25               | -           |
| Organischer Anteil [%]                                |   | < 1            | 3 - 20           | < 1 - 3                    | < 1                   | < 1         |
| Abrasivität (CAL)                                     |   | 0,3 - 0,5      | 0,3 - 0,5        | 0,3 - 0,5                  | 0,3 - 1,0             | 0,5 - 1,0   |
| Bodengruppe nach DIN18196: 2011-05                    |   | [UL/TL]        | TL/TM, TA, TA/HZ | TM/TA, TL/ST*, TA, SU*/ST* | TL/ST*, TL/TM         |             |
| Frostempfindlichkeit [ZTV E-StB 09; Tab.1]            |   | F 3            | F 3              | F 2-3                      | F 3                   | F 2-3       |
| Ortsübliche Bezeichnung                               |   | A              | AL               | TA                         | GMO                   | MS          |

AZ 21 03 041, BV Stadt Markdorf, Grundschulkonzeption in 88677 Markdorf

## 4 Georisiken

### 4.1 Seismische Aktivität

Entsprechend der „Karte der Erdbebenzonen und geologischen Untergrundklassen für Baden-Württemberg, Regierungspräsidium Freiburg, 2005“ befindet sich das Untersuchungsgebiet in der **Erdbebenzone 2** (Gebiet, in der gemäß des zugrunde gelegten Gefährdungsniveau rechnerisch die Intensität 7,0 bis  $\leq 7,5$  zu erwarten ist) und der **Untergrundklasse S** (Gebiete tiefer Beckenstrukturen mit mächtiger Sedimentfüllung). Der zugehörige Bemessungswert der Bodenbeschleunigung  $a_g$  beträgt in dieser Erdbebenzone  $0,6 \text{ m/s}^2$ .

Sofern im Zuge seismischer Drucksondierungen für die im Untergrund anstehenden Talablagerungen eine Scherwellengeschwindigkeit von  $c_s > 150 \text{ m/s}$  ermittelt wird, ist für das Bauvorhaben die Baugrundklasse C anzusetzen sind.

## 5 Hydrogeologie

### 5.1 Grundwasserverhältnisse

Bei den im Zeitraum vom 19.04.2021 bis 20.04.2021 abgeteufte Bohrungen BK 1-3/21 wurde lediglich in der Bohrung BK 3/21 ein Zulauf von Grundwasser aufgenommen. Eine Messung des Wasserspiegels in den Rammsondierungen war verfahrensbedingt nicht möglich.

In der Tabelle 10 sind die aufgenommenen Wasserstände zusammenfassend dargestellt.

**Tabelle 10: Wasserspiegelhöhen in den Bohrungen BK 1-3/21**

| Aufschluss | Grundwasserspiegel angetroffen<br>[m u GOK] / [m ü. NHN] | Grundwasserspiegel nach Bohrende<br>[m u GOK] / [m ü. NHN] | Datum      |
|------------|--|--|------------|
| BK 1/21    | -  | -  | 19.04.2021 |
| BK 2/21    | -  | -  | 19.04.2021 |
| BK 3/21    | 3,93 / 425,30  | 3,93 / 425,30  | 20.04.2021 |

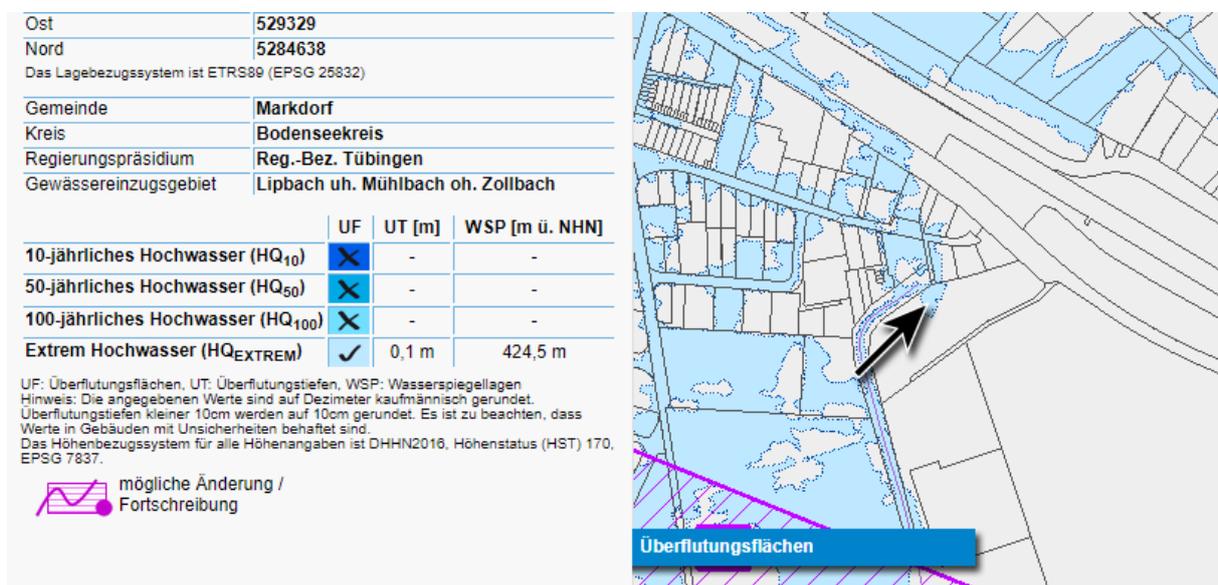
Wie die Zusammenfassung der Tabelle 10 sowie die Baugrundmodelle in den Anlagen 2.1-3 aufzeigen, wurde bei der Bohrung BK 3/21 in einer Tiefe von 3,93 m unter GOK ein Wasserzutritt aufgenommen. In den weiteren Bohrungen BK 1-2/21 war ein Wasserzutritt nicht messbar.

Entsprechend der starken Durchfeuchtung der Tal- und Aueablagerungen ist jedoch davon auszugehen, dass innerhalb dieser, vor allem in sandreichen Schichtenhorizonten, Schichten- bzw. Grundwasser auftritt.

**AZ 21 03 041, BV Stadt Markdorf, Grundschulkonzeption in 88677 Markdorf**

Durch die feinkornreiche Zusammensetzung der Talsedimente tritt dieses Wasser jedoch nur langsam aus sandreichen Lagen aus, so dass im Zuge der Bohrungen durch die eingesetzte Verrohrung kein Wasserzulauf unmittelbar während des Bohrvorgangs aufgenommen werden konnte.

Im Falle eines  $HQ_{\text{extrem}}$  ist für einen Teilbereich des Untersuchungsareals eine Überflutung bis auf einer Höhenkote von 424,50 m ü. NHN verzeichnet, so dass dieser Wasserstand als Bemessungswasserstand für eine Auftriebssicherheit sowie eine fachgerechte Abdichtung des Bauwerkes anzusetzen ist.



**Abb. 3: Auszug aus der Hochwasserrisikomanagement - Abfrage des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden - Württemberg**

## 5.2 Versickerungsfähigkeit der Böden nach DWA A – 138 (August 2008)

Die Versickerung von Niederschlagswasser setzt einen durchlässigen Untergrund und einen ausreichenden Abstand zur Grundwasseroberfläche voraus. Der Untergrund muss die anfallenden Sickerwassermengen aufnehmen können. Die Versickerung kann direkt erfolgen oder das Wasser kann über ein ausreichend dimensioniertes Speichervolumen durch eine Sickeranlage mit verzögerter Versickerung in Trockenperioden dem Untergrund zugeführt werden.

Nach dem DWA A – 138 sind Böden zur Versickerung geeignet, deren Wasserdurchlässigkeit zwischen  $k_f = 1,0 \times 10^{-3} \text{ m/s}$  und  $k_f = 1,0 \times 10^{-6} \text{ m/s}$  beträgt. Die Mächtigkeit des Sickerraumes sollte, bezogen auf den mittleren höchsten Grundwasserstand rd. 1,0 m betragen, um eine ausreichende Filterstrecke für eingeleitete Niederschlagsabflüsse zu gewährleisten.

Bei Durchlässigkeitsbeiwerten von  $k_f \ll 1,0 \times 10^{-6} \text{ m/s}$  ist eine Regenwasserbeseitigung über eine Versickerung nicht mehr gewährleistet, so dass die anfallenden Wassermengen über ein Retentionsbecken abgeleitet werden müssen.

**AZ 21 03 041, BV Stadt Markdorf, Grundschulkonzeption in 88677 Markdorf**

Die im zu untersuchenden Areal angetroffenen Böden in Form der Aueablagerungen, der Grundmoräne sowie der dominierenden Talablagerungen weisen erfahrungsgemäß einen Durchlässigkeitsbeiwert von  $k_f$  - Wert  $\ll 10^{-6}$  m/s auf (vgl. Ergebnis der Kornverteilung), **so dass eine Versickerung von Niederschlagswasser in diesen Sedimenten nicht möglich ist.**

Eine Versickerung von Niederschlagswasser in den feinkornarmen Moränensanden ist mit einem ermittelten, korrigierten Durchlässigkeitsbeiwerte von  $k_f = 2,0 \times 10^{-6}$  m/s grundsätzlich möglich, wird jedoch im Hinblick auf die nicht flächige Ausbildung sowie des zu erwartenden Wechselabfolge mit der feinkornreichen Grundmoräne als kritisch angesehen. Sollte eine Versickerung von Niederschlagswasser auf dem Grundstück innerhalb der Moränensande vorgesehen sein, so ist die ausreichende Sickerfähigkeit dieser Sedimente durch einen in-situ Sickerversuch am Ort der geplanten Versickerungsanlage zu überprüfen.

Grundsätzlich ist die Dimensionierung und Planung einer Sickeranlage von einem Fachbüro zu bemessen und mit den zuständigen Fachbehörden abzustimmen bzw. genehmigen zu lassen.

## **6 Grundbautechnische Empfehlungen und baubegleitende Maßnahmen**

### **6.1 Baumaßnahme**

Die Stadt Markdorf beabsichtigt ihr Bildungszentrum in der Ensisheimer Straße 30 durch den Neubau einer Grundschule mit Sporthalle zu erweitern. Der Neubau soll dabei in nördlicher Richtung zur Trendsportanlage bzw. in westlicher Richtung zur Sporthalle von Markdorf auf einer derzeitigen Grünfläche zu liegen kommen.

Der Neubau umfasst im nördlichen Bereich ein Schulgebäude mit Unterrichts- und Gemeinschaftsräumen sowie einer Aula und Mensa. Im südlichen Bereich soll sich eine Sporthalle mit entsprechenden Umkleide-, Dusch- und Technikräumen anschließen. Wie den vorliegenden Planunterlagen zu entnehmen ist, liegen für den Neubau derzeit zwei unterschiedliche Variantenstudien vor.

Die **erste Variante** sieht eine Grundfläche des Schulgebäudes von rd. 1176 m<sup>2</sup> (21 m x 56 m) im ersten Bauabschnitt vor. Im zweiten Bauabschnitt soll das Schulgebäude in östlicher Richtung um eine Grundfläche von rd. 273 m<sup>2</sup> (21 m x 13 m) erweitert werden. Neben dem Erdgeschoss wird das Schulgebäude mit einem Obergeschoss errichtet. Das Schulgebäude und die Sporthalle, die eine Grundfläche von rd. 1080 m<sup>2</sup> aufweist, sollen über eine Aula mit Mensa miteinander verbunden werden. Die Grundfläche der Mensa beläuft sich dabei auf rd. 312 m<sup>2</sup>.

Im Fall der **zweiten Variante** bleibt der grundlegende Gebäudeschnitt erhalten, jedoch wird die Aula mit Mensa und Bibliothek in östlicher Richtung zu den Klassenräumen zu liegen kommen, so dass die Grundfläche des Schulgebäudes mit 1092 m<sup>2</sup> (52 m x 21 m) angegeben ist. Eine Nutzung des Verbindungsbaus zwischen der Sporthalle und dem Schulgebäude ist nicht eingetragen. Neben dem 1. Obergeschoss wird das Schulgebäude teilweise um ein zweites Obergeschoss mit einer Fläche von 792 m<sup>2</sup> (33 m x 24 m) aufgestockt, welches jedoch erst für den zweiten Bauabschnitt vorgesehen ist.

**AZ 21 03 041, BV Stadt Markdorf, Grundschulkonzeption in 88677 Markdorf**

Die Bauwerksnullhöhe (+- 0,00 m), welche der Fertigfußbodenhöhe Erdgeschoss (FFB EG) entspricht ist in den Planunterlagen mit einer Höhenkote von 425,50 m ü. NHN angegeben. Eine Unterkellerung des Schulgebäudes ist nicht vorgesehen.

Weitere detaillierte Planunterlagen sowie Angaben zu den aus dem Bauwerk resultierenden Lasten lagen zum Zeitpunkt der Erstellung des Geotechnischen Berichts nicht vor, so dass das Bauvorhaben im Folgenden anhand der vorliegenden Entwurfspläne [1] unter Berücksichtigung der angetroffenen Schichtenabfolge allgemein geotechnisch bewertet wird.

## 6.2 Baugrundkriterien

Wie den geotechnischen Baugrundschnitten der Anlagen 2.1-3 zu entnehmen ist, wird die Baugrundabfolge im Bereich des geplanten Baufeldes bis eine Tiefe zwischen 5,40 m (CPT 4/21) bis 21,50 m (CPT 3/21) unter GOK von Talablagerungen bestimmt, deren Mächtigkeit von Ost nach West deutlich zunimmt. Die Talablagerungen wurden im direkten Aufschlussverfahren (Rammkernbohrungen) bis in einer Tiefe von 10,0 m unter GOK vorwiegend als Tallehme mit zum Teil deutlichen Sandanteilen sowie sandigen Zwischenlagen (Talsanden) aufgeschlossen.

Die Konsistenz der Talablagerungen ist durchgehend als sehr weich bis weich zu bezeichnen, so dass diese einen nur gering tragfähigen bzw. setzungswilligen Untergrund im Projektareal bilden.

Überlagert werden die Talablagerungen von Auesedimenten, die als Auelehm mit variierenden organischen bzw. torfigen Beimengungen erkundet wurden. Durch ihre weiche Konsistenz als auch vor allem die organischen Bodenbestandteile sind die Auelehme ebenfalls als ein nur gering tragfähiger Untergrund anzusehen, der bei einer Lastaufbringung mit langanhaltenden Setzungen reagiert.

Einen ausreichend tragfähigen Baugrund bilden die Moränensedimente, welche jedoch lediglich im östlichen Bereich des Areals oberflächennah freigelegt wurden. In westlicher Richtung und somit im zentralen Baufeld tauchen die Moränensedimente deutlich ab und sind anhand der Ergebnisse der Drucksondierungen erst in Tiefe von bis zu 21,50 m unter GOK zu erwarten. Anhand der Drucksondierungen zeigt sich jedoch auch in diesen Tiefen lediglich ein Spitzendruck von im Mittel max.  $q_c = 5 \text{ MN/m}^2$ , so dass die Grundmoräne in einer max. steifen Konsistenz vorliegt und demzufolge eine Tiefengründung in Form von Pfählen nicht auf Spitzendruck bemessen werden kann.

Die Baugrundsituation erfordert daher ein Gründungskonzept, dass auf die gering tragfähigen Bodenschichten entweder anzupassen ist (Leichtbauweise) oder mit dem die setzungswilligen Böden durchstoßen werden (Tieffundation). Welches System tatsächlich zur Ausführung kommt, bedarf somit im einer Machbarkeitsstudie auf Basis von Lastenplänen, anhand derer Setzungsberechnungen durchzuführen sind.

AZ 21 03 041, BV Stadt Markdorf, Grundschulkonzeption in 88677 Markdorf

### 6.3 Gründungsempfehlung

Mit einer planmäßigen FFB EG auf 425,50 m ü. NHN befindet sich das Gründungsniveau des Schulgebäudes rd. 0,5 m bis 1,2 m oberhalb der derzeitigen Geländeoberkante, so dass ein Geländeauftrag notwendig ist. Der Geländeauftrag stellt dabei einen zusätzlichen Lasteintrag auf die nur gering tragfähigen Bodenschichten dar und ist somit um Setzungen vorwegzunehmen mit ausreichendem Vorlauf zur Baumaßnahme bereits auf das Gelände aufzubringen.

Vorbehaltlich der empfohlenen Machbarkeitsstudie kann angesichts der angetroffenen Baugrundsituation mit nur gering tragfähigen Sedimenten bis in einer Tiefe von rd. 21,50 m unter GOK eine **Flächengründung** auf einer **elastisch gebetteten Bodenplatte** in Erwägung gezogen werden.

Im Fall einer Gründung über eine elastisch gebettete Bodenplatte sind die organischen Auelehme auszukoffern und durch einen Bodenersatzkörper aus einem abgestuften und güteüberwachten Mineralkorngemisch, das nicht mehr als 5 % Feinkornanteil enthält (z.B. KFT 0/45), zu ersetzen. Das Kies-Sand-Gemisch ist lagenweise in Schüttlagen von  $d \leq 0,30$  m einzubauen und auf 100 % Proctor zu verdichten. Die Tragschichtschüttung ist dabei entsprechend ihrer Mächtigkeit über der Bodenplatte hinauszuführen, damit sich ein Lastausbreitwinkel von  $45^\circ$  einstellen kann. Vor dem Einbau der Tragschichtschüttung ist ein Trennvlies (GRK 4) zu verlegen. Nach derzeitigem Kenntnisstand ergibt sich dadurch ein notwendiger Bodenaustausch von bis zu 3,0 m unter GOK (BK 2/21), wobei die genaue Tiefenlage der organischen Bodenschichten durch ein ergänzendes Aufschlussraster festzulegen ist.

Der Nachweis des fachgerechten Einbaus des Bodenersatzkörpers ist anhand von statischen Lastplattendruckversuchen nach DIN 18 134 nachzuweisen (Anforderung:  $E_{v2} \geq 80 \text{ MN/m}^2$ , Verhältniswert  $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,5$  bzw. über dynamische Plattendruckversuche:  $E_{vd} \geq 40 \text{ MN/m}^2$ ). Diese Leistung kann von der Fa. BauGrund Süd erbracht werden.

Sollten auf Höhe des Aushubplanums stark aufgeweichten Talablagerungen anstehen, ist vor dem Einbau des Bodenersatzkörpers eine rd. 0,1 m bis 0,2 m starke Grobkornlage (z.B. Bruchkorn 60/80 oder 80/120 Körnung) zur Schaffung eines tragfähigen Auflagers in den Untergrund statisch einzuwalken.

Zur Vorbemessung einer elastisch gebetteten Bodenplatte, die wie oben beschrieben gegründet wird, kann nach derzeitigem Kenntnisstand der Planung ein Bettungsmodul in der Größenordnung von

$$k_s = 1 - 3 \text{ MN/m}^3$$

abgeschätzt werden.

AZ 21 03 041, BV Stadt Markdorf, Grundschulkonzeption in 88677 Markdorf

Da der Bettungsmodul keine Bodenkonstante ist, sondern von den Belastungsverhältnissen, der Geometrie und den Baugrundverformungen abhängt, ist zur Beurteilung des Verformungsverhaltens einer solchen Flächengründung eine detaillierte Setzungsberechnung anhand der tatsächlich auf die Bodenplatte einwirkenden charakteristischen Lasten (aus ständigen und veränderlichen Einwirkungen) durchzuführen.

Dazu sind mittels einer Setzungsberechnung die zu erwartenden Verdrehungen und Setzungsdifferenzen sowie der anhand der Verformungen ableitbare Bettungsmodulverlauf für die Stahlbetonbodenplatte anhand von Lastenplänen zu ermitteln bzw. zu überprüfen. Auf Wunsch kann diese Leistung von der Firma BauGrund Süd ausgeführt werden.

Sollte die Machbarkeitsstudie ergeben, dass das Verformungsverhalten bauwerksunverträglich ist, kann in Erwägung gezogen werden, den Untergrund mittels einer tiefreichenden Untergrundverbesserungsmaßnahme aufzuwerten.

Für die tiefer reichende Baugrundverbesserung stehen zahlreiche Techniken zur Verfügung, wobei im vorliegenden Fall die Verdrängungsbetonsäulen (VBS-Säule), die CSV-Säulen sowie die sogenannte STS-Säulen zur Anwendung kommen können. Da es sich bei den vorgenannten Systemen um herstellungsbedingte Verfahrenstechniken handelt, ist die Ausführbarkeit dieser zwingend im Zuge der weiteren Planungsphase mit dem jeweiligen Spezialtiefbauer abzustimmen und deren Machbarkeit bestätigen zu lassen. In diesem Zusammenhang ist ebenfalls abzuklären, inwiefern eine Auskofferung der organischen Bodenschichten notwendig ist. Ggf. sind dafür weitergehende Untersuchungen (Bohrung mit Flügelsonde im Bohrloch ausführen).

**Bei allen o.a. Verfahren ist zur Ermittlung der eigentlichen Säulentragfähigkeit sowie zur wirtschaftlichen Auslegung der Untergrundverbesserungsmaßnahmen das Anlegen eines jeweiligen Probefeldes aus Sicht der Unterzeichner unerlässlich.**

Alternativ kann auch eine **Tiefenfundation über Pfähle** in Betracht gezogen werden, wobei angesichts des ermittelten Spitzendrucks von zum Teil max. nur  $q_c = > 5 \text{ MN/m}^2$  und der damit verbundenen nur geringen Festigkeit des Untergrundes keine Bemessung der Pfähle auf Spitzendruck erfolgen kann. Die Pfähle sind daher auf Mantelreibung in Sinne einer schwimmenden Pfahlgründung zu bemessen

Als einzusetzendes Pfahlsystem bietet sich z.B. neben den verpressten Mikropfählen eine Gründung auf duktilen Gussrammpfählen an.

AZ 21 03 041, BV Stadt Markdorf, Grundschulkonzeption in 88677 Markdorf

Für **verpresste Mikropfähle** mit einem Durchmesser von  $< 0,30$  m können gemäß der EA-Pfähle folgende Tragfähigkeitswerte angenommen werden:

**Mantelreibung  $q_{s,k}$  :**

|                               |                                     |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| Auelehme                      | $q_{s,k} = 20 \text{ kN/m}^2$       |
| Talablagerungen               | $q_{s,k} = 20 \text{ kN/m}^2$       |
| Grundmoräne (weich bis steif) | $q_{s,k} = 50 \text{ kN/m}^2$       |
| Grundmoräne (mind. steif)     | mind. $q_{s,k} = 71 \text{ kN/m}^2$ |

Zur Vorbemessung eines verpressten Mikropfahles mit einem Durchmesser von  $d = 0,25$  m kann der Bemessungswert des Pfahlwiderstandes in Abhängigkeit der Pfahllänge anhand der Anlage 5.1-2 ermittelt werden.

Berechnungsgrundlage ist der EC 7. Es liegt die Bemessungssituation BS-P (ständige Situation / persistent situations) zugrunde. Das Verhältnis von veränderlichen zu Gesamtlasten wird mit 0,5 vorausgesetzt.

Ein Auszug aus den Pfahlwiderstands-Setzungsdiagrammen (Anlagen 5.1-2) mit unterschiedlichen Pfahllängen ist in den nachfolgenden Tabelle 11 und 12 zusammengefasst wiedergegeben. Eine Gruppenwirkung ist dabei noch nicht berücksichtigt. Die Tabelle 11 und die Anlage 5.1 berücksichtigt dabei die interpretierte Baugrundabfolge im Bereich der CPT 3/21 und die Tabelle 12 sowie die Anlage 5.2 die Baugrundabfolge im Bereich der CPT 2/21.

**Tabelle 11: Bemessungswert Pfahlwiderstand eines verpressten Einzel-Mikropfahl mit  $d = 0,25$  m im Bereich der CPT 3/21 in Abhängigkeit der Pfahllänge (Auszug aus den Anlagen 5.1):**

| Pfahllänge   | $R_d$ [kN] | Pfahlkopfsetzung [cm] |
|--------------|------------|-----------------------|
| $l = 15,0$ m | 168        | ~ 0,31                |
| $l = 20,0$ m | 224        | ~ 0,33                |
| $l = 25,0$ m | 381        | ~ 0,38                |

**Tabelle 12: Bemessungswert Pfahlwiderstand eines verpressten Einzel-Mikropfahl mit  $d = 0,25$  m im Bereich der CPT 2/21 in Abhängigkeit der Pfahllänge (Auszug aus den Anlagen 5.2):**

| Pfahllänge   | $R_d$ [kN] | Pfahlkopfsetzung [cm] |
|--------------|------------|-----------------------|
| $l = 15,0$ m | 236        | ~ 0,31                |
| $l = 20,0$ m | 415        | ~ 0,35                |
| $l = 25,0$ m | 499        | ~ 0,43                |

AZ 21 03 041, BV Stadt Markdorf, Grundschulkonzeption in 88677 Markdorf

**Tabelle 13: Bemessungswert Pfahlwiderstand eines verpressten Einzel-Mikropfahl mit  $d = 0,25$  m im Bereich der CPT 1/21 in Abhängigkeit der Pfahllänge (Auszug aus den Anlagen 5.2):**

| Pfahllänge   | $R_d$ [kN] | Pfahlkopfsetzung [cm] |
|--------------|------------|-----------------------|
| $l = 8,0$ m  | 145        | ~ 0,30                |
| $l = 10,0$ m | 232        | ~ 0,33                |
| $l = 12,0$ m | 319        | ~ 0,36                |

Ein weiterer Typ unter den Mikropfahlsystemen stellt der **mantelverpresste duktile Gussrammpfahl** dar.

Bei mantelverpressten duktilen Gussrammpfählen werden mittels Hydraulikbagger und Schnellschlaghammer duktile Gussrohre in den Boden eingerammt. Das Anfängerrohr ist dabei am unteren Ende etwas geöffnet und mit einem Pfahlschuh versehen.

Während des Einrammens wird über den Pfahlkopf ein Betonmörtel eingepresst, der durch die Öffnung am Ende des Anfängerrohres austritt und im Rammschatten des vergrößerten Pfahlschuhes eine kontinuierliche Betonumhüllung des Gussrohres erzeugt. Somit wird eine Pfahlquerschnittsvergrößerung (größerer Mantelfläche) und eine bessere Verzahnung hinsichtlich der Lastabtragung erzeugt.

Bei diesem Pfahlsystem können die Pfahllängen problemlos an wechselnde Baugrundverhältnisse angepasst werden.

Die Anforderungen an das Rammplanum sind dabei gering. Die Innere Tragfähigkeit eines mantelverpressten duktilen Gussrammpfahls mit Durchmesser 118 mm liegt je nach Rohrwandung (7,5 mm bis 10,6 mm) laut der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (Nr. Z-34.25-230) in der Größenordnung zwischen 869 kN bis 1163 kN (Bemessungswert  $R_{1,d}$  der Querschnittstragfähigkeit). Die tatsächlich ableitbare Last ist aber abhängig von der äußeren Tragfähigkeit, die durch die Eigenschaften des anstehenden Baugrundes und dessen Schichtung bestimmt wird.

**Die tatsächliche Pfahllast und Pfahllänge sind im Vorfeld über Pfahlprobelastungen zu ermitteln. Die Machbarkeit von duktilen Gussrammpfählen ist im Hinblick auf die anstehenden Baugrundverhältnisse mit dem Spezialtiefbauer vorab abzustimmen.**

Die Bodenplatte ist deckenartig über den Pfahlköpfen zu spannen.

Unabhängig von dem zur Ausführung kommenden Pfahlsystem wird empfohlen, die indirekten Aufschlüsse in Form der Drucksondierungen mittels ergänzender tieferreichender Bohrungen näher zu bestimmen, um evtl. eine wirtschaftlichere Auslegung des Gründungssystems vornehmen zu können.

AZ 21 03 041, BV Stadt Markdorf, Grundschulkonzeption in 88677 Markdorf

**Nach Vorlage detaillierter Bauwerks- und Entwurfspläne ist das zur Ausführung kommende Gründungskonzept im Detail festzulegen bzw. die Angaben zur Vorbemessung der Gründung anhand der aktuellen Planung abzugleichen bzw. zu überprüfen.**

#### 6.4 Baugrube

Nach derzeitigem Kenntnisstand ist keine Unterkellerung des Bauwerks, sondern eine Anschüttung des Geländes vorgesehen, so dass sich die notwendigen Einschnitte in Abhängigkeit des zur Ausführung kommenden Gründungskonzeptes ergeben. Im Fall einer Gründung auf einer elastisch gebetteten Bodenplatte und eines Bodenaustausches der Aueablagerungen ist nach derzeitigem Kenntnisstand eine Baugrube mit einer Tiefe von rd. 3,0 m notwendig.

Sofern die Platzverhältnisse eine freie Baugrubenböschung ermöglichen, ist diese in den anstehenden wasserfreien Bodenschichten (Auffüllungen, Aueablagerungen) angesichts der nur weichen Konsistenz nicht steiler als unter 45° abzuböschten. Sollten die Sedimente in einer mind. steifen Konsistenz angetroffen werden, so darf der Böschungswinkel auf 60° erhöht werden. Die Böschungen sind vor Erosionsprozessen durch Folien/Planen zu schützen. Eventuell anfallendes Schichtwasser ist mittels Stützscheiben aus Einkornbeton zu fassen und abzuleiten.

Zu den Böschungskronen ist der nach DIN 4124 geforderte Abstand von Baustellenfahrzeugen einzuhalten. Ebenso darf Aushubmaterial nicht in unmittelbarer Nähe zur Böschungskrone gelagert werden.

**Steilere Böschungen als oben angegeben als auch Böschungen > 5 m sind in ihrer Standsicherheit rechnerisch nachzuweisen.** Es wird empfohlen bei Geländeeinschnitten > 3,00 m eine Berme von 1,50 m Breite nach 3,00 m Höhe vorzusehen. Entsprechende erdstatische Berechnung können bei Bedarf auf Wunsch von der Fa. BauGrund Süd erbracht werden.

Da auch in den Auesedimenten erfahrungsgemäß ein Wasserzutritt nicht auszuschließen ist, wird empfohlen die Standfestigkeit sowie die Grundwassersituation im Vorfeld durch das Anlegen einer Schürfgrube zu bestimmen.

Sollten die Platzverhältnisse eine freie Baugrubenböschung vor Ort nicht ermöglichen, so sind die Aushubarbeiten im Schutze eines Verbausystems auszuführen. In Abhängigkeit der Standfestigkeit der Böden ist nach derzeitigem Kenntnisstand grundsätzlich eine Sicherung der Baugrube über einen Trägerbohlwandverbau mit Holz- bzw. Spritzbetonausfachung denkbar. In den Spritzbetonausfachung sind Drainageöffnungen vorzusehen.

Die Ausfachung ist dabei so einzubringen, dass ein möglichst gleichmäßiges Anliegen am Erdreich sichergestellt ist. Dabei darf der Bodenaushub dem Einbohlen nicht im unzulässigen Maß vorauslaufen (Abschlagstiefe ist anhand der tatsächlichen Baugrubenbeschaffenheit zu wählen).

**AZ 21 03 041, BV Stadt Markdorf, Grundschulkonzeption in 88677 Markdorf**

Bei vorübergehend standfesten nicht bindigen Böden darf der Einbau der Ausfachung höchsten um 0,50 m, bei mind. steifen bindigen Böden höchsten um 1,00 zurück sein. Bei wenig standfesten Böden, z.B. bei locker gelagerten oder gleichkörnigen (rolligen) Sand- und Kiesböden, kann es erforderlich sein, die Höhe der Abschachtung auf die Höhe der Einzelteile der Ausfachung zu beschränken.

Alternativ ist bei einer Wasserführung der Auesedimente und der damit verbundenen geringen Standfestigkeit auf einen Spundwandverbau zurückzugreifen. Der Verbau ist statisch zu bemessen. Auf Wunsch kann seitens der Fa. BauGrund Süd für die weiteren Aushubarbeiten ein Baugrubensicherungskonzept ausgearbeitet werden. Hierfür sind detaillierte Planunterlagen zu der geplanten Bebauung (Schnitt, Lageplan, etc.) sowie den angrenzenden Nachbarbauwerken vorzulegen.

Zur Trockenhaltung der Baugrube wird nach den derzeitigen Kenntnissen eine offene Wasserhaltung für ausreichend befunden, die ggf. zur vollständigen Entwässerung feinkornreicher, wassergesättigter Aue- und Talablagerungen mittels einer Vakuumentwässerung zu unterstützen ist.

#### 6.5 Trockenhaltung von Bauwerken

Mit einer planmäßigen Gründungskote auf 425,50 m ü. NHN über GOK und der Voraussetzung des Einbaus eines stark durchlässigen Bodenersatzkörpers ( $k_f > 10^{-4}$  m/s) unterhalb der Bodenplatte mit einer Mächtigkeit von mind. 0,50 m, werden die Anforderungen der DIN 18533 für eine Bemessung des Bauwerkes auf Bodenfeuchte eingehalten. In diesem Fall ist die Wassereinwirkungsklasse W 1-E heranzuziehen und die Abdichtung nach 8.5.1 vorzunehmen.

Sollten sich im Zuge der weiteren Planung Änderungen in der Gründungskote (Einbindung des Bauwerkes ist anstehende Bodenschichten) bzw. der Bodenersatzkörper unterhalb des Bauwerkes keine ausreichende Mächtigkeit sowie Durchlässigkeit aufweisen, ist zur Reduzierung der Abdichtung auf Bodenfeuchte eine fachgerecht ausgeführte und genehmigungspflichtige Drainage nach DIN 4095 vorzusehen bzw. erdberührte Bauteile gegen drückendes Wasser (Wassereinwirkungsklasse W2-E) abzudichten.

AZ 21 03 041, BV Stadt Markdorf, Grundschulkonzeption in 88677 Markdorf

## 7 Abfallrechtliche Aushubvorbewertung

Zur Feststellung eventueller Schadstoffgehalte des anstehenden Untergrundes und der Abklärung der einzuhaltenden Entsorgungs-/Verwertungswege der bei den Erdbauarbeiten anfallenden Aushubmaßen, wurde auftragsgemäß eine stichpunktartige Beprobung und Analytik der im Baufeld anstehenden Bodenschichten durchgeführt.

### 7.1 Probenahme

Die Beprobung erfolgte manuell an ausgewählten Proben der Bohrungen BK 1-3/21.

Die entnommenen Bodenproben sind in der Tabelle 14 jeweils mit Probenbezeichnung sowie Herkunft und Entnahmetiefe dargestellt:

**Tabelle 14: Probenbezeichnung, Entnahmestelle und -tiefe der zu Mischproben zusammengestellten Einzelproben**

| Probenbezeichnung | Boden-/Materialansprache  | Herkunft der Einzel-/bzw. Mischprobe | Entnahmetiefe der Probe (m u. GOK) |
|-------------------|---|--------------------------------------|------------------------------------|
| BK 1              | <u>Auffüllung:</u><br>Schluff, sandig, schwach tonig, organisch, Ziegelbruch 1 Vol-%            | BK 1/21                              | 0,00 - 0,80                        |
| BK 2              | <u>Auffüllung:</u><br>Schluff, sandig, tonig, vereinzelt Steine, organisch, Ziegelbruch 1 Vol-% | BK 1/21                              | 0,00 - 0,80                        |
| BK 3              | <u>Auffüllung:</u><br>Schluff, sandig, tonig, Ziegelbruch 1 Vol-%                               | BK 3/21                              | 0,15 - 0,75                        |

Die Probenahme-Protokolle sind in den Anlagen 6.1-3 enthalten

### 7.2 Analysenergebnis und abfallrechtliche Bewertung

Die in der Tabelle 14 aufgeführten Proben wurden an das chemische Labor der BVU GmbH in Markt Rettenbach zur Untersuchung übergeben.

Die entnommenen Bodenproben wurden gemäß den Vorgaben und dem Parameterumfang der VwV B.W [8] untersucht und bewertet.

In der Tabelle 15 sind die Ergebnisse tabellarisch zusammengefasst.

AZ 21 03 041, BV Stadt Markdorf, Grundschulkonzeption in 88677 Markdorf

Tabelle 15: Maßgebende Zuordnungswerte nach der VwV B.W. [8]

| Probenbezeichnung | Bodenart     | Zusammensetzung   | VwV B-W [8] | einstufungsrelevanter Parameter |
|-------------------|--------------|---|-------------|---------------------------------|
| BK 1              | Lehm/Schluff | <u>Auffüllung:</u><br>Schluff, sandig, schwach tonig, organisch, Ziegelbruch 1 Vol-%            | Z 0         | -                               |
| BK 2              | Lehm/Schluff | <u>Auffüllung:</u><br>Schluff, sandig, tonig, vereinzelt Steine, organisch, Ziegelbruch 1 Vol-% | Z 0         | -                               |
| BK 3              | Lehm/Schluff | <u>Auffüllung:</u><br>Schluff, sandig, tonig, Ziegelbruch 1 Vol-%                               | Z 0         | -                               |

Wie die Analysenergebnisse der Anlage 7 sowie die Zusammenfassung der Tabelle 15 aufzeigen, wurden in den untersuchten Bodenproben keine auffällig erhöhten Schadstoffkonzentrationen ermittelt, so dass die Grenzwerte für eine Einstufung in die **Verwertungskategorie Z 0** eingehalten werden.

Ausuhebendes Bodenmaterial kann somit einer uneingeschränkten Verwertung gemäß den Vorgaben der VwV B.W. für die Verwertungskategorie Z 0 zugeführt werden.

Die vorgenommene abfallrechtliche Untersuchung stellt lediglich Stichproben dar. Belastete Bodenschichten sind daher nicht generell auszuschließen. Sollte bei den Aushubarbeiten organoleptisch auffälliges Bodenmaterial angetroffen werden, so ist dieses zu separieren und der Unterzeichner des vorliegenden Berichtes hinzuziehen.

**Generell wird empfohlen, die vorgenommene abfallrechtliche Bewertung sowie die weitere Vorgehensweise mit der zuständigen Fachbehörde bzw. mit der in Frage kommenden Annahmestelle vor dem Beginn der Aushubarbeiten abzustimmen.**

AZ 21 03 041, BV Stadt Markdorf, Grundschulkonzeption in 88677 Markdorf

## 8 Hinweise und Empfehlungen

Die im Bericht enthaltenen Angaben beziehen sich auf die oben genannten Untersuchungsstellen. Abweichungen von gemachten Angaben (Schichttiefen, Bodenzusammensetzung etc.) können auf Grund der Heterogenität des Untergrundes bzw. aufgrund des hier vorliegenden Untersuchungsrastrers nicht ausgeschlossen werden. Die in den Rammsondierungen dargestellten Schichtgrenzen sind als Interpretation zu sehen.

Es ist eine sorgfältige Überwachung der Erdarbeiten und eine laufende Überprüfung der angetroffenen Bodenverhältnisse im Vergleich zu den Untersuchungsergebnissen und Folgerungen erforderlich. **Es wird empfohlen, zur Abnahme von Gründungssohlen den Unterzeichner des Berichtes heranzuziehen.**

Die notwendigen Kontrollprüfungen zum fachgerechten Einbau des Bodenersatzkörpers können auf Wunsch durch die Fa. BauGrund Süd ausgeführt werden. Ebenso kann auf Wunsch seitens der Fa. BauGrund Süd ein Baugrubensicherungskonzept sowie eine Entwurfs- und Ausführungsstatik des zu Ausführung kommenden Verbaukonzeptes erstellt werden.

Zur Festlegung des tatsächlichen Gründungskonzeptes ist nach Vorlage von Lastenplänen eine detaillierte Setzungsberechnung ausführen zu lassen, um das Verformungsverhalten sowie ggf. notwendige Maßnahmen zur Untergrundverbesserung abschätzen zu können.

Die empfohlene Machbarkeitsanalyse mittels Setzungsberechnung für eine mit einem Tragschichtpolster unterlagernde elastisch gebettete Bodenplatte kann auf Wunsch von der Firma BauGrund Süd vorgenommen werden.

Im Fall einer Tiefenfundation als auch einer Untergrundverbesserung sind Probelastungen bzw. Probefelder um Vorfeld zur Maßnahme zwingend erforderlich.

Der vorliegende geotechnische Bericht bezieht sich auf den zum Zeitpunkt der Erstellung des Berichtes vorliegenden Planungsstand. Weitere Ausführungen der Planung sind ggf. mit dem Gutachter abzustimmen. Gegebenenfalls sind weitere Aufschlüsse bzw. Berechnungen erforderlich, um die bisherigen geotechnischen Angaben und Empfehlungen dem aktuellen Planungsstand bzw. der Ausführungsplanung gegenüber bestätigen zu können.

Für ergänzende Erläuterungen sowie zur Klärung der im Verlauf der weiteren Planung und Ausführung noch offenen Fragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung.



Alois Jäger  
Geschäftsführer



Veronika Schmidt  
M.Sc.-Geol.

 Untersuchungsgebiet

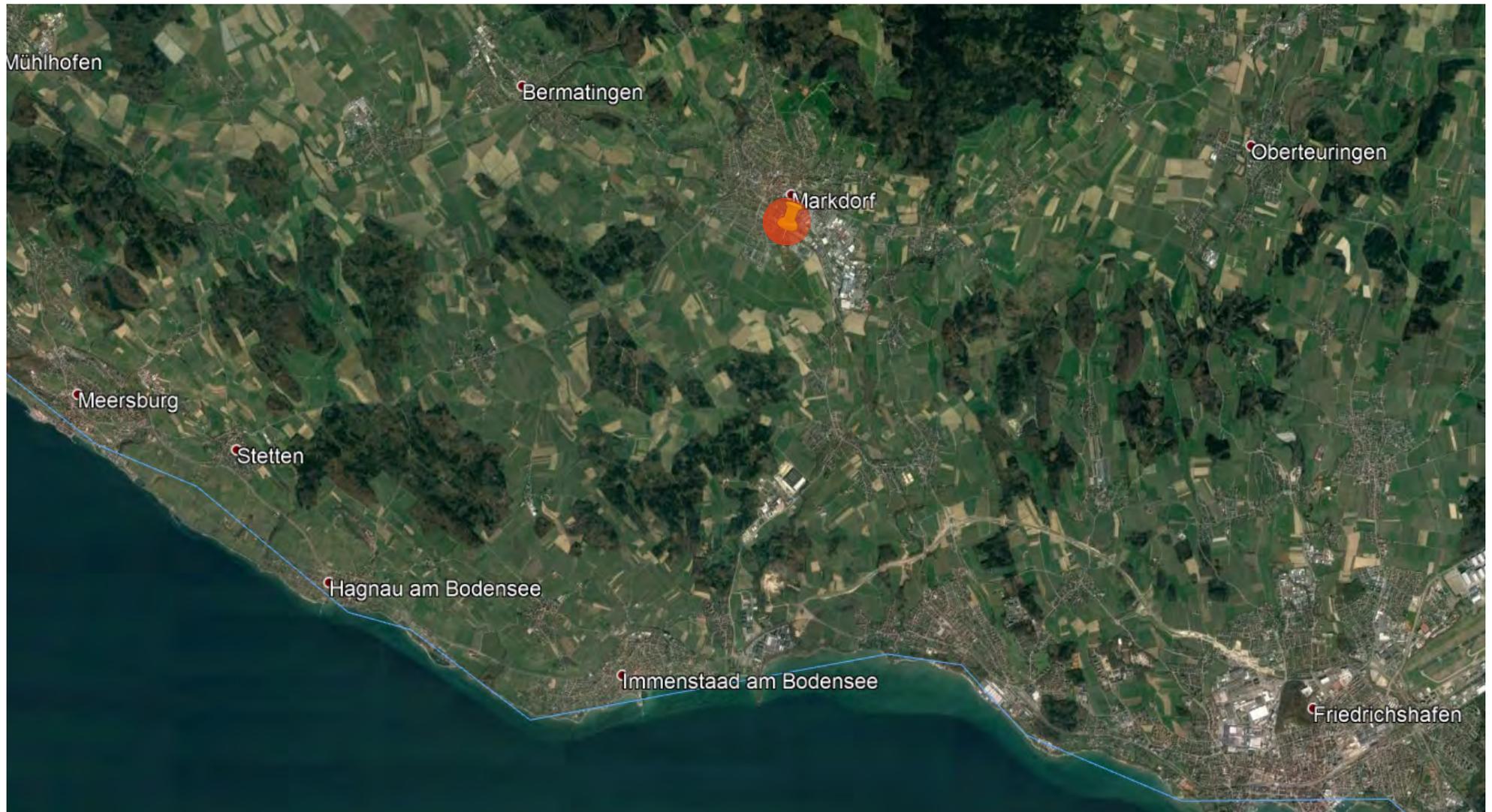
## baugrund süd

weishaupt gruppe

Stadt Markdorf, 3. Schulstandort  
Paracelsusstraße  
88677 Markdorf

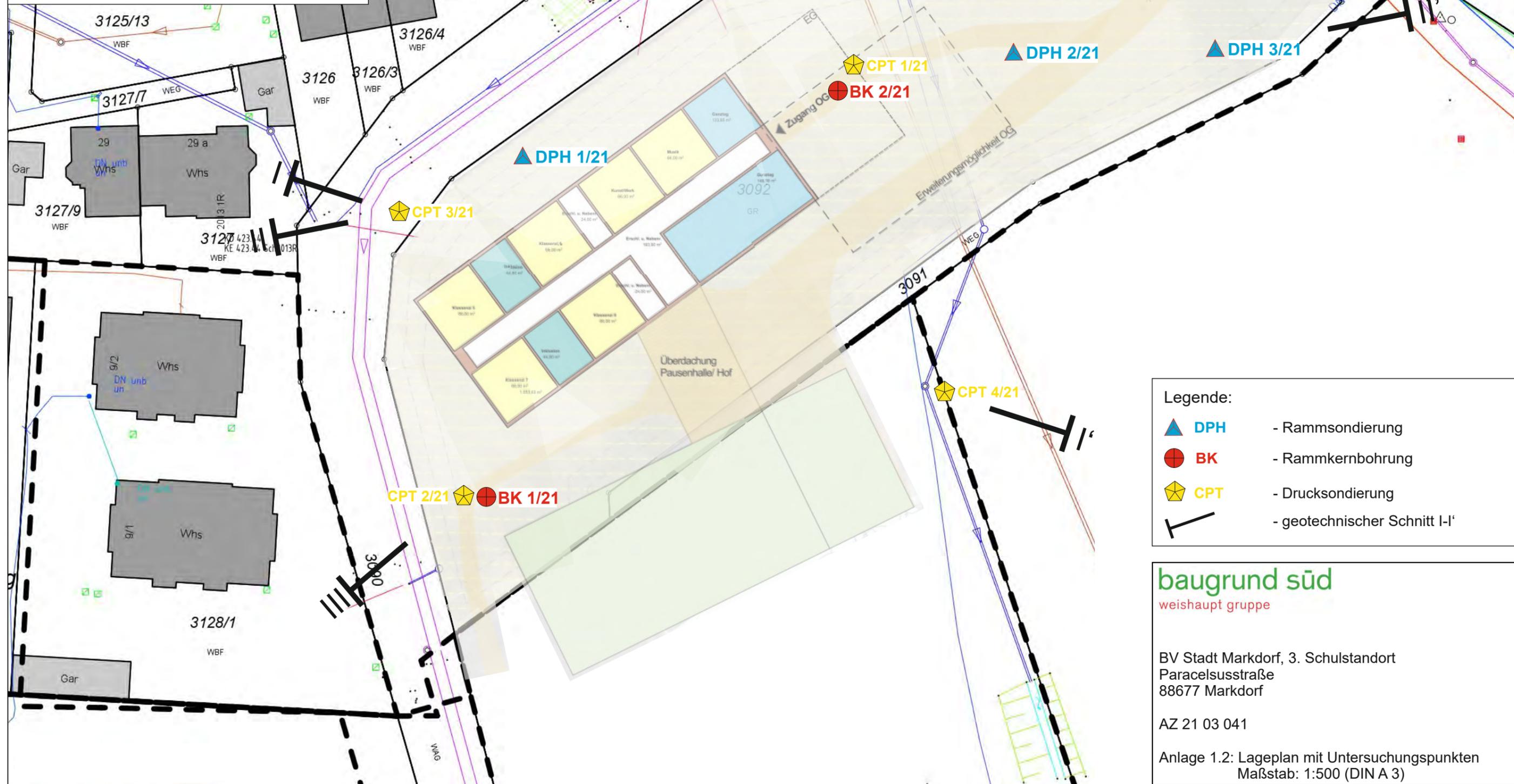
AZ 21 03 041

Anlage 1.1: Übersichtslageplan  
Maßstab: unmaßstäblich



UTM-Koordinaten:

| Pkt.     | Rechtswert | Hochwert   | Höhe <sub>m ü. NHN</sub> |
|----------|------------|------------|--------------------------|
| DPH 1/21 | 529306.81  | 5284628.16 | 424.45                   |
| DPH 2/21 | 529371.16  | 5284641.82 | 427.15                   |
| DPH 3/21 | 529397.48  | 5284642.37 | 429.34                   |
| BK 1/21  | 529299.99  | 5284582.22 | 424.41                   |
| BK 2/21  | 529348.38  | 5284636.92 | 424.91                   |
| BK 3/21  | 529392.45  | 5284661.41 | 429.23                   |
| CPT 1/21 | 529350.26  | 5284640.07 | 425.04                   |
| CPT 2/21 | 529299.24  | 5284583.83 | 424.35                   |
| CPT 3/21 | 529290.79  | 5284620.92 | 424.46                   |
| CPT 4/21 | 529362.13  | 5284597.22 | 424.39                   |



**Legende:**

- ▲ **DPH** - Rammsondierung
- **BK** - Rammkernbohrung
- ◆ **CPT** - Drucksondierung
- geotechnischer Schnitt I-I'

**baugrund süd**  
weishaupt gruppe

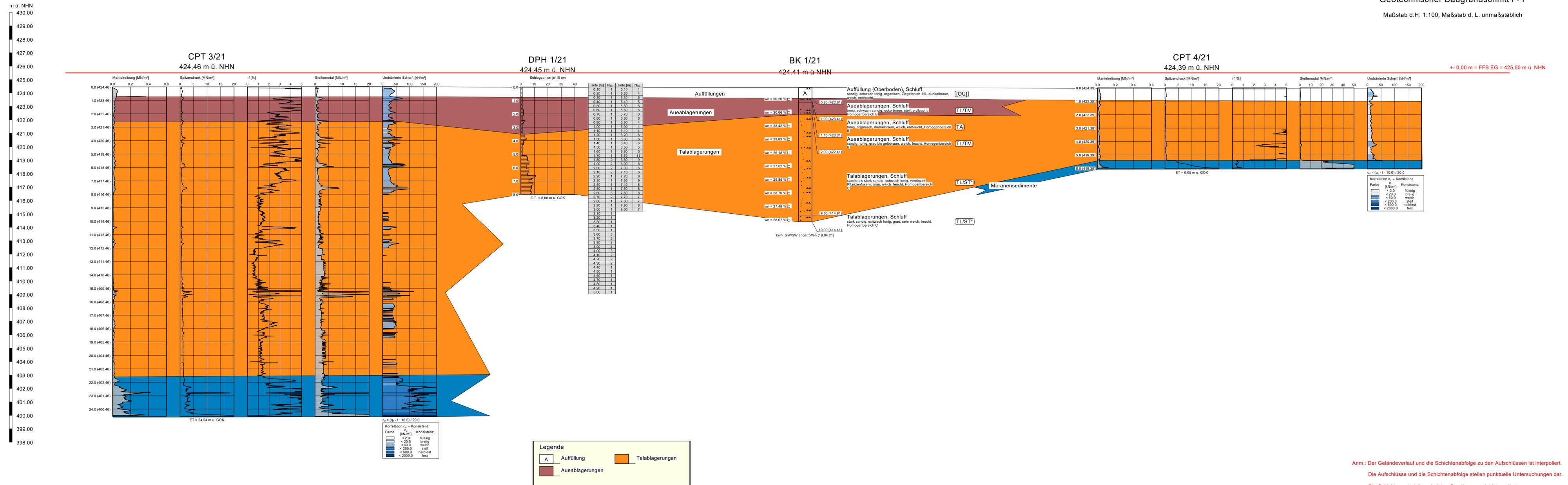
BV Stadt Markdorf, 3. Schulstandort  
Paracelsusstraße  
88677 Markdorf

AZ 21 03 041

Anlage 1.2: Lageplan mit Untersuchungspunkten  
Maßstab: 1:500 (DIN A 3)

**Geotechnischer Baugrundschnitt I - I'**

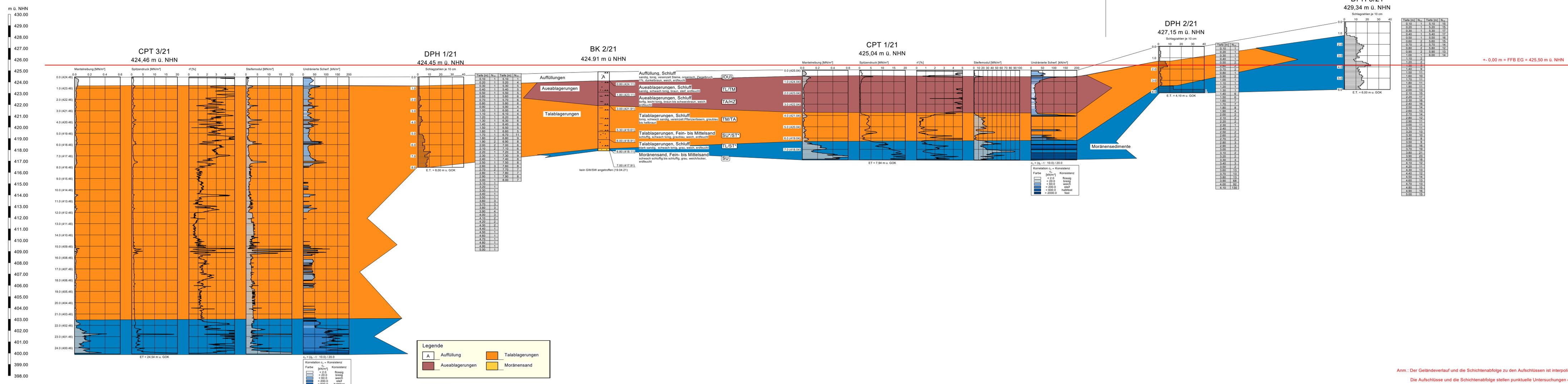
Maßstab d.H. 1:100, Maßstab d.L. unmaßstäblich



Anm.: Der Geländeverlauf und die Schichtenabfolge zu den Aufschlüssen ist interpoliert.  
 Die Aufschlüsse und die Schichtenabfolge stellen punktuelle Untersuchungen dar.  
 Die Schichtenunterteilung bei den Sondierungen ist interpoliert.

Geotechnischer Baugrundschnitt II - II'

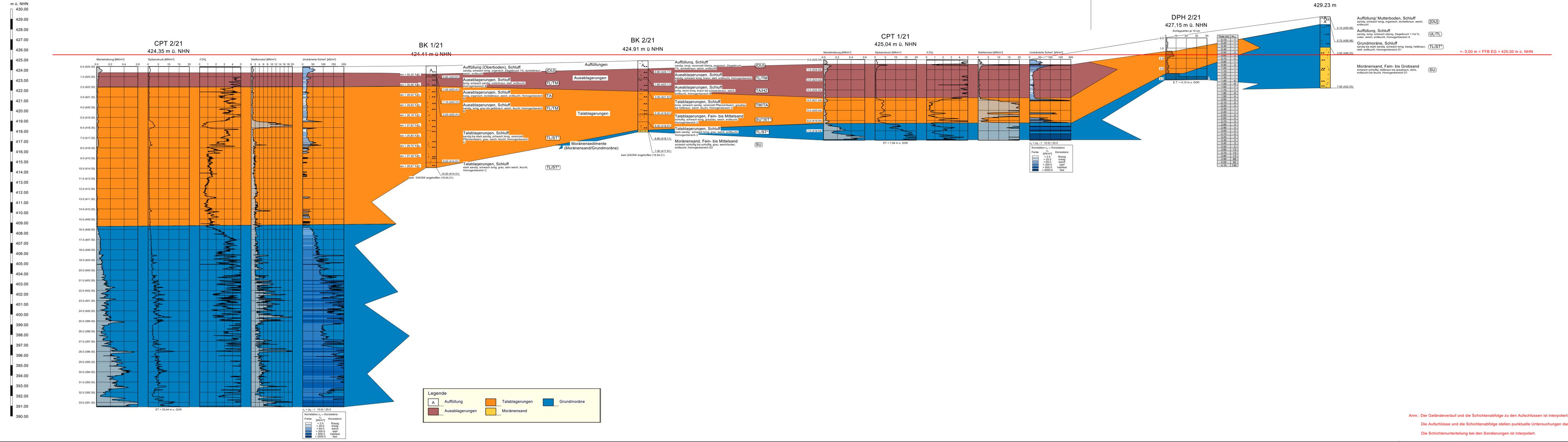
Maßstab d.H. 1:100, Maßstab d. L. unmaßstäblich



Anm.: Der Geländeverlauf und die Schichtenabfolge zu den Aufschlüssen ist interpoliert.  
 Die Aufschlüsse und die Schichtenabfolge stellen punktuelle Untersuchungen dar.  
 Die Schichtenunterteilung bei den Sondierungen ist interpoliert.

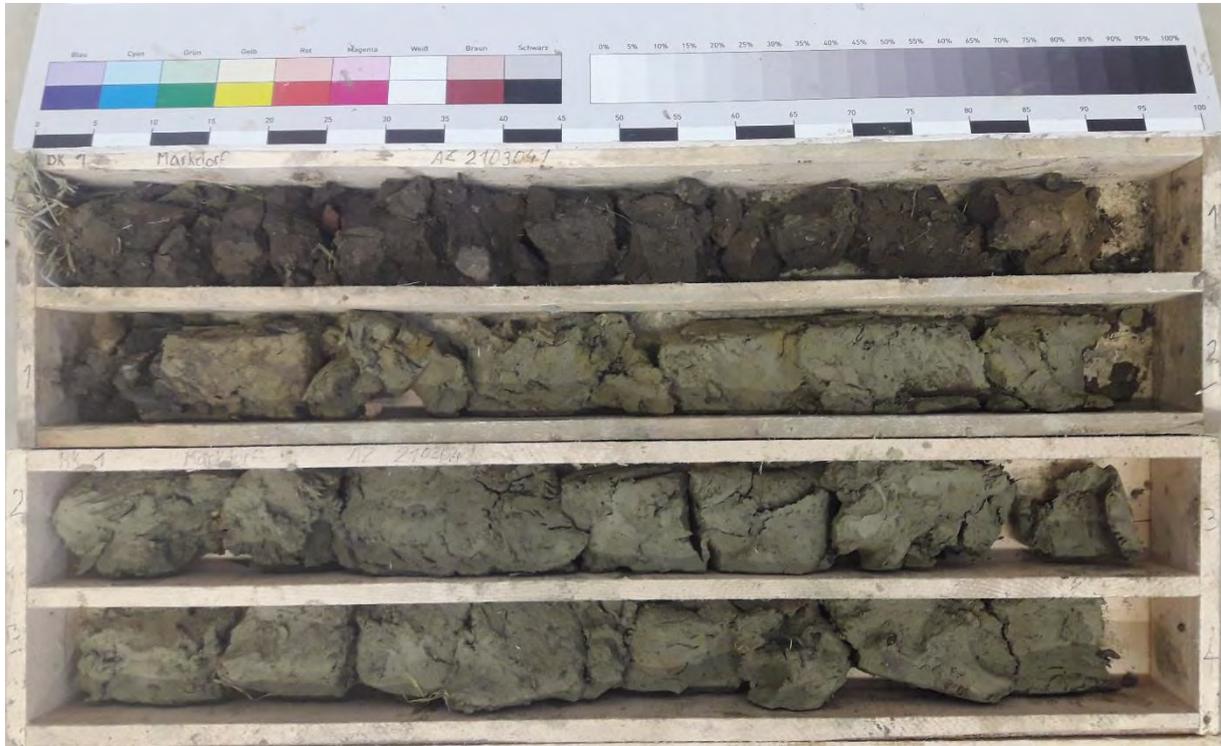
Geotechnischer Baugrundschnitt III - III'

Maßstab d.H. 1:100, Maßstab d.L. unmaßstäblich



Ann.: Der Geländeverlauf und die Schichtenabfolge zu den Aufschlüssen ist interpoliert.  
 Die Aufschlüsse und die Schichtenabfolge stellen punktuelle Untersuchungen dar.  
 Die Schichtenunterteilung bei den Sondierungen ist interpoliert.

**BK 1/21: 0,0 bis 4,0 m u. GOK**



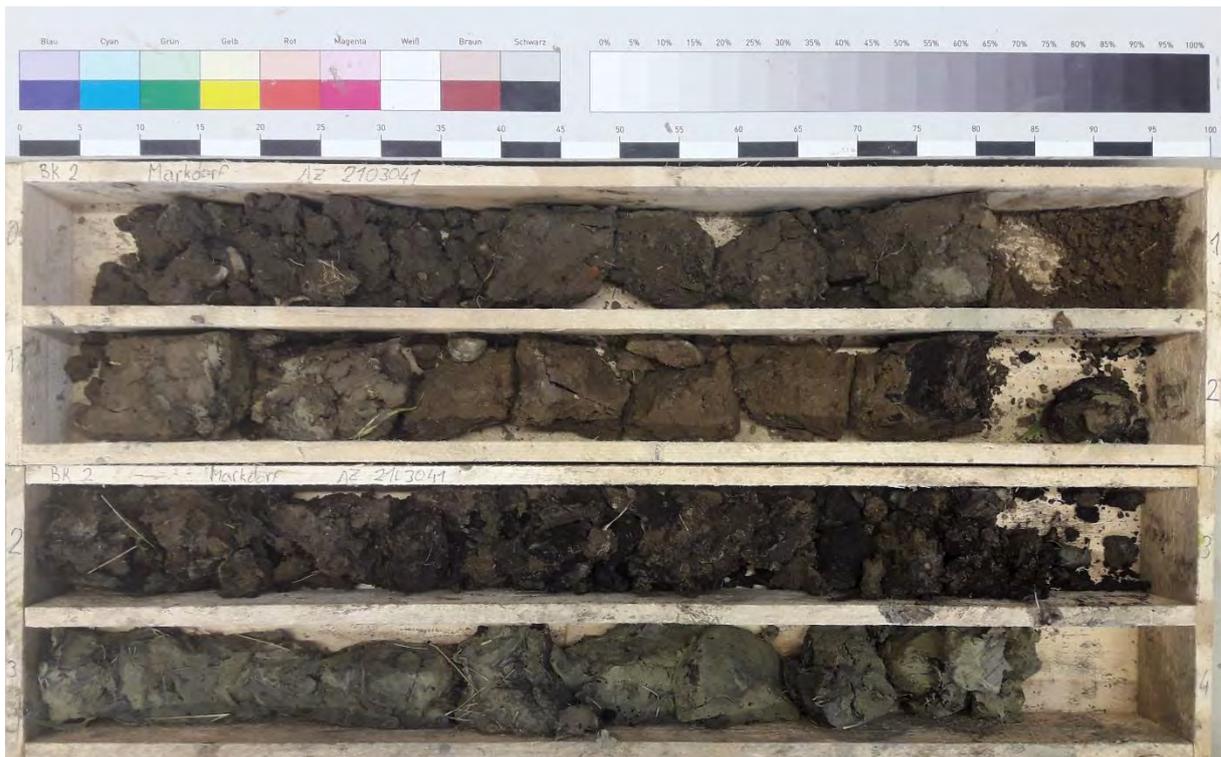
**BK 1/21: 4,0 bis 8,0 m u. GOK**



**BK 1/21: 8,0 bis 13,0 m u. GOK**



**BK 2/21: 0,0 bis 4,0 m u. GOK**



**BK 2/21: 4,0 bis 7,0 m u. GOK**



**BK 3/21: 0,0 bis 4,0 m u. GOK**



**BK 3/21: 4,0 bis 7,0 m u. GOK**



Wassergehaltsbestimmung nach DIN EN ISO 17892-1:2015-3

BV Stadt Markdorf  
 Grundschulkonzeption  
 in 88677 Markdorf  
 AZ 21 03 041

Probe entnommen am: 20.04.2021

Bearbeiter: DSv

| Entnahmestelle               | BK 1/21 |        |        |        |        |
|------------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|
| Prüfungsnummer               | 1       | 2      | 3      | 4      | 5      |
| Entnahmetiefe [m]            | 1,0     | 2,0    | 3,0    | 4,0    | 5,0    |
| Behälter Gewicht [g]         | 112,68  | 112,79 | 112,93 | 112,76 | 112,71 |
| Probe feucht + Behälter [g]  | 491,13  | 611,75 | 656,69 | 738,93 | 656,33 |
| Probe trocken + Behälter [g] | 364,65  | 496,43 | 536,35 | 595,05 | 543,55 |
| Wassergehalt w [%]           | 50,20   | 30,06  | 28,42  | 29,83  | 26,18  |

| Entnahmestelle               | BK 1/21 |        |        |        |        |
|------------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|
| Prüfungsnummer               | 6       | 7      | 8      | 9      | 10     |
| Entnahmetiefe [m]            | 6,0     | 7,0    | 8,0    | 9,0    | 10,0   |
| Behälter Gewicht [g]         | 113,16  | 112,74 | 113,18 | 112,92 | 113,10 |
| Probe feucht + Behälter [g]  | 776,73  | 632,43 | 869,67 | 755,24 | 698,27 |
| Probe trocken + Behälter [g] | 633,11  | 525,69 | 700,99 | 616,74 | 567,87 |
| Wassergehalt w [%]           | 27,62   | 25,85  | 28,70  | 27,49  | 28,67  |

## Zustandsgrenzen nach DIN EN ISO 17892-12

BV Stadt Markdorf  
 Grundschulkonzeption  
 in 88677 Markdorf

Bearbeiter: DSv

Datum: 05.05.2021

Prüfungsnummer: 1

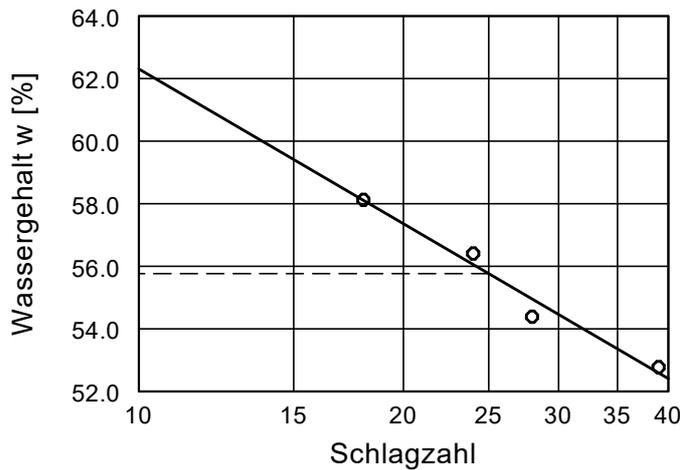
Entnahmestelle: BK 2/21

Tiefe: 4,0 m

Art der Entnahme: gestört

Bodenart: TA

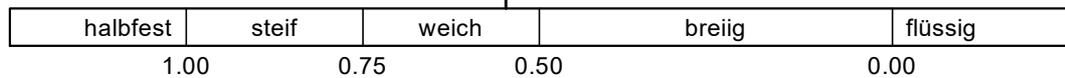
Probe entnommen am: 20.04.2021



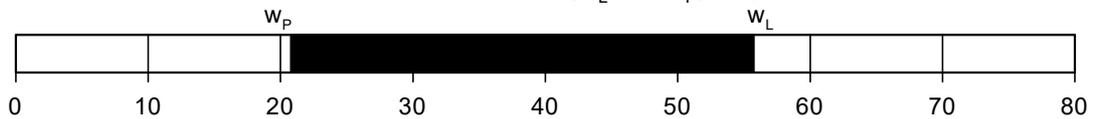
Wassergehalt  $w = 36.6 \%$   
 Fließgrenze  $w_L = 55.8 \%$   
 Ausrollgrenze  $w_P = 20.8 \%$   
 Plastizitätszahl  $I_P = 35.0$   
 Konsistenzzahl  $I_C = 0.55$

Zustandsform

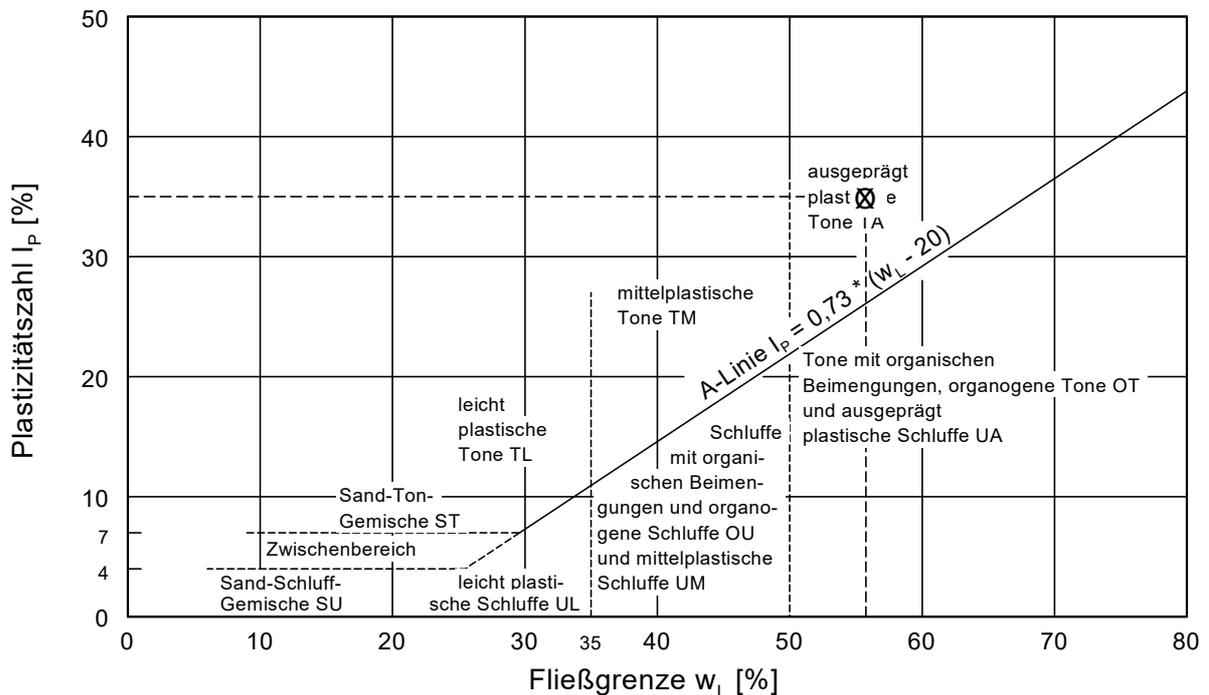
$I_C = 0.55$



Plastizitätsbereich ( $w_L$  bis  $w_P$ ) [%]



Plastizitätsdiagramm



BauGrund Süd  
 Gesellschaft für Bohr-und Geotechnik mbH  
 Zeppelinstraße 10  
 88410 Bad Wurzach

Bearbeiter: DSv

Datum: 05.05.2021

# Körnungslinie

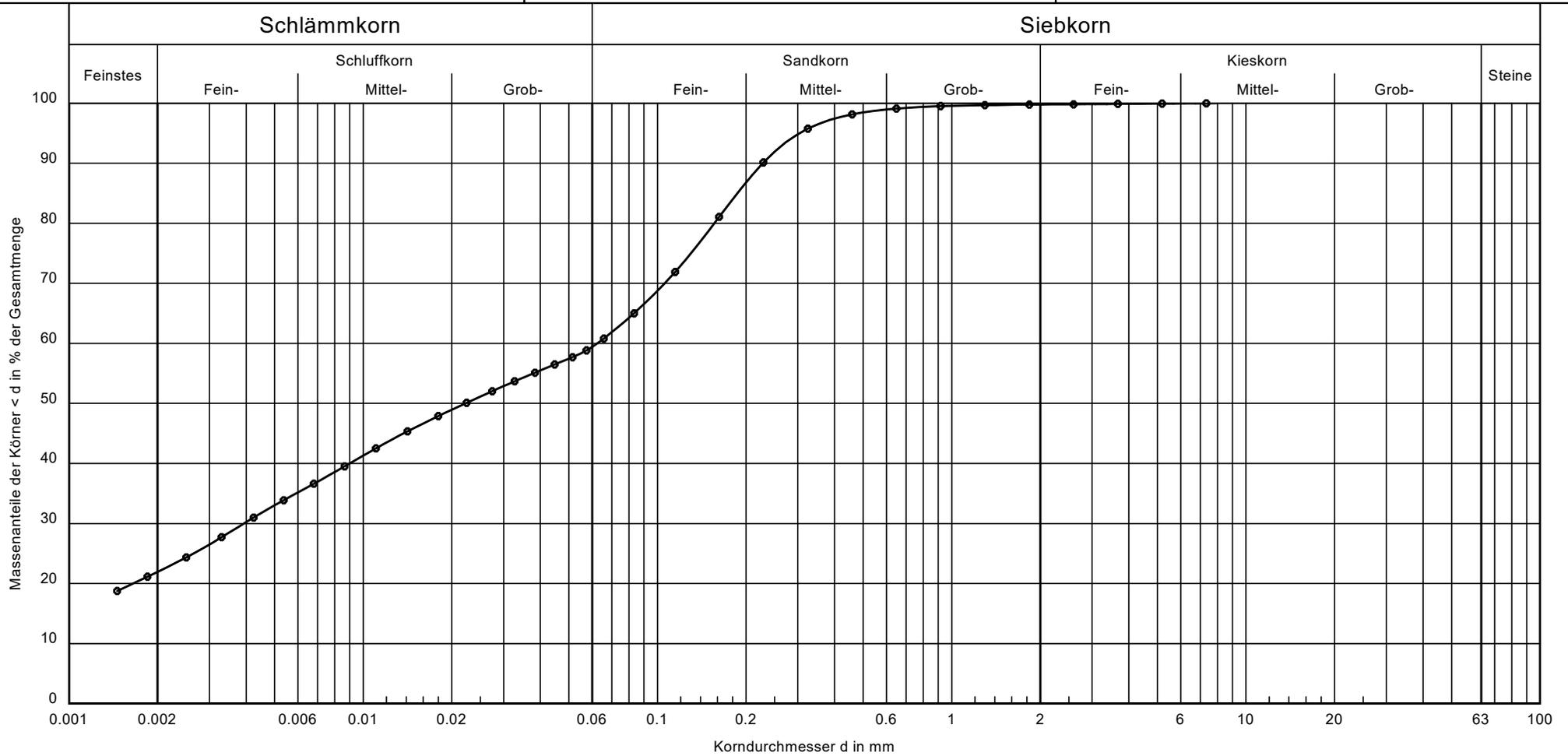
BV Stadt Markdorf, Grundschulkonzeption  
 in 88677 Markdorf

Prüfungsnummer: 1

Probe entnommen am: 20.04.2021

Art der Entnahme: gestört

Arbeitsweise: Siebung und Schlämmung



|                 |                     |   |  |
|-----------------|---------------------|---|--|
| Bezeichnung:    |                     | Nach DIN 4022:<br>Sand, stark schluffig (S, u*, t)<br>tonig | Bericht:<br>AZ 21 03 041<br>Anlage:<br>4.3 |
| Bodenart:       | S, u, t             |   |  |
| Entnahmestelle: | BK 2/21             |   |  |
| Tiefe:          | 5,3 - 6,0 m         |   |  |
| U/Cc:           | -/-                 |   |  |
| k [m/s][USBR]:  | $1.4 \cdot 10^{-9}$ |   |  |
| T/U/S/G [%]:    | 21.9/38.2/39.7/0.2  |   |  |

BauGrund Süd  
 Gesellschaft für Bohr-und Geotechnik mbH  
 Zeppelinstraße 10  
 88410 Bad Wurzach

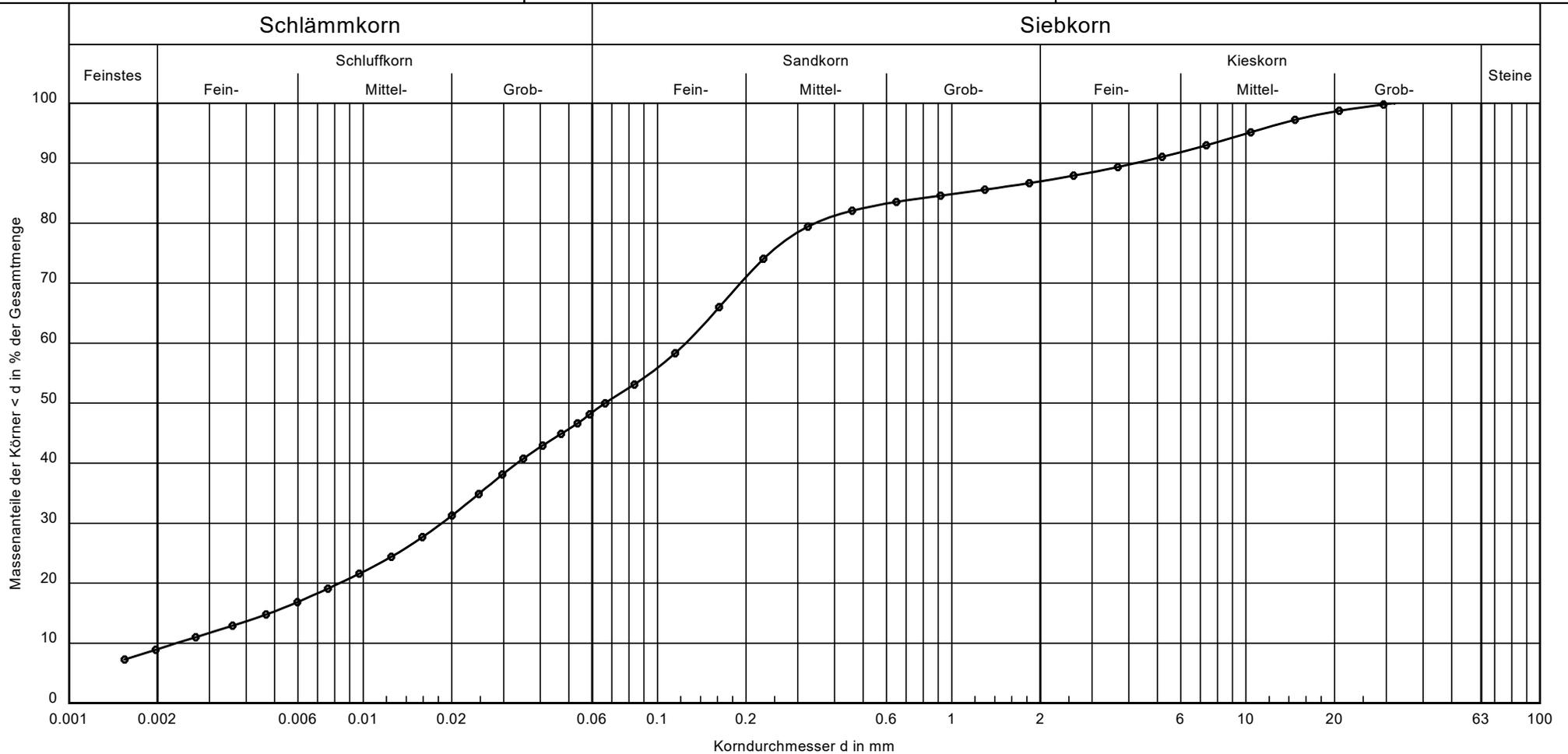
Bearbeiter: DSv

Datum: 05.05.2021

# Körnungslinie

BV Stadt Markdorf, Grundschulkonzeption  
 in 88677 Markdorf

Prüfungsnummer: 2  
 Probe entnommen am: 20.04.2021  
 Art der Entnahme: gestört  
 Arbeitsweise: Siebung und Schlämmung



|                 |                     |
|-----------------|---------------------|
| Bezeichnung:    | ● — ●               |
| Bodenart:       | U, fs, t', ms', mg' |
| Entnahmestelle: | BK 3/21             |
| Tiefe:          | 2,0 m               |
| U/Cc:           | 53.9/1.2            |
| k [m/s][USBR]:  | $5.9 \cdot 10^{-8}$ |
| T/U/S/G [%]:    | 9.0/40.2/37.7/13.0  |

Nach DIN 4022:  
 Schluff, stark sandig (U, s\*, g', t')  
 schwach kiesig, schwach tonig

Bericht:  
 AZ 21 03 041  
 Anlage:  
 4.4

BauGrund Süd  
 Gesellschaft für Bohr-und Geotechnik mbH  
 Zeppelinstraße 10  
 88410 Bad Wurzach

Bearbeiter: DSv

Datum: 05.05.2021

# Körnungslinie

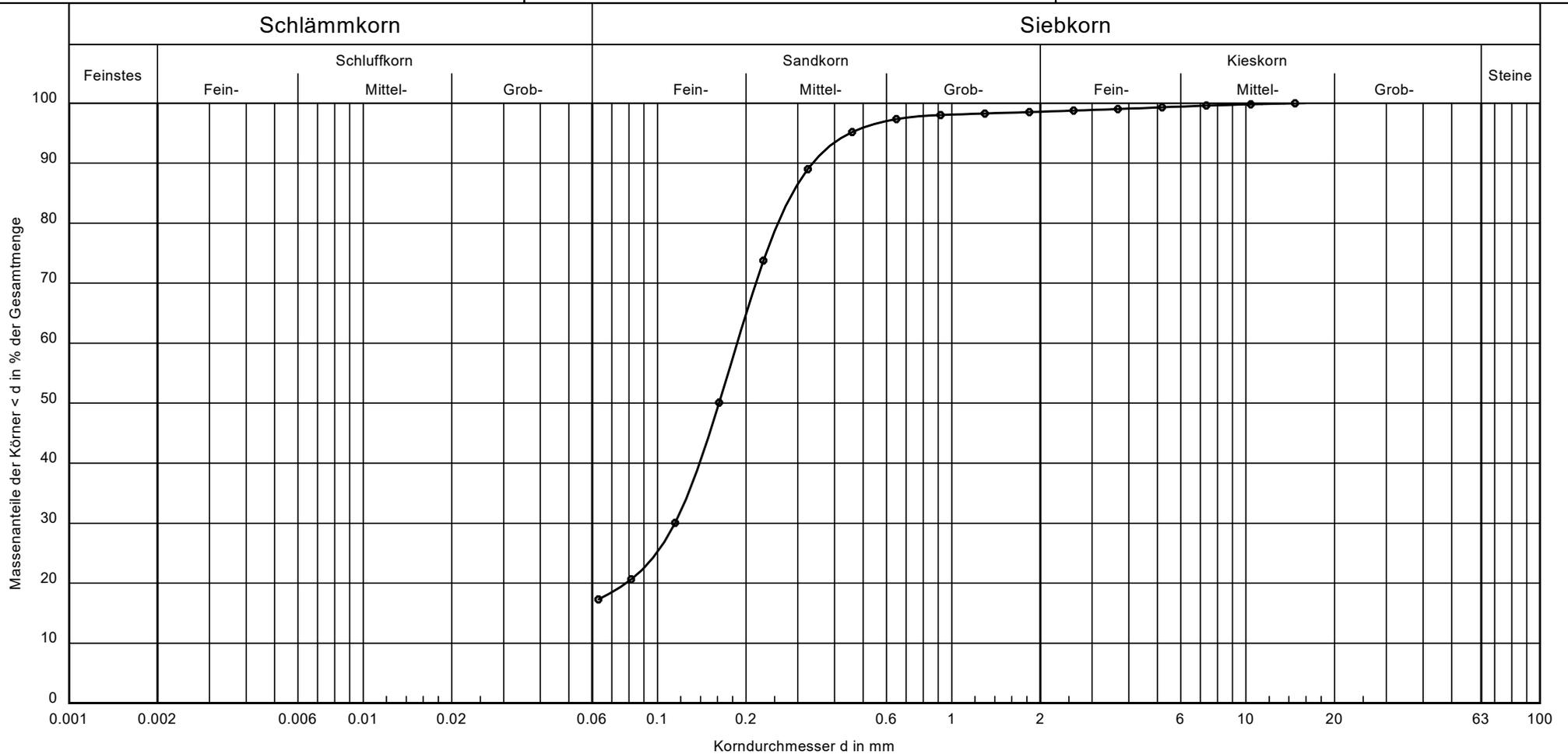
BV Stadt Markdorf, Grundschulkonzeption  
 in 88677 Markdorf

Prüfungsnummer: 3

Probe entnommen am: 20.04.2021

Art der Entnahme: gestört

Arbeitsweise: Siebung



|                 |                     |
|-----------------|---------------------|
| Bezeichnung:    | —●—●—               |
| Bodenart:       | fS, mS, u           |
| Entnahmestelle: | BK 3/21             |
| Tiefe:          | 3,0 - 4,0 m         |
| U/Cc:           | -/-                 |
| k [m/s][USBR]:  | $1.0 \cdot 10^{-5}$ |
| T/U/S/G [%]:    | - /17.3/81.3/1.4    |

Nach DIN 4022:  
 Sand, schluffig (S, u)

Bericht:  
 AZ 21 03 041  
 Anlage:  
 4.5

### Bestimmung des Glühverlusts nach DIN 18 128

BV Stadt Markdorf  
Grundschulkonzeption  
in 88677 Markdorf  
AZ 21 03 041

Probe entnommen am: 20.04.2021

Bearbeiter: DSv

| Entnahmestelle                  | BK 2/21          |              |              |
|---------------------------------|------------------|--------------|--------------|
|                                 | 1                | 2            | 3            |
| Prüfungsnummer                  |                  |              |              |
| Entnahmetiefe [m]               | 2,0 - 3,0        |              |              |
| Ungeglühte Probe + Behälter [g] | 31,21            | 30,45        | 24,56        |
| Geglühte Probe + Behälter [g]   | 30,47            | 29,90        | 23,74        |
| Behälter [g]                    | 25,83            | 26,17        | 19,04        |
| Massenverlust [g]               | 0,74             | 0,55         | 0,82         |
| Trockenmasse vor Glühen [g]     | 5,38             | 4,28         | 5,52         |
| Glühverlust [-]                 | <b>0,138</b>     | <b>0,129</b> | <b>0,149</b> |
| Glühverlust [%]                 | <b>13,8</b>      | <b>12,9</b>  | <b>14,9</b>  |
| Mittelwert [%]                  | <b>13,82</b>     |              |              |
| Nach DIN EN ISO 14688-2         | mittel organisch |              |              |

# Pfahlwiderstands-Setzungsdiagramm

## Verpresster Mikropfahl

| Boden | $q_c$<br>[MN/m <sup>2</sup> ] | $c_{u,k}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | $q_{b,k02}$<br>[MN/m <sup>2</sup> ] | $q_{b,k03}$<br>[MN/m <sup>2</sup> ] | $q_{b,k10}$<br>[MN/m <sup>2</sup> ] | $q_{s,k}$<br>[MN/m <sup>2</sup> ] | Bezeichnung     |
|-------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------|
|       | 0.0                           | 20.0                              | 0.000                               | 0.000                               | 0.000                               | 0.0200                            | Auelehm         |
|       | 0.0                           | 20.0                              | 0.000                               | 0.000                               | 0.000                               | 0.0200                            | Talablagerungen |
|       | 0.0                           | 85.0                              | 0.000                               | 0.000                               | 0.000                               | 0.0711                            | Grundmoräne     |

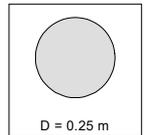
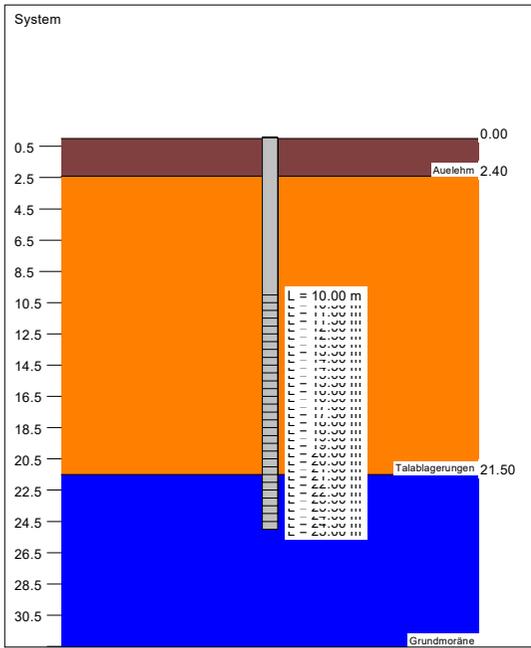
**baugrund süd**  
weishaupt gruppe  
Maybachstraße 5  
88410 Bad Wurzach

BV Stadt Markdorf, 3. Schulstandort  
Paracelsusstraße  
88677 Markdorf

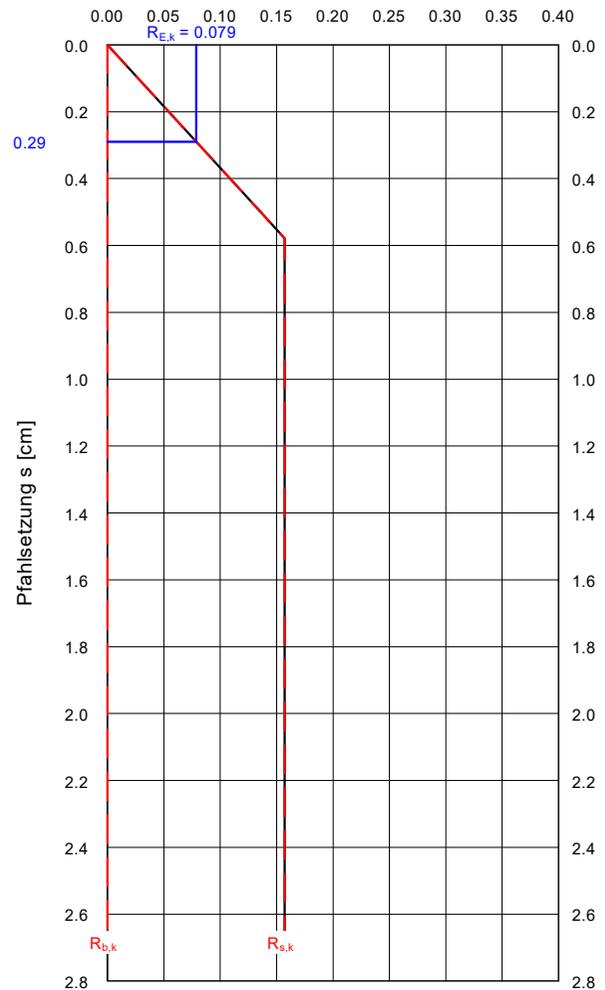
AZ 21 03 041  
Anlage 5.1

**Berechnungsgrundlagen**  
Schichtenabfolge CPT 3/21  
Norm: EC 7  
Verpresster Mikropfahl  
Verhältnswert (min, max) = 0.50  
Interpolation Mantelreibung:  
bei  $q_c < 7.5$  MN/m<sup>2</sup> aktiviert  
bei  $c_{u,k} < 60$  kN/m<sup>2</sup> aktiviert  
Pfahldurchmesser = 0.250 m

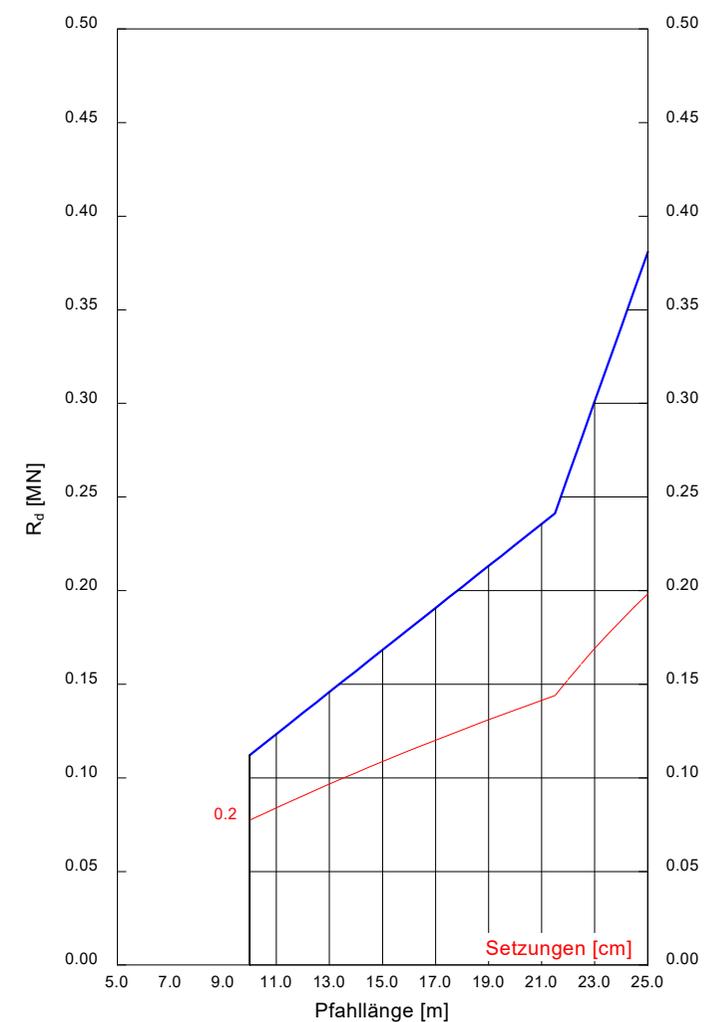
$\gamma_P = 1.40$   
 $\gamma_G = 1.35$   
 $\gamma_Q = 1.50$   
Anteil Veränderliche Lasten = 0.500  
 $\gamma_{(G,Q)} = 0.500 \cdot \gamma_Q + (1 - 0.500) \cdot \gamma_G$   
 $\gamma_{(G,Q)} = 1.425$   
 $R_d$   
Setzung



Pfahlwiderstand  $R_k$  [MN]



Widerstandssetzungslinie für Pfahllänge = 10.00 m



| D [m] | Länge [m] | $R_k$ [MN] | $R_{d1}$ [MN] | $R_{E,k}$ [MN] | zul V [MN] | s [cm] |
|-------|-----------|------------|---------------|----------------|------------|--------|
| 0.250 | 10.00     | 0.157      | 0.112         | 0.079          | 0.079      | 0.29   |
| 0.250 | 10.50     | 0.165      | 0.118         | 0.083          | 0.083      | 0.29   |
| 0.250 | 11.00     | 0.173      | 0.123         | 0.087          | 0.087      | 0.29   |
| 0.250 | 11.50     | 0.181      | 0.129         | 0.091          | 0.091      | 0.30   |
| 0.250 | 12.00     | 0.188      | 0.135         | 0.094          | 0.094      | 0.30   |
| 0.250 | 12.50     | 0.196      | 0.140         | 0.098          | 0.098      | 0.30   |
| 0.250 | 13.00     | 0.204      | 0.146         | 0.102          | 0.102      | 0.30   |
| 0.250 | 13.50     | 0.212      | 0.151         | 0.106          | 0.106      | 0.30   |
| 0.250 | 14.00     | 0.220      | 0.157         | 0.110          | 0.110      | 0.31   |
| 0.250 | 14.50     | 0.228      | 0.163         | 0.114          | 0.114      | 0.31   |
| 0.250 | 15.00     | 0.236      | 0.168         | 0.118          | 0.118      | 0.31   |
| 0.250 | 15.50     | 0.243      | 0.174         | 0.122          | 0.122      | 0.31   |
| 0.250 | 16.00     | 0.251      | 0.180         | 0.126          | 0.126      | 0.31   |
| 0.250 | 16.50     | 0.259      | 0.185         | 0.130          | 0.130      | 0.32   |
| 0.250 | 17.00     | 0.267      | 0.191         | 0.134          | 0.134      | 0.32   |
| 0.250 | 17.50     | 0.275      | 0.196         | 0.138          | 0.138      | 0.32   |
| 0.250 | 18.00     | 0.283      | 0.202         | 0.142          | 0.142      | 0.32   |
| 0.250 | 18.50     | 0.291      | 0.208         | 0.146          | 0.146      | 0.32   |
| 0.250 | 19.00     | 0.298      | 0.213         | 0.150          | 0.150      | 0.33   |
| 0.250 | 19.50     | 0.306      | 0.219         | 0.154          | 0.154      | 0.33   |
| 0.250 | 20.00     | 0.314      | 0.224         | 0.157          | 0.157      | 0.33   |
| 0.250 | 20.50     | 0.322      | 0.230         | 0.161          | 0.161      | 0.33   |
| 0.250 | 21.00     | 0.330      | 0.236         | 0.165          | 0.165      | 0.33   |
| 0.250 | 21.50     | 0.338      | 0.241         | 0.169          | 0.169      | 0.34   |
| 0.250 | 22.00     | 0.366      | 0.261         | 0.183          | 0.183      | 0.34   |
| 0.250 | 22.50     | 0.394      | 0.281         | 0.197          | 0.197      | 0.35   |
| 0.250 | 23.00     | 0.421      | 0.301         | 0.211          | 0.211      | 0.36   |
| 0.250 | 23.50     | 0.449      | 0.321         | 0.225          | 0.225      | 0.36   |
| 0.250 | 24.00     | 0.477      | 0.341         | 0.239          | 0.239      | 0.37   |
| 0.250 | 24.50     | 0.505      | 0.361         | 0.253          | 0.253      | 0.38   |
| 0.250 | 25.00     | 0.533      | 0.381         | 0.267          | 0.267      | 0.38   |

zul V =  $R_{E,k} = R_k / (\gamma_P \cdot \gamma_{(G,Q)}) = R_k / (1.400 \cdot 1.425) = R_k / 1.99$   $\gamma_{(G,Q)} = 1.425$

# Pfahlwiderstands-Setzungsdiagramm

## Verpresster Mikropfahl

| Boden | $q_c$<br>[MN/m <sup>2</sup> ] | $c_{u,k}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | $q_{b,k02}$<br>[MN/m <sup>2</sup> ] | $q_{b,k03}$<br>[MN/m <sup>2</sup> ] | $q_{b,k10}$<br>[MN/m <sup>2</sup> ] | $q_{s,k}$<br>[MN/m <sup>2</sup> ] | Bezeichnung                   |
|-------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| ■     | 0.0                           | 20.0                              | 0.000                               | 0.000                               | 0.000                               | 0.0200                            | Auelehm                       |
| ■     | 0.0                           | 20.0                              | 0.000                               | 0.000                               | 0.000                               | 0.0200                            | Talablagerungen               |
| ■     | 0.0                           | 50.0                              | 0.000                               | 0.000                               | 0.000                               | 0.0500                            | Grundmoräne (weich bis steif) |
| ■     | 0.0                           | 100.0                             | 0.000                               | 0.000                               | 0.000                               | 0.0778                            | Grundmoräne (mind. steif)     |

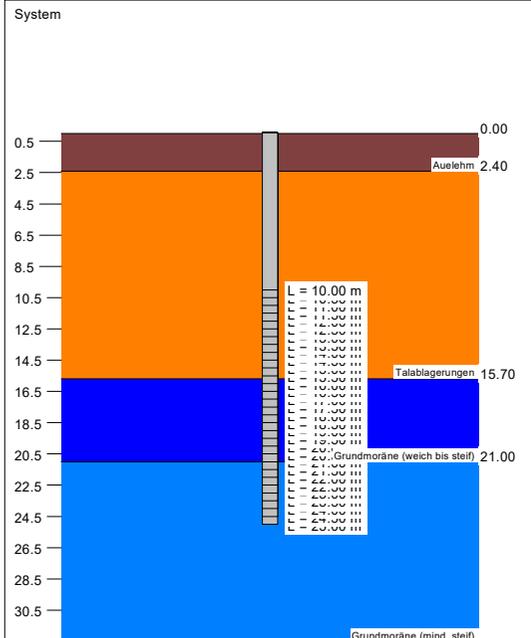
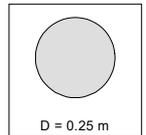
**baugrund süd**  
weishaupt gruppe  
Maybachstraße 5  
88410 Bad Wurzach

BV Stadt Markdorf, 3. Schulstandort  
Paracelsusstraße  
88677 Markdorf

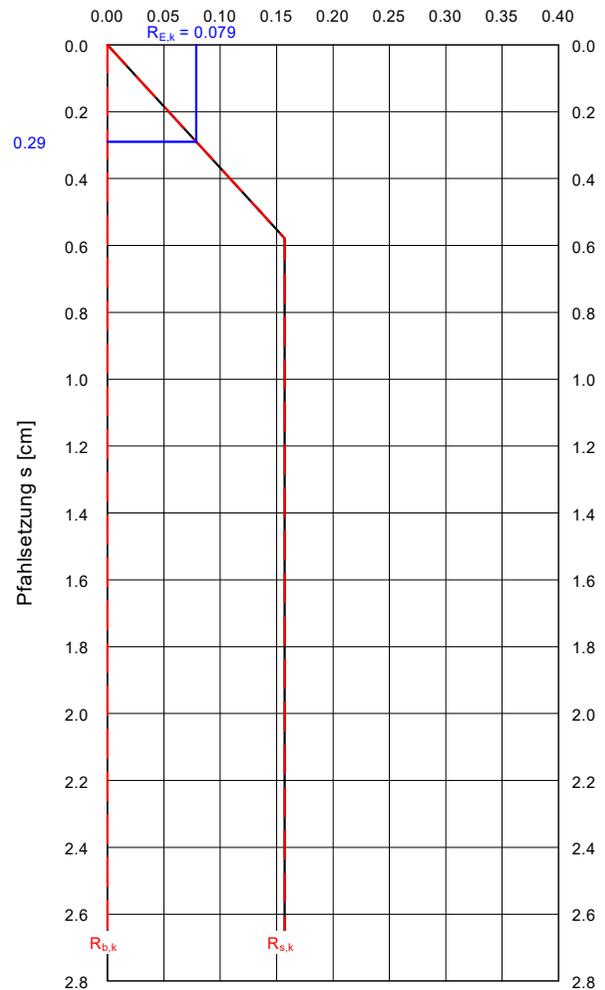
AZ 21 03 041  
Anlage 5.2

**Berechnungsgrundlagen**  
Schichtenabfolge CPT 2/21  
Norm: EC 7  
Verpresster Mikropfahl  
Verhältnisswert (min, max) = 0.50  
Interpolation Mantelreibung:  
bei  $q_c < 7.5$  MN/m<sup>2</sup> aktiviert  
bei  $c_{u,k} < 60$  kN/m<sup>2</sup> aktiviert  
Pfahldurchmesser = 0.250 m

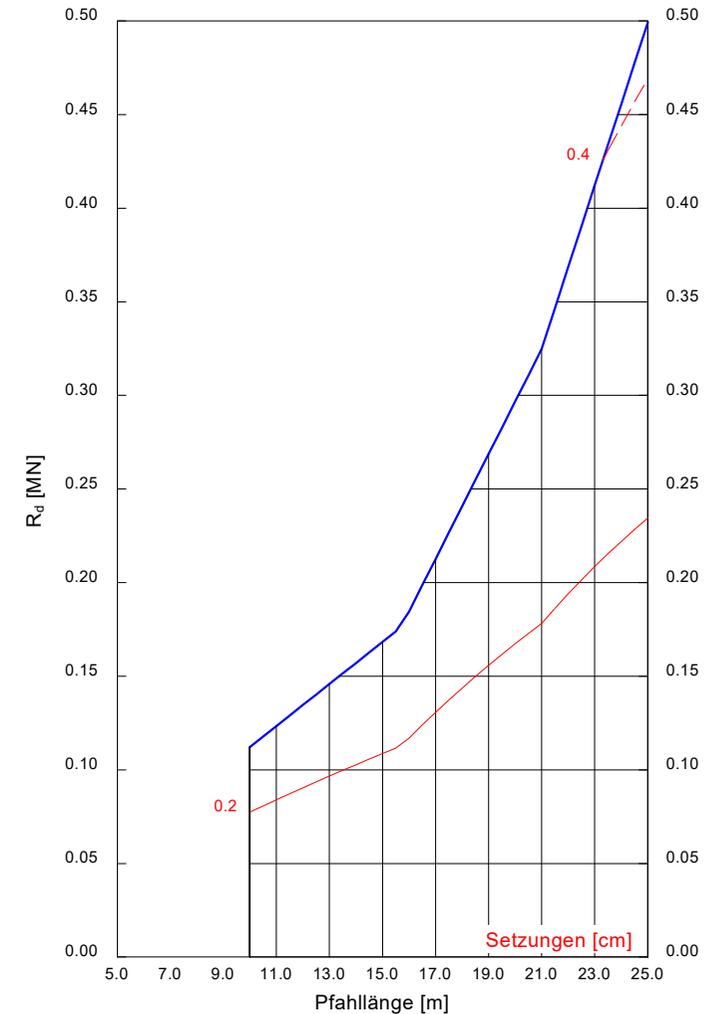
$\gamma_P = 1.40$   
 $\gamma_G = 1.35$   
 $\gamma_Q = 1.50$   
Anteil Veränderliche Lasten = 0.500  
 $\gamma_{(G,Q)} = 0.500 \cdot \gamma_Q + (1 - 0.500) \cdot \gamma_G$   
 $\gamma_{(G,Q)} = 1.425$   
 $R_d$   
Setzung



Pfahlwiderstand  $R_k$  [MN]



Widerstandssetzungslinie für Pfahlänge = 10.00 m



| D [m] | Länge [m] | $R_k$ [MN] | $R_d$ [MN] | $R_{E,k}$ [MN] | zul V [MN] | s [cm] |
|-------|-----------|------------|------------|----------------|------------|--------|
| 0.250 | 10.00     | 0.157      | 0.112      | 0.079          | 0.079      | 0.29   |
| 0.250 | 10.50     | 0.165      | 0.118      | 0.083          | 0.083      | 0.29   |
| 0.250 | 11.00     | 0.173      | 0.123      | 0.087          | 0.087      | 0.29   |
| 0.250 | 11.50     | 0.181      | 0.129      | 0.091          | 0.091      | 0.30   |
| 0.250 | 12.00     | 0.188      | 0.135      | 0.094          | 0.094      | 0.30   |
| 0.250 | 12.50     | 0.196      | 0.140      | 0.098          | 0.098      | 0.30   |
| 0.250 | 13.00     | 0.204      | 0.146      | 0.102          | 0.102      | 0.30   |
| 0.250 | 13.50     | 0.212      | 0.151      | 0.106          | 0.106      | 0.30   |
| 0.250 | 14.00     | 0.220      | 0.157      | 0.110          | 0.110      | 0.31   |
| 0.250 | 14.50     | 0.228      | 0.163      | 0.114          | 0.114      | 0.31   |
| 0.250 | 15.00     | 0.236      | 0.168      | 0.118          | 0.118      | 0.31   |
| 0.250 | 15.50     | 0.243      | 0.174      | 0.122          | 0.122      | 0.31   |
| 0.250 | 16.00     | 0.258      | 0.185      | 0.130          | 0.130      | 0.32   |
| 0.250 | 16.50     | 0.278      | 0.199      | 0.139          | 0.139      | 0.32   |
| 0.250 | 17.00     | 0.298      | 0.213      | 0.149          | 0.149      | 0.33   |
| 0.250 | 17.50     | 0.317      | 0.227      | 0.159          | 0.159      | 0.33   |
| 0.250 | 18.00     | 0.337      | 0.241      | 0.169          | 0.169      | 0.34   |
| 0.250 | 18.50     | 0.357      | 0.255      | 0.179          | 0.179      | 0.34   |
| 0.250 | 19.00     | 0.376      | 0.269      | 0.189          | 0.189      | 0.34   |
| 0.250 | 19.50     | 0.396      | 0.283      | 0.198          | 0.198      | 0.35   |
| 0.250 | 20.00     | 0.415      | 0.297      | 0.208          | 0.208      | 0.35   |
| 0.250 | 20.50     | 0.435      | 0.311      | 0.218          | 0.218      | 0.36   |
| 0.250 | 21.00     | 0.455      | 0.325      | 0.228          | 0.228      | 0.36   |
| 0.250 | 21.50     | 0.485      | 0.347      | 0.243          | 0.243      | 0.37   |
| 0.250 | 22.00     | 0.516      | 0.368      | 0.259          | 0.259      | 0.38   |
| 0.250 | 22.50     | 0.546      | 0.390      | 0.274          | 0.274      | 0.39   |
| 0.250 | 23.00     | 0.577      | 0.412      | 0.289          | 0.289      | 0.40   |
| 0.250 | 23.50     | 0.607      | 0.434      | 0.304          | 0.304      | 0.40   |
| 0.250 | 24.00     | 0.638      | 0.456      | 0.320          | 0.320      | 0.41   |
| 0.250 | 24.50     | 0.669      | 0.478      | 0.335          | 0.335      | 0.42   |
| 0.250 | 25.00     | 0.699      | 0.499      | 0.350          | 0.350      | 0.43   |

zul V =  $R_{E,k} = R_k / (\gamma_P \cdot \gamma_{(G,Q)}) = R_k / (1.400 \cdot 1.425) = R_k / 1.99$   $[\gamma_{(G,Q)} = 1.425]$

# Pfahlwiderstands-Setzungsdiagramm

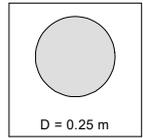
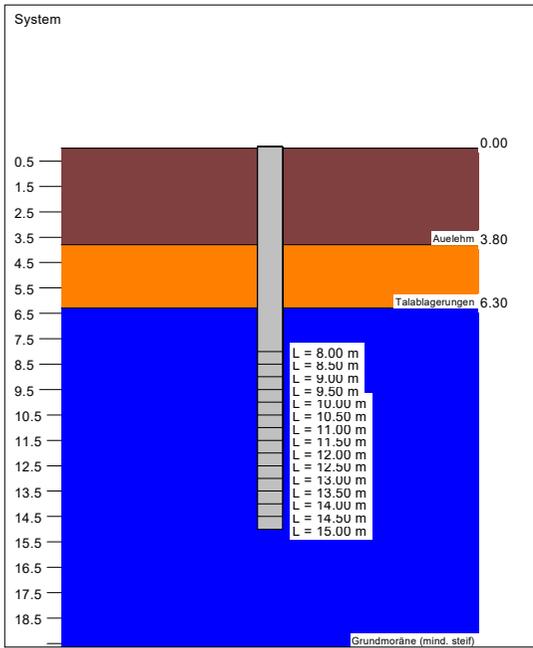
## Verpresster Mikropfahl

| Boden | $q_c$<br>[MN/m <sup>2</sup> ] | $c_{u,k}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | $q_{b,k02}$<br>[MN/m <sup>2</sup> ] | $q_{b,k03}$<br>[MN/m <sup>2</sup> ] | $q_{b,k10}$<br>[MN/m <sup>2</sup> ] | $q_{s,k}$<br>[MN/m <sup>2</sup> ] | Bezeichnung               |
|-------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| ■     | 0.0                           | 20.0                              | 0.000                               | 0.000                               | 0.000                               | 0.0200                            | Auelehm                   |
| ■     | 0.0                           | 20.0                              | 0.000                               | 0.000                               | 0.000                               | 0.0200                            | Talablagerungen           |
| ■     | 0.0                           | 100.0                             | 0.000                               | 0.000                               | 0.000                               | 0.0778                            | Grundmoräne (mind. steif) |

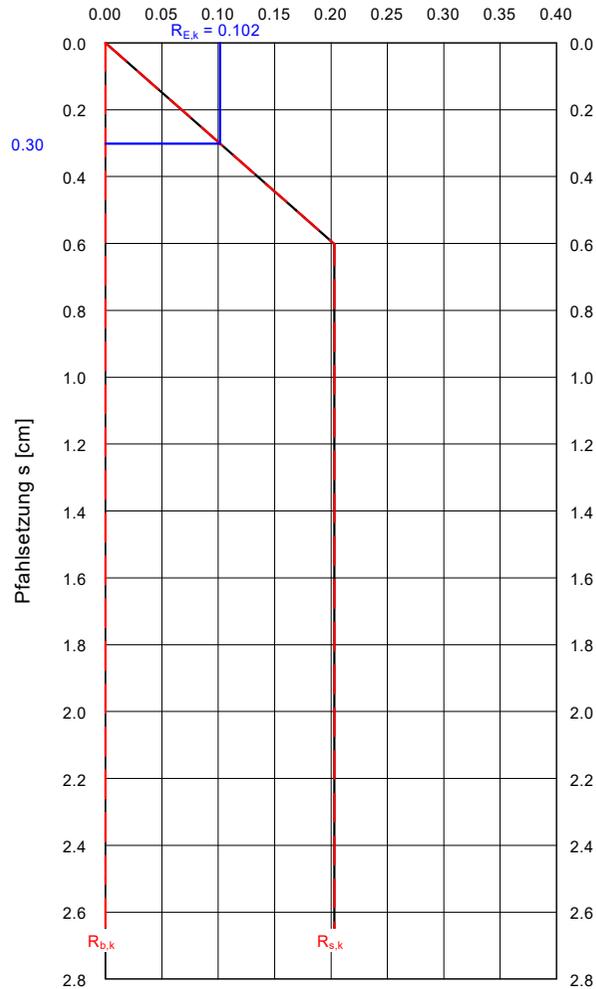
|   |  |                 |
|---|--|-----------------|
| <b>baugrund süd</b><br>weishaupt gruppe<br>Maybachstraße 5<br>88410 Bad Wurzach | BV Stadt Markdorf , 3. Schulstandort<br>Paracelsusstraße<br>88677 Markdorf | AZ<br>21 03 041 |
|   |  | Anlage<br>5.3   |

**Berechnungsgrundlagen**  
 Schichtenabfolge CPT 1/21  
 Norm: EC 7  
 Verpresster Mikropfahl  
 Verhältniswert (min, max) = 0.50  
 Interpolation Mantelreibung:  
 bei  $q_c < 7.5$  MN/m<sup>2</sup> aktiviert  
 bei  $c_{u,k} < 60$  kN/m<sup>2</sup> aktiviert  
 Pfahldurchmesser = 0.250 m

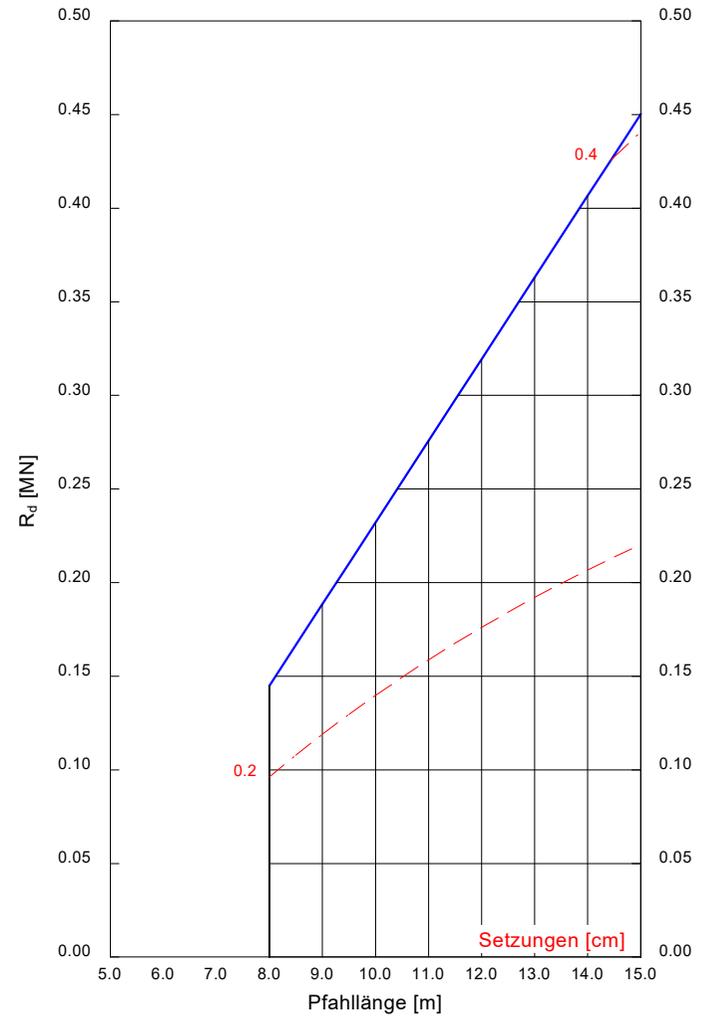
$\gamma_P = 1.40$   
 $\gamma_G = 1.35$   
 $\gamma_Q = 1.50$   
 Anteil Veränderliche Lasten = 0.500  
 $\gamma_{(G,Q)} = 0.500 \cdot \gamma_Q + (1 - 0.500) \cdot \gamma_G$   
 $\gamma_{(G,Q)} = 1.425$   
—  $R_d$   
- - - **Setzung**



Pfahlwiderstand  $R_k$  [MN]



Widerstandssetzungslinie für Pfahlänge = 8.00 m



| D [m] | Länge [m] | $R_k$ [MN] | $R_d$ [MN] | $R_{E,k}$ [MN] | zul V [MN] | s [cm] |
|-------|-----------|------------|------------|----------------|------------|--------|
| 0.250 | 8.00      | 0.203      | 0.145      | 0.102          | 0.102      | 0.30   |
| 0.250 | 8.50      | 0.233      | 0.167      | 0.117          | 0.117      | 0.31   |
| 0.250 | 9.00      | 0.264      | 0.188      | 0.132          | 0.132      | 0.32   |
| 0.250 | 9.50      | 0.294      | 0.210      | 0.148          | 0.148      | 0.32   |
| 0.250 | 10.00     | 0.325      | 0.232      | 0.163          | 0.163      | 0.33   |
| 0.250 | 10.50     | 0.356      | 0.254      | 0.178          | 0.178      | 0.34   |
| 0.250 | 11.00     | 0.386      | 0.276      | 0.194          | 0.194      | 0.35   |
| 0.250 | 11.50     | 0.417      | 0.298      | 0.209          | 0.209      | 0.36   |
| 0.250 | 12.00     | 0.447      | 0.319      | 0.224          | 0.224      | 0.36   |
| 0.250 | 12.50     | 0.478      | 0.341      | 0.239          | 0.239      | 0.37   |
| 0.250 | 13.00     | 0.508      | 0.363      | 0.255          | 0.255      | 0.38   |
| 0.250 | 13.50     | 0.539      | 0.385      | 0.270          | 0.270      | 0.39   |
| 0.250 | 14.00     | 0.569      | 0.407      | 0.285          | 0.285      | 0.39   |
| 0.250 | 14.50     | 0.600      | 0.428      | 0.301          | 0.301      | 0.40   |
| 0.250 | 15.00     | 0.630      | 0.450      | 0.316          | 0.316      | 0.41   |

zul V =  $R_{E,k} = R_k / (\gamma_P \cdot \gamma_{(G,Q)}) = R_k / (1.400 \cdot 1.425) = R_k / 1.99$  [ $\gamma_{(G,Q)} = 1.425$ ]

# Probenahme-Protokoll

Projekt-Nr. AZ 21 03 041  
 Projekt: BV Stadt Markdorf, Grundschulkonzeption  
 in 88677 Markdorf

## A. Allgemeine Angaben

Auftraggeber: Stadt Markdorf  
 Straße/Postfach: Rathausplatz 1  
 PLZ, Ort: 88677 Markdorf

Baustelle / Ort der Probenahme: Kernlager BGS

Zweck der Probenahme/Untersuchung: Abfallrechtliche Vorbewertung  
 Analysenumfang: VwV B.W. FS < 2 mm & Eluat  
 Probenehmende Stelle: Baugrund Süd 88410 Bad Wurzach, Zeppelinstraße 10  
 Probenehmer: B.Sc. Daniel Svorc  
 Probenahmedatum: 23.04.2021

## B. Vor-Ort-Gegebenheiten/Materialbeschreibung

|                                    |  |  |
|------------------------------------|--|--|
| <b>Probenbezeichnung</b>           | BK 1   |  |
| Tiefenintervall [m]:               | 0,00 - 0,80  |  |
| Materialart / Beimengungen:        | Auffüllung:<br>Schluff, sandig, schwach tonig, organisch, Ziegelbruch 1<br>Vol-%     |  |
| Farbe / Geruch:                    | dunkelbraun/-  |  |
| Lagerung:                          | -  |  |
| vermutete Schadstoffe              | -  |  |
| Witterung                          | -  |  |
| <b>Probenahme</b>                  |  |  |
| Entnahmeverfahren:                 | Anlehnung an PN 98   |  |
| Entnahmegesetz:                    | Edelstahlschaufel  |  |
| Anzahl Einzelproben:               | 1  |  |
| Volumen Einzelproben:              | 3 l  |  |
| Misch-/Sammelprobe:                | ja   |  |
| Homogenisierung:                   | ja   |  |
| Teilung:                           | -  |  |
| Menge Laborprobe:                  | ca. 3 l  |  |
| Probengefäß:                       | PP Eimer   |  |
| Rückstellprobe:                    | ja   |  |
| <b>Untersuchungsstelle</b>         | BVU GmbH Markt Rettenbach  |  |
| Probentransfer                     | Kurier Labor   |  |
| Versanddatum:                      | 23.04.21   |  |
| Kühlung/Lagerung:                  | -  |  |
| <b>Unterschrift / Probenehmer:</b> |  |  |

# Probenahme-Protokoll

Projekt-Nr. AZ 21 03 041  
 Projekt: BV Stadt Markdorf, Grundschulkonzeption  
 in 88677 Markdorf

## A. Allgemeine Angaben

Auftraggeber: Stadt Markdorf  
 Straße/Postfach: Rathausplatz 1  
 PLZ, Ort: 88677 Markdorf

Baustelle / Ort der Probenahme: Kernlager BGS

Zweck der Probenahme/Untersuchung: Abfallrechtliche Vorbewertung  
 Analysenumfang: VwV B.W. FS < 2 mm & Eluat  
 Probenehmende Stelle: Baugrund Süd 88410 Bad Wurzach, Zeppelinstraße 10  
 Probenehmer: B.Sc. Daniel Svorc  
 Probenahmedatum: 23.04.2021

## B. Vor-Ort-Gegebenheiten/Materialbeschreibung

|                                    |   |  |
|------------------------------------|---|--|
| <b>Probenbezeichnung</b>           | BK 2  |  |
| Tiefenintervall [m]:               | 0,00 - 0,80   |  |
| Materialart / Beimengungen:        | Auffüllung:<br>Schluff, sandig, tonig, vereinzelt Steine, organisch,<br>Ziegelbruch 1 Vol-% |  |
| Farbe / Geruch:                    | dunkelbraun/-   |  |
| Lagerung:                          | -   |  |
| vermutete Schadstoffe              | -   |  |
| Witterung                          | -   |  |
| <b>Probenahme</b>                  |   |  |
| Entnahmeverfahren:                 | Anlehnung an PN 98  |  |
| Entnahmegesetz:                    | Edelstahlschaufel   |  |
| Anzahl Einzelproben:               | 1   |  |
| Volumen Einzelproben:              | 3 l   |  |
| Misch-/Sammelprobe:                | ja  |  |
| Homogenisierung:                   | ja  |  |
| Teilung:                           | -   |  |
| Menge Laborprobe:                  | ca. 3 l   |  |
| Probengefäß:                       | PP Eimer  |  |
| Rückstellprobe:                    | ja  |  |
| <b>Untersuchungsstelle</b>         | BVU GmbH Markt Rettenbach   |  |
| Probentransfer                     | Kurier Labor  |  |
| Versanddatum:                      | 23.04.21  |  |
| Kühlung/Lagerung:                  | -   |  |
| <b>Unterschrift / Probenehmer:</b> |         |  |

# Probenahme-Protokoll

Projekt-Nr. AZ 21 03 041  
 Projekt: BV Stadt Markdorf, Grundschulkonzeption  
 in 88677 Markdorf

## A. Allgemeine Angaben

Auftraggeber: Stadt Markdorf  
 Straße/Postfach: Rathausplatz 1  
 PLZ, Ort: 88677 Markdorf

Baustelle / Ort der Probenahme: Kernlager BGS

Zweck der Probenahme/Untersuchung: Abfallrechtliche Vorbewertung  
 Analysenumfang: VwV B.W. FS < 2 mm & Eluat  
 Probenehmende Stelle: Baugrund Süd 88410 Bad Wurzach, Zeppelinstraße 10  
 Probenehmer: B.Sc. Daniel Svorc  
 Probenahmedatum: 23.04.2021

## B. Vor-Ort-Gegebenheiten/Materialbeschreibung

|                                    |  |  |
|------------------------------------|--|--|
| <b>Probenbezeichnung</b>           | BK 3   |  |
| Tiefenintervall [m]:               | 0,15 - 0,75  |  |
| Materialart / Beimengungen:        | Auffüllung:<br>Schluff, sandig, tonig, Ziegelbruch<br>1 Vol-%                        |  |
| Farbe / Geruch:                    | braun/-  |  |
| Lagerung:                          | -  |  |
| vermutete Schadstoffe              | -  |  |
| Witterung                          | -  |  |
| <b>Probenahme</b>                  |  |  |
| Entnahmeverfahren:                 | Anlehnung an PN 98   |  |
| Entnahmegesetz:                    | Edelstahlschaufel  |  |
| Anzahl Einzelproben:               | 1  |  |
| Volumen Einzelproben:              | 3 l  |  |
| Misch-/Sammelprobe:                | ja   |  |
| Homogenisierung:                   | ja   |  |
| Teilung:                           | -  |  |
| Menge Laborprobe:                  | ca. 3 l  |  |
| Probengefäß:                       | PP Eimer   |  |
| Rückstellprobe:                    | ja   |  |
| <b>Untersuchungsstelle</b>         | BVU GmbH Markt Rettenbach  |  |
| Probentransfer                     | Kurier Labor   |  |
| Versanddatum:                      | 23.04.21   |  |
| Kühlung/Lagerung:                  | -  |  |
| <b>Unterschrift / Probenehmer:</b> |  |  |



## 2.1 Summenparameter, PCB, BTXE, LHKW, PAK

| Parameter                 | Einheit    | Messwert    | Z 0<br>(S   L/L) | Z 0* | Z 1/2 | Z 2  | Methode                   |
|---------------------------|------------|-------------|------------------|------|-------|------|---------------------------|
| EOX                       | [mg/kg TS] | < 0,5       | 1                | 1    | 3     | 10   | DIN 38 409 -17 :2005-12   |
| MKW (C10 – C22)           | [mg/kg TS] | < 30        | 100              | 200  | 300   | 1000 | DIN EN 14039 :2005-01     |
| MKW (C10 – C40)           | [mg/kg TS] | < 50        | -                | 400  | 600   | 2000 | DIN EN 14039 :2005-01     |
| Cyanid (gesamt)           | [mg/kg TS] | < 0,25      | -                | -    | 3     | 10   | DIN EN ISO 17380 :2013-10 |
| PCB 28                    | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| PCB 52                    | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| PCB 101                   | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| PCB 138                   | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| PCB 153                   | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| PCB 180                   | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| <b>Σ PCB (6):</b>         | [mg/kg TS] | <b>n.n.</b> | 0,05             | 0,1  | 0,15  | 0,5  | DIN EN 15308 :2016-12     |
| Benzol                    | [mg/kg TS] | < 0,05      |                  |      |       |      |                           |
| Toluol                    | [mg/kg TS] | < 0,05      |                  |      |       |      |                           |
| Ethylbenzol               | [mg/kg TS] | < 0,05      |                  |      |       |      |                           |
| m,p-Xylol                 | [mg/kg TS] | < 0,05      |                  |      |       |      |                           |
| o-Xylol                   | [mg/kg TS] | < 0,05      |                  |      |       |      |                           |
| <b>Σ BTXE:</b>            | [mg/kg TS] | <b>n.n.</b> | 1                | 1    | 1     | 1    | DIN EN ISO 22155: 2016-07 |
| Vinylchlorid              | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| Dichlormethan             | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| 1-2-Dichlorethan          | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| cis 1,2 Dichlorethen      | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| trans-Dichlorethen        | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| Chloroform                | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| 1.1.1- Trichlorethan      | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| Tetrachlormethan          | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| Trichlorethen             | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| Tetrachlorethen           | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| <b>Σ LHKW:</b>            | [mg/kg TS] | <b>n.n.</b> | 1                | 1    | 1     | 1    | DIN EN ISO 22155: 2016-07 |
| Naphthalin                | [mg/kg TS] | < 0,04      |                  |      |       |      |                           |
| Acenaphthen               | [mg/kg TS] | < 0,04      |                  |      |       |      |                           |
| Acenaphthylen             | [mg/kg TS] | < 0,04      |                  |      |       |      |                           |
| Fluoren                   | [mg/kg TS] | < 0,04      |                  |      |       |      |                           |
| Phenanthren               | [mg/kg TS] | 0,07        |                  |      |       |      |                           |
| Anthracen                 | [mg/kg TS] | 0,04        |                  |      |       |      |                           |
| Fluoranthren              | [mg/kg TS] | 0,25        |                  |      |       |      |                           |
| Pyren                     | [mg/kg TS] | 0,19        |                  |      |       |      |                           |
| Benzo(a)anthracen         | [mg/kg TS] | 0,13        |                  |      |       |      |                           |
| Chrysen                   | [mg/kg TS] | 0,1         |                  |      |       |      |                           |
| Benzo(b)fluoranthren      | [mg/kg TS] | 0,15        |                  |      |       |      |                           |
| Benzo(k)fluoranthren      | [mg/kg TS] | 0,06        |                  |      |       |      |                           |
| Benzo(a)pyren             | [mg/kg TS] | 0,1         | 0,3              | 0,6  | 0,9   | 3    |                           |
| Dibenz(a,h)anthracen      | [mg/kg TS] | < 0,04      |                  |      |       |      |                           |
| Benzo(g,h,i)perylen       | [mg/kg TS] | 0,09        |                  |      |       |      |                           |
| Indeno(1,2,3-cd)pyren     | [mg/kg TS] | 0,08        |                  |      |       |      |                           |
| <b>Σ PAK (EPA Liste):</b> | [mg/kg TS] | <b>1,26</b> | 3                | 3    | 3 / 9 | 30   | DIN ISO 18287 :2006-05    |

### 3 Ergebnisse der Untersuchung aus dem Eluat

#### 3.1 Allgemeine Parameter, Schwermetalle, Summenparameter, Chlorid, Sulfat

| Parameter             | Einheit       | Messwert |  | Z0/Z0*  | Z 1.1   | Z 1.2 | Z 2    | Methode                     |
|-----------------------|---------------|----------|--|---------|---------|-------|--------|-----------------------------|
| Eluatherstellung      |               |          |  |         |         |       |        | DIN EN 12457-4 : 2003-01    |
| pH-Wert               | [ - ]         | 6,87     |  | 6,5-9,5 | 6,5-9,5 | 6-12  | 5,5-12 | DIN EN ISO 10523 04-2012    |
| elektr. Leitfähigkeit | [ $\mu$ S/cm] | 155      |  | 250     | 250     | 1500  | 2000   | DIN EN 27 888 : 1993        |
| Arsen                 | [ $\mu$ g/l]  | < 4      |  | - 14    | 14      | 20    | 60     | DIN EN ISO 17294-2 :2017-01 |
| Blei                  | [ $\mu$ g/l]  | < 5      |  | - 40    | 40      | 80    | 200    | DIN EN ISO 17294-2 :2017-01 |
| Cadmium               | [ $\mu$ g/l]  | < 0,2    |  | - 1,5   | 1,5     | 3     | 6      | DIN EN ISO 17294-2 :2017-01 |
| Chrom (gesamt)        | [ $\mu$ g/l]  | < 5      |  | - 125   | 12,5    | 25    | 60     | DIN EN ISO 17294-2 :2017-01 |
| Kupfer                | [ $\mu$ g/l]  | < 5      |  | - 20    | 20      | 60    | 100    | DIN EN ISO 17294-2 :2017-01 |
| Nickel                | [ $\mu$ g/l]  | < 5      |  | - 15    | 15      | 20    | 70     | DIN EN ISO 17294-2 :2017-01 |
| Quecksilber           | [ $\mu$ g/l]  | < 0,15   |  | - 0,5   | 0,5     | 1     | 2      | DIN EN ISO 12846 :2012-08   |
| Thallium              | [ $\mu$ g/l]  | < 1      |  |         |         |       |        | DIN EN ISO 17294-2 :2017-01 |
| Zink                  | [ $\mu$ g/l]  | < 10     |  | - 150   | 150     | 200   | 600    | DIN EN ISO 17294-2 :2017-01 |
| Phenolindex           | [ $\mu$ g/l]  | < 10     |  | 20      | 20      | 40    | 100    | DIN EN ISO 14402:1999-12    |
| Cyanid (gesamt)       | [ $\mu$ g/l]  | < 5      |  | 5       | 5       | 10    | 20     | EN ISO 14403 :2012-10       |
| Chlorid               | [mg/l]        | < 2      |  | 30      | 30      | 50    | 100    | EN ISO 10304: 2009-07       |
| Sulfat                | [mg/l]        | < 5      |  | 50      | 50      | 100   | 150    | EN ISO 10304 :2009-07       |

Bei der Konformitätsbetrachtung durch Grenzwertgegenüberstellung (VwV:2007-03) werden Messunsicherheiten nicht mitberücksichtigt. Es handelt sich um absolute Messwerte.

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die im Prüfbericht spezifizierten Prüfgegenstände.

Markt Rettenbach, den 28.04.2021

**Onlinedokument ohne Unterschrift**  
Dipl.-Ing. (FH) E. Schindele  
(Laborleiter)



## 2.1 Summenparameter, PCB, BTXE, LHKW, PAK

| Parameter                 | Einheit    | Messwert    | Z 0<br>(S   L/L) | Z 0* | Z 1/2 | Z 2  | Methode                   |
|---------------------------|------------|-------------|------------------|------|-------|------|---------------------------|
| EOX                       | [mg/kg TS] | < 0,5       | 1                | 1    | 3     | 10   | DIN 38 409 -17 :2005-12   |
| MKW (C10 – C22)           | [mg/kg TS] | < 30        | 100              | 200  | 300   | 1000 | DIN EN 14039 :2005-01     |
| MKW (C10 – C40)           | [mg/kg TS] | < 50        | -                | 400  | 600   | 2000 | DIN EN 14039 :2005-01     |
| Cyanid (gesamt)           | [mg/kg TS] | < 0,25      | -                | -    | 3     | 10   | DIN EN ISO 17380 :2013-10 |
| PCB 28                    | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| PCB 52                    | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| PCB 101                   | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| PCB 138                   | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| PCB 153                   | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| PCB 180                   | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| <b>Σ PCB (6):</b>         | [mg/kg TS] | <b>n.n.</b> | 0,05             | 0,1  | 0,15  | 0,5  | DIN EN 15308 :2016-12     |
| Benzol                    | [mg/kg TS] | < 0,05      |                  |      |       |      |                           |
| Toluol                    | [mg/kg TS] | < 0,05      |                  |      |       |      |                           |
| Ethylbenzol               | [mg/kg TS] | < 0,05      |                  |      |       |      |                           |
| m,p-Xylol                 | [mg/kg TS] | < 0,05      |                  |      |       |      |                           |
| o-Xylol                   | [mg/kg TS] | < 0,05      |                  |      |       |      |                           |
| <b>Σ BTXE:</b>            | [mg/kg TS] | <b>n.n.</b> | 1                | 1    | 1     | 1    | DIN EN ISO 22155: 2016-07 |
| Vinylchlorid              | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| Dichlormethan             | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| 1-2-Dichlorethan          | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| cis 1,2 Dichlorethen      | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| trans-Dichlorethen        | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| Chloroform                | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| 1.1.1- Trichlorethan      | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| Tetrachlormethan          | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| Trichlorethen             | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| Tetrachlorethen           | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| <b>Σ LHKW:</b>            | [mg/kg TS] | <b>n.n.</b> | 1                | 1    | 1     | 1    | DIN EN ISO 22155: 2016-07 |
| Naphthalin                | [mg/kg TS] | < 0,04      |                  |      |       |      |                           |
| Acenaphthen               | [mg/kg TS] | < 0,04      |                  |      |       |      |                           |
| Acenaphthylen             | [mg/kg TS] | < 0,04      |                  |      |       |      |                           |
| Fluoren                   | [mg/kg TS] | < 0,04      |                  |      |       |      |                           |
| Phenanthren               | [mg/kg TS] | 0,05        |                  |      |       |      |                           |
| Anthracen                 | [mg/kg TS] | < 0,04      |                  |      |       |      |                           |
| Fluoranthren              | [mg/kg TS] | 0,22        |                  |      |       |      |                           |
| Pyren                     | [mg/kg TS] | 0,17        |                  |      |       |      |                           |
| Benzo(a)anthracen         | [mg/kg TS] | 0,11        |                  |      |       |      |                           |
| Chrysen                   | [mg/kg TS] | 0,15        |                  |      |       |      |                           |
| Benzo(b)fluoranthren      | [mg/kg TS] | 0,16        |                  |      |       |      |                           |
| Benzo(k)fluoranthren      | [mg/kg TS] | 0,07        |                  |      |       |      |                           |
| Benzo(a)pyren             | [mg/kg TS] | 0,12        | 0,3              | 0,6  | 0,9   | 3    |                           |
| Dibenz(a,h)anthracen      | [mg/kg TS] | < 0,04      |                  |      |       |      |                           |
| Benzo(g,h,i)perylen       | [mg/kg TS] | 0,07        |                  |      |       |      |                           |
| Indeno(1,2,3-cd)pyren     | [mg/kg TS] | 0,07        |                  |      |       |      |                           |
| <b>Σ PAK (EPA Liste):</b> | [mg/kg TS] | <b>1,19</b> | 3                | 3    | 3 / 9 | 30   | DIN ISO 18287 :2006-05    |

### 3 Ergebnisse der Untersuchung aus dem Eluat

#### 3.1 Allgemeine Parameter, Schwermetalle, Summenparameter, Chlorid, Sulfat

| Parameter             | Einheit       | Messwert |   | Z0/Z0*  | Z 1.1   | Z 1.2 | Z 2    | Methode                     |
|-----------------------|---------------|----------|---|---------|---------|-------|--------|-----------------------------|
| Eluatherstellung      |               |          |   |         |         |       |        | DIN EN 12457-4 : 2003-01    |
| pH-Wert               | [ - ]         | 7,34     |   | 6,5-9,5 | 6,5-9,5 | 6-12  | 5,5-12 | DIN EN ISO 10523 04-2012    |
| elektr. Leitfähigkeit | [ $\mu$ S/cm] | 120      |   | 250     | 250     | 1500  | 2000   | DIN EN 27 888 : 1993        |
| Arsen                 | [ $\mu$ g/l]  | 5        | - | 14      | 14      | 20    | 60     | DIN EN ISO 17294-2 :2017-01 |
| Blei                  | [ $\mu$ g/l]  | < 5      | - | 40      | 40      | 80    | 200    | DIN EN ISO 17294-2 :2017-01 |
| Cadmium               | [ $\mu$ g/l]  | < 0,2    | - | 1,5     | 1,5     | 3     | 6      | DIN EN ISO 17294-2 :2017-01 |
| Chrom (gesamt)        | [ $\mu$ g/l]  | < 5      | - | 125     | 12,5    | 25    | 60     | DIN EN ISO 17294-2 :2017-01 |
| Kupfer                | [ $\mu$ g/l]  | < 5      | - | 20      | 20      | 60    | 100    | DIN EN ISO 17294-2 :2017-01 |
| Nickel                | [ $\mu$ g/l]  | < 5      | - | 15      | 15      | 20    | 70     | DIN EN ISO 17294-2 :2017-01 |
| Quecksilber           | [ $\mu$ g/l]  | < 0,15   | - | 0,5     | 0,5     | 1     | 2      | DIN EN ISO 12846 :2012-08   |
| Thallium              | [ $\mu$ g/l]  | < 1      |   |         |         |       |        | DIN EN ISO 17294-2 :2017-01 |
| Zink                  | [ $\mu$ g/l]  | < 10     | - | 150     | 150     | 200   | 600    | DIN EN ISO 17294-2 :2017-01 |
| Phenolindex           | [ $\mu$ g/l]  | < 10     |   | 20      | 20      | 40    | 100    | DIN EN ISO 14402:1999-12    |
| Cyanid (gesamt)       | [ $\mu$ g/l]  | < 5      |   | 5       | 5       | 10    | 20     | EN ISO 14403 :2012-10       |
| Chlorid               | [mg/l]        | < 2      |   | 30      | 30      | 50    | 100    | EN ISO 10304: 2009-07       |
| Sulfat                | [mg/l]        | < 5      |   | 50      | 50      | 100   | 150    | EN ISO 10304 :2009-07       |

Bei der Konformitätsbetrachtung durch Grenzwertgegenüberstellung (VwV:2007-03) werden Messunsicherheiten nicht mitberücksichtigt. Es handelt sich um absolute Messwerte.

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die im Prüfbericht spezifizierten Prüfgegenstände.

Markt Rettenbach, den 28.04.2021

Onlinedokument ohne Unterschrift  
Dipl.-Ing. (FH) E. Schindele  
(Laborleiter)



## 2.1 Summenparameter, PCB, BTXE, LHKW, PAK

| Parameter                 | Einheit    | Messwert    | Z 0<br>(S   L/L) | Z 0* | Z 1/2 | Z 2  | Methode                   |
|---------------------------|------------|-------------|------------------|------|-------|------|---------------------------|
| EOX                       | [mg/kg TS] | < 0,5       | 1                | 1    | 3     | 10   | DIN 38 409 -17 :2005-12   |
| MKW (C10 – C22)           | [mg/kg TS] | < 30        | 100              | 200  | 300   | 1000 | DIN EN 14039 :2005-01     |
| MKW (C10 – C40)           | [mg/kg TS] | < 50        | -                | 400  | 600   | 2000 | DIN EN 14039 :2005-01     |
| Cyanid (gesamt)           | [mg/kg TS] | < 0,25      | -                | -    | 3     | 10   | DIN EN ISO 17380 :2013-10 |
| PCB 28                    | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| PCB 52                    | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| PCB 101                   | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| PCB 138                   | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| PCB 153                   | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| PCB 180                   | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| <b>Σ PCB (6):</b>         | [mg/kg TS] | <b>n.n.</b> | 0,05             | 0,1  | 0,15  | 0,5  | DIN EN 15308 :2016-12     |
| Benzol                    | [mg/kg TS] | < 0,05      |                  |      |       |      |                           |
| Toluol                    | [mg/kg TS] | < 0,05      |                  |      |       |      |                           |
| Ethylbenzol               | [mg/kg TS] | < 0,05      |                  |      |       |      |                           |
| m,p-Xylol                 | [mg/kg TS] | < 0,05      |                  |      |       |      |                           |
| o-Xylol                   | [mg/kg TS] | < 0,05      |                  |      |       |      |                           |
| <b>Σ BTXE:</b>            | [mg/kg TS] | <b>n.n.</b> | 1                | 1    | 1     | 1    | DIN EN ISO 22155: 2016-07 |
| Vinylchlorid              | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| Dichlormethan             | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| 1-2-Dichlorethan          | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| cis 1,2 Dichlorethen      | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| trans-Dichlorethen        | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| Chloroform                | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| 1.1.1- Trichlorethan      | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| Tetrachlormethan          | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| Trichlorethen             | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| Tetrachlorethen           | [mg/kg TS] | < 0,01      |                  |      |       |      |                           |
| <b>Σ LHKW:</b>            | [mg/kg TS] | <b>n.n.</b> | 1                | 1    | 1     | 1    | DIN EN ISO 22155: 2016-07 |
| Naphthalin                | [mg/kg TS] | < 0,04      |                  |      |       |      |                           |
| Acenaphthen               | [mg/kg TS] | < 0,04      |                  |      |       |      |                           |
| Acenaphthylen             | [mg/kg TS] | < 0,04      |                  |      |       |      |                           |
| Fluoren                   | [mg/kg TS] | < 0,04      |                  |      |       |      |                           |
| Phenanthren               | [mg/kg TS] | < 0,04      |                  |      |       |      |                           |
| Anthracen                 | [mg/kg TS] | < 0,04      |                  |      |       |      |                           |
| Fluoranthren              | [mg/kg TS] | < 0,04      |                  |      |       |      |                           |
| Pyren                     | [mg/kg TS] | < 0,04      |                  |      |       |      |                           |
| Benzo(a)anthracen         | [mg/kg TS] | < 0,04      |                  |      |       |      |                           |
| Chrysen                   | [mg/kg TS] | < 0,04      |                  |      |       |      |                           |
| Benzo(b)fluoranthren      | [mg/kg TS] | < 0,04      |                  |      |       |      |                           |
| Benzo(k)fluoranthren      | [mg/kg TS] | < 0,04      |                  |      |       |      |                           |
| Benzo(a)pyren             | [mg/kg TS] | < 0,04      | 0,3              | 0,6  | 0,9   | 3    |                           |
| Dibenz(a,h)anthracen      | [mg/kg TS] | < 0,04      |                  |      |       |      |                           |
| Benzo(g,h,i)perylen       | [mg/kg TS] | < 0,04      |                  |      |       |      |                           |
| Indeno(1,2,3-cd)pyren     | [mg/kg TS] | < 0,04      |                  |      |       |      |                           |
| <b>Σ PAK (EPA Liste):</b> | [mg/kg TS] | <b>n.n.</b> | 3                | 3    | 3 / 9 | 30   | DIN ISO 18287 :2006-05    |

### 3 Ergebnisse der Untersuchung aus dem Eluat

#### 3.1 Allgemeine Parameter, Schwermetalle, Summenparameter, Chlorid, Sulfat

| Parameter             | Einheit       | Messwert |  | Z0/Z0*  | Z 1.1   | Z 1.2 | Z 2    | Methode                     |
|-----------------------|---------------|----------|--|---------|---------|-------|--------|-----------------------------|
| Eluatherstellung      |               |          |  |         |         |       |        | DIN EN 12457-4 : 2003-01    |
| pH-Wert               | [ - ]         | 7,54     |  | 6,5-9,5 | 6,5-9,5 | 6-12  | 5,5-12 | DIN EN ISO 10523 04:2012    |
| elektr. Leitfähigkeit | [ $\mu$ S/cm] | 121      |  | 250     | 250     | 1500  | 2000   | DIN EN 27 888 : 1993        |
| Arsen                 | [ $\mu$ g/l]  | < 4      |  | - 14    | 14      | 20    | 60     | DIN EN ISO 17294-2 :2017-01 |
| Blei                  | [ $\mu$ g/l]  | < 5      |  | - 40    | 40      | 80    | 200    | DIN EN ISO 17294-2 :2017-01 |
| Cadmium               | [ $\mu$ g/l]  | < 0,2    |  | - 1,5   | 1,5     | 3     | 6      | DIN EN ISO 17294-2 :2017-01 |
| Chrom (gesamt)        | [ $\mu$ g/l]  | < 5      |  | - 125   | 12,5    | 25    | 60     | DIN EN ISO 17294-2 :2017-01 |
| Kupfer                | [ $\mu$ g/l]  | < 5      |  | - 20    | 20      | 60    | 100    | DIN EN ISO 17294-2 :2017-01 |
| Nickel                | [ $\mu$ g/l]  | < 5      |  | - 15    | 15      | 20    | 70     | DIN EN ISO 17294-2 :2017-01 |
| Quecksilber           | [ $\mu$ g/l]  | < 0,15   |  | - 0,5   | 0,5     | 1     | 2      | DIN EN ISO 12846 :2012-08   |
| Thallium              | [ $\mu$ g/l]  | < 1      |  |         |         |       |        | DIN EN ISO 17294-2 :2017-01 |
| Zink                  | [ $\mu$ g/l]  | < 10     |  | - 150   | 150     | 200   | 600    | DIN EN ISO 17294-2 :2017-01 |
| Phenolindex           | [ $\mu$ g/l]  | < 10     |  | 20      | 20      | 40    | 100    | DIN EN ISO 14402:1999-12    |
| Cyanid (gesamt)       | [ $\mu$ g/l]  | < 5      |  | 5       | 5       | 10    | 20     | EN ISO 14403 :2012-10       |
| Chlorid               | [mg/l]        | < 2      |  | 30      | 30      | 50    | 100    | EN ISO 10304: 2009-07       |
| Sulfat                | [mg/l]        | < 5      |  | 50      | 50      | 100   | 150    | EN ISO 10304 :2009-07       |

Bei der Konformitätsbetrachtung durch Grenzwertgegenüberstellung (VwV:2007-03) werden Messunsicherheiten nicht mitberücksichtigt. Es handelt sich um absolute Messwerte.

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die im Prüfbericht spezifizierten Prüfgegenstände.

Markt Rettenbach, den 28.04.2021

**Onlinedokument ohne Unterschrift**  
Dipl.-Ing. (FH) E. Schindele  
(Laborleiter)