10.92.03

**Linie:** 720

**Bezeichnung:** ZH Langstrasse – Thalwil - Ziegelbrücke

**Km:** 1.213 – 57.146

**Kanton(e):** Zürich

**Gemeinde(n):** Horgen, Wädenswil

**Projekt:** **Fahrbahnerneuerung Horgen – Au ZH**
**Gleise 94, 118, 119**

**ISP-Nr.:** 1168481

**Phase:** **Auflageprojekt**

**Datum:** 20.03.2026

**Unterschriften:**


Bauherrenvertretung SBB

Abteilung: I-AEP-ENG-FB-ROT-PL2
Name: Michael Hoffmann

Michael Hoffmann
15. Apr. 2026
QES Qualifizierte elektronische Signatur · Schweizer Recht
Signiert auf Skribble.com

Projektverfasser

Firma: Rubi Bahntechnik Schweiz AG
Name: Kristine Diethelm

kristine.diethelm@rubi-bahntechnik.ch
15. Apr. 2026
QES Qualifizierte elektronische Signatur · Schweizer Recht
Signiert auf Skribble.com


SBB CFF FFS

# Weichschichten Analyse
# Feldstudie
# Bericht Nr. BG2023-009b

**Dok.-Nr. 1168481_03_BG_2023-009b**

| Index: | Erstellt: | Geprüft: | Freigabe: |
|---|---|---|---|
| --- | 20.03.26 kd | 20.03.26 jb | 20.03.26 mh |
| a | | | |
| b | | | |
| c | | | |


SBB AG
Infrastruktur Ausbau- und Erneuerungsprojekte
Engineering Fahrbahn Region Ost
Vulkanplatz 11, 8048 Zürich
Mobil +41 79 172 33 84
hoffmann.michael@sbb.ch

**CSD INGENIEURE AG**
Schachenallee 29A
CH-5000 Aarau
+41 62 834 44 00
aarau@csd.ch
www.csd.ch

CSD INGENIEURE
VON GRUND AUF DURCHDACHT

# SBB AG L720 km 17.200 bis 19.500 Horgen - Au

## Bericht Weichschichten Analyse

Aarau, 6. Dezember 2024 / DCH013913.01

CSD INGENIEURE
VON GRUND AUF DURCHDACHT

# Inhaltsverzeichnis


**1 Ausgangslage ..... 4**
1.1 Projektdaten ..... 4
1.2 Bauvorhaben und Bewertung dynamische Stabilität ..... 4
1.3 Verwendete Unterlagen ..... 5

**2 Durchgeführte Untersuchungen ..... 6**
2.1 Sondierprogramm ..... 6

**3 Baugrundverhältnisse ..... 7**
3.1 Baugrundbeschreibung ..... 7
3.1.1 Allgemeine Übersicht - Baugrundbeschrieb ..... 7
3.1.2 Baugrundeigenschaften ..... 8
3.2 Baugrundkennwerte ..... 9

**4 Hydrogeologie ..... 10**

**5 Bautechnische Folgerungen ..... 11**
5.1 Geotechnische Verhältnisse ..... 11
5.2 Linie 720: Horgen - Au ..... 11
5.2.1 Kilometer 17.200 – 17.450 ..... 11
5.2.2 Kilometer 17.450 – 18.650 und 18.900 – 19.250 ..... 12
5.2.3 Kilometer 18.650 – 18.900 und 19.350 – 19.500 ..... 12
5.2.4 Kilometer 19.250 – 19.350 ..... 12
5.3 Dynamische Stabilität – Überdeckung und Mächtigkeit Weichschicht ..... 13

**6 Beurteilung der Ergebnisse und weiteres Vorgehen ..... 15**

**7 Weitere Hinweise ..... 16**

**8 Impressum ..... 16**

**9 Disclaimer ..... 17**

CSD INGENIEURE
VON GRUND AUF DURCHDACHT

# Tabellenverzeichnis


Tabelle 1.1 Projektdaten ..... 4
Tabelle 1.2 Einteilung kritischer Böden ..... 5
Tabelle 2.1 Übersicht der vor Ort durchgeführten Untersuchungen ..... 6
Tabelle 3.1 Charakterisierung der angetroffenen Bodenschichten ..... 8
Tabelle 3.2 Spezifische Eigenschaften der angetroffenen Bodenschichten ..... 9
Tabelle 3.3 Baugrundkennwerte ..... 10
Tabelle 5.1 Tabelle Schichtaufbau im Homogenbereich km 17.200 – 17.450 ..... 11
Tabelle 5.2 Tabelle Schichtaufbau im Homogenbereich km 17.450 – 18.650 und 18.900 – 19.250 ..... 12
Tabelle 5.3 Tabelle Schichtaufbau im Homogenbereich km 18.650 – 18.900 und 19.350 – 19.500 ..... 12
Tabelle 5.4 Tabelle Schichtaufbau im Homogenbereich km 19.250 – 19.350 ..... 12
Tabelle 5.5 Tabelle mit Scherwellengeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Tiefe unter Terrain ..... 15


# Anhangsverzeichnis


Anhang A Situationsplan
Anhang B Profile der Kernbohrungen
Anhang C Fotodokumentation der Kernbohrungen
Anhang D Resultate der Sondierungen
Anhang E Laborergebnisse
Anhang F Längsschnitt
Anhang G Tabellarische Übersicht der Weichschichten
Anhang H Plan Weichschichten

# 1 Ausgangslage

## 1.1 Projektdaten

| | |
|---|---|
| Streckenbereich: | Linie 720: Horgen – Au, km 17.200 – 19.500 |
| Auftraggeber: | SBB AG, Hilfikerstrasse 3, 3014 Bern 65<br>Herr James Fern |
| Bauherr: | SBB AG |
| Offerte: | DCH013913.01 Horgen - Au Offerte Analyse Weichschichten, CSD Ingenieure AG, Aarau, 04. April 2024 |

Tabelle 1.1 Projektdaten

## 1.2 Bauvorhaben und Bewertung dynamische Stabilität

Im Rahmen der geplanten Komplettsanierung des Streckenabschnitts Horgen – Au (L270 km 17.200 bis 19.500) wurde die CSD Ingenieure AG (CSD) beauftragt, eine Baugrunduntersuchung insbesondere im Hinblick auf mögliche Weichschichten durchzuführen. Die Untersuchung beinhaltet den geotechnischen Zustand des Standortes sowie den Nachweis der dynamischen Stabilität nach dem vereinfachten Verfahren von DB Netz (2018) [4]. Ein geplantes Projekt liegt zu diesem Zeitpunkt noch nicht vor, für die Untersuchung wurden Sondierungen und Bohrungen im Abstand von rund 150 – 300 m entlang vom Trajekt ausgeführt.

Die dynamische Stabilität von Eisenbahnfahrwegen wird von kritischen Böden beeinflusst. Die Klassifizierung der kritischen Böden hängt wiederum von der Zusammensetzung, insbesondere dem Anteil unzersetzter organischer Materialien, der Dichte und der Scherfestigkeit ab.

Als kritische Böden gelten:

- Organische Böden wie Torfe (OH, PT), See- oder Faulschlämme mit geringen Dichten und hohen Wassergehalten,
- Breiige und weiche feinkörnige Böden mit organischen Beimengungen wie Seekreide oder Schlick,
- Bindige mineralische Böden mit einer weichen bis breiigen Konsistenz $I_c < 0.6$ bzw. $c_{u,k} \leq 40$ kN/m$^2$ im ungestörten Zustand,
- Fallweise auch Böden mit Beimengungen humoser Art (OH) bzw. mit kalkigen, kieseligen Bildungen in Abhängigkeit vom organischen Anteil.

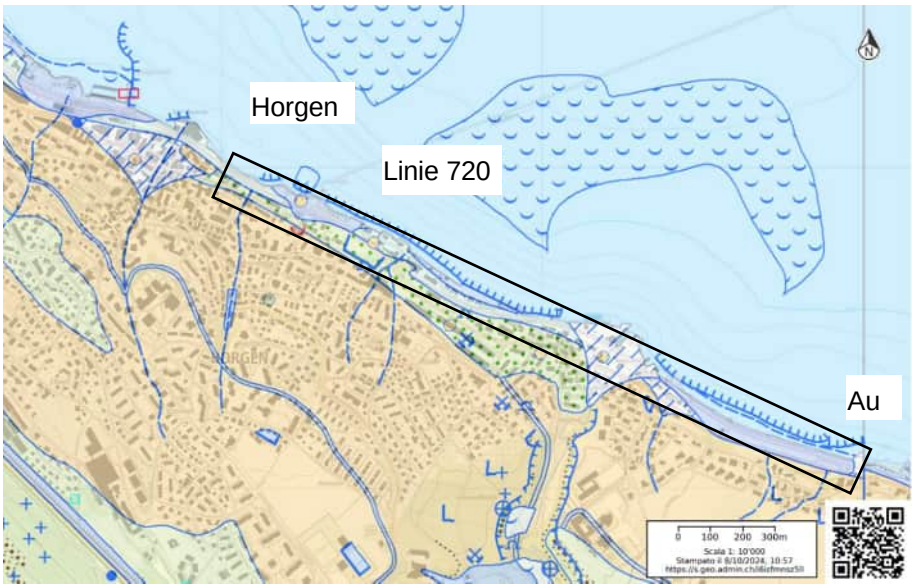



Abbildung 1.1 Übersichtsplan des Projektstandorts Übersichtsplan des Projektstandorts. [1]

Die kritische Böden E und F werden nach den folgenden Kriterien eingeteilt [3]. Die Böden der Klasse A-D gelten als unkritisch:

| Klasse | Typ | $v_{s10}$ [m/s] | $v_{s30}$ [m/s] | $c_u$ [kN/m2] |
|---|---|---|---|---|
| A | Fester Fels | > 1100 | > 1500 | - |
| B | Fels | 575 - 1100 | 760 – 1500 | - |
| C | Dichte Böden | 280 - 575 | 360 - 760 | > 100 |
| D | Steife Böden | 140 - 280 | 180 - 360 | 40 – 100 |
| E | Weiche Böden | < 140 | < 180 | < 40 |
| | | Böden erfüllen folgenden Kriterien:<br>- Hohe Plastizität ($I_p$ > 20 %)<br>- Locker gelagert ($I_L$ < 0.4, $I_D$ < 40%)<br>- Weich ($c_u$ < 40 kN/m2)<br>- Empfindlich / Sensitivität ($S_t$ > 4)<br>- Organisch (OC > 6 %)<br>Mit einer Mächtigkeit $d_i$ > 1 m in den obersten 10 m Tiefe | | |
| F | Spezielle Böden | Böden erfüllen folgenden Kriterien:<br>- flüssig oder strukturempfindlich<br>- Sehr weich, breiig ($c_u$ < 20 kN/m2)<br>- Stark empfindlich / Sensitivität ($S_t$ > 8)<br>- Stark Organisch (OC > 20 % oder $I_p$ > 75 %)<br>Mit einer Mächtigkeit $d_i$ > 1 m in den obersten 10 m Tiefe<br>Oder Klasse E mit einer Schichtmächtigkeit vorn $d_i$ > 8 m in den obersten 10 m Tiefe<br>Oder $v_{Zug}$ > 0.9 $v_{s,i}$ mit $d_i$ > 0.2 m | | |

Tabelle 1.2 Einteilung kritischer Böden

## 1.3 Verwendete Unterlagen

Neben den gesetzlich und technisch relevanten Unterlagen wurden folgende Dokumente verwendet, resp. Informationsquellen konsultiert:

[1] Bundesamt für Landestopografie swisstopo (Geologischer Atlas 1:25'000, Gefährdungskarte Oberflächenabfluss, etc.), Stand 11. Oktober 2024

[2] Geoportal Kanton Zürich, www.geo.zh.ch, Stand 11. Oktober 2024

[3] CFF (2022). Recommandations et exigences des compagnes géotechniques des voies ferrées. Version B du 05 avril 2022.

[4] DB Netz. “Untersuchungen zur Dynamischen Stabilität - Vereinfachte Bewertung der dynamischen Stabilität von bestehenden Strecken.” Eisenbahnstrecken mit Schotterober-bau auf Weichschichten. DB Netz, 2018.

[5] Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds SN EN 1997-2:2007

# 2 Durchgeführte Untersuchungen

## 2.1 Sondierprogramm

Basierend auf der Vorstudie wurde ein Sondierkonzept erarbeitet, um die fehlen Informationen und Lücken zu ergänzen. Nach einer Begehung des Projektperimeters am 19.03.2024 wurden die Sondier- und Bohrstandorte festgelegt. Die Sondierungen und Bohrungen wurden im Abstand von ca. 150 – 300 m entlang der Gleise verteilt. Für den vorliegenden Bericht wurden folgende Aufschluss- und Analysemethoden angewendet:

| Anzahl | Methode | Datum | Firma | Untersuchungsziel |
|---|---|---|---|---|
| 5 resp. 10 | Elektrische Drucksondierungen (Typ (s)CPTU) | 24.06 - 27.06.2024 | Geoprofile GmbH | Ableitung physikalischer und mechanischer Eigenschaften mit empirischen Korrelationen, Abklären des räumlichen Schichtverlaufs, Abschätzen der Lagerungsdichte<br>und 5 x Scherwellengeschwindigkeiten |
| 4 | Kernbohrungen | 07.04 – 08.04.2024 | Studersond AG | Direkter Aufschluss der Bodenschichten, Materialbeurteilung, Abschätzen der Lagerungsdichte<br>2x in-Situ-Drehflügelversuch in KB1-24 |
| <br>1<br>1<br>7<br>1 | Laboruntersuchungen<br>Glühverlust<br>Kalkgehalt<br>Klassifikation USCS<br>Oedometertest<br>div. Teste* | 13.08.2024 | IMP Bautest AG<br><br><br><br>TransGeo<br>ETH Zürich | Materialeigenschaften |

Tabelle 2.1 Übersicht der vor Ort durchgeführten Untersuchungen
*Zum Zeitpunkt der Berichterstattung lagen noch keine Resultate vor, Fotodokumentation einiger Liner wird Anfang 2025 gemacht

Im Situationsplan (Anhang A), sind die durchgeführten Sondierungen dargestellt. In Anhang B sind die ausgeführten Bohrungen und in Anhang D die Sondierungen zusammengefasst. In Anhang F ist das Baugrundmodell im Längsschnitt dargestellt. In Anhang G ist eine tabellarische Übersicht der Sondierstellen dargestellt.

# 3 Baugrundverhältnisse

## 3.1 Baugrundbeschreibung

Gemäss der geologischen Karte [1] befindet sich das Projekt in einem Gebiet mit Seeablagerung bzw. lakustrischen Sedimenten, Bachschutt, Moräne und Oberer Süsswassermolasse.

### 3.1.1 Allgemeine Übersicht - Baugrundbeschrieb

Die Linie 720: Horgen – Au liegt mehrheitlich auf der Oberen Süsswassermolasse und Moränenablagerungen, die von Seeablagerungen und lokal von Bachschutt resp. Delta/Schwemmfächer überlagert werden. Bei KB1 und KB4 befindet sich die Obere Süsswassermolasse in einer Tiefe von 16.30 m unter dem Terrain bei KB1 und 5.5 m Tiefe unter dem Terrain bei KB4. Bei KB2 und KB3 liegt die Moräne bereits in einer Tiefe von 0.9 m unter dem Terrain bei KB2 und 3.0 m unter dem Terrain bei KB3.

Vereinfachend können die angetroffenen und interpretierten Schichten wie folgt gegliedert und beschrieben werden:

- Künstliche Auffüllung

  Abschnittweise kommen künstliche Auffülllungen vor, aufgeschlossen in KB1, KB2, KB3 und KB4. Bei KB3 reicht die künstliche Auffüllung bis in eine Tiefe von 3 Meter.

- Seeablagerung / lakustrische Sedimente

  Die Einheit besteht hauptsächlich aus Fein- bis Mittelsand und aus siltigem Material, klassifiziert als SP-SM, teilweise mit Muschelstückchen. Die Einheit wurde bei KB1, KB3, sCPTU2, sCPTU8, CPTU10, CPTU11 und CPTU15 angetroffen. Die Einheit ist teilweise schwach organisch mit einem Glühverlust LOI von 1.8 %.

- Seekreide

  Lokal bei KB1, sCPTU1 und sCPTU2 wurde strukturempfindlicher Seekreide angetroffen CM-ML. Das Material besteht aus schwach sandigem Silt, und ist teilweise schwach tonig. Auf der Laborprobe von KB1-24 wurde in 8.5 – 9.5 m Tiefe ein Calciumcarbonatgehalt von 80.2 % angetroffen mit einem Wassergehalt von 53.9%. Darunter stehen graue Silte ML mit einem Wassergehalt von 57.7 % an.

- Delta/Schwemmfächer

  Feinkörnige Deltaablagerungen/Schwemmfächer wurden in KB4 und CPTU14-24 angetroffen, die Einheit der feinkörnigen Deltaablagerungen besteht hauptsächlich aus Silt oder siltigem Ton CL sowie feinem bis grobem Sand und Kies, lokal auch Steinen.

- Moräne

  Die Moräne wurde bei KB2, sCPTU6 und KB3, sCPTU8 angetroffen. Die Moränenablagerungen bestehen aus schwach bis stark sandigen Kiesen mit Silt. Lokal bei KB3 und sCPTU8 sind sandige Schichten zwischengelagert, von rund 2.5 m Mächtigkeit.

- Obere Süsswassermolasse

  In KB1 und KB4 wurde die stark verwitterte Felsoberfläche der Obere Süsswassermolasse angetroffen. In KB1 wurde Kies mit Sand, Silt und schwach tonigem Material in 16.3 m Tiefe angetroffen, und in KB4 wurde siltiger, sandiger und schwach toniger Kies in rund 5.5 m Tiefe festgestellt.

| Bezeichnung | Materialzusammensetzung | Lagerung / Konsistenz | Schwerwellengeschwindigkeit [m/s] |
|---|---|---|---|
| Künstliche Auffüllung | Kies, sandig, siltig | Mitteldicht bis dicht gelagert | 100-200 |
| Seeablagerung/Lakustrische Sedimente | Siltiger Sand (Fein- und Mittelsand)<br>SP-SM | weich bis mittelsteif<br>$q_c$ MN/m$^2$: 0.3…0.6<br>$N_{1,60}$ SPT: 1…2 | 100 - 130 |
| Seekreide | Silt, tonig, sandig<br>CM-ML | Sehr weich<br>$q_c$ MN/m$^2$: 0.3…0.6<br>$N_{1,60}$ SPT: 1…2 | 139 - 200 |
| Delta/Schwemmfächer | Silt, sandig ML und siltiger Ton CL | sehr locker resp. weich<br>$q_c$ MN/m$^2$: 0.3…0.6<br>$N_{1,60}$ SPT: 1.5…15 | - |
| Obere Süsswassermolasse | Siltiger Sand und sandiger Silt, verwitterter Sand- resp. Siltstein<br>Verwitterte Felsoberfläche | mitteldicht bis sehr dicht gelagert<br>$q_c$ MN/m$^2$: 12 …>30<br>$N_{1,60}$ SPT: 10…30 | 180 - 430 |
| Moräne | Siltige Kiese | mitteldicht bis sehr dicht gelagert<br>$q_c$ MN/m$^2$: 12…>30<br>$N_{10,A}$ : 8…10 bis >80<br>$N_{1,60}$ SPT: 10…25 | >200 |
| | Lokal bei KB3 und sCPTU8 mit sandigen Zwischenschichten | Sehr locker<br>$q_c$ MN/m$^2$: 1…2<br>$N_{1,60}$ SPT: 1.6 | 110 - 130 |

Tabelle 3.1 Charakterisierung der angetroffenen Bodenschichten

### 3.1.2 Baugrundeigenschaften

Die unterstehende Tabelle beschreibt die Baugrundeigenschaften. Anhand der Feldansprache der Materialzusammensetzung wurde die Frostbeständigkeit gemäss SN 670140b geschätzt.

| Bezeichnung | Spezifische Eigenschaften der angetroffenen Schichten |
|---|---|
| Künstliche Auffüllung | mässig bis gut tragfähig, gering setzungsempfindlich, vernachlässigbar frostempfindlich, nicht aufweichungsgefährdet, baggerbar, schlecht rammbar, kurzzeitig standfest<br>zur Fundation verteilter und konzentrierter Lasten bedingt geeignet (geringe Mächtigkeit bei Kieskoffern)<br>zur Wiederverwendung für Kieskoffer, Baupisten, Hinterfüllungen, etc. geeignet |
| Seeablagerung | Wenig bis mässig tragfähig, hoch setzungsempfindlich, mittel bis stark frostempfindlich (G3, G3-G4), stark aufweichungsgefährdet, gut baggerbar, rammbar, bedingt standfest<br>zur Fundation verteilter und konzentrierter Lasten nicht geeignet<br>zur Wiederverwendung nur für anspruchslose Terrainanpassungen geeignet |
| Seekreide | Wenig bis mässig tragfähig, hoch setzungsempfindlich, mittel bis stark frostempfindlich (G3, G3-G4), stark aufweichungsgefährdet, gut baggerbar, rammbar, bedingt standfest<br>zur Fundation verteilter und konzentrierter Lasten nicht geeignet<br>zur Wiederverwendung nur für anspruchslose Terrainanpassungen geeignet |

| Bezeichnung | Spezifische Eigenschaften der angetroffenen Schichten |
|---|---|
| Delta/Schwemmfächer | Wenig bis mässig tragfähig, hoch setzungsempfindlich, mittel bis stark frostempfindlich (G3, G3-G4), stark aufweichungsgefährdet, gut baggerbar, rammbar, bedingt standfest<br>zur Fundation verteilter und konzentrierter Lasten nicht geeignet<br>zur Wiederverwendung nur für anspruchslose Terrainanpassungen geeignet |
| Obere Süsswassermolasse | Gut bis sehr gut tragfähig, gering bis nicht setzungsempfindlich, vernachlässigbar frostempfindlich, nicht aufweichungsgefährdet, gut bis mässig gut baggerbar, mässig bis nicht rammbar, kurzzeitig standfest<br>zur Fundation verteilter und konzentrierter Lasten geeignet<br>zur Wiederverwertung je nach Zusammensetzung für Hinterfüllungen geeignet |
| Moräne | Gut bis sehr gut tragfähig, gering bis nicht setzungsempfindlich, vernachlässigbar frostempfindlich, nicht aufweichungsgefährdet, gut bis mässig gut baggerbar, mässig bis nicht rammbar, kurzzeitig standfest<br>zur Fundation verteilter und konzentrierter Lasten geeignet<br>zur Wiederverwertung je nach Zusammensetzung für Hinterfüllungen geeignet<br>Ohne locker gelagert sandige Zwischenschichten |

Tabelle 3.2 Spezifische Eigenschaften der angetroffenen Bodenschichten

## 3.2 Baugrundkennwerte

Die nachfolgend aufgeführten Bezeichnungen der Baugrundkennwerte richten sich nach den Bezeichnungen gemäss Norm SIA 267:2013. Folgende Baugrundkennwerte wurden ermittelt:

$\gamma_e$ Raumgewicht des Bodens bzw. Felsens [kN/m$^3$]

$\varphi'$ Effektiver Winkel der inneren Reibung [°]

c' Effektive Kohäsion [kN/m$^2$]

$c_u$ Undrainierte Scherfestigkeit [kN/m$^2$]

$E_{oed}$ Steifemodul der Erstbelastung des Bodens bzw. Fels (Erstbelastung) [MN/m$^2$] abgeleitet aus Sondierung

Bei der Bestimmung der geotechnischen Baugrundkennwerte muss gemäss SIA 267:2013 zwischen den folgenden Werten unterschieden werden:

| | | |
|---|---|---|
| Erwartungswert | Xm | Wahrscheinlichster Mittelwert (geschätzter Erwartungswert) einer geotechnischen Grösse |
| Charakteristischer Wert | Xk | Wert einer geotechnischen Grösse mit einer Unterschreitungschance von 5% für die betrachtete Bemessungssituation |

| Bezeichnung | Raumgewicht $\gamma_e$ (kN/m³) | Reibungswinkel $\varphi'$ (°) | Kohäsion c' (kN/m²) | Undrainierte Scherfestigkeit $c_u$ [kN/m²] | Steifemodul der Erstbelastung $E_{oed}$ (MN/m²) |
|---|---|---|---|---|---|
| Künstliche Auffüllung | 20…22 (21) | 30…38 (34) | (-) | (-) | 2…30 (30) |
| Seeablagerung | 18…20 (19) | 22…25 (23) | 1…4 (2) | 19…60 (30) | 2…6 (4) |
| Seekreide | 18…20 (19) | 21…23 (22) | 1…4 (2) | 19…25 (20) | 2…4 (3) |
| Delta/Schwemmfächer | 19…21 (20) | 25…34 (28) | 0…17 (9) | 40…60 (50) | 6…20 (10) |
| Obere Süsswassermolasse | 20…22 (21) | 30…35 (32) | 5…15 (10) | - | 60…120 (70) |
| Moräne | 20…22 (21) | 30…42 (37) | 2…15 (10) | - | 10…100 (40) |
| Sandige Zwischenschicht | 19…21 (20) | 25…30 (27) | 0…10 (3) | 20…90 (40) | 4…11 (7) |

Tabelle 3.3 Baugrundkennwerte

Die In-Situ Drehflügelversuche bei KB1-24 (Anhang B) ergaben folgende Schlussfolgerungen:

Aus 13.65 m Tiefe war der Versuch vermutlich durch Grundbruch gestört: $c_{u,u} = c_{u,g} = 8.6$ kN/m²

Auf 14.15 m Tiefe wurde die ungestörte Scherfestigkeit $c_{u,u} = 42.9$ kN/m² und gestörte Scherfestigkeit $c_{u,g} = 13.4$ kN/m² gemessen. Die ungestörte Scherfestigkeit ist mindestens 3x höher als bei einer gestörten Probe.

Der Setzungsparameter Cc wurde im Labor (Anhang E) mit einem Oedometerversuch festgestellt und beträgt 0.335

Die Festlegung der charakteristischen Werte zielt darauf ab, die Wahrscheinlichkeit, dass die den Analysen zugrunde gelegten Kennwerte unterschritten werden, bis auf ein allgemein akzeptiertes Niveau reduziert wird (Unterschreitungswahrscheinlichkeit von 5 Prozent). Da die Datenlage für eine reine statistische Betrachtung jedoch nicht ausreicht, ist die Bestimmung der charakteristischen Baugrundkennwerte mit Unsicherheiten verbunden. Eine separate Parameteranalyse kann je nach Bemessungssituationen erforderlich sein.

# 4 Hydrogeologie

Gemäss den kantonalen Grundlagen (vgl. [2]) befinden sich im Bereich der Bahnlinie Horgen – Au, km 17.200 -19.500, keine Grundwasservorkommen. Der Projektbereich zwischen Horgen und Au befindet sich insgesamt im Gewässerschutzbereich Ao zum Schutz der Wasserqualität oberirdischer Gewässer.

In kiesigeren und zum Teil auch sandigen Bereichen ist zumindest zeitweise, besonders nach Starkniederschlag oder langanhaltenden Regenperioden, mit Hang- oder Schichtwasser zu rechnen. Zum Zeitpunkt der Sondierungen wurden in den Bohrungen stellenweise insbesondere in Kiesigen Bereichen Hang- resp. Schichtwasser beobachtet. Insbesondere im Übergangsbereich zum festen Felsen bei KB4 kann zumindest zeitweise, besonders nach Starkniederschlag oder langanhaltenden Regenperioden, Hang- oder Schichtwasser fliessen.

# 5 Bautechnische Folgerungen

## 5.1 Geotechnische Verhältnisse

Durch das Untersuchungsprogramm konnten die Verhältnisse des Baugrundes mithilfe von Bohrungen und Sondierungen bei KB1, sCPTU1 und sCTUP2 bis in eine Tiefe von max. 20m resp. in den übrigen Bereichen bis 10 m ab OKT erkundet werden.

Die angetroffenen Schichten wurden in Kapitel 3.1 beschrieben. Es ist hervorzuheben, dass sich die Tragfähigkeit der feinkörnigen Schichten wie den Verlandungssedimenten bei Wasserzutritt und Aufweichung massgeblich verringert.

Im Bereich der Linie 720 Horgen – Au wurden an 6 Standorten der neuen Sondierungen Hinweise auf Weichschichten festgestellt (vgl. Anhang F und G).

## 5.2 Linie 720: Horgen - Au

Die Baugrundwerte der Homogenbereiche sind in Tabelle 3.2 zusammengestellt. Im Folgenden werden die Abschnitte kurz umschrieben.

### 5.2.1 Kilometer 17.200 – 17.450

Referenzsondierungen: KB1-24, sCPTU1, sCPTU2,
Archivsondierungen: 10-1/P, 10-2/P

| Bezeichnung | Oberkante [m ab OKT] | Beschreibung |
|---|---|---|
| Künstliche Auffüllung | 0.0 | Sand, siltig bis stark siltig,<br>Silt, sandig, tonig |
| Seeablagerungen | 3 – 4 | Sand (Fein- bis Mittelsand) |
| Seekreide | 8.5 | Toniger Silt bis magerer Ton, Lokal bei KB1 und sCPTU2 |
| Seeablagerungen | 12 | Sand (Fein- bis Mittelsand), der Liner zwischen 14 – 16 m Tiefe wurde noch nicht ausgepackt. |
| Molasse | 11-16.3 | Verwitterte Sandsteine |

Tabelle 5.1 Tabelle Schichtaufbau im Homogenbereich km 17.200 – 17.450

### 5.2.2 Kilometer 17.450 – 18.650 und 18.900 – 19.250

Referenzsondierungen: CPTU3 – CPTU5, KB2, sCPTU6, CPTU7, KB3, sCPTU8, CPTU9 und CPTU11, CPTU12, CPTU13
Archivsondierungen: RS1 – RS3, KB3 (Seewasserwerk)

| Bezeichnung | Oberkante [m ab OKT] | Beschreibung |
|---|---|---|
| Künstliche Auffüllung | 0.0 | Sand, siltig bis stark siltig,<br>Silt, sandig, tonig |
| Seeablagerungen | 1.0 | Sand (Fein- bis Mittelsand), Lokal bei CPTU3, CPTU11 und CPTU12 |
| Moräne | 1.0 – 4.0 | Die Einheit besteht aus siltigen Kiesen mit im viel Sand und reichlich Steinen. Überwiegend mitteldicht bis dicht gelagert und gut tragfähig.<br>Lokal bei sCPTU8 und KB3 mit sandiger Zwischenschicht zwischen 5 - 7.7 m Tiefe |

Tabelle 5.2 Tabelle Schichtaufbau im Homogenbereich km 17.450 – 18.650 und 18.900 – 19.250

### 5.2.3 Kilometer 18.650 – 18.900 und 19.350 – 19.500

Referenzsondierungen: CPTU10 und CPTU15
Archivsondierungen: 10-1 und 10-2 (Unterquerung Meilibach)

| Bezeichnung | Oberkante [m ab OKT] | Beschreibung |
|---|---|---|
| Künstliche Auffüllung | 0.0 | Sand, siltig bis stark siltig,<br>Silt, sandig, tonig |
| Seeablagerungen | 1 – 1.5 | Sand (Fein- bis Mittelsand) |
| Molasse | 6 - 9 | Verwitterte Sandsteine |

Tabelle 5.3 Tabelle Schichtaufbau im Homogenbereich km 18.650 – 18.900 und 19.350 – 19.500

### 5.2.4 Kilometer 19.250 – 19.350

Referenzsondierungen: CPTU14, KB4
Archivsondierungen: -

| Bezeichnung | Oberkante [m ab OKT] | Beschreibung |
|---|---|---|
| Künstliche Auffüllung | 0.0 | Sand, siltig bis stark siltig,<br>Silt, sandig, tonig |
| Delta/Schwemmfächer | 1.0 – 3.5 | Feinkörniger, sandiger Kies |
| Molasse | 5.5 | Verwitterte Sandsteine |

Tabelle 5.4 Tabelle Schichtaufbau im Homogenbereich km 19.250 – 19.350

## 5.3 Dynamische Stabilität – Überdeckung und Mächtigkeit Weichschicht

Die angetroffenen Weichschichten in den Sondierungen und Bohrungen im ersten Homogenbereich (Kilometer 17.200 – 17.450) liegen unter einer relativ mächtigen Dammschüttung über 4 m wodurch die Weichschicht nicht als kritisch für Fahrgeschwindigkeiten über 160 km/h charakterisiert wird.

Im zweiten Homogenbereich stehen unter der künstlichen Auffüllungen Moränenablagerungen an die Ablagerungen sind überwiegend mitteldicht bis dicht gelagert, lokal (bei sCPTU8) kommen locker gelagerte Sandlinsen vor.

Im dritten Homogenbereich 18.650 – 18.900 und 19.350 – 19.500 bei CPTU10-24 und sCPTU15-24 sowie CPTU11 wurden in den Seeablagerungen eine mineralische Weichschicht festgestellt mit unterschiedlicher Mächtigkeit, insbesondere bei CPTU 11 und sCPTU15 mit rel. kleiner Überdeckung von 1.4 resp. 2.7 m sorgt für eine kritische Weichschicht bei Fahrgeschwindigkeiten über rund 120 km/h.

Zwei Weichschichten (CPTU11-24, sCPTU15-24) sind als relevant zu betrachten, da sie bei einer Zuggeschwindigkeit von rund 120 km/h kritisch sind.

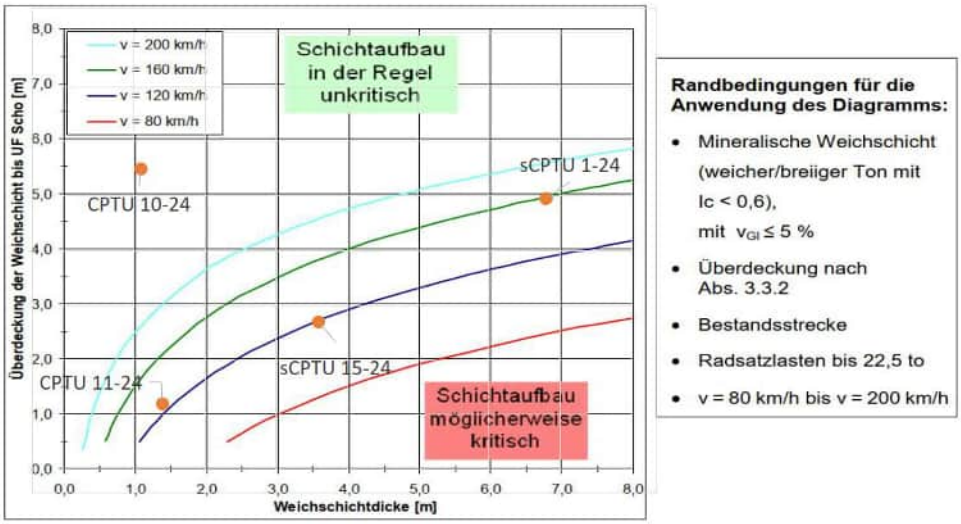



Abbildung 5.1 Diagramm für kritische Weichschichten (mineralisch) [4]

In unterstehende Tabelle sind die Messungen der Scherwellengeschwindigkeiten zusammengefasst. Generell wird empfohlen Schichten mit Scherwellengeschwindigkeiten $v_{s,10} \geq 120$ m/s als gering empfindliche zu beurteilen. Bei allen ausgeführten seismischen Sondierungen liegt die $v_{s,10}$ über 120 m/s. Bei sCPTU1 und sCPTU2 wurden ab 3 bis 4 m tiefe Werte zwischen 104 – 130 m/s gemessen, diese weist auf Weichschichten hin. Bei sCPTU6 wurden hohe Werte > 137 m/s gemessen. Bei sCPTU8 wurden oberflächlich in den obersten 2 m tiefe Werte unter 100 m/s gemessen, diese Messwerte befinden sich in den künstlichen Auffüllungen. Bei sCPTU15 gibt es zwischen 1.3 – 4.3 m Tiefe Werte zwischen 126 – 143 m/s, diese weisen ebenfalls auf Weichschichten hin. Angemerkt wird, dass sich alle Sondierungen neben dem Bahndamm befinden, somit sind die geschätzten $v_{s,10}$ ohne Bahndamm abgeleitet.

CSDINGENIEURE
VON GRUND AUF DURCHDACHT

| sCPTU | Tiefe [m ab OKT] | $V_s$ [m/s] | $V_{s10}$ Geschätzt ohne Damm [m/s] |
|---|---|---|---|
| 1 | 1.0 | 191 | 150 |
| | 2.0 | 290 | |
| | 3.0 | 104 | |
| | 4.0 | 113 | |
| | 5.0 | 130 | |
| | 6.0 | 129 | |
| | 7.0 | 124 | |
| | 8.0 | 109 | |
| | 9.0 | 125 | |
| | 10.0 | 161 | |
| | 11.0 | 172 | |
| | 12.0 | 220 | |
| | 13.0 | 216 | |
| | 14.0 | 271 | |
| | 15.0 | 331 | |
| | 16.0 | 179 | |
| 2 | 1.0 | 219 | 160 |
| | 2.0 | 261 | |
| | 3.0 | 183 | |
| | 4.0 | 125 | |
| | 5.0 | 130 | |
| | 6.0 | 120 | |
| | 7.0 | 131 | |
| | 8.0 | 127 | |
| | 9.0 | 121 | |
| | 10.0 | 138 | |
| | 11.0 | 165 | |
| | 12.0 | 146 | |
| | 13.0 | 147 | |
| | 14.0 | 171 | |
| | 15.0 | 139 | |
| | 16.0 | 167 | |
| | 17.0 | 242 | |
| | 18.0 | 273 | |
| | 19.0 | 310 | |
| | 20.0 | 288 | |
| 6 | 1.0 | 137 | 430 |
| | 2.0 | 279 | |
| | 3.0 | 394 | |
| | 4.0 | 394 | |
| | 5.0 | 394 | |
| | 6.0 | 394 | |
| | 7.0 | 575 | |
| | 8.0 | 575 | |
| | 9.0 | 575 | |
| | 10.0 | 575 | |

| sCPTU | Tiefe [m ab OKT] | $V_s$ [m/s] | $V_{s10}$ Geschätzt ohne Damm [m/s] |
|---|---|---|---|
| 8 | 1.0 | 94 | 168 |
| | 2.0 | 91 | |
| | 3.0 | 414 | |
| | 4.0 | 166 | |
| | 5.0 | 130 | |
| | 6.0 | 113 | |
| | 7.0 | 180 | |
| | 8.0 | 162 | |
| | 9.0 | 170 | |
| 15 | 0.3 | 240 | 255 |
| | 1.3 | 126 | |
| | 2.3 | 143 | |
| | 3.3 | 139 | |
| | 4.3 | 139 | |
| | 5.3 | 148 | |
| | 6.3 | 277 | |
| | 7.3 | 467 | |
| | 8.3 | 436 | |
| | 9.3 | 436 | |

Tabelle 5.5 Tabelle mit Scherwellengeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Tiefe unter Terrain

# 6 Beurteilung der Ergebnisse und weiteres Vorgehen

Mit den ausgeführten Untersuchungen konnten die relevanten Baugrund- und Grundwasserverhältnisse und deren Bedeutung für das vorgesehene Projekt erkannt werden. Zum Zeitpunkt der Untersuchung lag noch kein Sanierungsprojekt vor, die Sondierungen und Bohrungen wurden im Abstand von rund 150 – 300 m entlang vom Trajekt ausgeführt.

Es liegen mehrere Hinweise auf Weichschichten vor. Zwischen km 17.200 – 17.450 wurden mächtige, weiche Seeablagerungen mit lokal Seekreide festgestellt. Die Seekreide wurde bei sCPTU2 und KB1 festgestellt, diese befinden sich nahe am See und rund 30 m von den Gleisen entfernt. Die angetroffenen Weichschichten der sCPTU1 werden bei Geschwindigkeiten von über 160 km/h als kritisch eingestuft.

Bei CPTU11 und sCPTU15 wird die rund 1.0 - 3.5 m mächtige mineralische Weichschicht mit einer Überlagerung von 1.5 – 2.8 m als kritisch für Geschwindigkeiten von rund 120 km/h eingestuft.

Die Scherwellengeschwindigkeiten $v_{s,10}$ der seismischen Sondierungen liegen im gesamten Projektbereich über 150 m/s, allein mit dieser Interpretation wäre der Baugrund in Klasse D (steife Böden) eingeteilt und nicht kritisch.

<u>Beurteilung geotechnische Risiken:</u>

Geotechnische Risiken wie grosse Verformungen/Setzungen resp. Zusammenbruch von über 6.5 m mächtigen Seebodenablagerungen können im Homogenbereich 17.200 – 17.450 (KB1, sCPTU1 und sCPTU2) nicht ausgeschlossen werden. Seekreide Ablagerungen, welche bei KB1 und sCPTU2 angetroffen wurden, sind strukturempfindliche Böden, jedoch wurden sie in einer grossen Tiefe von über 8 m abgelagert. Die Seekreide Ablagerungen welche bei sCPTU2/KB1 festgestellt wurden, liegen nahe am See und auf rund 30 m Entfernung vom Gleis. Bei sCPTU1 wurden keine Hinweise auf Seekreide festgestellt, ebenfalls bei den Archivsondierungen 10-1/P, 10-2/P welche sich rund 20 – 30 m südlich der Gleise befinden stehen die Moränenablagerungen schon ab 9 m Tiefe an.

Die rund 1.5 - 3.5 m mächtige Weichschicht bei CPTU11 resp. sCPTU15 ist gemäss [4] ab 120 km/h als kritisch charakterisiert. Die Weichschicht steht bis 2.8 m unter Terrain an und ist setzungsempfindlich. Es besteht das

Risiko auf Steifigkeits-/Festigkeitsverluste durch Wellenresonanz aus der Verkehrsbelastung im Bereich von ≥120 km/h.

## 7 Weitere Hinweise

Sondierungen und Bohrungen sowie andere Aufschlussarten können nur Angaben über die Bodenbeschaffenheit an den jeweiligen Untersuchungsstellen geben. Abweichende Bodenverhältnisse zwischen den einzelnen Erkundungspunkten sind möglich.

Bei Projektanpassungen muss geprüft werden, ob die Aussagen, welche in diesem Bericht getroffen wurden, auch noch für den geänderten Planungsstand Gültigkeit besitzen.

## 8 Impressum

Aarau, 6. Dezember 2024

### Projektbeteiligte

Isabella Witlox (Projektleitung, MSc Erdw. ETH / Geotechnikerin)
Michael Berta (Projektmitarbeiter, MSc Erdw. ETH / Geologe)
Mary-Liz Antoulas (Projektmitarbeiterin, MSc Erdw. ETH / Geologe)
Ernst Bratschi (Koreferat, Dipl. Ing. ETH)

### CSD INGENIEURE AG

Bernhard Müller
Geschäftsleiter Aarau

Isabella Pacek-Witlox
Projektleiterin

# 9 Disclaimer

CSD bestätigt hiermit, dass bei der Abwicklung des Auftrages die Sorgfaltspflicht angewendet wurde, die Ergebnisse und Schlussfolgerungen auf dem derzeitigen und im Bericht dargestellten Kenntnisstand beruhen und diese nach den anerkannten Regeln des Fachgebietes und nach bestem Wissen ermittelt wurden.

CSD geht davon aus, dass

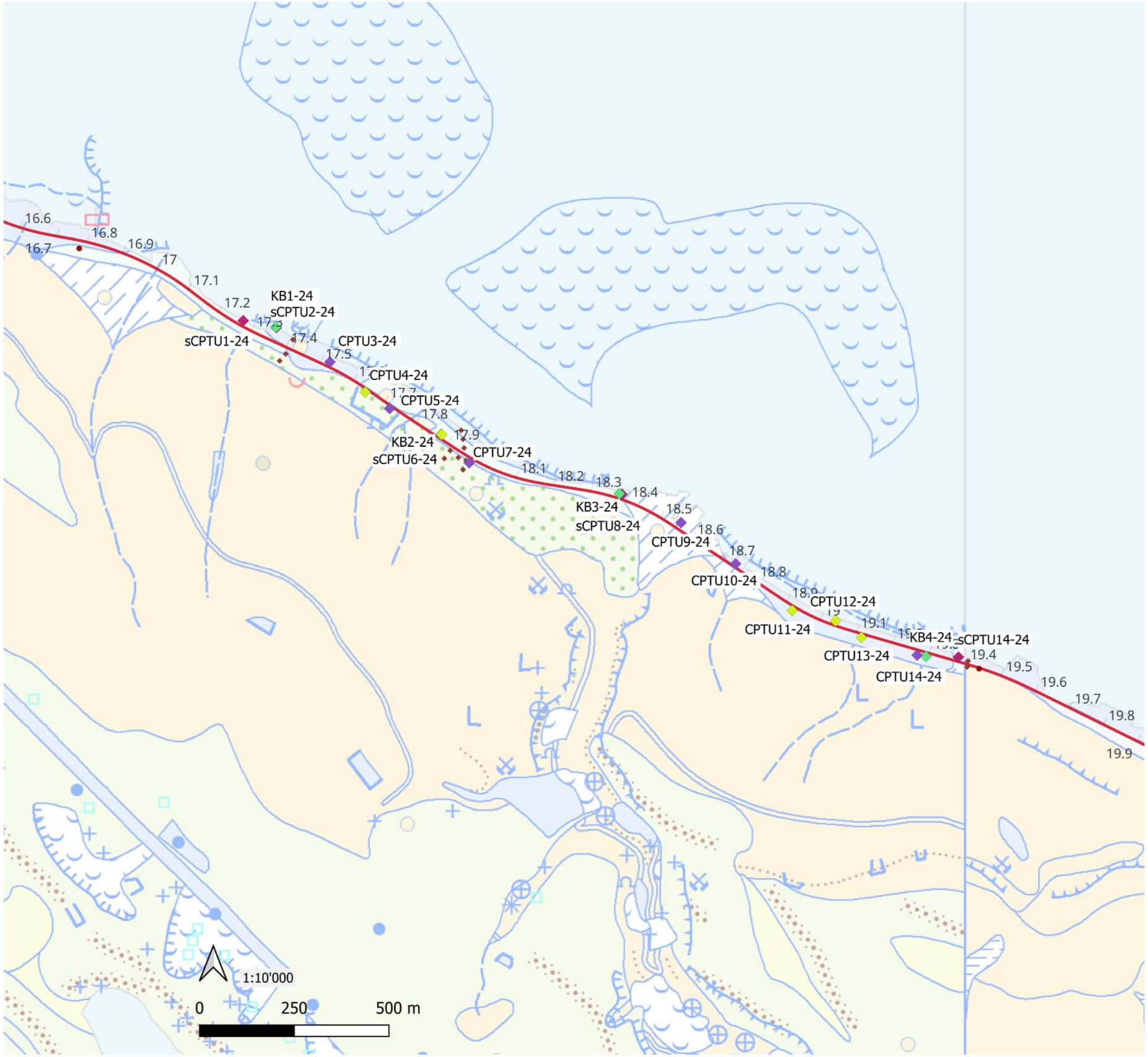
- ihr seitens des Auftraggebers oder von ihm benannter Drittpersonen richtige und vollständige Informationen und Dokumente zur Auftragsabwicklung zur Verfügung gestellt wurden
- von den Arbeitsergebnissen nicht auszugsweise Gebrauch gemacht wird
- die Arbeitsergebnisse nicht unüberprüft für einen nicht vereinbarten Zweck oder für ein anderes Objekt verwendet oder auf geänderte Verhältnisse übertragen werden.

Andernfalls lehnt CSD gegenüber dem Auftraggeber jegliche Haftung für dadurch entstandene Schäden ausdrücklich ab.

Macht ein Dritter von den Arbeitsergebnissen Gebrauch oder trifft er darauf basierende Entscheidungen, wird durch CSD jede Haftung für direkte und indirekte Schäden ausgeschlossen, die aus der Verwendung der Arbeitsergebnisse allenfalls entstehen.

CSD INGENIEURE
VON GRUND AUF DURCHDACHT

# Anhang A Situationsplan




## Sondiermethoden

Horgen - Au

Sondierungen

- sCPTU
- CPTU
- DPSH-B
- Kernbohrung
- Sondierung vor 2010

SBB CFF FFS

SBB Horgen - Au

Übersicht Sondiermethoden

CSD INGENIEURE
CSD INGENIEURE AG
Schachenallee 29 A
CH-5000 Aarau
t +41 62 834 44 00
www.csd.ch

| | | | |
|---|---|---|---|
| Gezeichnet | DCV | Auftrags Nr. | PLAN_BEILAGE |
| Geprueft | IWI | DCH013913.01 | A |
| Datum | 09.10.2024 | | |

# Anhang B Profile der Kernbohrungen

**CSD Ingenieure AG**

Schachenallee 29A
CH-5000 Aarau
+41 62 834 44 00
aarau@csd.ch
www.csd.ch

**SBB Horgen-Au BGU**

# KB 1-24

**Anhang: B**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Bauherr: | SBB AG | Projektnr.: | DCH013913.01 |
| Koordinaten: | 2688181.779/1234948.238 | Aufnahme am: | 07.08.2024 |
| Ansatzhöhe: | 407.148 m ü. M. | Sondierung am: | 07.08.2024 |
| Tiefe: | 17 m | Geolog*in: | MLA |
| Sondierart: | Dreh-Rammkernsondierung | Ausgeführt von: | Studersond |
| Azimuth/ Neigung: | | Massstab: | 1:100 |

| Kote (m ü. M.) | Bohrtiefe (m) | Proben | Lithologie | Beschreibung | Geologie | SPT |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 407 | 0.50 | | | Silt, sandig bis schwach sandig, schwach kiesig, erdfeucht, braun | Künstliche Auffüllung | |
| 405 | | | | Liner | | |
| | 3.50 | | | Sand (Feinsand bis Mittelsand), teilweise schwach siltig, Sand mit zunehmender Tiefe grobkörniger, nass, grau, sandkorngrosse Muschelstückchen, schlecht abgestuft | Lakustrisches Sediment | |
| 403 | 5.50 | | | Sand (Feinsand bis Mittelsand), nass, grau, Muscheln | | |
| 401 | 6.20 | | | Sand, stellenweise stark siltig, nass, grau, Muschelstückchen | | |
| | 8.00 | | | Sand, schwach siltig bis sehr schwach siltig, 10 cm in der Mitte mit höherem Siltgehalt, nass, hellgrau-grau, Holzstückchen, Muschelstückchen | | |
| 399 | 8.50 | | | magerer Ton, sandig | Seekreide | |
| | 9.50 | | | Silt, sandig, schwach tonig, nass, grau, sandkorngrosse Muschelstückchen | | |
| | 10.00 | | | Silt, schwach tonig, schwach sandig, feucht, grau, wenig Muschelstückchen, TP: 0 kg/cm2, Taschenflügelsonde: 0.6 N/cm2 | | |
| 397 | 12.00 | | | Silt, schwach sandig bis sandig (feinsandig bis grobsandig), schwach tonig, nass, grau, sandkorngrosse Muschelstückchen, TP: 0 kg/cm2, Taschenflügelsonde: 0.6 N/cm2 | Lakustrisches Sediment | |
| 395 | 13.60 | | | Sand, sehr schwach siltig, nass, grau-beige | | |
| | 13.80 | | | Silt, schwach tonig, schwach sandig bis sandig, feucht, grau | | |
| | 14.00 | | | Liner | | |
| 393 | 16.00 | | | Sand, vermutlich von oben runtergerutscht | Lakustrisches Sediment | |
| 391 | 16.30 | | | Kies, sandig, siltig, schwach tonig, erdfeucht, mitteldicht gelagert, grau, zwischen 16.6-16.8 m schwarzes Schieferstück | OSM | |
| | 17.00 | | | | | |

Bemerkung : TP = Taschenpenetrometer

Erstellt von : CST/DCV Erstellt am : 13.09.2024

**CSD Ingenieure AG**

Schachenallee 29A
CH-5000 Aarau
+41 62 834 44 00
aarau@csd.ch
www.csd.ch

**SBB Horgen-Au BGU**

# KB 2-24

**Anhang: B**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Bauherr: | SBB AG | Projektnr.: | DCH013913.01 |
| Koordinaten: | 2688617.646/1234664.453 | Aufnahme am: | 08.08.2024 |
| Ansatzhöhe: | 408.608 m ü. M. | Sondierung am: | 08.08.2024 |
| Tiefe: | 5 m | Geolog*in: | MLA |
| Sondierart: | Dreh-Rammkernsondierung | Ausgeführt von: | Studersond |
| Azimuth/ Neigung: | | Massstab: | 1:50 |

| Kote (m ü. M.) | Bohrtiefe (m) | Proben | Lithologie | Beschreibung | Geologie | SPT (0 20 40 60 80 100) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0.05 | | | Asphaltdecke | | |
| | 0.50 | | | Kies, sandig, erdfeucht, Kieskomponente eher klein (max. 3-4 cm), dunkelbraun | Künstliche Auffüllung | |
| 408 | 0.90 | | | Kies, sandig, siltig, schwach tonig, erdfeucht, weit abgestuft, hellbraun, Ziegelbruch | | |
| | 1.40 | | | Kies, siltig, sandig, schwach tonig, erdfeucht, hellbraun-dunkelbeige | Moräne | |
| 407.2 | | | | Kies, sandig, schwach siltig, erdfeucht bis trocken, Kieskomponente kantengerundet bis angerundet (vorwiegend kantengerundet), dunkelbeige | | |
| 406.4 | 2.30 | | | Kies, stark sandig (feinsandig bis überwiegend grobsandig), vereinzelt Steine, erdfeucht, Kieskomponente gerundet bis gut gerundet, hellbraun-hellgrau | | |
| 405.6 | 3.60 | | | Kies, sandig, siltig, vereinzelt Steine, erdfeucht, Kieskomponente kantengerundet bis gerundet, hellbraun-hellgrau | | |
| 404.8 | 4.00 | | | Kies, stark sandig (feinsandig bis überwiegend grobsandig), schwach siltig, nass, Kieskomponente angerundet bis gerundet, hellgrau | | |
| 404 | 5.00 | | | | | |

Bemerkung : TP = Taschenpenetrometer

Erstellt von : CST/DCV Erstellt am : 13.09.2024

**CSD Ingenieure AG**

Schachenallee 29A
CH-5000 Aarau
+41 62 834 44 00
aarau@csd.ch
www.csd.ch

**SBB Horgen-Au BGU**

# KB 3-24

**Anhang: B**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Bauherr: | SBB AG | Projektnr.: | DCH013913.01 |
| Koordinaten: | 2689088.602/1234508.152 | Aufnahme am: | 08.08.2024 |
| Ansatzhöhe: | 407.956 m ü. M. | Sondierung am: | 08.08.2024 |
| Tiefe: | 10 m | Geolog*in: | MLA |
| Sondierart: | Dreh-Rammkernsondierung | Ausgeführt von: | Studersond |
| Azimuth/ Neigung: | | Massstab: | 1:100 |

| Kote (m ü. M.) | Bohrtiefe (m) | Proben | Lithologie | Beschreibung | Geologie | SPT |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0.13 | | | Asphaltdecke | | |
| | 0.70 | | | Kies, sandig, stellenweise schwach siltig, erdfeucht, hellbraun, Ziegelbruch | Künstliche Auffüllung | |
| 407 | | | | | | |
| 406 | | | | Kies, sandig, siltig bis schwach siltig, erdfeucht, dunkel grau / hellbeige, Ziegelbruch (5-10%) | | |
| 405 | 3.00 | | | | | |
| 404 | | | | Kies, stark sandig bis sandig (feinsandig bis grobsandig), stellenweise schwach siltig, nass, Kieskomponente angerundet bis gut gerundet, dunkelbeige-hellbraun, Stein bei 4.2 m, nach unten hin vereinzelt Steine | Moräne | |
| 403 | 5.00 | | | | | |
| | | | | Kernverlust | | |
| 402 | 6.00 | | | | | |
| 401 | | | | Sand, kiesig, schwach siltig, Muschelstückchen, Stein bei 7.7 m | Lakustrisches Sediment | |
| | 7.70 | | | | | |
| 400 | 8.00 | | | Kies, sandig, sehr schwach siltig, nass, vereinzelt grosse Kieskomponenten, grau, kleine Holzstückchen (max. 2 cm) | | |
| | | | | Sand, nach unten hin zunehmender Kiesgehalt, nach unten hin grobsandiger, nass, grau | | |
| | 8.60 | | | | | |
| 399 | | | | Kies und Steine, sandig, schwach siltig, nass, Kieskomponente angerundet bis gut gerundet, hellbraun-grau, bei 9.2 m 10 cm lange Holzstücke (unklar, ob effektiv in dieser Tiefe) | Moräne | |
| 398 | 10.00 | | | | | |

SPT: 0 20 40 60 80 100

Bemerkung : TP = Taschenpenetrometer

Erstellt von : CST/DCV Erstellt am : 13.09.2024

**CSD Ingenieure AG**

Schachenallee 29A
CH-5000 Aarau
+41 62 834 44 00
aarau@csd.ch
www.csd.ch

**SBB Horgen-Au BGU**

# KB 4-24

**Anhang: B**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Bauherr: | SBB AG | Projektnr.: | DCH013913.01 |
| Koordinaten: | 2689897.881/1234078.586 | Aufnahme am: | 08.08.2024 |
| Ansatzhöhe: | 407.979 m ü. M. | Sondierung am: | 08.08.2024 |
| Tiefe: | 7 m | Geolog*in: | MLA |
| Sondierart: | Dreh-Rammkernsondierung | Ausgeführt von: | Studersond |
| Azimuth/ Neigung: | | Massstab: | 1:50 |

| Kote (m ü. M.) | Bohrtiefe (m) | Proben | Lithologie | Beschreibung | Geologie | SPT (0 20 40 60 80 100) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 407.6 | 0.20 | | | Kies, sandig, sehr schwach siltig, erdfeucht, hellbraun-hellgrau | Künstliche Auffüllung | |
| | | | | Kies, sandig (überwiegend feinsandig), erdfeucht, Kieskomponente kantengerundet bis gut gerundet, hellbraun-dunkelbeige | | |
| | 0.90 | | | | | |
| | 1.10 | | | Silt, stark kiesig, schwach sandig, sehr schwach tonig, erdfeucht, dunkelbraun, Ziegelbruch, Geovlies | | |
| 406.8 | | | | Sand, siltig bis stark siltig, schwach kiesig (mittelkiesig bis feinkiesig), erdfeucht, Kieskomponente eher klein, hellbraun | Bachschutt (Delta) | |
| 406 | 2.00 | | | Silt, stark sandig, kiesig, tonig | | |
| 405.2 | 3.00 | | | Silt, schwach sandig bis sandig (feinsandig), hellbraun-hellgrau, bei 2.3 m kleine faserige Holzstückchen, TP: ca. 3.5 kg/cm2 | | |
| 404.4 | 4.00 | | | | | |
| | 4.20 | | | Kies, stark siltig, sandig, tonig, hellbraun-hellgrau | | |
| 403.6 | 4.40 | | | Sandstein (wahrscheinlich durchbohrter Block) | | |
| | | | | Silt, sandig bis stark sandig (mit Tiefe zunehmend), erdfeucht, von 5.0-5.3 m feucht bis nass, sehr kompakt, TP: >8kg/cm2 | | |
| 402.8 | 5.50 | | | | | |
| 402 | | | | Silt, sandig, schwach tonig bis tonig, teilweise sandige Linsen, zwischendurch kiesige, unverwitterte Komponenten, hellbraun-hellgrau, teilweise rötliche Stellen | OSM | |
| 401.2 | 6.80 | | | | | |
| | 7.00 | | | Silt, schwach sandig, schwach tonig, trocken, bröckelt, grau | | |

Bemerkung : TP = Taschenpenetrometer

Erstellt von : CST/DCV Erstellt am : 13.09.2024

## In-Situ-Drehflügelversuche

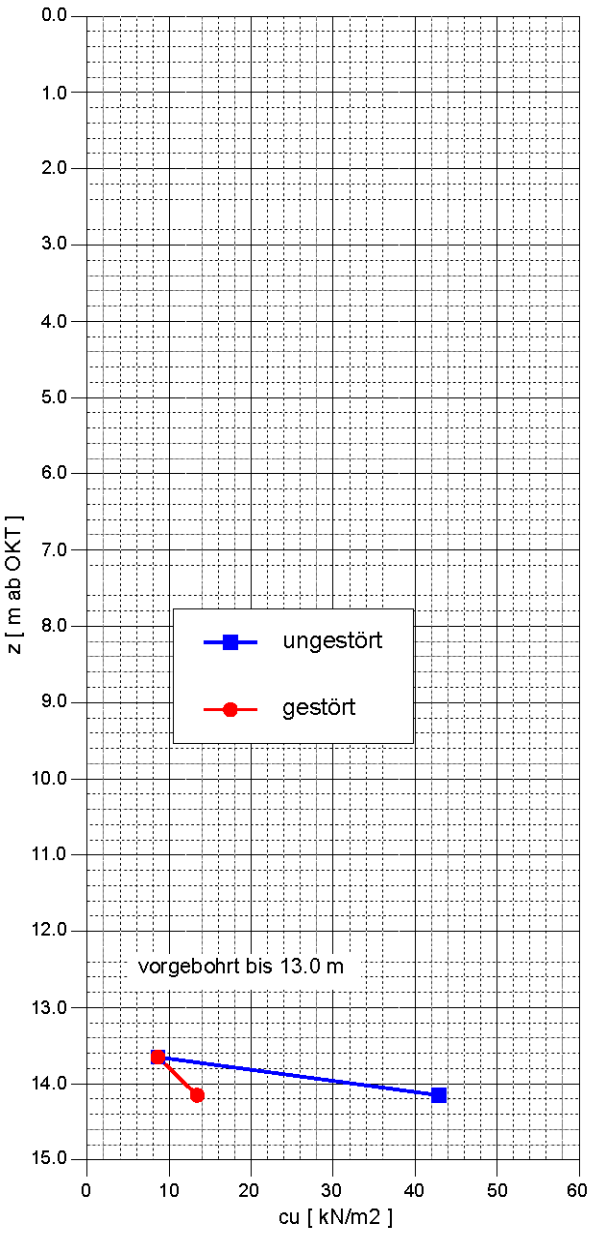
**(Flügelabmessungen: 55/110 mm)**

**KB1/24** 07.08.2024/BD

— 2 Versuche:

| Tiefe [ m ] | $c_{u,u}$ [ kN/m$^2$ ] | $c_{u,g}$ [ kN/m$^2$ ] | |
|---|---|---|---|
| 13.65 | 8.60 | 8.60 | wahrscheinlich durch Grundbruch beeinflusst |
| 14.15 | 42.90 | 13.40 | |

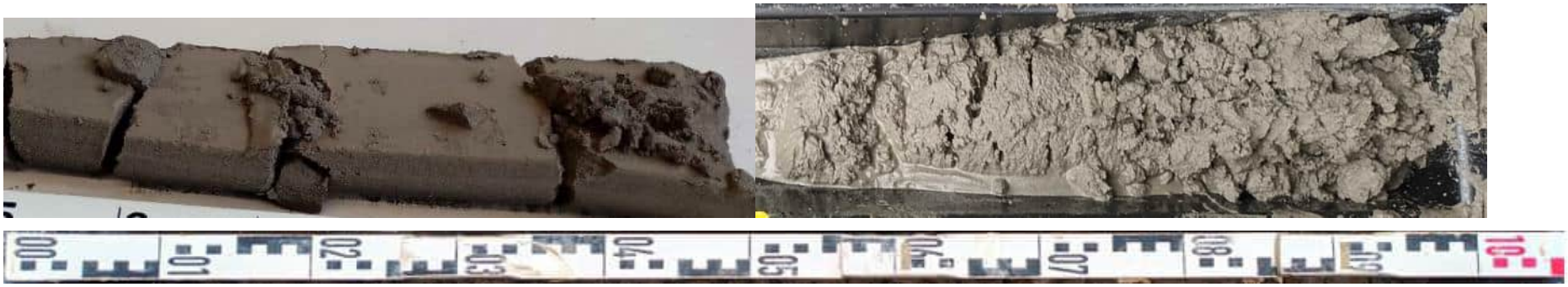
— Vorgebohrt auf -13 m, dann Flügeleinbau
— nach Rückbau der Sonde: siltig-sandige Reste am Flügelschuh
— bei Wiederaufnahme der Bohrarbeiten Grundbruch auf -11 m festgestellt



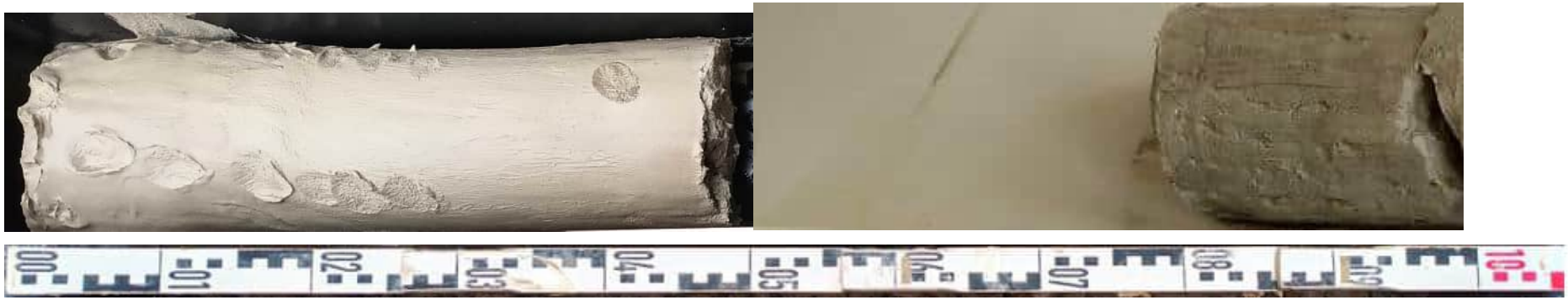
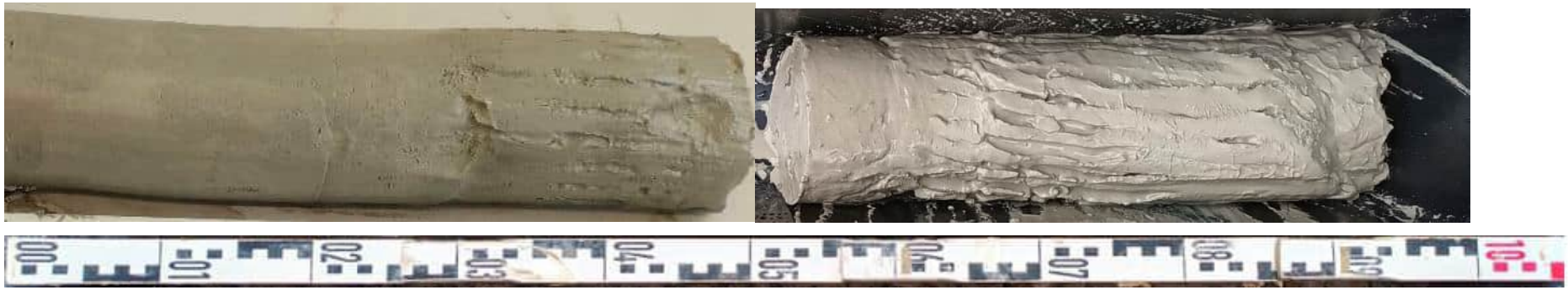
# Anhang C Fotodokumentation der Kernbohrungen

**KB 1-24**

| | | |
|---|---|---|
| 0 m | | 1 m |
| 1 m | | 2 m |
| 2 m | | 3 m |

| | | |
|---|---|---|
| 3 m | | 4 m |
| 4 m | | 5 m |
| 5 m |  | 6 m |

| | | |
|---|---|---|
| 6 m | | 6.5 m |
| 6.5 m | | 8 m |
| 8 m | | 9 m |

| | | |
|---|---|---|
| 9 m | | 10 m |
| 10 m |  | 11 m |
| 11 m |  | 12 m |

| | | |
|---|---|---|
| 12 m | | 13 m |
| 13 m | | 14 m |
| 14 m | | 15 m |

| | | |
|---|---|---|
| 15 m | | 16 m |
| 16 m | | 17 m |

**KB 2-24**

| | | |
|---|---|---|
| 0 m | | 1 m |
| 1 m | | 2 m |
| 2 m | | 3 m |

| | | |
|---|---|---|
| 3 m | | 4 m |
| 4 m | | 5 m |

**KB 3-24**

| | | |
|---|---|---|
| 0 m | | 1 m |
| 1 m | | 2 m |

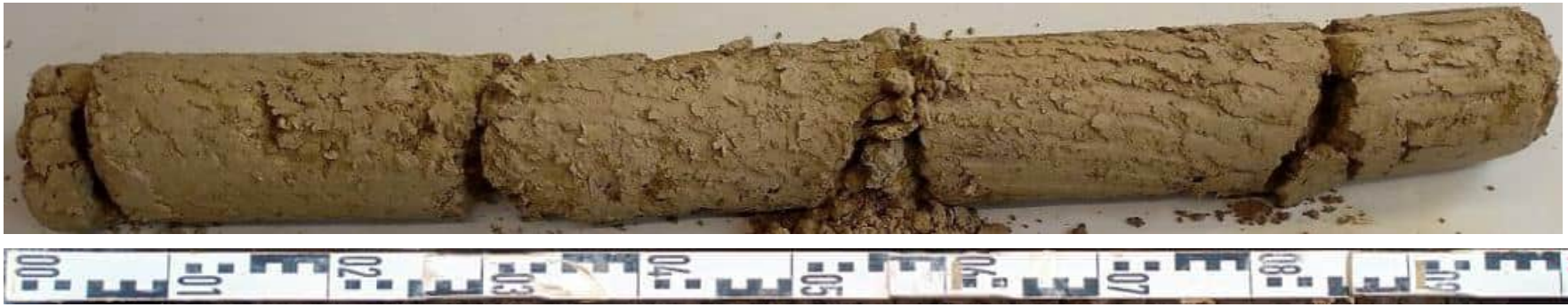
| | | |
|---|---|---|
| 2 m | | 3 m |
| 3 m | | 4 m |
| 4 m | | 5 m |

| | | |
|---|---|---|
| 5 m | | 6 m |
| 6 m | | 7 m |

| | | |
|---|---|---|
| 7 m | | 8 m |
| 8 m | | 9 m |
| 9 m | | 10 m |

**KB 4-24**

| | | |
|---|---|---|
| 0 m | | 1 m |
| 1 m | | 2 m |

| | | |
|---|---|---|
| 2 m |  | 3 m |
| 3 m | | 4 m |
| 4 m | | 5 m |

| | | |
|---|---|---|
| 5 m | | 6 m |
| 6 m | | 7 m |

# Anhang D Resultate der Sondierungen

# ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNGEN

# GEOTECHNISCHE UNTERSUCHUNGEN
# SBB HORGEN - AU
# 8810 HORGEN

---

## Projekt Nr.: 60-2956
## Bericht Nr.: 2956 / 1

---

Geoprofile GmbH

Version: 01

**ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNGEN**
**GEOTECHNISCHE UNTERSUCHUNGEN**
**SBB HORGEN - AU**
**8810 HORGEN**

| | |
|---|---|
| Bauherrschaft | SBB CFF FFS |
| Auftraggeber | CSD Ingenieure AG |
| Adresse | Schachenallee 29A<br>5000 Aarau<br>Frau Isabella Witlox |
| Referenz Nr. des Auftraggebers | - |
| Projekt Nr. Geoprofile GmbH | **60-2956** |
| Band | 1 von 1 |
| Vertraulichkeit | Verteilung des Berichts beschränkt auf vom Auftraggeber genehmigten Projektteilnehmer |

**Kurzbeschreibung**

Der Bauherrschaft fordert geotechnische Untersuchungen entlang der SBB-Strecke Horgen - Au (ZH) an.

Zur erweiterten Abklärung der lokalen Baugrundverhältnisse wurde Geoprofile GmbH vom Auftraggeber beauftragt, 15 elektrische Drucksondierungen bis in Tiefen von ca. 10 - 20 m abzuteufen.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die folgenden Leistungen :

- Abteufen von 15 elektrischen Drucksondierungen mit einer Länge von insgesamt 112.25 m, inklusive Messung des Porenwasserüberdrucks (CPTU 1-24 bis CPTU 14-24) ;
- Abteufen von 5 Rammsondierungen mit einer Länge von insgesamt 14.2 m, inklusive Messung des Porenwasserüberdrucks (DPSH 4-24, DPSH 6-24, DPSH 11-24, DPSH 12-24 und DPSH 13-24)
- Auswertung der Messdaten ;
- Geotechnische Interpretation der elektrischen Drucksondierungen und Herleitung von geotechnischen Kennwerten.
- Bestimmung der Scherwellengeschwindigkeit als Funktion der Tiefe (SCPT 1-24, SCPTU 2-24, SCPTU 6-24, SCPTU 8-24, SCPTU 15-24).

Feldarbeiten : 24. - 27. Juni 2024

| Version | Datum | Beschreibung | Kontrolliert | Genehmigt |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 05.07.2024 | Schlussbericht | dvm | kat |

**INHALTSVERZEICHNIS** Seite

Situation mit Lage der Sondierstellen 1 - 2

**BEILAGEN**

Beilage A : Ausführungspraxis
Beilage B : Elektrische Drucksondierung – Messdaten
Beilage C : Rammsondierung – Messdaten
Beilage D : Elektrische Drucksondierung – Interpretation
Beilage E : Scherwellengeschwindigkeit als Funktion der Tiefe

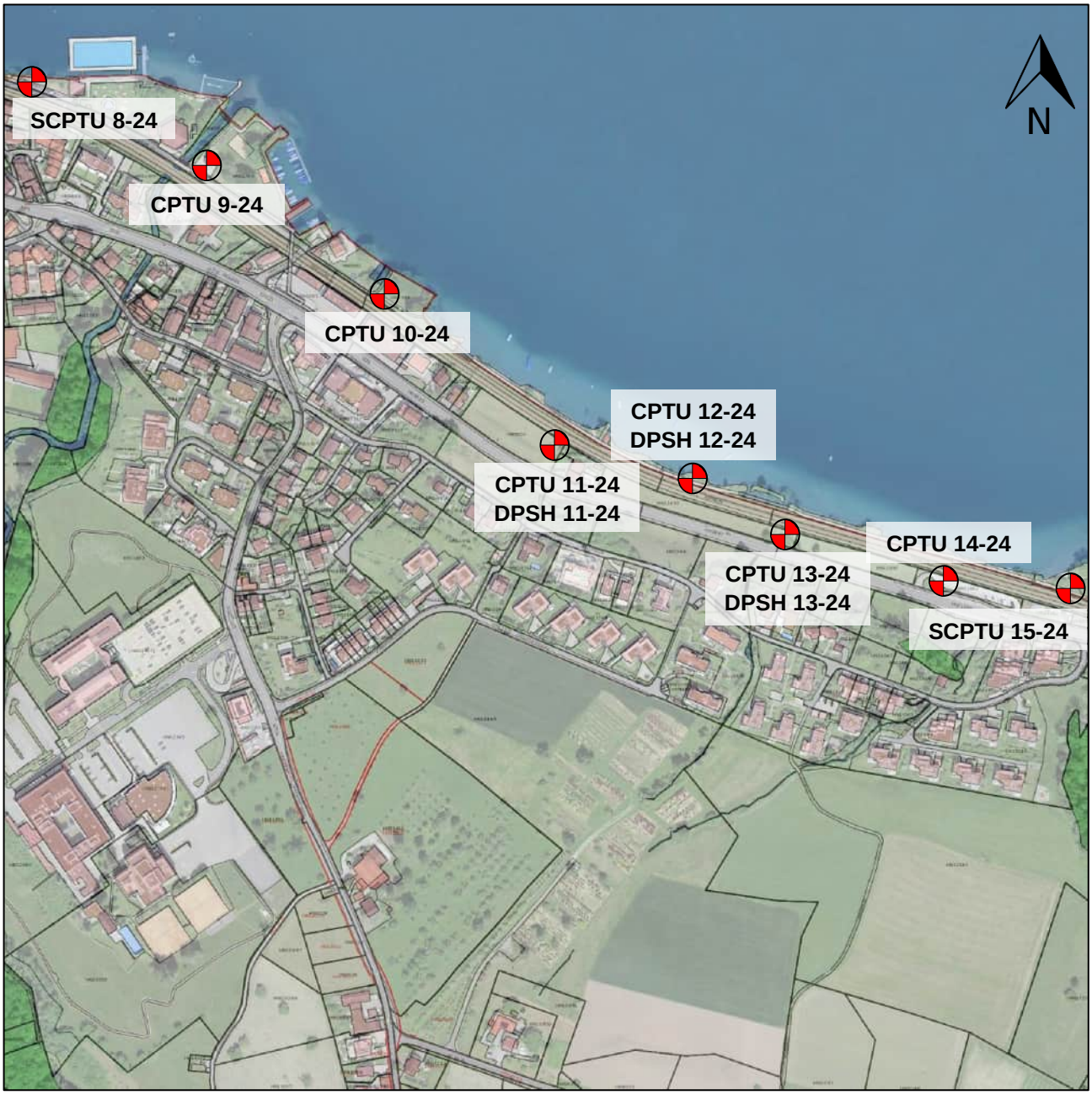
**ANHÄNGE** (allgemeine Hintergrundinformationen)

Anhang 1 : Elektrische Drucksondierung (CPT)
Anhang 2 : Interpretation der elektrischen Drucksondierung
Anhang 3: Rammsondierung (DP)

M 1:5000

**SITUATION MIT UNGEFÄHRER LAGE DER SONDIERSTELLEN**

Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen




M 1:5000

**SITUATION MIT UNGEFÄHRER LAGE DER SONDIERSTELLEN**

Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen

# BEILAGE A
# AUSFÜHRUNGSPRAXIS

**INHALT** Beilage

Ausführungspraxis der elektrischen Drucksondierung A1-A2

## TESTSTEUERUNG – PENETRATION

| | |
|---|---|
| Generelle Testablauf : | Siehe Anhang 1, “Elektrische Drucksondierung (CPT)” (GEO/APP/001) |
| Vorbereitungsphase : | – Bestimmung der Sondierstandorte durch Auftraggeber<br>– Auswahl der Messsonde durch Geoprofile GmbH<br>– Vorherige Sättigung des Filter-Elementes durch Vakuum-Lagerung in biologisch abbaubarem Öl während 24 Stunden<br>– Nachsättigung vor Ort vor jeder Prüfung |
| Einmessen und Nivellement : | – Einmessen der Sondierstandorte durch Auftraggeber<br>– Nivellement durch Geoprofile GmbH |
| Testphase : | Keine projektspezifischen Vorkehrungen |
| Testabbruch : | Siehe Anhang 1, “Elektrische Drucksondierung (CPT)” (GEO/APP/001) |
| Zusätzliche Messungen : | S-Wellengeschwindigkeit (SCPTU 1-24, 2-24, 6-24, 8-24, 15-24) |
| Vorbohren : | Nein |

## SONDIERGERÄT

| | |
|---|---|
| Schubvorrichtung : | Hydraulische Schubeinheit mit einem maximalen Druck von 150 kN und einem Hub von 1 m |
| Aufbau der Schubvorrichtung : | Allein stehend |
| Reaktionsmasse : | Bondenanker (CPTU 4-24, 5-24, 10-24 bis 13-24 und SCPTU 15-24), Sondierlastwagen 18t (SCPTU 1-24, 2-24 ,6-24, 8-24, CPTU 3-24, 6-24, 8-24, 14-24) |
| Schubgestänge : | 36 mm A.D. |
| Schutzverrohrung : | Nicht zutreffend |
| Reibungsminderer : | Integriert in der Messsonde |
| Penetrometer : | – Typ S15CFIIP (CPTU 4-24, 5-24 und 10-24 bis 13-24)<br>Typ S10CFIIP (SCPTU 1-24, 2-24, 6-24, 8-24 und 15-24)<br>Typ DP15-CFPTxy (CPTU 3-24, 7-24, 9-24 und 14-24)<br>– Unabhängige Messung des Spitzenwiderstands $q_c$, lokale Mantelreibung $f_s$, Porenwasserüberdruck $u_2$, Abweichung von der Vertikale in X- und Y-Richtung ($i_x$ und $i_y$)<br>– Spitzenquerschnitt 10 und 15 $cm^2$<br>– Oberfläche des Reibungsmantels 150 (alle SCPTU) und 225 $cm^2$<br>– Netto Flächenverhältnis a: 0.85 (alle SCPTU, CPTU 4-24, 5-24 und 10-24 bis 13-24), 0.75 (CPTU 3-24, 7-24, 9-24 und 14-24) |

## DATENAUFZEICHNUNG UND -BEARBEITUNG

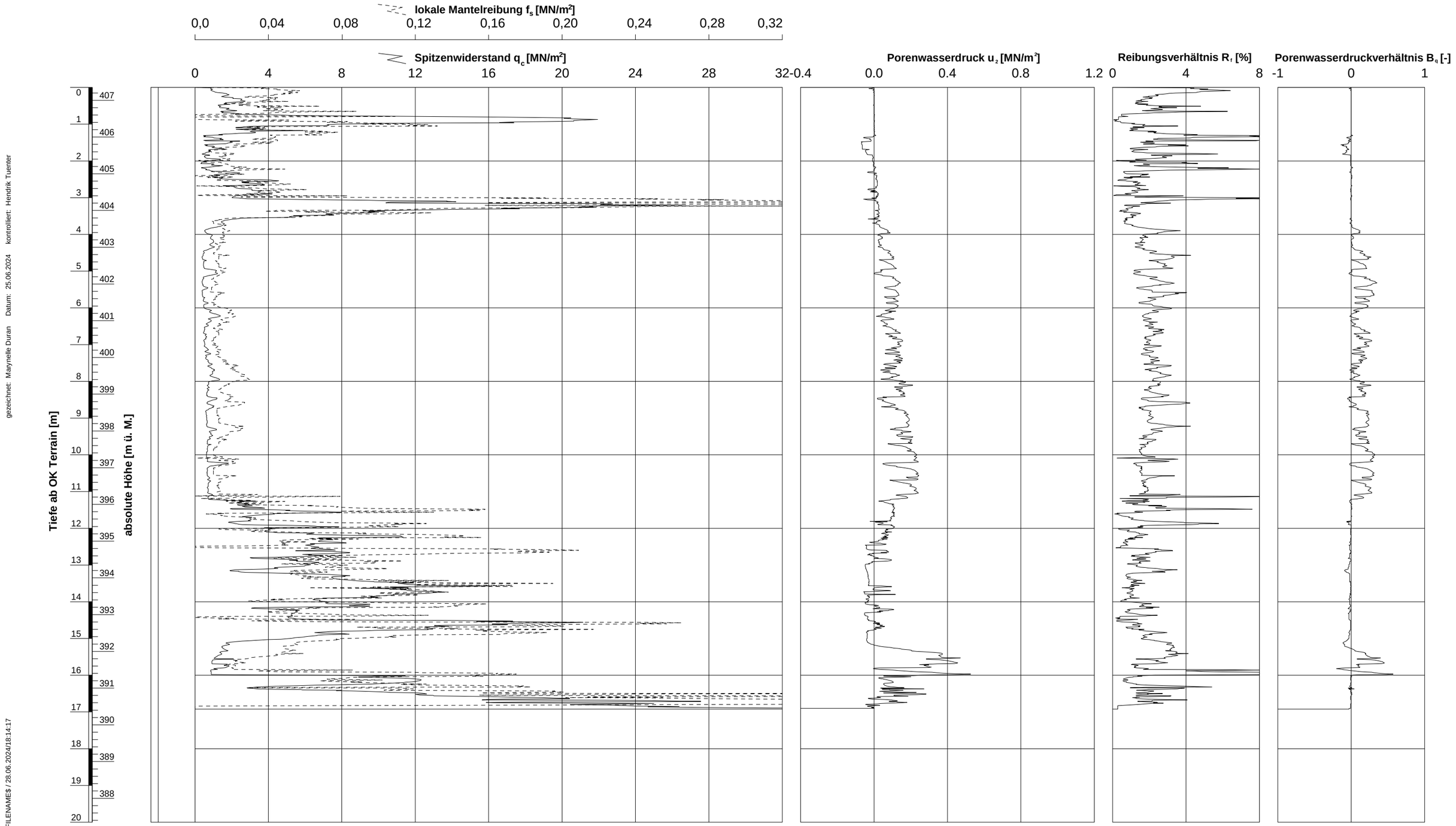
| | |
|---|---|
| Datenaufzeichnung : | Digitale Aufzeichnung, 1 Messung pro cm Eindringung |
| Tiefenkorrektur : | Korrektur der Sondiertiefe für der Abweichung von der Vertikale |

**BEILAGE B**

**ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG - MESSDATEN**

**INHALT** Beilage


| | |
|---|---|
| Elektrische Drucksondierung SCPTU 1-24 | B1 |
| Elektrische Drucksondierung SCPTU 2-24 | B2 – B3 |
| Elektrische Drucksondierung CPTU 3-24 | B4 |
| Elektrische Drucksondierung CPTU 4-24 | B5 |
| Elektrische Drucksondierung CPTU 5-24 | B6 |
| Elektrische Drucksondierung SCPTU 6-24 | B7 |
| Elektrische Drucksondierung CPTU 7-24 | B8 |
| Elektrische Drucksondierung SCPTU 8-24 | B9 |
| Elektrische Drucksondierung CPTU 9-24 | B10 |
| Elektrische Drucksondierung CPTU 10-24 | B11 |
| Elektrische Drucksondierung CPTU 11-24 | B12 |
| Elektrische Drucksondierung CPTU 12-24 | B13 |
| Elektrische Drucksondierung CPTU 13-24 | B14 |
| Elektrische Drucksondierung CPTU 14-24 | B15 |
| Elektrische Drucksondierung SCPTU 15-24 | B16 |




gezeichnet: Marynelle Duran Datum: 25.06.2024 kontrolliert: Hendrik Tuenter

GeODin-System / $%FILENAME$ / 28.06.2024/18:14:17

Ausführungsdatum : 24.06.2024
Ansatzpunkt : 407.35 m ü. M.
Wasser : m ab OK Terrain

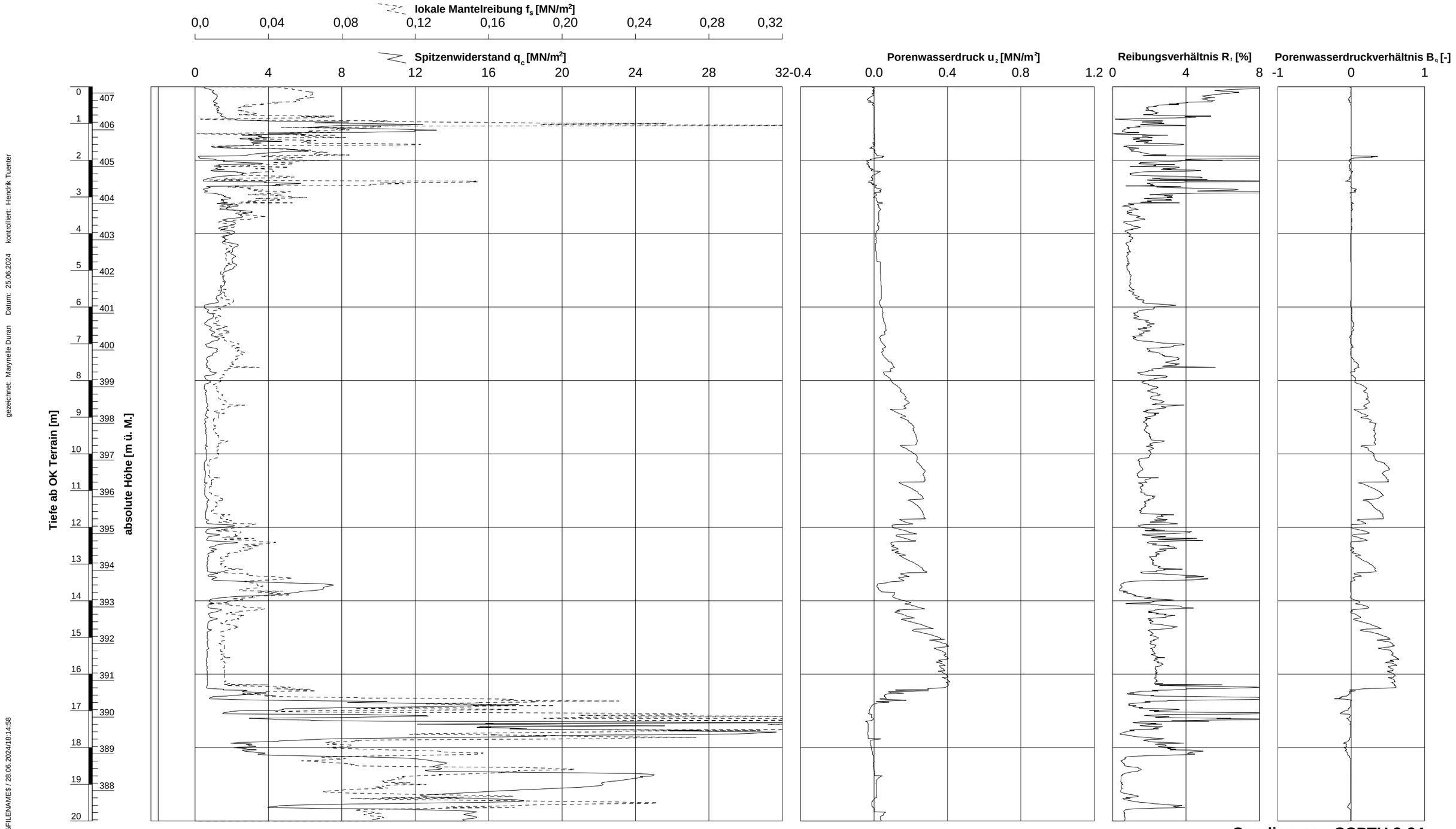
Koordinaten : 2688095.50 m O
1234964.58 m N

Messsonde : S10CFIIP
Spitzenquerschnitt: 10 cm²

**Sondierung: SCPTU 1-24**

**ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG**
**Messdaten**

Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen




gezeichnet: Marynelle Duran Datum: 25.06.2024 kontrolliert: Hendrik Tuenter

GeODin-System / $%FILENAME$ / 28.06.2024/18:14:58

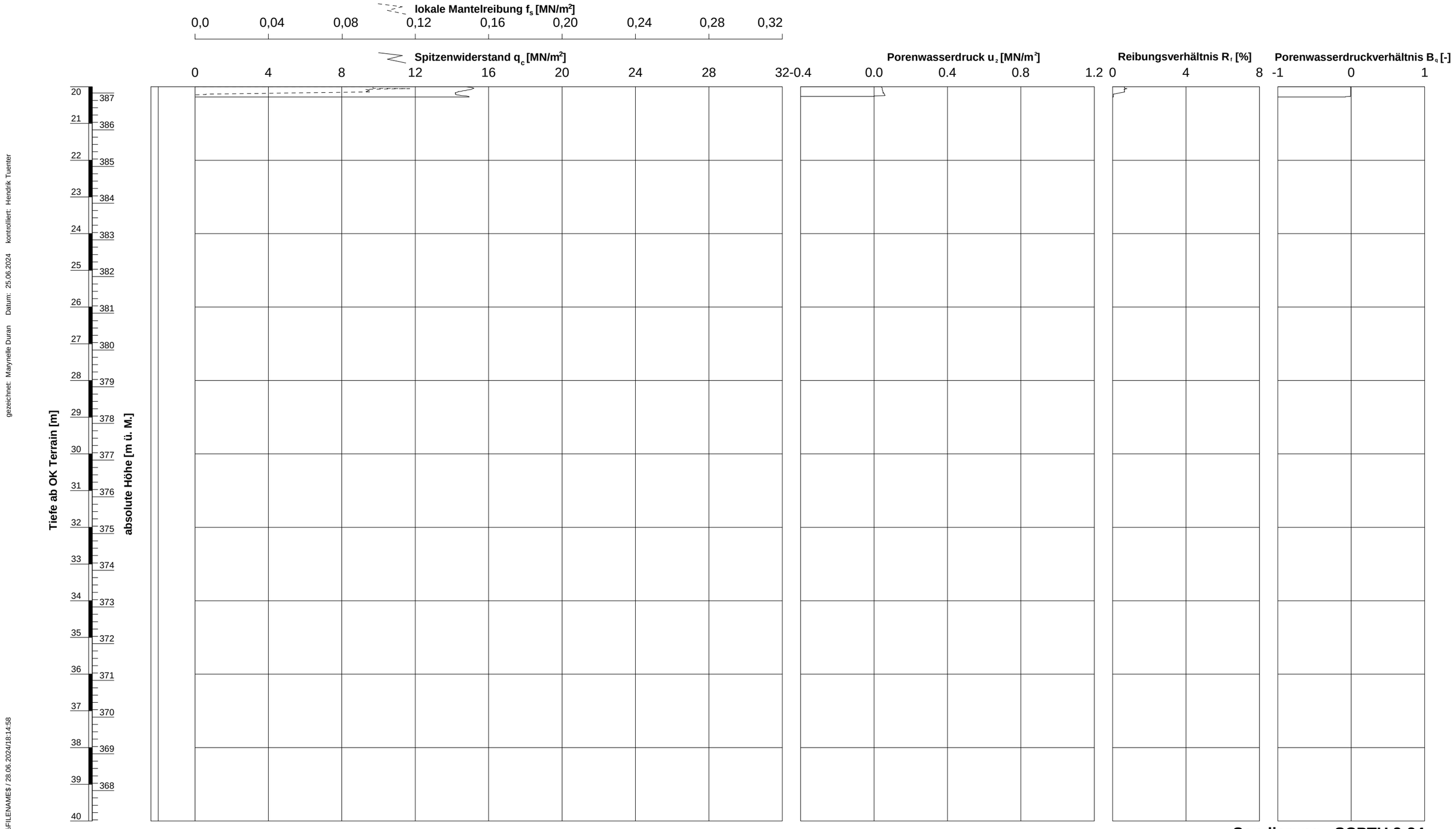
Ausführungsdatum : 24.06.2024
Ansatzpunkt : 407.17 m ü. M.
Wasser : m ab OK Terrain

Koordinaten : 2688182.84 m O
1234946.49 m N

Messsonde : S10CFIIP
Spitzenquerschnitt: 10 cm²

**Sondierung: SCPTU 2-24**

**ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG**
**Messdaten**
Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen




Ausführungsdatum : 24.06.2024
Ansatzpunkt : 407.17 m ü. M.
Wasser : m ab OK Terrain

Koordinaten : 2688182.84 m O
1234946.49 m N

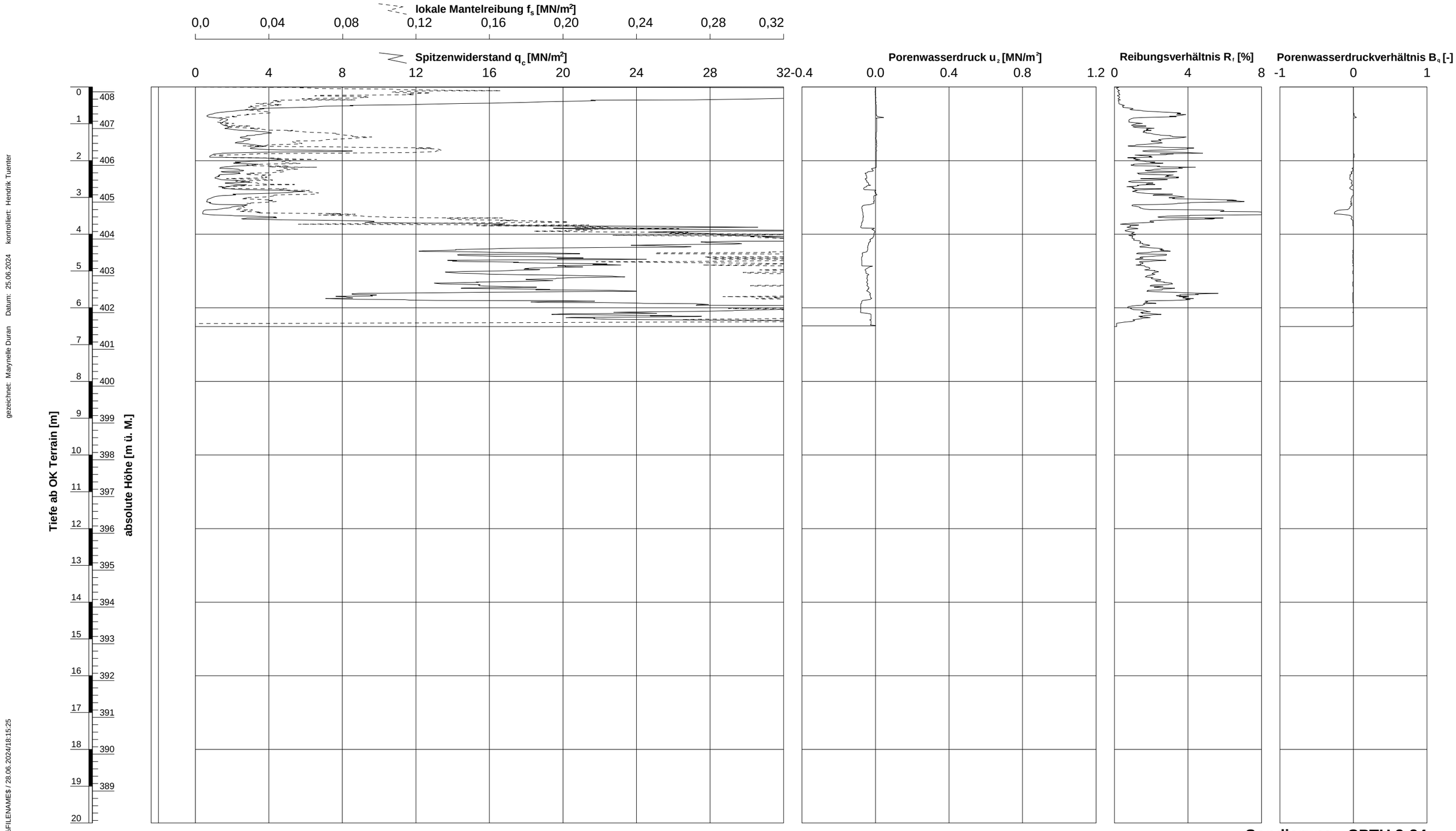
Messsonde : S10CFIIP
Spitzenquerschnitt: 10 cm²

**Sondierung: SCPTU 2-24**

**ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG**
**Messdaten**
Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen

gezeichnet: Marynelle Duran Datum: 25.06.2024 kontrolliert: Hendrik Tuenter

GeODin-System / $%FILENAME$ / 28.06.2024/18:14:58




gezeichnet: Marynelle Duran Datum: 25.06.2024 kontrolliert: Hendrik Tuenter

Ausführungsdatum : 27.06.2024
Ansatzpunkt : 408.13 m ü. M.
Wasser : m ab OK Terrain

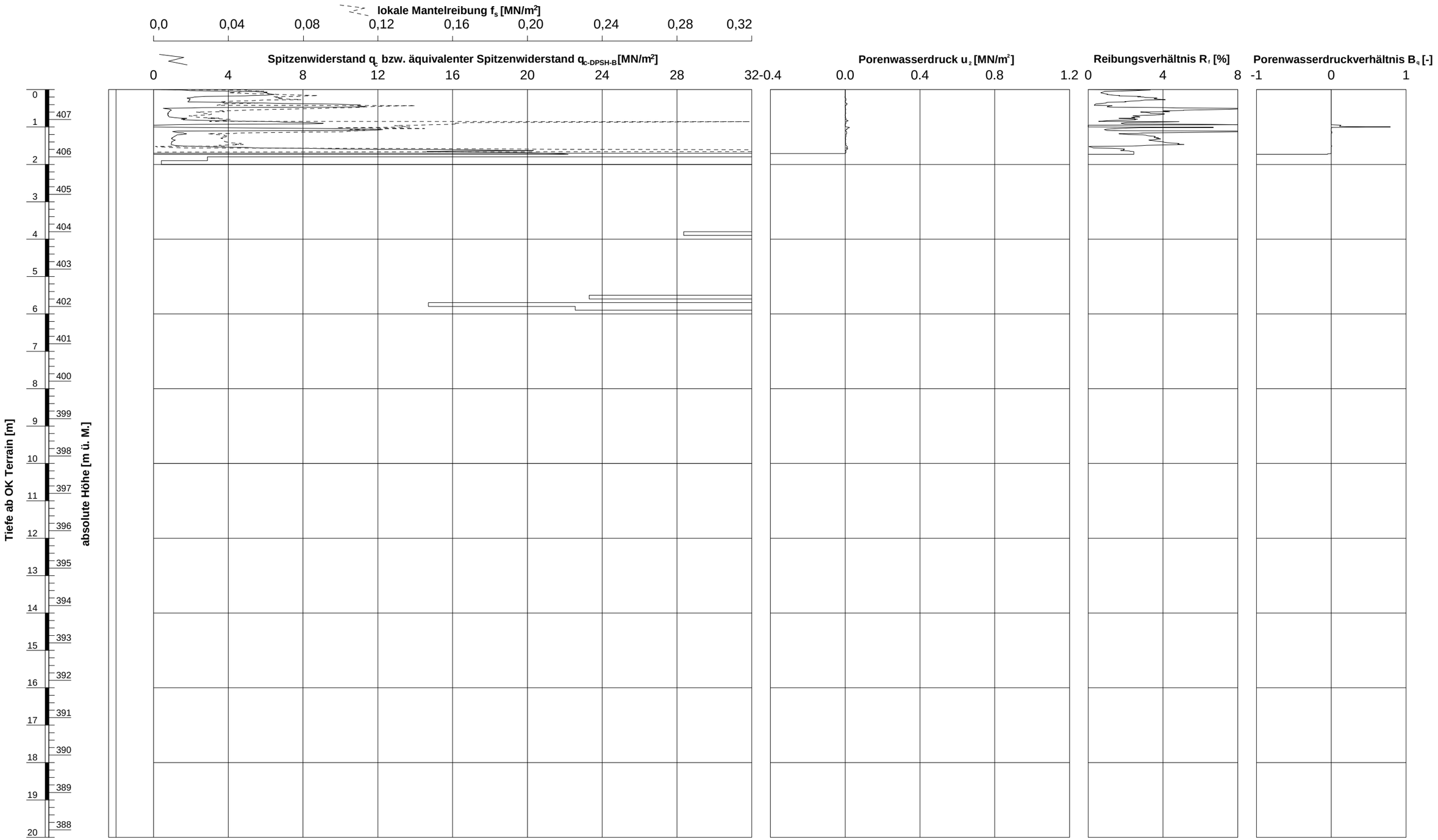
Koordinaten : 2688324.48 m O
1234855.61 m N

Messsonde : DP15-CFPTxy
Spitzenquerschnitt: 15 cm²

**ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG**
**Messdaten**
Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen

**Sondierung: CPTU 3-24**

GeODin-System / $%FILENAME$ / 28.06.2024/18:15:25




Ausführungsdatum : 24.06.2024
Ansatzpunkt : 407.80 m ü. M.
Wasser : m ab OK Terrain

Koordinaten: : 2688417.52 m O
1234775.90 m N

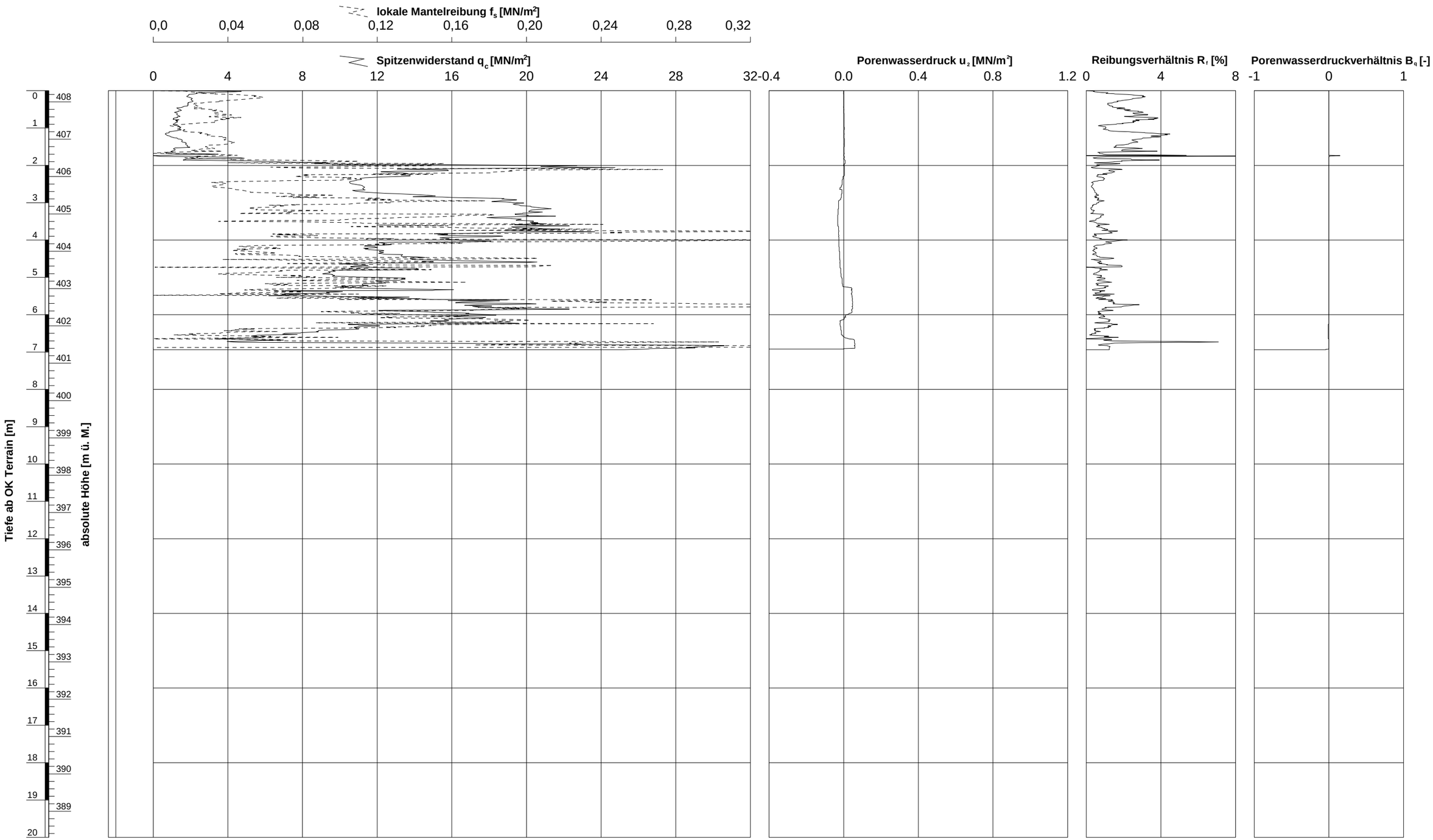
Messsonde : S15CFIIP
Spitzenquerschnitt: 15 cm²

**ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG**
**Messdaten**
Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen

**Sondierung: CPTU - DPSH 4-24**

gezeichnet: Marynelle Duran Datum: 25.06.2024 kontrolliert: Hendrik Tuenter

GeODin-System / $%FILENAME$ / 28.06.2024/18:19:12




gezeichnet: Marynelle Duran Datum: 25.06.2024 kontrolliert: Hendrik Tuenter

GeODin-System / $%FILENAME$ / 28.06.2024/18:15:51

Ausführungsdatum : 24.06.2024
Ansatzpunkt : 408.30 m ü. M.
Wasser : m ab OK Terrain

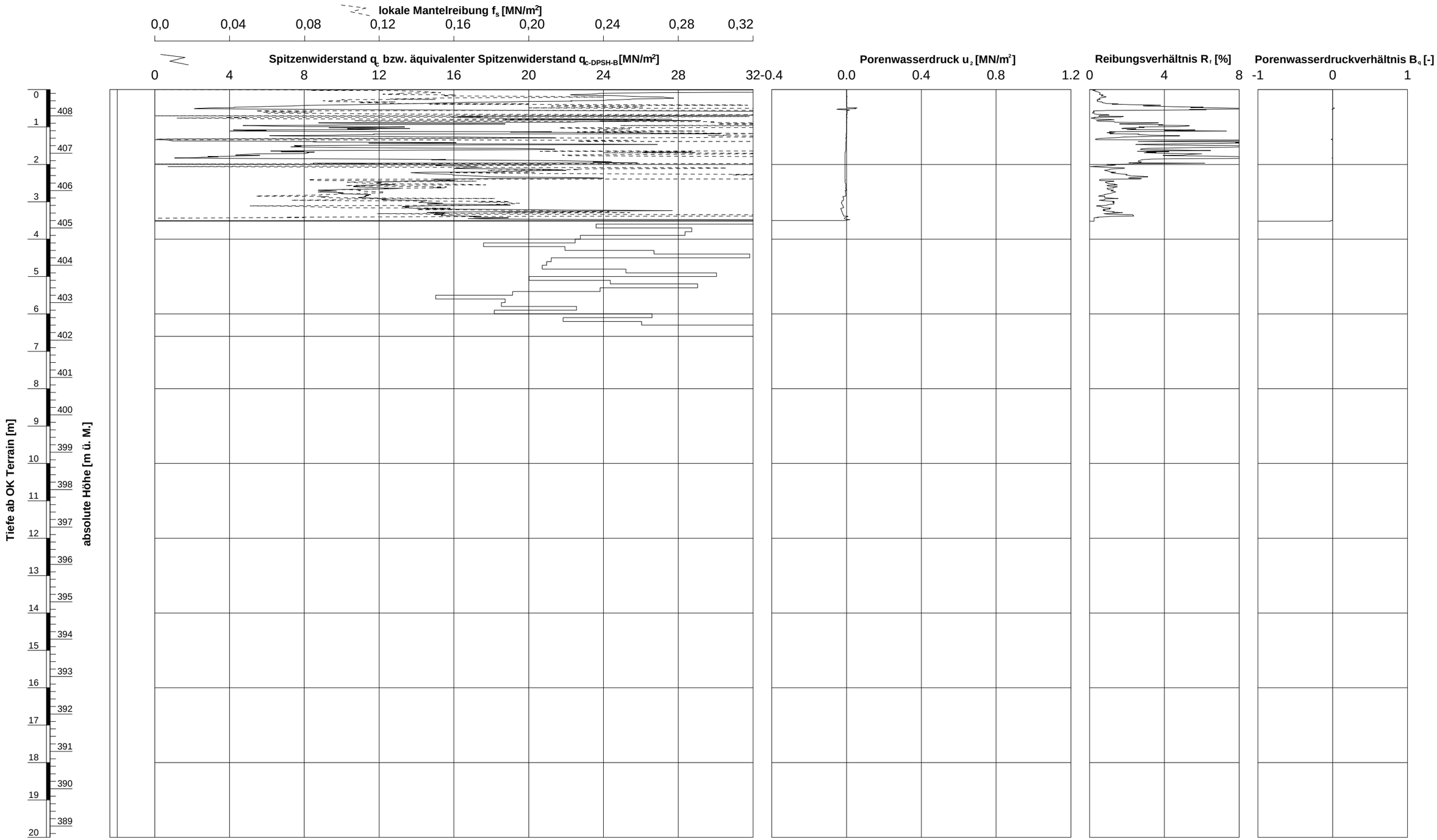
Koordinaten : 2688482.01 m O
1234732.76 m N

Messsonde : S15CFIIP
Spitzenquerschnitt: 15 cm²

**ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG**
**Messdaten**

Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen

**Sondierung: CPTU 5-24**




Ausführungsdatum : 25.06.2024
Ansatzpunkt : 408.70 m ü. M.
Wasser : m ab OK Terrain

Koordinaten: : 2688619.88 m O
1234664.18 m N

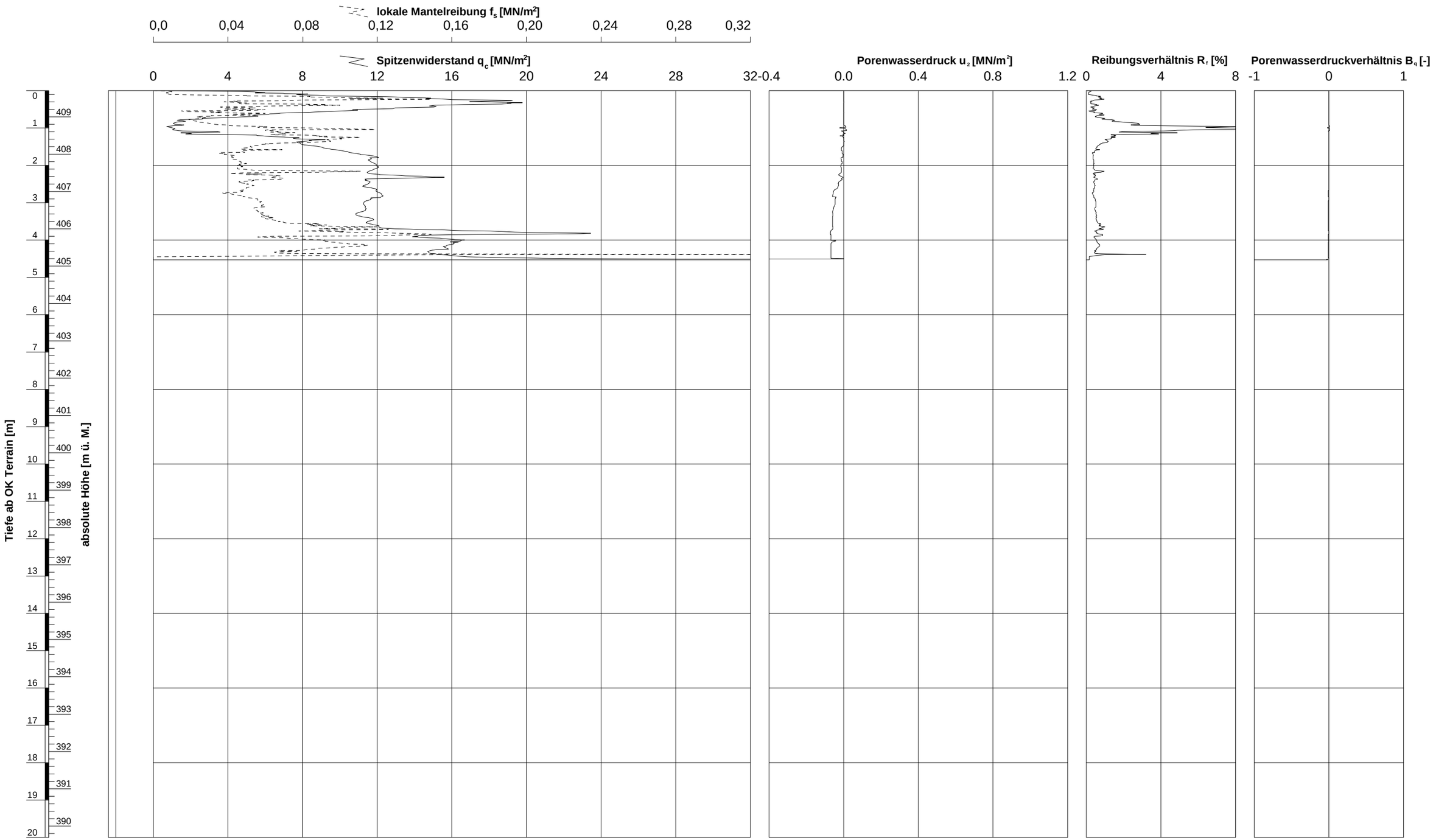
Messsonde : S10CFIIP
Spitzenquerschnitt: 10 cm²

**ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG**
**Messdaten**
Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen

**Sondierung: SCPTU - DPSH 6-24**

gezeichnet: Marynelle Duran Datum: 25.06.2024 kontrolliert: Hendrik Tuenter

GeODin-System / $%FILENAME$ / 28.06.2024/18:19:42




Ausführungsdatum : 26.06.2024
Ansatzpunkt : 409.70 m ü. M.
Wasser : m ab OK Terrain

Koordinaten : 2688692.09 m O
1234589.56 m N

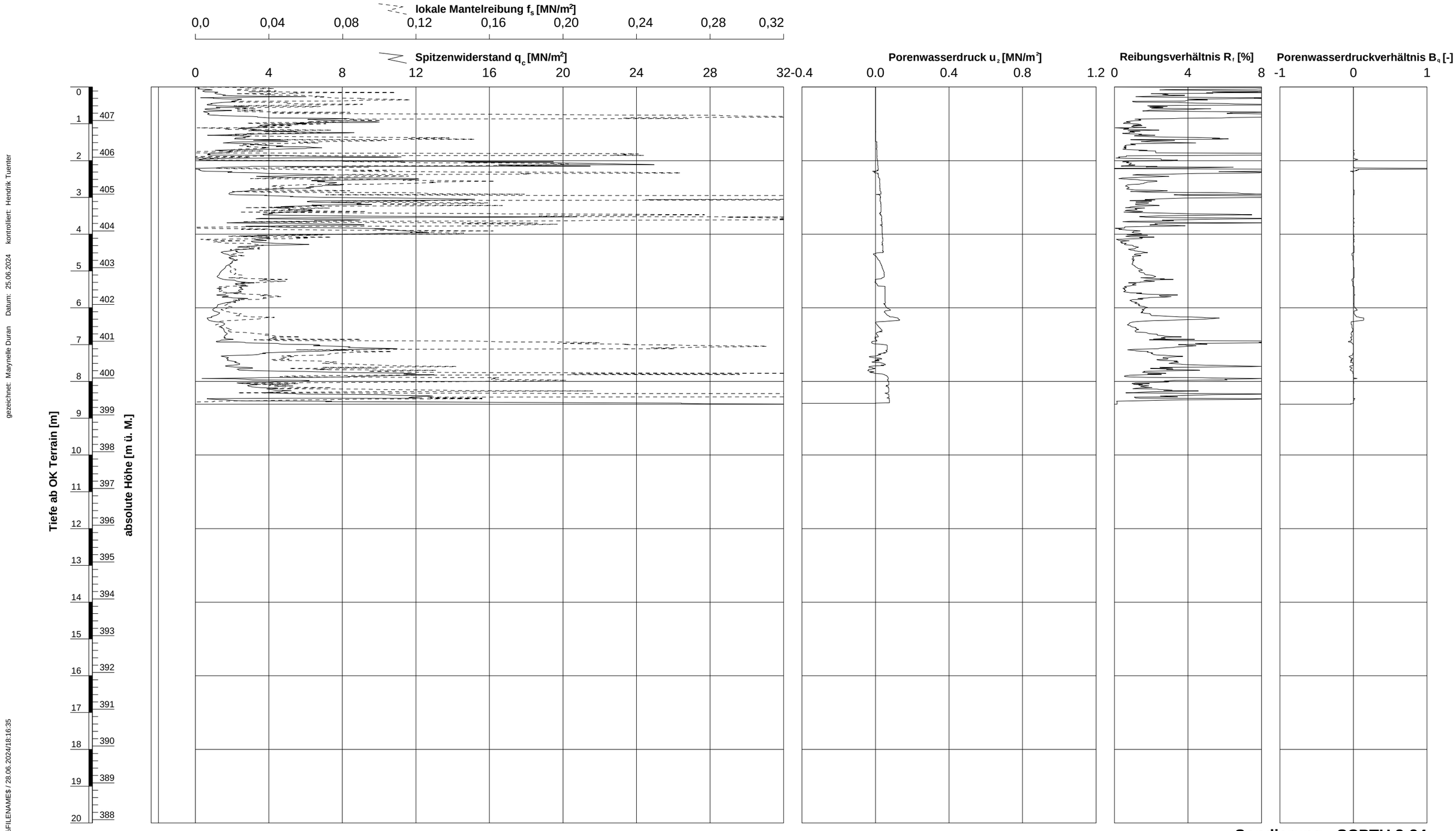
Messsonde : DP15-CFTPxy
Spitzenquerschnitt: 15 cm²

**ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG**
**Messdaten**
Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen

**Sondierung: CPTU 7-24**

gezeichnet: Marynelle Duran Datum: 25.06.2024 kontrolliert: Hendrik Tuenter

GeODin-System / $%FILENAME$ / 28.06.2024/18:16:14




gezeichnet: Marynelle Duran Datum: 25.06.2024 kontrolliert: Hendrik Tuenter

GeODin-System / $%FILENAME$ / 28.06.2024/18:16:35

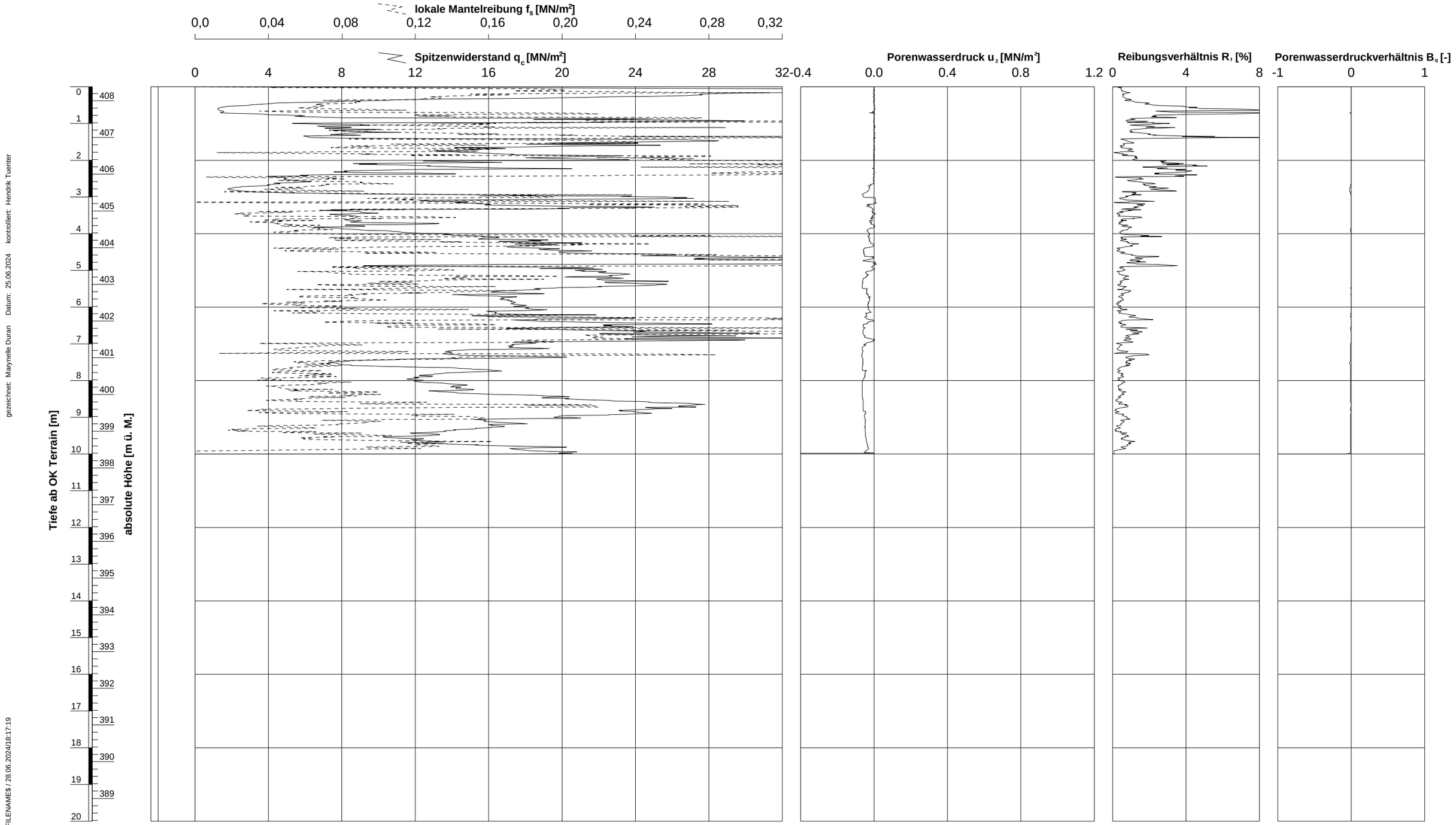
Ausführungsdatum : 25.06.2024
Ansatzpunkt : 407.91 m ü. M.
Wasser : m ab OK Terrain

Koordinaten : 2689095.16 m O
1234506.72 m N

Messsonde : S10CFIIP
Spitzenquerschnitt: 10 cm²

**ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG**
**Messdaten**
Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen

**Sondierung: SCPTU 8-24**




gezeichnet: Marynelle Duran Datum: 25.06.2024 kontrolliert: Hendrik Tuenter

GeODin-System / $%FILENAME$ / 28.06.2024/18:17:19

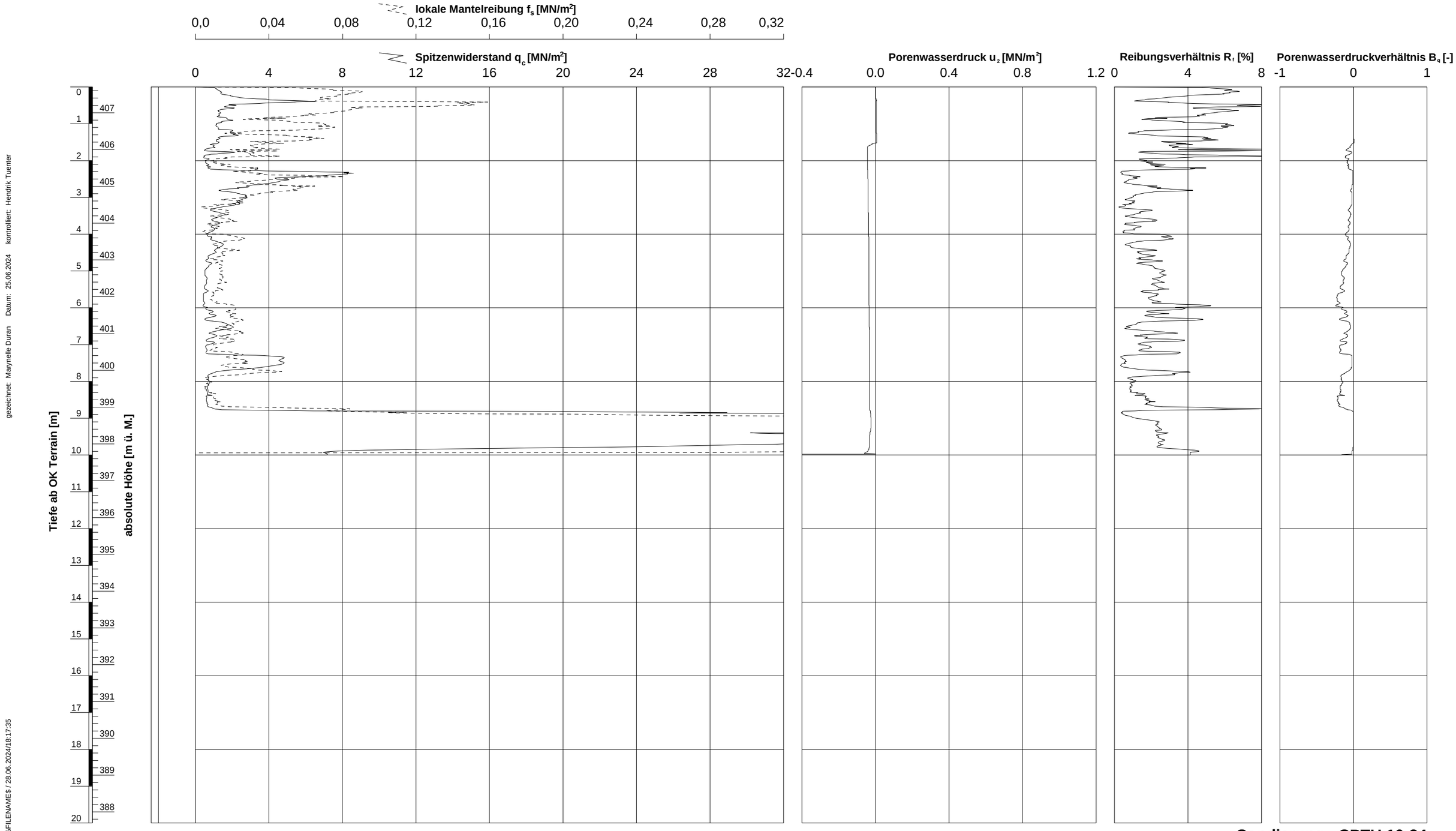
Ausführungsdatum : 27.06.2024
Ansatzpunkt : 408.38 m ü. M.
Wasser : m ab OK Terrain

Koordinaten : 2689251.24 m O
1234431.78 m N

Messsonde : DP15-CFTPxy
Spitzenquerschnitt: 15 cm²

**Sondierung: CPTU 9-24**

**ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG**
**Messdaten**
Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen




Ausführungsdatum : 25.06.2024
Ansatzpunkt : 407.70 m ü. M.
Wasser : m ab OK Terrain

Koordinaten : 2689395.32 m O
1234323.00 m N

Messsonde : S15CFIIP
Spitzenquerschnitt: 15 cm²

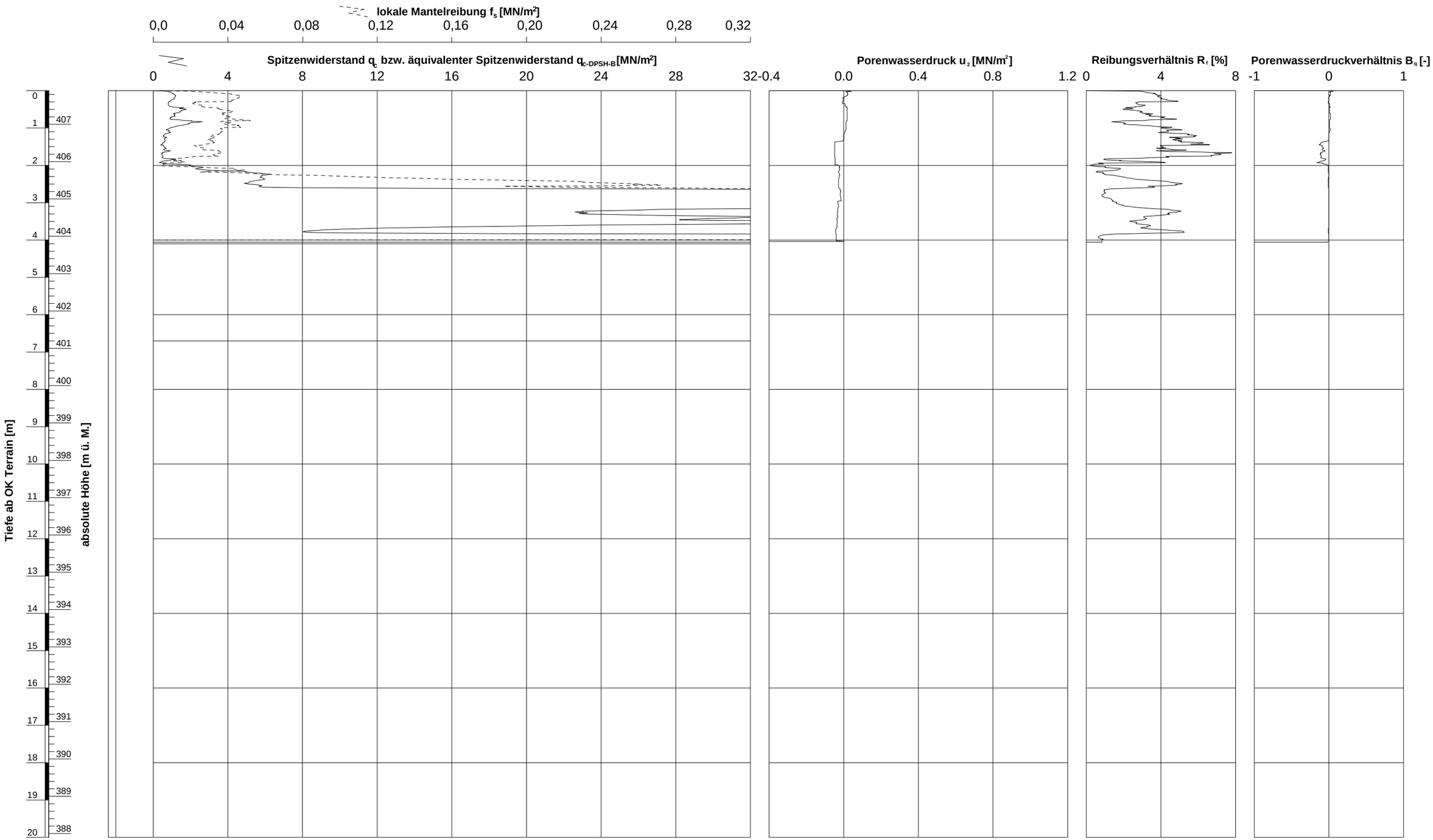
**ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG**
**Messdaten**

Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen

**Sondierung: CPTU 10-24**

gezeichnet: Marynelle Duran Datum: 25.06.2024 kontrolliert: Hendrik Tuenter

GeODin-System / $%FILENAME$ / 28.06.2024/18:17:35




Ausführungsdatum : 27.06.2024
Ansatzpunkt : 407.90 m ü. M.
Wasser : m ab OK Terrain

Koordinaten: : 2689544.64 m O
1234199.63 m N

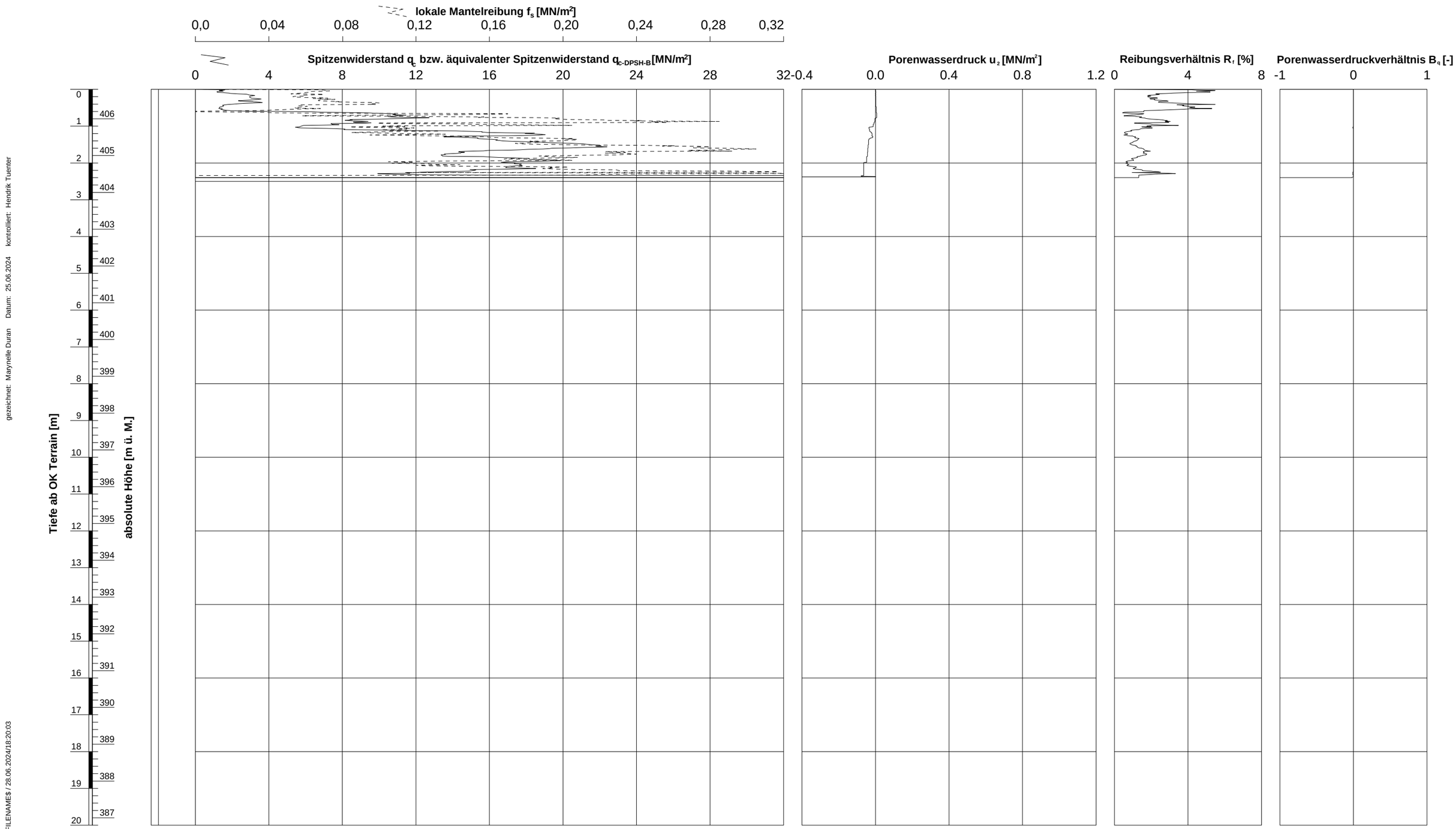
Messsonde : S15CFIIP
Spitzenquerschnitt: 15 cm²

**ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG**
**Messdaten**
Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen

**Sondierung: CPTU - DPSH 11-24**

gezeichnet: Marynelle Duran Datum: 25.06.2024 kontrolliert: Hendrik Tuenter

GeODin-System / $%FILENAME$ / 01.07.2024/16:29:13




Ausführungsdatum : 25.06.2024
Ansatzpunkt : 406.80 m ü. M.
Wasser : m ab OK Terrain

Koordinaten: : 2689659.06 m O
1234172.30 m N

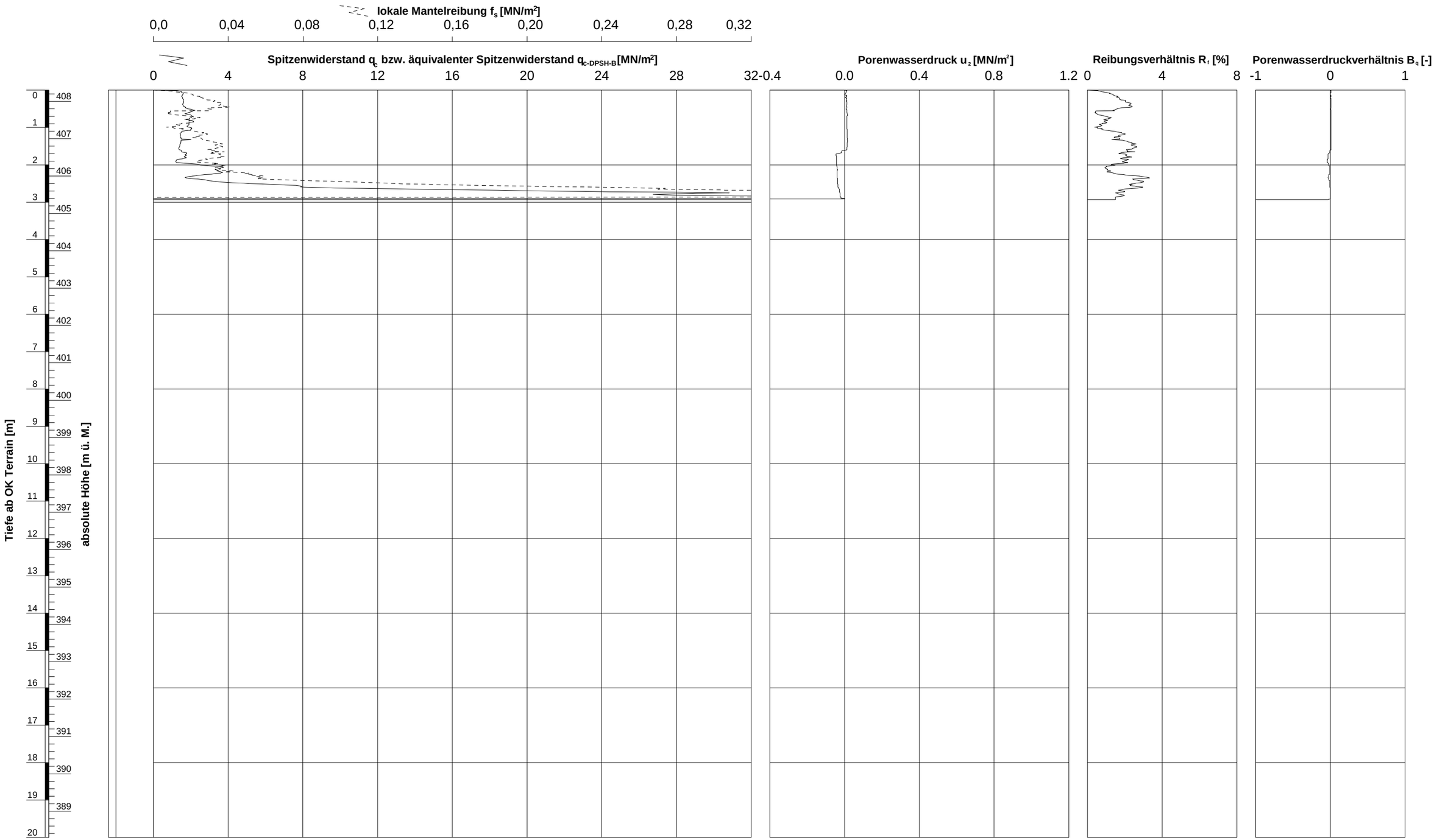
Messsonde : S15CFIIP
Spitzenquerschnitt: 15 cm²

**ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG**
**Messdaten**
Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen

**Sondierung: CPTU - DPSH 12-24**

gezeichnet: Marynelle Duran Datum: 25.06.2024 kontrolliert: Hendrik Tuenter

GeODin-System / $%FILENAME$ / 28.06.2024/18:20:03




Ausführungsdatum : 27.06.2024
Ansatzpunkt : 408.30 m ü. M.
Wasser : m ab OK Terrain

Koordinaten: : 2689727.59 m O
1234128.63 m N

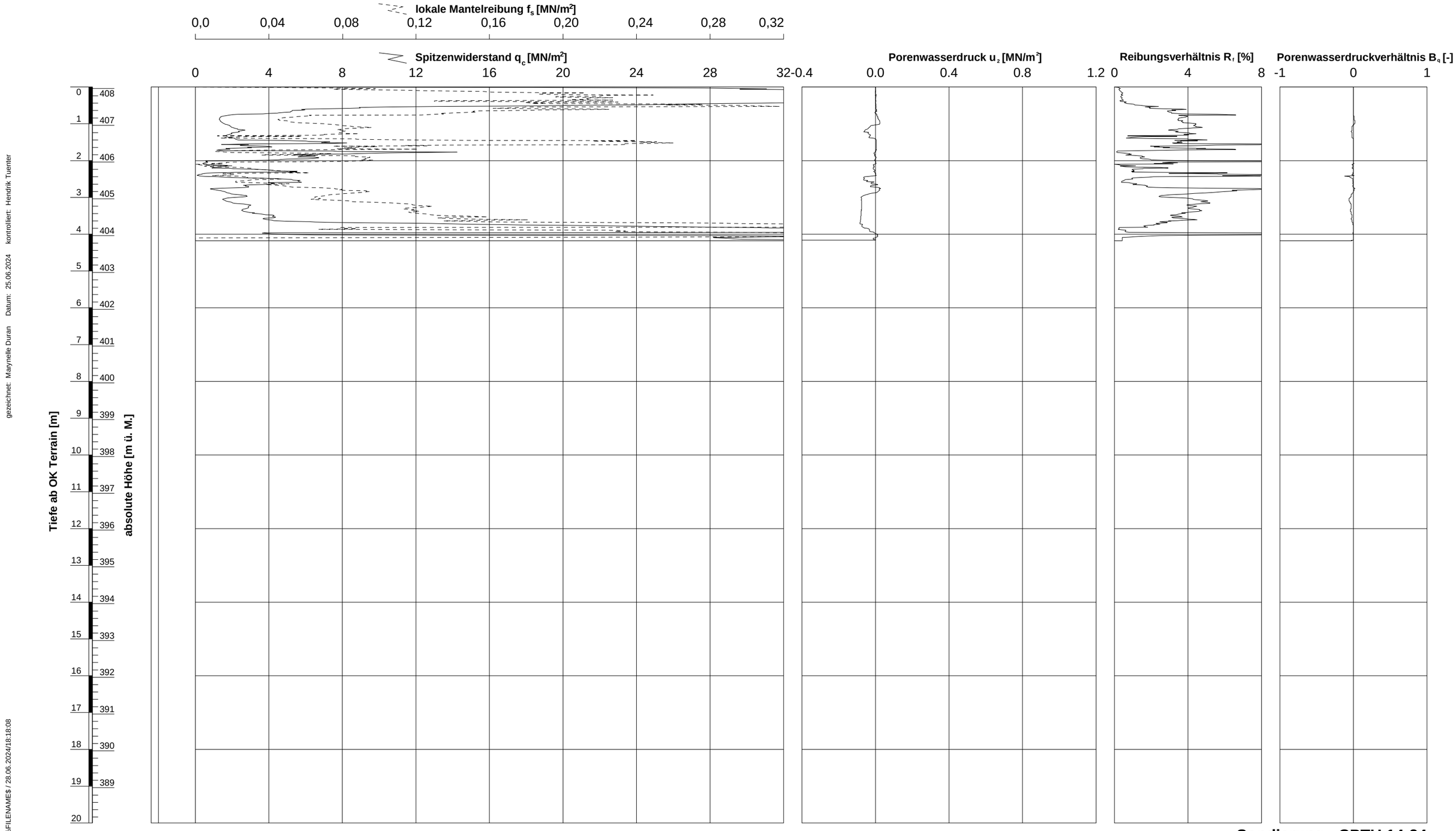
Messsonde : S15CFIIP
Spitzenquerschnitt: 15 cm²

**ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG**
**Messdaten**
Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen

**Sondierung: CPTU - DPSH 13-24**

gezeichnet: Marynelle Duran Datum: 25.06.2024 kontrolliert: Hendrik Tuenter

GeODin-System / $%FILENAME$ / 01.07.2024/16:34:11




gezeichnet: Marynelle Duran Datum: 25.06.2024 kontrolliert: Hendrik Tuenter

GeODin-System / $%FILENAME$ / 28.06.2024/18:18:08

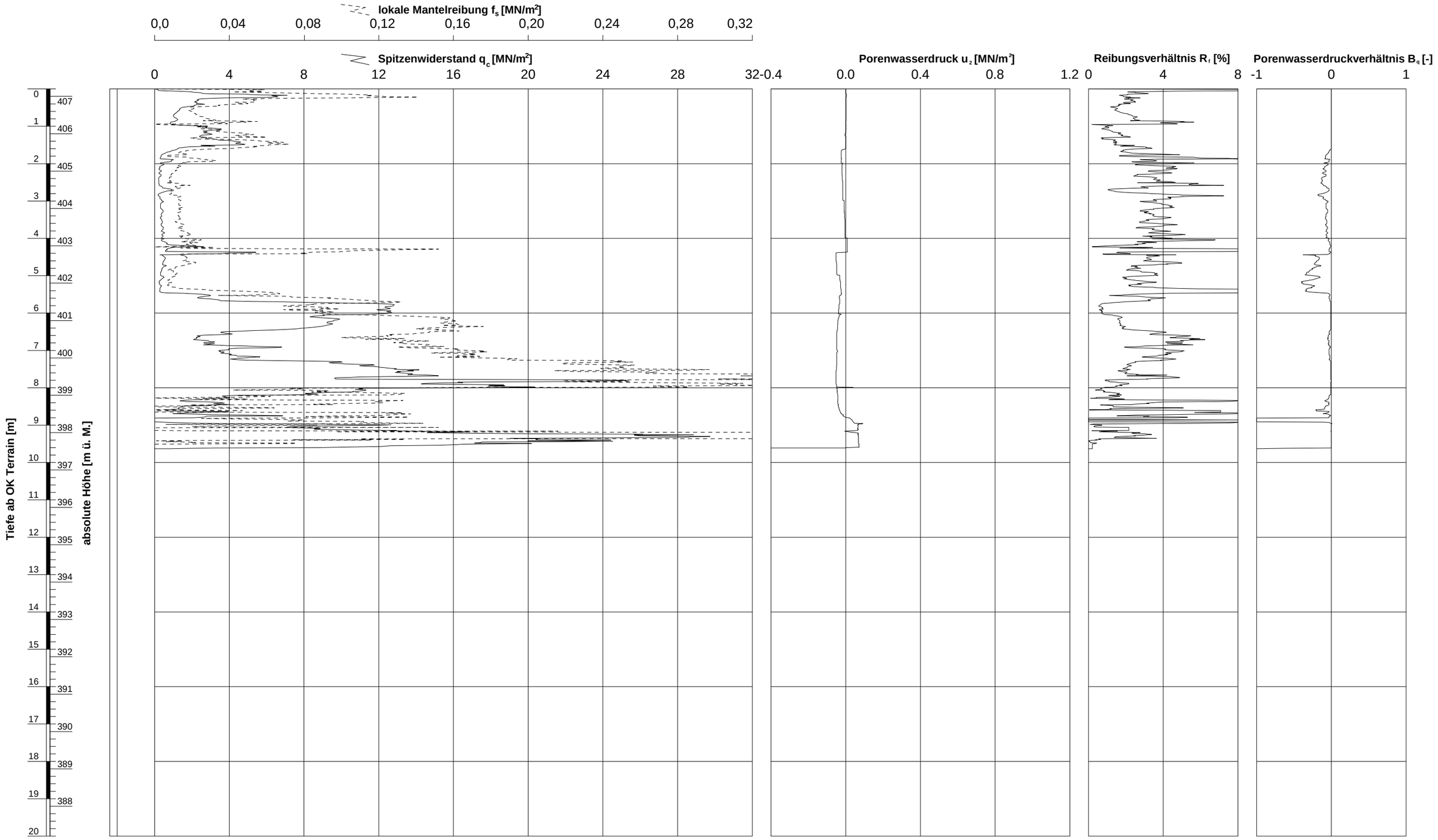
Ausführungsdatum : 27.06.2024
Ansatzpunkt : 408.04 m ü. M.
Wasser : m ab OK Terrain

Koordinaten : 2689874.64 m O
1234082.02 m N

Messsonde : DP15-CFTPxy
Spitzenquerschnitt: 15 cm²

**ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG**
**Messdaten**
Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen

**Sondierung: CPTU 14-24**




gezeichnet: Marynelle Duran Datum: 25.06.2024 kontrolliert: Hendrik Tuenter

GeODin-System / $%FILENAME$ / 28.06.2024/18:18:39

Ausführungsdatum : 26.06.2024
Ansatzpunkt : 407.20 m ü. M.
Wasser : m ab OK Terrain

Koordinaten : 2689983.79 m O
1234076.99 m N

Messsonde : S10CFIIP
Spitzenquerschnitt: 10 cm²

**Sondierung: SCPTU 15-24**

**ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG**
**Messdaten**

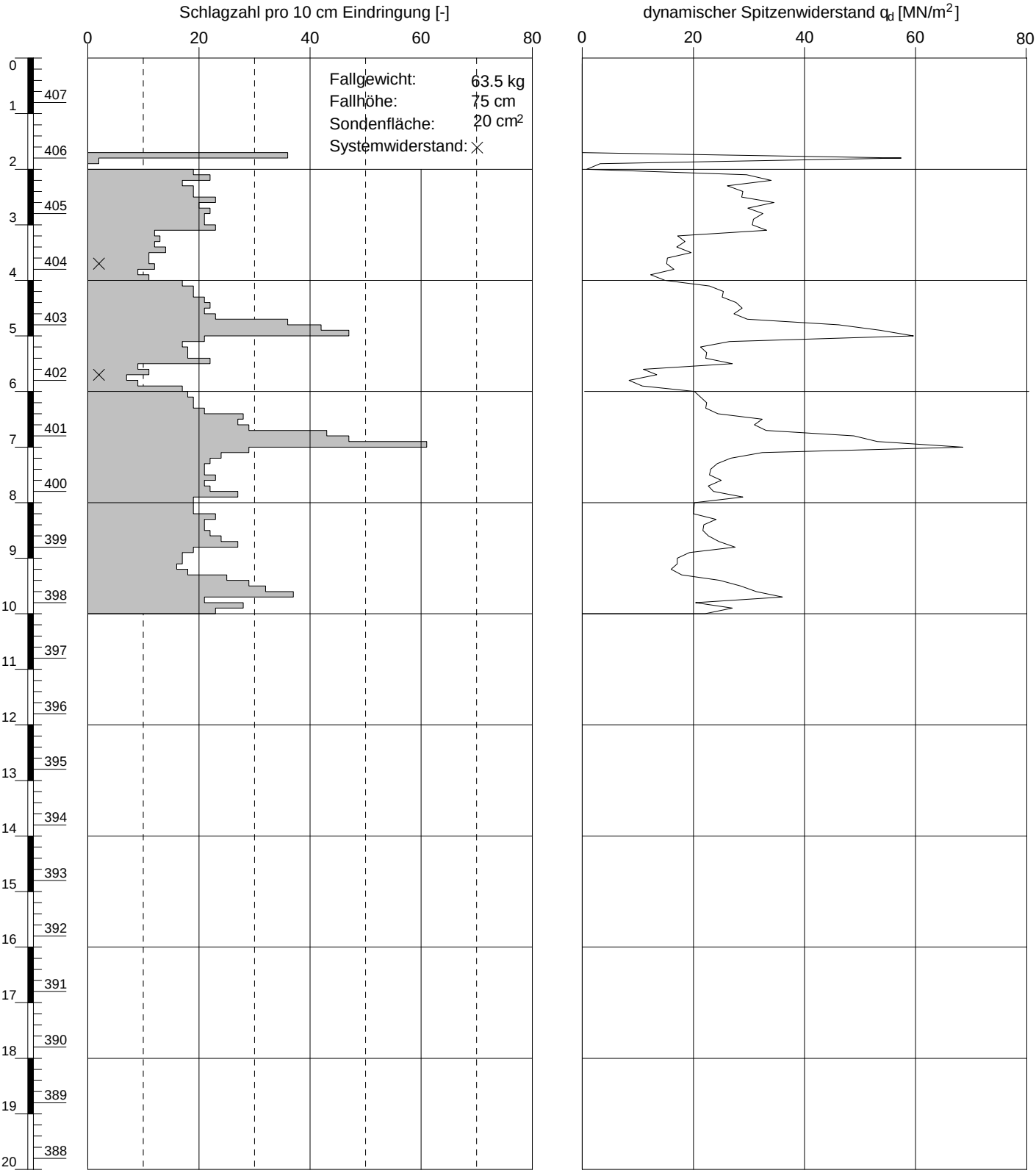
Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen

**BEILAGE C**

**RAMMSONDIERUNG – MESSDATEN**

**INHALT** Beilage


| | |
|---|---|
| Rammsondierung DPSH 4-24 | C1 |
| Rammsondierung DPSH 6-24 | C2 |
| Rammsondierung DPSH 11-24 | C3 |
| Rammsondierung DPSH 12-24 | C4 |
| Rammsondierung DPSH 13-24 | C5 |




gezeichnet: Marynelle Duran Datum: 25.06.2024 kontrolliert: Hendrik Tuenter

GeODin-System / $%FILENAME$ / 28.06.2024/18:06:46

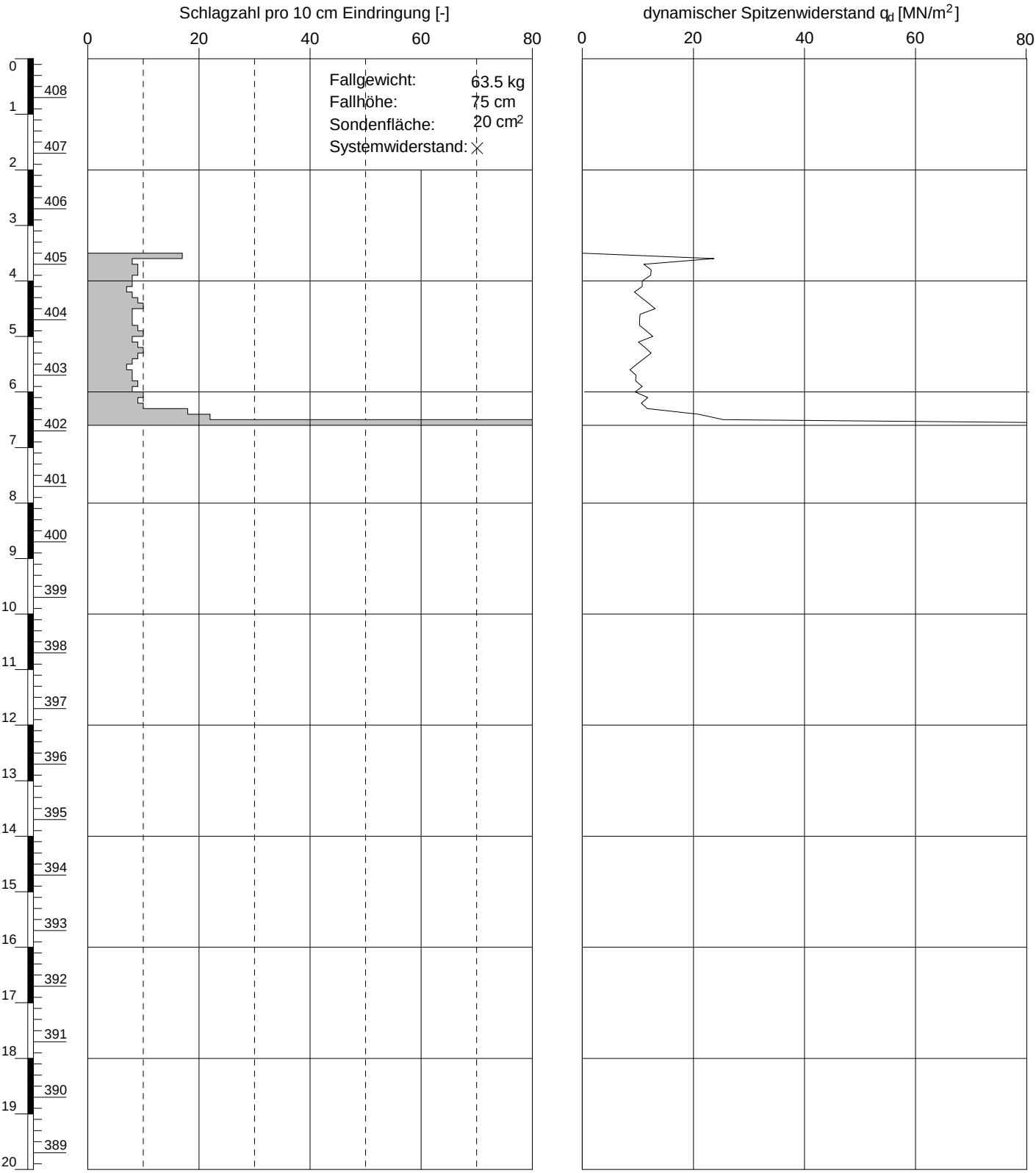
Ausführungsdatum: 24.06.2024
Ansatzpunkt: 407.80 m ü.M.

Koordinaten: 2688418 m O
1234776 m N

**Sondierung: DPSH 4-24**

## RAMMPROTOKOLL
## Rammsondierung gemäss EN 22476-2:2005

Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen




gezeichnet: Marynelle Duran Datum: 25.06.2024 kontrolliert: Hendrik Tuenter

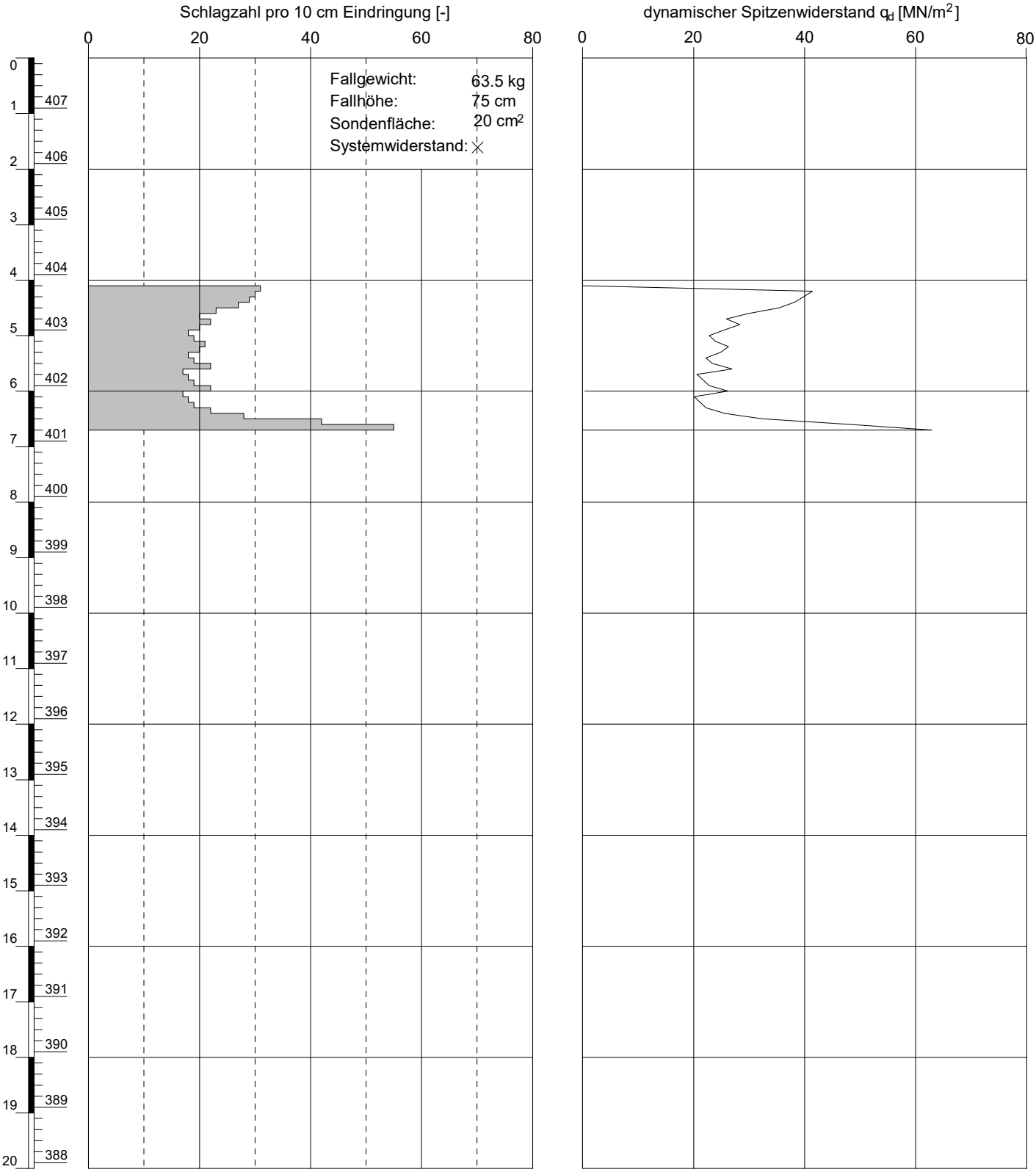
GeODin-System / $%FILENAME$ / 28.06.2024/18:08:24

Ausführungsdatum: 25.06.2024
Ansatzpunkt: 408.70 m ü.M.

Koordinaten: 2688620 m O
1234664 m N

## Sondierung: DPSH 6-24

**RAMMPROTOKOLL**
**Rammsondierung gemäss EN 22476-2:2005**
Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen




gezeichnet: Marynelle Duran Datum: 25.06.2024 kontrolliert: Hendrik Tuenter

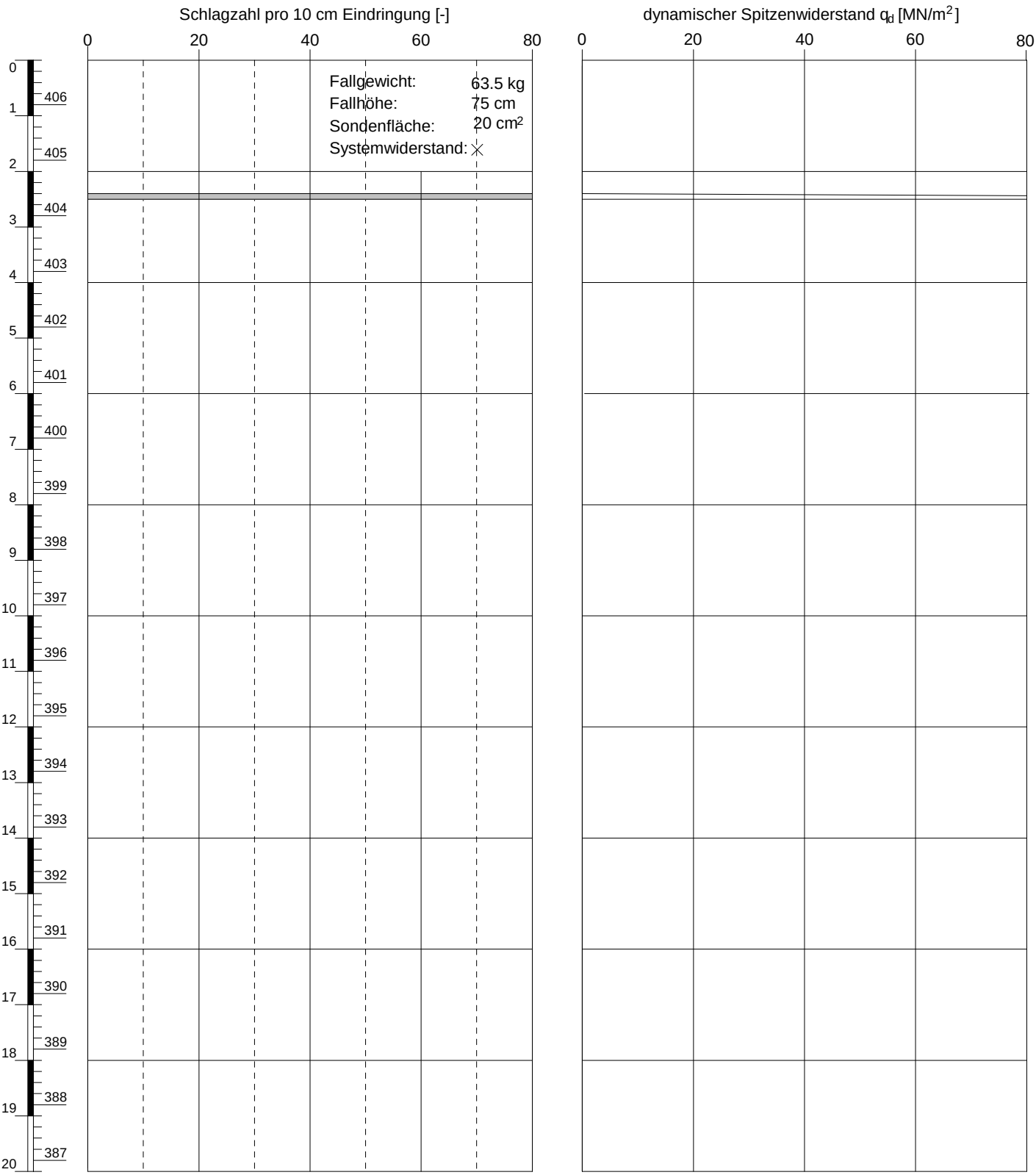
GeODin-System / $%FILENAMES / 05.07.2024/14:38:24

Ausführungsdatum: 27.06.2024
Ansatzpunkt: 407.90 m ü.M.

Koordinaten: 2689545 m O
1234200 m N

## Sondierung: DPSH 11-24

**RAMMPROTOKOLL**
**Rammsondierung gemäss EN 22476-2:2005**
Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen




gezeichnet: Marynelle Duran Datum: 25.06.2024 kontrolliert: Hendrik Tuenter

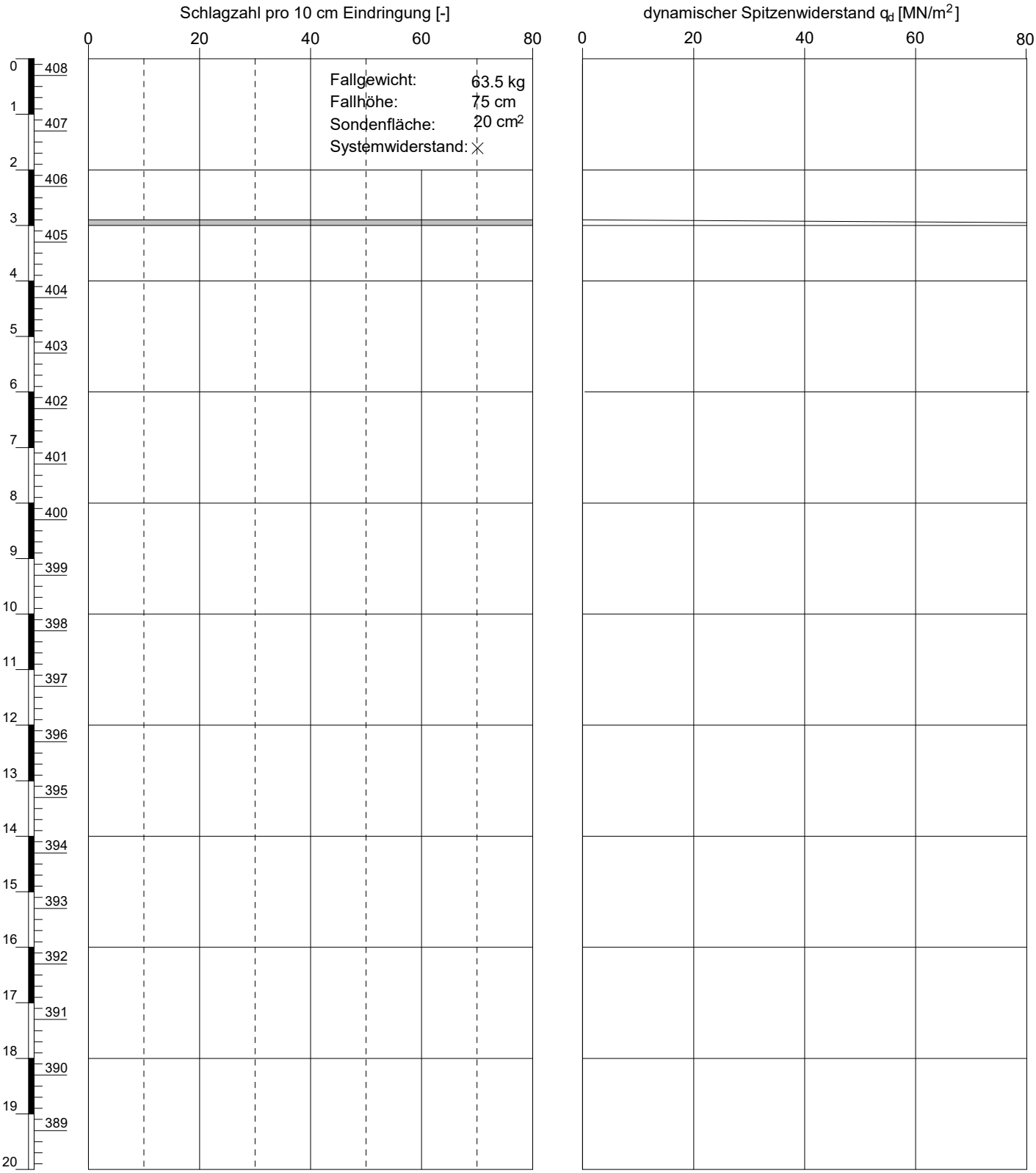
GeODin-System / $%FILENAME$ / 28.06.2024/18:07:55

Ausführungsdatum: 25.06.2024
Ansatzpunkt: 406.80 m ü.M.

Koordinaten: 2689659 m O
1234172 m N

## Sondierung: DPSH 12-24

**RAMMPROTOKOLL**
**Rammsondierung gemäss EN 22476-2:2005**
Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen




gezeichnet: Marynelle Duran Datum: 25.06.2024 kontrolliert: Hendrik Tuenter

GeODin-System / $%FILENAMES / 05.07.2024/14:39:35

Ausführungsdatum: 27.06.2024
Ansatzpunkt: 408.30 m ü.M.

Koordinaten: 2689728 m O
1234129 m N

## Sondierung: DPSH 13-24

**RAMMPROTOKOLL**
**Rammsondierung gemäss EN 22476-2:2005**
Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen

**BEILAGE D**

**ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG – INTERPRETATION**

**INHALT** Beilage


| | |
|---|---|
| Elektrische Drucksondierung SCPTU 1-24 | D1 |
| Elektrische Drucksondierung SCPTU 2-24 | D2 – D3 |
| Elektrische Drucksondierung CPTU 3-24 | D4 |
| Elektrische Drucksondierung CPTU 4-24 | D5 |
| Elektrische Drucksondierung CPTU 5-24 | D6 |
| Elektrische Drucksondierung SCPTU 6-24 | D7 |
| Elektrische Drucksondierung CPTU 7-24 | D8 |
| Elektrische Drucksondierung SCPTU 8-24 | D9 |
| Elektrische Drucksondierung CPTU 9-24 | D10 |
| Elektrische Drucksondierung CPTU 10-4 | D11 |
| Elektrische Drucksondierung CPTU 11-24 | D12 |
| Elektrische Drucksondierung CPTU 12-24 | D13 |
| Elektrische Drucksondierung CPTU 13-24 | D14 |
| Elektrische Drucksondierung CPTU 14-24 | D15 |
| Elektrische Drucksondierung SCPTU 15-24 | D16 |

GEOPROFILE

+ undrainierte Scherfestigkeit $c_u$ [kN/m²]
○ Sensitivität $S_t$ [-]
× effektiver innerer Reibungswinkel ϕ [°]
· effektive Kohäsion c' [kN/m²]
△ bezogene Lagerungsdichte $I_D$ [-]
□ Vorkonsolidierungsdruck $\sigma'_p$ [kN/m²]
+ oedometrischer Steifemodul bei Erstbelastung $E_{oed}$ (früher: $M_{E,1}$ bzw. $E_s$) [MN/m²]

gezeichnet: Marynelle Duran Datum: 25.06.2024 kontrolliert: Hendrik Tuenter

**geotechnische Beschreibung**

0.00 m: SILT, sandig, mittelsteif, mit dünnen Zwischenschichten aus Ton und Sand
0.75 m: KIES, sandig, sehr dicht gelagert
1.05 m: TON, siltig, weich bis mittelsteif, mit dünnen Zwischenschichten aus Sand und Silt
3.05 m: KIES, sandig, dicht gelagert
3.60 m: TON, siltig, weich bis mittelsteif, mit Zwischenschichten aus Silt und Sand
11.20 m: SAND, kiesig, siltig, mitteldicht gelagert, lokal locker, mit dünnen Zwischenschichten aus Silt und Kies, mit Steinen
15.10 m: TON, siltig, mittelsteif bis steif, mit dünnen Zwischenschichten aus Silt
16.00 m: SAND, siltig, mitteldicht gelagert
16.55 m: KIES, sandig, dicht gelagert

Abbruchkriterium CPTU (16.92 m):
Erreichen der Höchstleistung des Druckgeräts (200 bar) und der Messsensoren ($q_c$ = 41.6 MPa)

Tiefe ab OK Terrain [m] | absolute Höhe [m ü. M.]

**undrainierte Scherfestigkeit**

1 | 10 | 100 | 1000
sehr weich | weich | mittel steif | steif | hart | sehr hart

**drainierte Scherfestigkeit**

0 | 20 | 40 | 60

**Lagerungsdichte**

0.0 | 0.5 | 1.0
sehr locker | locker | mittel dicht | dicht | sehr dicht

**In-situ Spannungsverhältnisse / Deformationseigenschaften**

1 | 10 | 100 | 1000

Ausführungsdatum : 24.06.2024
Ansatzpunkt : 407.35 m ü. M.
Koordinaten : 2688095 m O
1234965 m N

**Sondierung: SCPTU 1-24**

**ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG**
**Interpretierte geotechnische Erwartungswerte**
Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen

GeODin-System / $%FILENAME$ / 28.06.2024/18:52:32

GEOPROFILE

+ undrainierte Scherfestigkeit $c_u$ [kN/m²]
○ Sensitivität $S_t$ [-]
× effektiver innerer Reibungswinkel ϕ [°]
· effektive Kohäsion c' [kN/m²]
△ bezogene Lagerungsdichte $I_D$ [-]
□ Vorkonsolidierungsdruck $\sigma'_p$ [kN/m²]
+ oedometrischer Steifemodul bei Erstbelastung $E_{oed}$ (früher: $M_{E,1}$ bzw. $E_s$) [MN/m²]

gezeichnet: Marynelle Duran Datum: 25.06.2024 kontrolliert: Hendrik Tuenter

**geotechnische Beschreibung**

0.00 m: TON, siltig, weich bis mittelsteif, mit einer Siltschicht

0.90 m: KIES, sandig, siltig, mitteldicht bis dicht gelagert

1.30 m: SAND, siltig, locker bis mitteldicht gelagert, mit dünnen Zwischenschichten aus Ton, Torf und Silt

2.70 m: SILT, sandig, steif, mit Zwischenschichten aus Sand und Ton

5.90 m: TON, siltig, weich bis mittelsteif, mit Zwischenschichten aus Silt und Sand

16.70 m: KIES, sandig, siltig, mitteldicht bis dicht gelagert, mit dünnen Zwischenschichten aus Silt

17.80 m: SILT, sandig, steif bis hart, mit einer dünnen Sandschicht

18.25 m: SAND, siltig, mitteldicht gelagert, mit einer dünnen Siltschicht

Tiefe ab OK Terrain [m] | absolute Höhe [m ü. M.]

| Tiefe | absolute Höhe |
|---|---|
| 0 | 407 |
| 1 | 406 |
| 2 | 405 |
| 3 | 404 |
| 4 | 403 |
| 5 | 402 |
| 6 | 401 |
| 7 | 400 |
| 8 | 399 |
| 9 | 398 |
| 10 | 397 |
| 11 | 396 |
| 12 | 395 |
| 13 | 394 |
| 14 | 393 |
| 15 | 392 |
| 16 | 391 |
| 17 | 390 |
| 18 | 389 |
| 19 | 388 |
| 20 | |

**undrainierte Scherfestigkeit**

1 | 10 | 100 | 1000

sehr weich | weich | mittel | steif | hart | sehr hart

**drainierte Scherfestigkeit**

0 | 20 | 40 | 60

**Lagerungsdichte**

0.0 | 0.5 | 1.0

sehr locker | locker | mittel dicht | dicht | sehr dicht

**In-situ Spannungsverhältnisse / Deformationseigenschaften**

1 | 10 | 100 | 1000

Ausführungsdatum : 24.06.2024
Ansatzpunkt : 407.17 m ü. M.

Koordinaten : 2688183 m O
1234946 m N

**Sondierung: SCPTU 2-24**

**ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG**
**Interpretierte geotechnische Erwartungswerte**
Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen

GeODin-System / $%FILENAME$ / 28.06.2024/19:30:30

GEOPROFILE

+ undrainierte Scherfestigkeit $c_u$ [kN/m²]
○ Sensitivität $S_t$ [-]

× effektiver innerer Reibungswinkel ϕ [°]
· effektive Kohäsion c' [kN/m²]

△ bezogene Lagerungsdichte $I_D$ [-]

□ Vorkonsolidierungsdruck $\sigma'_p$ [kN/m²]
+ oedometrischer Steifemodul bei Erstbelastung $E_{oed}$ (früher: $M_{E,1}$ bzw. $E_s$) [MN/m²]

gezeichnet: Marynelle Duran Datum: 25.06.2024 kontrolliert: Hendrik Tuenter

**Tiefe ab OK Terrain [m]**

**absolute Höhe [m ü. M.]**

**geotechnische Beschreibung**

18.25 m: SAND, siltig, mitteldicht gelagert, mit einer dünnen Siltschicht

Abbruchkriterium CPTU (20.28 m):
Erreichen der gewünschten Eindringtiefe

**undrainierte Scherfestigkeit**

1 10 100 1000

sehr weich | weich | mittel steif | steif | hart | sehr hart

**drainierte Scherfestigkeit**

0 20 40 60

**Lagerungsdichte**

0.0 0.5 1.0

sehr locker | locker | mitteldicht | dicht | sehr dicht

**In-situ Spannungsverhältnisse / Deformationseigenschaften**

1 10 100 1000

Ausführungsdatum : 24.06.2024
Ansatzpunkt : 407.17 m ü. M.

Koordinaten : 2688183 m O
1234946 m N

**Sondierung: SCPTU 2-24**

**ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG**
**Interpretierte geotechnische Erwartungswerte**
Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen

GeODin-System / $%FILENAME$ / 28.06.2024/19:30:30

GEOPROFILE

+ undrainierte Scherfestigkeit $c_u$ [kN/m²]
○ Sensitivität $S_t$ [-]
× effektiver innerer Reibungswinkel ϕ [°]
· effektive Kohäsion c' [kN/m²]
△ bezogene Lagerungsdichte $I_D$ [-]
□ Vorkonsolidierungsdruck $\sigma'_p$ [kN/m²]
+ oedometrischer Steifemodul bei Erstbelastung $E_{oed}$ (früher: $M_{E,1}$ bzw. $E_s$) [MN/m²]

gezeichnet: Marynelle Duran Datum: 25.06.2024 kontrolliert: Hendrik Tuenter

**geotechnische Beschreibung**

0.00 m: KIES, sandig, dicht bis sehr dicht gelagert

0.60 m: SILT, sandig, mittelsteif bis steif, Wechsellagerung aus Silt und Sand, mit Zwischenschichten aus Torf und Ton

3.60 m: KIES, sandig, dicht bis sehr dicht gelagert, evtl. Molasse

Abbruchkriterium CPTU (6.51 m): Erreichen der Höchstleistung der Messsensoren ($q_c$ = 59.79 MPa)

**undrainierte Scherfestigkeit**

1 10 100 1000

sehr weich | weich | mittel steif | steif | hart | sehr hart

**drainierte Scherfestigkeit**

0 20 40 60

**Lagerungsdichte**

0.0 0.5 1.0

sehr locker | locker | mittel dicht | dicht | sehr dicht

**In-situ Spannungsverhältnisse / Deformationseigenschaften**

1 10 100 1000

**Tiefe ab OK Terrain [m]** / **absolute Höhe [m ü. M.]**

| Tiefe ab OK Terrain [m] | absolute Höhe [m ü. M.] |
|---|---|
| 0 | 408 |
| 1 | 407 |
| 2 | 406 |
| 3 | 405 |
| 4 | 404 |
| 5 | 403 |
| 6 | 402 |
| 7 | 401 |
| 8 | 400 |
| 9 | 399 |
| 10 | 398 |
| 11 | 397 |
| 12 | 396 |
| 13 | 395 |
| 14 | 394 |
| 15 | 393 |
| 16 | 392 |
| 17 | 391 |
| 18 | 390 |
| 19 | 389 |
| 20 | |

Ausführungsdatum : 27.06.2024
Ansatzpunkt : 408.13 m ü. M.

Koordinaten : 2688324 m O
1234856 m N

**Sondierung: CPTU 3-24**

**ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG**
**Interpretierte geotechnische Erwartungswerte**
Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen

GeODin-System / $%FILENAME$ / 01.07.2024/09:30:19

GEOPROFILE

+ undrainierte Scherfestigkeit $c_u$[kN/m²]
○ Sensitivität $S_t$ [-]
× effektiver innerer Reibungswinkel ϕ [°]
· effektive Kohäsion c' [kN/m²]
△ bezogene Lagerungsdichte $I_D$[-]
□ Vorkonsolidierungsdruck $\sigma'_p$ [kN/m²]
+ oedometrischer Steifemodul bei Erstbelastung $E_{oed}$ (früher: $M_{E,1}$ bzw. $E_s$) [MN/m²]

gezeichnet: Marynelle Duran Datum: 25.06.2024 kontrolliert: Hendrik Tuenter

**geotechnische Beschreibung**

0.00 m: SAND, siltig, mitteldicht bis dicht gelagert, mit einer dünnen Siltschicht

0.50 m: TON, siltig, mittelsteif, mit dünnen Zwischenschichten aus Sand

1.50 m: KIES, sandig, dicht bis sehr dicht gelagert

Abbruchkriterium CPTU (1.73 m):
Erreichen der Höchstleistung des Druckgerätes (200 bar)

Abbruchkriterium DPSH (10.0 m):
Erreichen der gewünschten Eindringtiefe,

**undrainierte Scherfestigkeit**

1 10 100 1000

sehr weich | weich | mittel | steif | hart | sehr hart

**drainierte Scherfestigkeit**

0 20 40 60

**Lagerungsdichte**

0.0 0.5 1.0

sehr locker | locker | mitteldicht | dicht | sehr dicht

**In-situ Spannungsverhältnisse / Deformationseigenschaften**

1 10 100 1000

Tiefe ab OK Terrain [m] / absolute Höhe [m ü. M.]

0 407 | 1 | 2 406 | 3 405 | 4 404 | 5 403 | 6 402 | 7 401 | 8 400 | 9 399 | 10 398 | 11 397 | 12 396 | 13 395 | 14 394 | 15 393 | 16 392 | 17 391 | 18 390 | 19 389 | 20 388

Ausführungsdatum : 24.06.2024
Ansatzpunkt : 407.80 m ü. M.

Koordinaten : 2688418 m O
1234776 m N

**Sondierung: CPTU - DPSH 4-24**

**ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG**
**Interpretierte geotechnische Erwartungswerte**
Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen

GeODin-System / $%FILENAME$ / 01.07.2024/09:44:58

GEOPROFILE

+ undrainierte Scherfestigkeit $c_u$ [kN/m²]
○ Sensitivität $S_t$ [-]
× effektiver innerer Reibungswinkel ϕ [°]
· effektive Kohäsion c' [kN/m²]
△ bezogene Lagerungsdichte $I_D$ [-]
□ Vorkonsolidierungsdruck $\sigma'_p$ [kN/m²]
+ oedometrischer Steifemodul bei Erstbelastung $E_{oed}$ (früher: $M_{E,1}$ bzw. $E_s$) [MN/m²]

gezeichnet: Marynelle Duran Datum: 25.06.2024 kontrolliert: Hendrik Tuenter

**geotechnische Beschreibung**

0.00 m: SILT, sandig, tonig, mittelsteif, lokal steif, mit dünnen Zwischenschichten aus Sand und Ton

1.65 m: KIES, sandig, mitteldicht bis dicht gelagert, mit Zwischenschichten aus Sand

Abbruchkriterium CPTU (6.94 m): Erreichen der Höchstleistung der Auflagevorrichtung

**undrainierte Scherfestigkeit**

1 | 10 | 100 | 1000
sehr weich | weich | mittel steif | steif | hart | sehr hart

**drainierte Scherfestigkeit**

0 | 20 | 40 | 60

**Lagerungsdichte**

0.0 | 0.5 | 1.0
sehr locker | locker | mittel dicht | dicht | sehr dicht

**In-situ Spannungsverhältnisse / Deformationseigenschaften**

1 | 10 | 100 | 1000

**Tiefe ab OK Terrain [m]** / **absolute Höhe [m ü. M.]**

| Tiefe ab OK Terrain [m] | absolute Höhe [m ü. M.] |
|---|---|
| 0 | 408 |
| 1 | 407 |
| 2 | 406 |
| 3 | 405 |
| 4 | 404 |
| 5 | 403 |
| 6 | 402 |
| 7 | 401 |
| 8 | 400 |
| 9 | 399 |
| 10 | 398 |
| 11 | 397 |
| 12 | 396 |
| 13 | 395 |
| 14 | 394 |
| 15 | 393 |
| 16 | 392 |
| 17 | 391 |
| 18 | 390 |
| 19 | 389 |
| 20 | |

Ausführungsdatum : 24.06.2024
Ansatzpunkt : 408.30 m ü. M.

Koordinaten : 2688482 m O
1234733 m N

**Sondierung: CPTU 5-24**

**ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG**
**Interpretierte geotechnische Erwartungswerte**
Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen

GeODin-System / $%FILENAME$ / 01.07.2024/10:20:29

GEOPROFILE

+ undrainierte Scherfestigkeit $c_u$ [kN/m²]
○ Sensitivität $S_t$ [-]
× effektiver innerer Reibungswinkel ϕ [°]
· effektive Kohäsion c' [kN/m²]
△ bezogene Lagerungsdichte $I_D$ [-]
□ Vorkonsolidierungsdruck $\sigma'_p$ [kN/m²]
+ oedometrischer Steifemodul bei Erstbelastung $E_{oed}$ (früher: $M_{E,1}$ bzw. $E_s$) [MN/m²]

gezeichnet: Marynelle Duran Datum: 25.06.2024 kontrolliert: Hendrik Tuenter

GeODin-System / $%FILENAME$ / 01.07.2024/11:15:36

**geotechnische Beschreibung**

0.00 m: KIES, sandig, siltig, dicht bis sehr dicht gelagert, mit Zwischenschichten aus Silt, Ton und Sand

Abbruchkriterium CPTU (3.52 m):
Erreichen der Höchstleistung des Druckgerätes (200 bar)

Abbruchkriterium DPSH (6.6 m):
Erreichen der maximalen Schlagzahl während eines Tiefenintervalls (50 Schlage für 2cm)

**undrainierte Scherfestigkeit**

1 10 100 1000
sehr weich | weich | mittel steif | steif | hart | sehr hart

**drainierte Scherfestigkeit**

0 20 40 60

**Lagerungsdichte**

0.0 0.5 1.0
sehr locker | locker | mittel dicht | dicht | sehr dicht

**In-situ Spannungsverhältnisse / Deformationseigenschaften**

1 10 100 1000

Tiefe ab OK Terrain [m]: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
absolute Höhe [m ü. M.]: 408 407 406 405 404 403 402 401 400 399 398 397 396 395 394 393 392 391 390 389

Ausführungsdatum : 25.06.2024
Ansatzpunkt : 408.70 m ü. M.
Koordinaten : 2688620 m O
1234664 m N

**Sondierung: SCPTU - DPSH 6-24**

**ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG**
**Interpretierte geotechnische Erwartungswerte**
Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen

GEOPROFILE

+ undrainierte Scherfestigkeit $c_u$ [kN/m²]
○ Sensitivität $S_t$ [-]
× effektiver innerer Reibungswinkel ϕ [°]
· effektive Kohäsion c' [kN/m²]
△ bezogene Lagerungsdichte $I_D$ [-]
□ Vorkonsolidierungsdruck $\sigma'_p$ [kN/m²]
+ oedometrischer Steifemodul bei Erstbelastung $E_{oed}$ (früher: $M_{E,1}$ bzw. $E_s$) [MN/m²]

gezeichnet: Marynelle Duran Datum: 25.06.2024 kontrolliert: Hendrik Tuenter

GeODin-System / $%FILENAME$ / 01.07.2024/11:28:14

**geotechnische Beschreibung**

0.00 m: KIES, sandig, dicht bis sehr dicht gelagert

0.75 m: SILT, tonig, mittelsteif

1.15 m: SAND, mitteldicht bis dicht gelagert, mit dünnen Zwischenschichten aus Kies

4.40 m: KIES, dicht bis sehr dicht gelagert

Abbruchkriterium CPTU (4.53 m):
Erreichen der Höchstleistung der Messsensoren
($q_c$ = 57.14 MPa )

Tiefe ab OK Terrain [m]: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

absolute Höhe [m ü. M.]: 409 408 407 406 405 404 403 402 401 400 399 398 397 396 395 394 393 392 391 390

**undrainierte Scherfestigkeit**

1 10 100 1000

sehr weich | weich | mittel steif | steif | hart | sehr hart

**drainierte Scherfestigkeit**

0 20 40 60

**Lagerungsdichte**

0.0 0.5 1.0

sehr locker | locker | mittel dicht | dicht | sehr dicht

**In-situ Spannungsverhältnisse / Deformationseigenschaften**

1 10 100 1000

Ausführungsdatum : 26.06.2024
Ansatzpunkt : 409.70 m ü. M.

Koordinaten : 2688692 m O
1234590 m N

**Sondierung: CPTU 7-24**

**ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG**
**Interpretierte geotechnische Erwartungswerte**
Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen

GEOPROFILE

+ undrainierte Scherfestigkeit $c_u$ [kN/m²]
○ Sensitivität $S_t$ [-]
× effektiver innerer Reibungswinkel ϕ [°]
· effektive Kohäsion c' [kN/m²]
△ bezogene Lagerungsdichte $I_D$ [-]
□ Vorkonsolidierungsdruck $\sigma'_p$ [kN/m²]
+ oedometrischer Steifemodul bei Erstbelastung $E_{oed}$ (früher: $M_{E,1}$ bzw. $E_s$) [MN/m²]

gezeichnet: Marynelle Duran Datum: 25.06.2024 kontrolliert: Hendrik Tuenter

**geotechnische Beschreibung**

0.00 m: SILT, sandig, tonig, weich bis mittelsteif, mit dünnen Zwischenschichten aus Sand, mit Steinen

0.80 m: SAND, kiesig, mitteldicht gelagert, mit dünnen Zwischenschichten aus Silt und Kies

4.45 m: SILT, sandig, tonig, mittelsteif bis steif, mit Zwischenschichten aus Sand und Ton

7.70 m: SAND, kiesig, siltig, locker bis mitteldicht gelagert, mit dünnen Zwischenschichten aus Silt

8.55 m: KIES, dicht gelagert

Abbruchkriterium CPTU (8.62 m):
Erreichen der Höchstleistung des Druckgerätes (200 bar )

Tiefe ab OK Terrain [m] / absolute Höhe [m ü. M.]

| Tiefe [m] | absolute Höhe [m ü. M.] |
|---|---|
| 0 | 407 |
| 1 | |
| 2 | 406 |
| 3 | 405 |
| 4 | 404 |
| 5 | 403 |
| 6 | 402 |
| 7 | 401 |
| 8 | 400 |
| 9 | 399 |
| 10 | 398 |
| 11 | 397 |
| 12 | 396 |
| 13 | 395 |
| 14 | 394 |
| 15 | 393 |
| 16 | 392 |
| 17 | 391 |
| 18 | 390 |
| 19 | 389 |
| 20 | 388 |

**undrainierte Scherfestigkeit**

1 | 10 | 100 | 1000

sehr weich | weich | mittelsteif | steif | hart | sehr hart

**drainierte Scherfestigkeit**

0 | 20 | 40 | 60

**Lagerungsdichte**

0.0 | 0.5 | 1.0

sehr locker | locker | mittel dicht | dicht | sehr dicht

**In-situ Spannungsverhältnisse / Deformationseigenschaften**

1 | 10 | 100 | 1000

Ausführungsdatum : 25.06.2024
Ansatzpunkt : 407.91 m ü. M.

Koordinaten : 2689095 m O
1234507 m N

**Sondierung: SCPTU 8-24**

**ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG**
**Interpretierte geotechnische Erwartungswerte**
Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen

GeODin-System / $%FILENAME$ / 01.07.2024/12:12:04

+ undrainierte Scherfestigkeit $c_u$[kN/m²]
○ Sensitivität $S_t$ [-]

× effektiver innerer Reibungswinkel ϕ [°]
· effektive Kohäsion c' [kN/m²]

△ bezogene Lagerungsdichte $I_D$[-]

□ Vorkonsolidierungsdruck $\sigma'_p$ [kN/m²]
+ oedometrischer Steifemodul bei Erstbelastung $E_{oed}$ (früher: $M_{E,1}$ bzw. $E_s$) [MN/m²]

gezeichnet: Marynelle Duran Datum: 25.06.2024 kontrolliert: Hendrik Tuenter

GeODin-System / $%FILENAME$ / 01.07.2024/12:19:49

**Tiefe ab OK Terrain [m]** / **absolute Höhe [m ü. M.]**

**geotechnische Beschreibung**

0.00 m: KIES, sandig, siltig, sehr dicht gelagert

0.50 m: TON, mittelsteif bis steif

0.75 m: KIES, sandig, siltig, mitteldicht bis dicht gelagert, lokal sehr dicht, mit Zwischenschichten aus Silt und Sand

Abbruchkriterium CPTU (10.00 m):
Erreichen der gewünschten Eindringtiefe

**undrainierte Scherfestigkeit**

1 10 100 1000

sehr weich | weich | mittel steif | steif | hart | sehr hart

**drainierte Scherfestigkeit**

0 20 40 60

**Lagerungsdichte**

0.0 0.5 1.0

sehr locker | locker | mittel dicht | dicht | sehr dicht

**In-situ Spannungsverhältnisse / Deformationseigenschaften**

1 10 100 1000

Ausführungsdatum : 27.06.2024
Ansatzpunkt : 408.38 m ü. M.

Koordinaten : 2689251 m O
1234432 m N

**ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG**
**Interpretierte geotechnische Erwartungswerte**
Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen

**Sondierung: CPTU 9-24**

GEOPROFILE

+ undrainierte Scherfestigkeit $c_u$ [kN/m²]
○ Sensitivität $S_t$ [-]
× effektiver innerer Reibungswinkel ϕ [°]
· effektive Kohäsion c' [kN/m²]
△ bezogene Lagerungsdichte $I_D$ [-]
□ Vorkonsolidierungsdruck $\sigma'_p$ [kN/m²]
+ oedometrischer Steifemodul bei Erstbelastung $E_{oed}$ (früher: $M_{E,1}$ bzw. $E_s$) [MN/m²]

gezeichnet: Marynelle Duran Datum: 25.06.2024 kontrolliert: Hendrik Tuenter

**geotechnische Beschreibung**

0.00 m: SILT, sandig, mittelsteif bis steif, mit Zwischenschichten aus Ton und Sand, mit wenig Steinen

1.55 m: TON, siltig, weich bis mittelsteif, mit einer dünnen Siltschicht

2.20 m: SAND, siltig, locker bis mitteldicht gelagert, mit dünnen Zwischenschichten aus Silt und Ton

3.25 m: SILT, weich bis mittelsteif, mit Zwischenschichten aus Sand und Ton

8.75 m: KIES, sandig, dicht bis sehr dicht gelagert, mit einer Sandschicht

Abbruchkriterium CPTU (10.00 m):
Erreichen der gewünschten Eindringtiefe

**undrainierte Scherfestigkeit**

1 10 100 1000
sehr weich | weich | mittelsteif | steif | hart | sehr hart

**drainierte Scherfestigkeit**

0 20 40 60

**Lagerungsdichte**

0.0 0.5 1.0
sehr locker | locker | mittel dicht | dicht | sehr dicht

**In-situ Spannungsverhältnisse / Deformationseigenschaften**

1 10 100 1000

Tiefe ab OK Terrain [m] 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

absolute Höhe [m ü. M.] 407 406 405 404 403 402 401 400 399 398 397 396 395 394 393 392 391 390 389 388

Ausführungsdatum : 25.06.2024
Ansatzpunkt : 407.70 m ü. M.
Koordinaten : 2689395 m O
1234323 m N

**Sondierung: CPTU 10-24**

**ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG**
**Interpretierte geotechnische Erwartungswerte**
Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen

GeODin-System / $%FILENAME$ / 01.07.2024/12:27:06

+ undrainierte Scherfestigkeit $c_u$[kN/m²]
○ Sensitivität $S_t$ [-]

× effektiver innerer Reibungswinkel ϕ [°]
· effektive Kohäsion c' [kN/m²]

△ bezogene Lagerungsdichte $I_D$[-]

□ Vorkonsolidierungsdruck $\sigma'_p$ [kN/m²]
+ oedometrischer Steifemodul bei Erstbelastung $E_{oed}$ (früher: $M_{E,1}$ bzw. $E_s$) [MN/m²]

**geotechnische Beschreibung**

0.00 m: TON, siltig, weich bis mittelsteif, mit dünnen Zwischenschichten aus Silt und Sand

2.00 m: SAND, siltig, mitteldicht gelagert, mit einer dünnen Siltschicht

2.60 m: KIES, sandig, sehr dicht gelagert, mit Zwischenschichten aus Sand, evtl. Molasse

Abbruchkriterium CPTU (4.06 m):
Erreichen der Höchstleistung der Messsensoren ($q_c$ = 56.16 MPa)

Abbruchkriterium DPSH (7.2 m):
Erreichen der maximalen Schlagzahl während eines Tiefenintervalls (55 Schlage für 10cm)

**undrainierte Scherfestigkeit**

1 10 100 1000
sehr weich | weich | mittel steif | steif | hart | sehr hart

**drainierte Scherfestigkeit**

0 20 40 60

**Lagerungsdichte**

0.0 0.5 1.0
sehr locker | locker | mittel dicht | dicht | sehr dicht

**In-situ Spannungsverhältnisse / Deformationseigenschaften**

1 10 100 1000

Tiefe ab OK Terrain [m]: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

absolute Höhe [m ü. M.]: 407 406 405 404 403 402 401 400 399 398 397 396 395 394 393 392 391 390 389 388

Ausführungsdatum : 27.06.2024
Ansatzpunkt : 407.90 m ü. M.

Koordinaten : 2689545 m O
1234200 m N

**Sondierung: CPTU - DPSH 11-24**

**ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG**
**Interpretierte geotechnische Erwartungswerte**
Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen

gezeichnet: Marynelle Duran Datum: 25.06.2024 kontrolliert: Hendrik Tuenter

GeODin-System / $%FILENAME$ / 01.07.2024/17:06:25

GEOPROFILE

+ undrainierte Scherfestigkeit $c_u$ [kN/m²]
○ Sensitivität $S_t$ [-]
× effektiver innerer Reibungswinkel ϕ [°]
· effektive Kohäsion c' [kN/m²]
△ bezogene Lagerungsdichte $I_D$ [-]
□ Vorkonsolidierungsdruck $\sigma'_p$ [kN/m²]
+ oedometrischer Steifemodul bei Erstbelastung $E_{oed}$ (früher: $M_{E,1}$ bzw. $E_s$) [MN/m²]

gezeichnet: Marynelle Duran Datum: 25.06.2024 kontrolliert: Hendrik Tuenter

GeODin-System / $%FILENAME$ / 01.07.2024/12:34:00

**geotechnische Beschreibung**

0.00 m: TON, siltig, mittelsteif bissteif, Wechsellagerung aus Sand und Ton, mit dünnen Zwischenschichten aus Silt

0.60 m: KIES, sandig, dicht gelagert, sehr dicht am Boden der Schicht, mit dünnen Zwischenschichten aus Sand

Abbruchkriterium CPTU (2.40 m):
Erreichen der Höchstleistung der Messsensoren ($q_c$ = 55.6 MPa)

Abbruchkriterium DPSH (2.6 m):
Erreichen der maximalen Schlagzahl während eines Tiefenintervalls (100 Schlage für 7cm)

**undrainierte Scherfestigkeit**

1 10 100 1000
sehr weich | weich | mittel steif | steif | hart | sehr hart

**drainierte Scherfestigkeit**

0 20 40 60

**Lagerungsdichte**

0.0 0.5 1.0
sehr locker | locker | mittel dicht | dicht | sehr dicht

**In-situ Spannungsverhältnisse / Deformationseigenschaften**

1 10 100 1000

**Tiefe ab OK Terrain [m]** / **absolute Höhe [m ü. M.]**

| Tiefe ab OK Terrain [m] | absolute Höhe [m ü. M.] |
|---|---|
| 0 | 406 |
| 1 | |
| 2 | 405 |
| 3 | 404 |
| 4 | 403 |
| 5 | 402 |
| 6 | 401 |
| 7 | 400 |
| 8 | 399 |
| 9 | 398 |
| 10 | 397 |
| 11 | 396 |
| 12 | 395 |
| 13 | 394 |
| 14 | 393 |
| 15 | 392 |
| 16 | 391 |
| 17 | 390 |
| 18 | 389 |
| 19 | 388 |
| 20 | 387 |

Ausführungsdatum : 25.06.2024
Ansatzpunkt : 406.80 m ü. M.

Koordinaten : 2689659 m O
1234172 m N

**Sondierung: CPTU-DPSH 12-24**

**ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG**
**Interpretierte geotechnische Erwartungswerte**
Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen

+ undrainierte Scherfestigkeit $c_u$ [kN/m²]
○ Sensitivität $S_t$ [-]

× effektiver innerer Reibungswinkel ϕ [°]
· effektive Kohäsion c' [kN/m²]

△ bezogene Lagerungsdichte $I_D$ [-]

□ Vorkonsolidierungsdruck $\sigma'_p$ [kN/m²]
+ oedometrischer Steifemodul bei Erstbelastung $E_{oed}$ (früher: $M_{E,1}$ bzw. $E_s$) [MN/m²]

**geotechnische Beschreibung**

0.00 m: SILT, sandig, mittelsteif bis steif, mit Zwischenschichten aus Sand

2.50 m: KIES, sandig, dicht bis sehr dicht gelagert, evtl. Molasse

Abbruchkriterium CPTU (2.92 m):
Erreichen der Höchstleistung der Messsensoren ($q_c$ = 62.01 MPa)

Abbruchkriterium DPSH (2.93 m):
Erreichen der maximalen Schlagzahl während eines Tiefenintervalls (60 Schlage für 6 cm)

**undrainierte Scherfestigkeit**

1 10 100 1000
sehr weich | weich | mittel steif | steif | hart | sehr hart

**drainierte Scherfestigkeit**

0 20 40 60

**Lagerungsdichte**

0.0 0.5 1.0
sehr locker | locker | mittel dicht | dicht | sehr dicht

**In-situ Spannungsverhältnisse / Deformationseigenschaften**

1 10 100 1000

**Tiefe ab OK Terrain [m]** / **absolute Höhe [m ü. M.]**

| Tiefe ab OK Terrain [m] | absolute Höhe [m ü. M.] |
|---|---|
| 0 | 408 |
| 1 | 407 |
| 2 | 406 |
| 3 | 405 |
| 4 | 404 |
| 5 | 403 |
| 6 | 402 |
| 7 | 401 |
| 8 | 400 |
| 9 | 399 |
| 10 | 398 |
| 11 | 397 |
| 12 | 396 |
| 13 | 395 |
| 14 | 394 |
| 15 | 393 |
| 16 | 392 |
| 17 | 391 |
| 18 | 390 |
| 19 | 389 |
| 20 | |

Ausführungsdatum : 27.06.2024
Ansatzpunkt : 408.30 m ü. M.

Koordinaten : 2689728 m O
1234129 m N

**Sondierung: CPTU - DPSH 13-24**

**ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG**
**Interpretierte geotechnische Erwartungswerte**
Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen

gezeichnet: Marynelle Duran Datum: 25.06.2024 kontrolliert: Hendrik Tuenter

GeODin-System / $%FILENAME$ / 01.07.2024/17:23:21

GEOPROFILE

+ undrainierte Scherfestigkeit $c_u$ [kN/m²]
○ Sensitivität $S_t$ [-]
× effektiver innerer Reibungswinkel ϕ [°]
· effektive Kohäsion c' [kN/m²]
△ bezogene Lagerungsdichte $I_D$ [-]
□ Vorkonsolidierungsdruck $\sigma'_p$ [kN/m²]
+ oedometrischer Steifemodul bei Erstbelastung $E_{oed}$ (früher: $M_{E,1}$ bzw. $E_s$) [MN/m²]

gezeichnet: Marynelle Duran Datum: 25.06.2024 kontrolliert: Hendrik Tuenter

GeODin-System / $%FILENAME$ / 01.07.2024/12:38:37

**geotechnische Beschreibung**

0.00 m: KIES, sandig, sehr dicht gelagert

0.75 m: SILT, sandig, tonig, steif bis lokal hart, mit Zwischenschichten aus Ton und Sand, mit Steinen

3.65 m: KIES, sandig, sehr dicht gelagert

Abbruchkriterium CPTU (4.18 m):
Erreichen der Höchstleistung des Druckgerätes (200 bar)

**undrainierte Scherfestigkeit**

1 10 100 1000
sehr weich | weich | mittel | steif | hart | sehr hart

**drainierte Scherfestigkeit**

0 20 40 60

**Lagerungsdichte**

0.0 0.5 1.0
sehr locker | locker | mittel | dicht | sehr dicht

**In-situ Spannungsverhältnisse / Deformationseigenschaften**

1 10 100 1000

Tiefe ab OK Terrain [m]: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
absolute Höhe [m ü. M.]: 408 407 406 405 404 403 402 401 400 399 398 397 396 395 394 393 392 391 390 389

Ausführungsdatum : 27.06.2024
Ansatzpunkt : 408.04 m ü. M.
Koordinaten : 2689875 m O
1234082 m N

**Sondierung: CPTU 14-24**

**ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG**
**Interpretierte geotechnische Erwartungswerte**
Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen

GEOPROFILE

+ undrainierte Scherfestigkeit $c_u$ [kN/m²]
○ Sensitivität $S_t$ [-]
× effektiver innerer Reibungswinkel ϕ [°]
· effektive Kohäsion c' [kN/m²]
△ bezogene Lagerungsdichte $I_D$ [-]
□ Vorkonsolidierungsdruck $\sigma'_p$ [kN/m²]
+ oedometrischer Steifemodul bei Erstbelastung $E_{oed}$ (früher: $M_{E,1}$ bzw. $E_s$) [MN/m²]

gezeichnet: Marynelle Duran Datum: 25.06.2024 kontrolliert: Hendrik Tuenter

| Tiefe ab OK Terrain [m] | absolute Höhe [m ü. M.] |
|---|---|
| 0 | 407 |
| 1 | 406 |
| 2 | 405 |
| 3 | 404 |
| 4 | 403 |
| 5 | 402 |
| 6 | 401 |
| 7 | 400 |
| 8 | 399 |
| 9 | 398 |
| 10 | 397 |
| 11 | 396 |
| 12 | 395 |
| 13 | 394 |
| 14 | 393 |
| 15 | 392 |
| 16 | 391 |
| 17 | 390 |
| 18 | 389 |
| 19 | 388 |
| 20 | |

**geotechnische Beschreibung**

0.00 m: SILT, sandig, mittelsteif bis steif, mit Zwischenschichten aus Sand und Ton

0.95 m: SAND, siltig, mitteldicht gelagert

1.55 m: TON, siltig, sehr weich bis weich, mit dünnen Zwischenschichten aus Silt, Torf und Sand

5.45 m: SAND, siltig, kiesig, mitteldicht gelagert, mit Zwischenschichten aus Silt und Kies

8.30 m: SILT, sandig, steif bis hart, mit dünnen Zwischenschichten aus Sand

9.00 m: KIES, sandig, mitteldicht bis dicht gelagert

Abbruchkriterium CPTU (9.63 m): Erreichen der Höchstleistung der Auflagevorrichtung

**undrainierte Scherfestigkeit**

1 | 10 | 100 | 1000

sehr weich | weich | mittel steif | steif | hart | sehr hart

**drainierte Scherfestigkeit**

0 | 20 | 40 | 60

**Lagerungsdichte**

0.0 | 0.5 | 1.0

sehr locker | locker | mittel dicht | dicht | sehr dicht

**In-situ Spannungsverhältnisse / Deformationseigenschaften**

1 | 10 | 100 | 1000

Ausführungsdatum : 26.06.2024
Ansatzpunkt : 407.20 m ü. M.

Koordinaten : 2689984 m O
1234077 m N

**Sondierung: SCPTU 15-24**

**ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG**
**Interpretierte geotechnische Erwartungswerte**
Geotechnische Untersuchungen, SBB Horgen - Au, 8810 Horgen

GeODin-System / $%FILENAME$ / 01.07.2024/15:22:23

**BEILAGE E**

**SCHERWELLENGESCHWINGIGKEIT ALS FUNKTION DER TIEFE**

**INHALT** Beilage


| | |
|---|---|
| Bemerkungen zur Messung der Scherwellengeschwindigkeit | E1 |
| Aufgezeichnete Seismogramme (SCPTU 1-24) | E2 – E3 |
| Aufgezeichnete Seismogramme (SCPTU 2-24) | E4 – E5 |
| Aufgezeichnete Seismogramme (SCPTU 6-24) | E6 |
| Aufgezeichnete Seismogramme (SCPTU 8-24) | E7 |
| Aufgezeichnete Seismogramme (S-PTU 15-24) | E8 |
| Geotechnische Kennwerte (SCPTU 1-24) | E9 |
| Geotechnische Kennwerte (SCPTU 2-24) | E10 |
| Geotechnische Kennwerte (SCPTU 6-24) | E11 |
| Geotechnische Kennwerte (SCPTU 8-24) | E12 |
| Geotechnische Kennwerte (SCPTU 15-24) | E13 |
| Geotechnische Kennwerte (Zusammenfassung) | E14 |

## BEMERKUNGEN ZUR MESSUNG DER SCHERWELLENGESCHWINDIGKEIT

Das SDMT-Modul ist ein Gerät zur Aufzeichnung von seismischen Wellen im Boden, mit welchem die Scherwellengeschwindigkeit Vs ermittelt wird. Das Modul zeichnet die an der Oberfläche erzeugten Scherwellen mittels zweier Geophone auf, welche in einem vertikalen Versatz von 0.5 m angeordnet sind. Das Gerät kann in Kombination mit einer CPT-Messsonde, einem DMT-Flachdilatometer oder einer blinden Spitze eingesetzt werden.

Die S-Welle wird in der Regel mit einem Hammer erzeugt, der in horizontaler Richtung auf einen Amboss geschlagen wird. Dazu wird der Amboss vertikal nach unten gedrückt, um eine gute Kopplung mit dem Boden zu gewährleisten. Die Längsachse des Ambosses wird parallel zur Achse der Sensoren ausgerichtet, um die Empfindlichkeit der erzeugten Scherwellen zu maximieren.

Die Scherwellengeschwindigkeit Vs ist das Verhältnis zwischen der Differenz der Abstände von der Mitte des Ambosses und zu den einzelnen Empfängern (S2 - S1) und der Verzögerungszeit (Δt) zwischen dem Eintreffen der Welle am oberen und am unteren Geophon/Empfänger.

Der maximale Schermodul G0 wird nach der bekannten Formel G0 = ρ Vs2 gerechnet, wobei ρ für das Raumgewicht und Vs für die Scherwellengeschwindigkeit steht. Die Bodendichte wird anhand des Einheitsgewichts ermittelt, welches mit Hilfe der Tabelle von MARCHETTI & CRAPPS (1981) geschätzt wird.

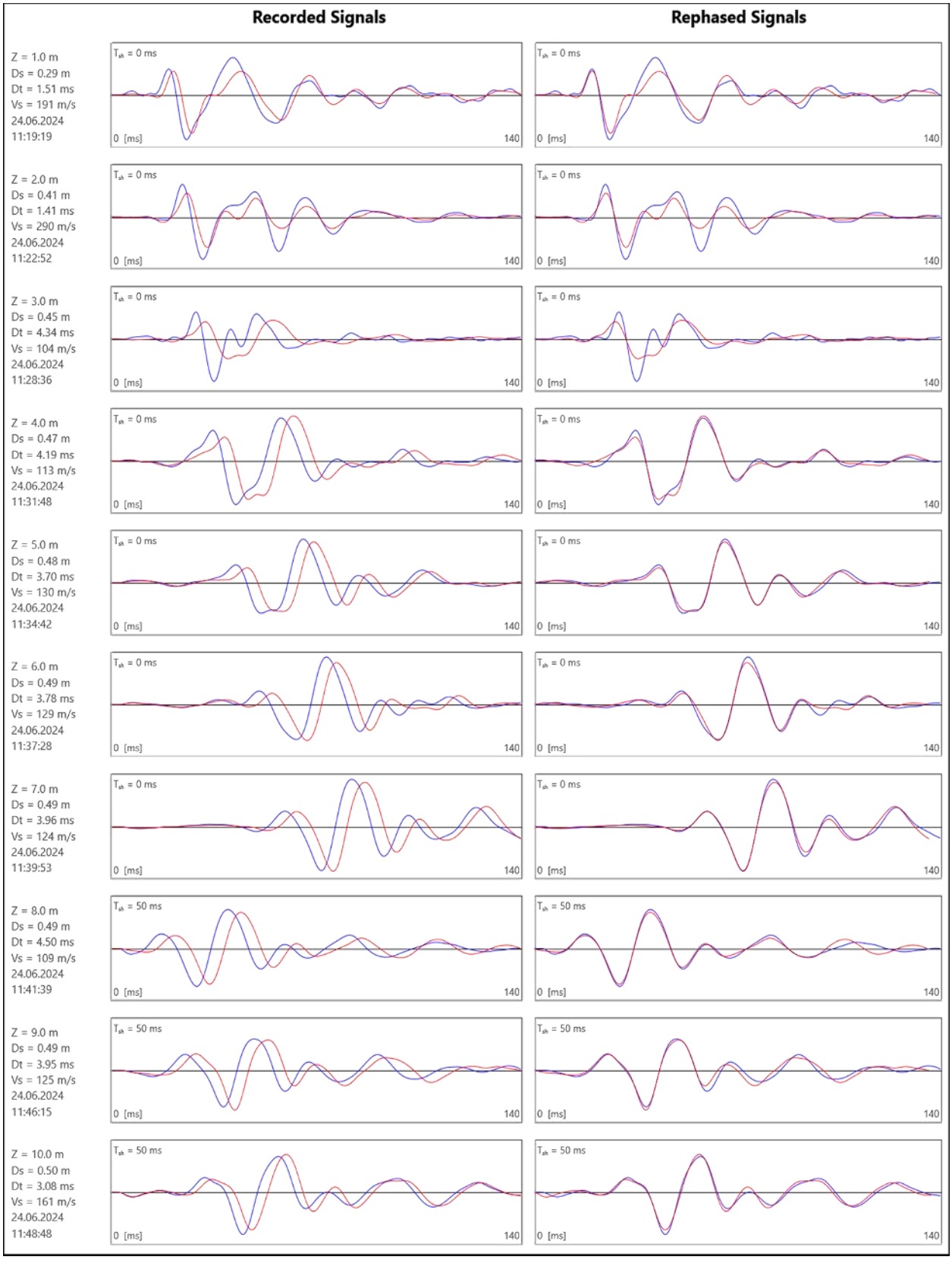
References


ASTM INTERNATIONAL (2014). Standard Test Methods for Downhole Seismic Testing. *ASTM D7400–14*. West Conshohocken, PA.

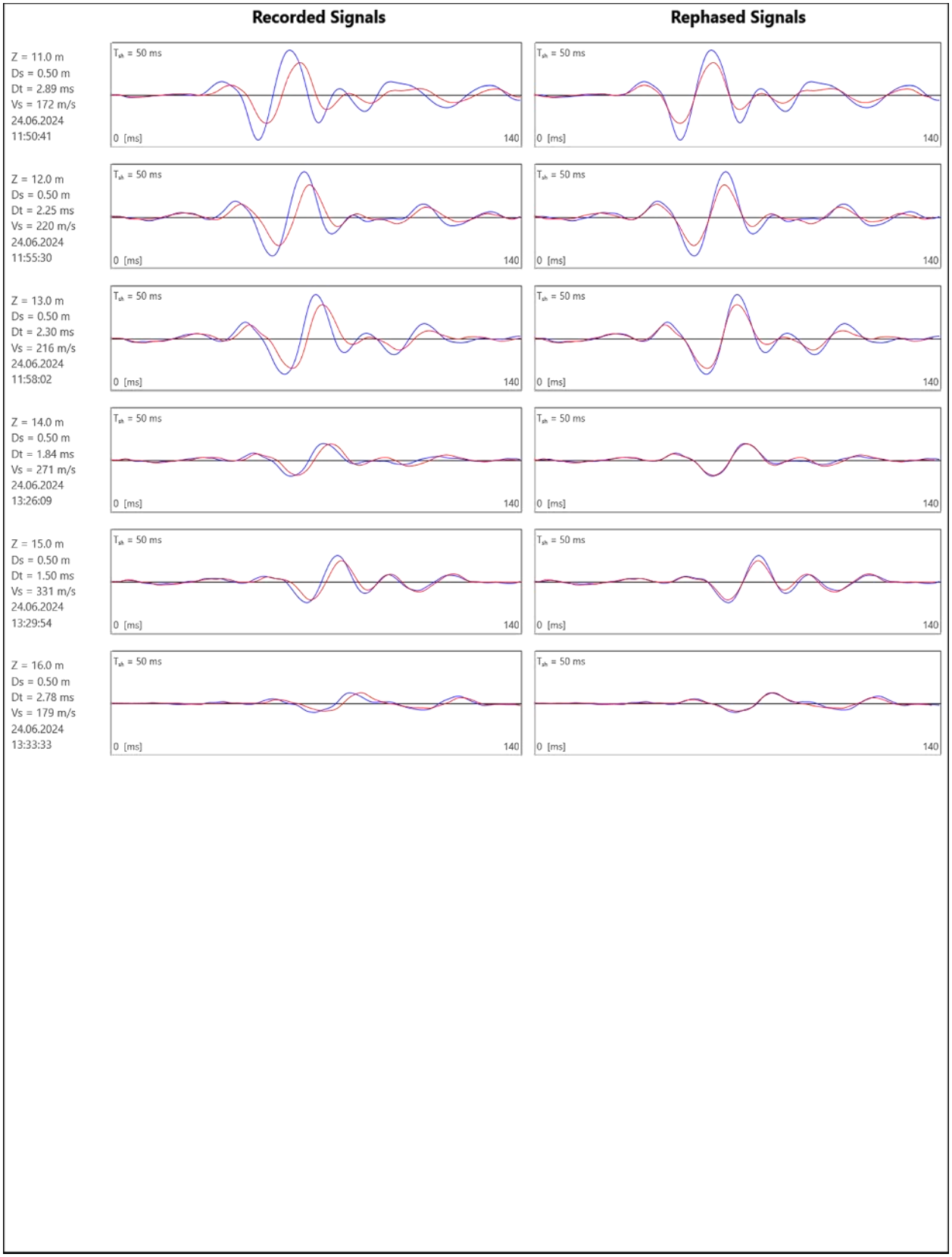
MARCHETTI, S., MONACO, P., TOTANI, G. & MARCHETTI, D. (2008). In situ tests by seismic dilatometer (SDMT). proceedings. From research to practice in geotechnical engineering, *ASCE Geotechnical special publication 180*: 292-311.

AMOROSO S., MONACO P., LEHANE B. M., MARCHETTI D. (2014). Examination of the potential of the seismic dilatometer (SDMT) to estimate in-situ stiffness decay curves in various soil types. *Soils and rocks 37(3)*:177-194.

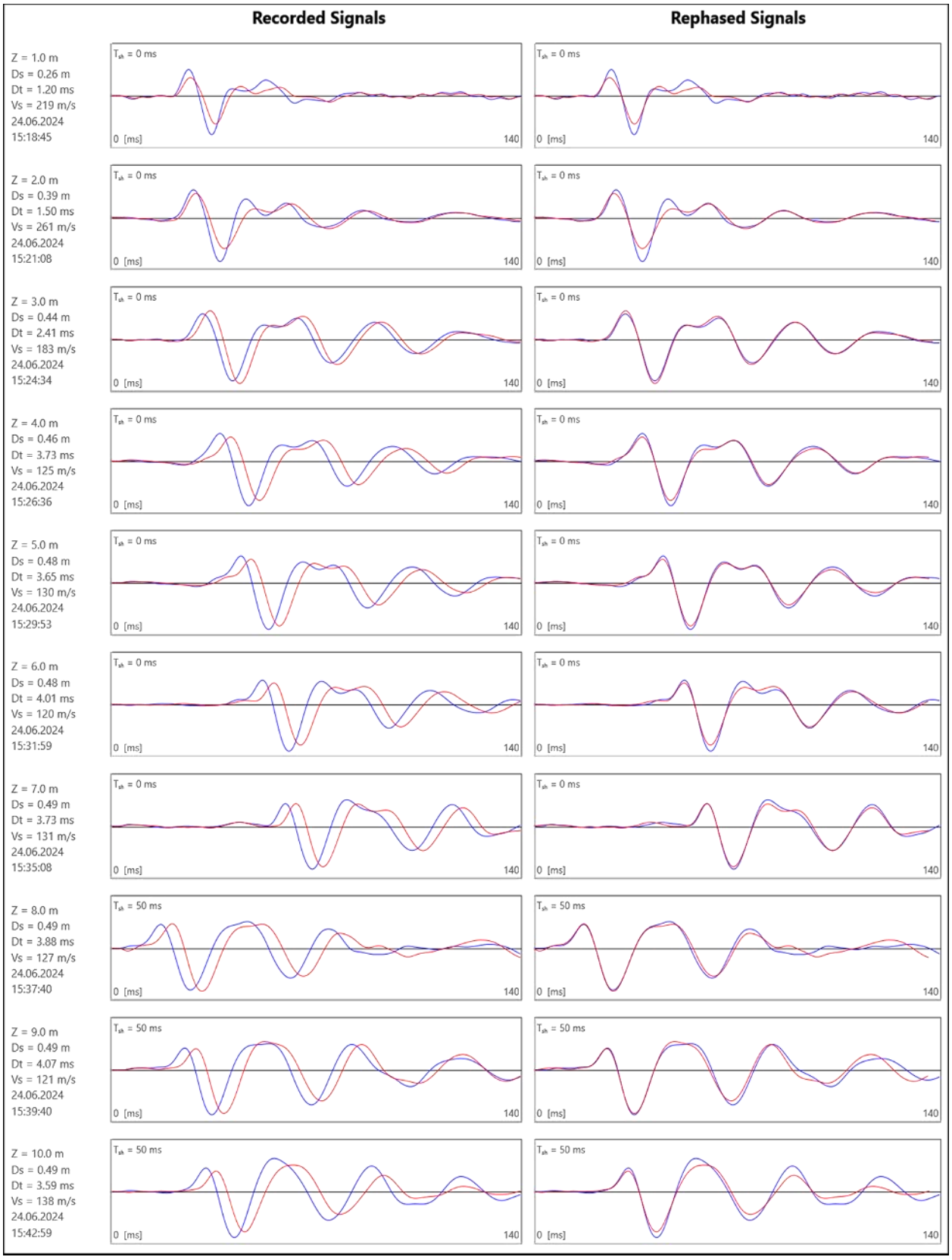
## AUFGEZEICHNETE SEISMOGRAMME (SCPTU 1-24)



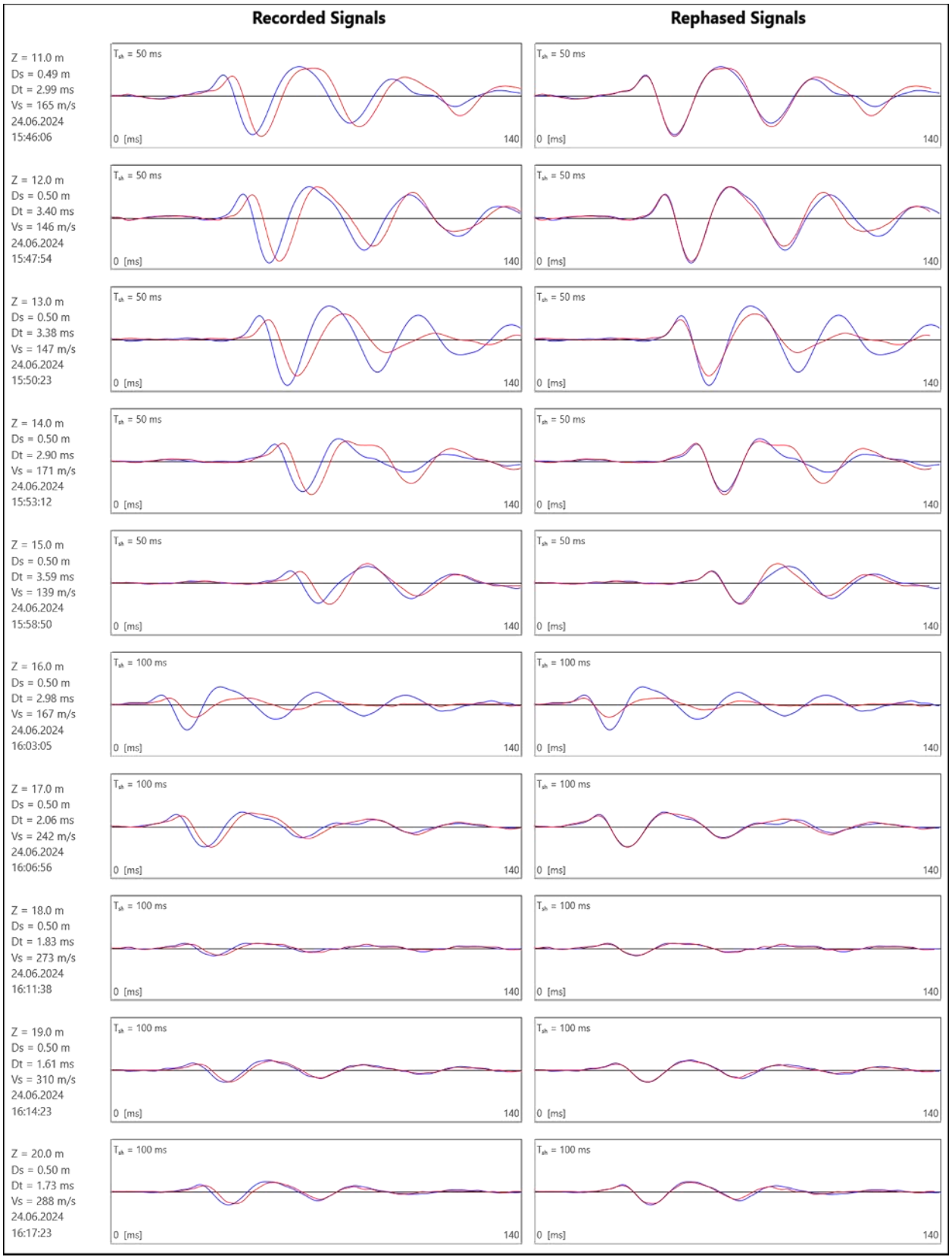
## AUFGEZEICHNETE SEISMOGRAMME (SCPTU 1-24)



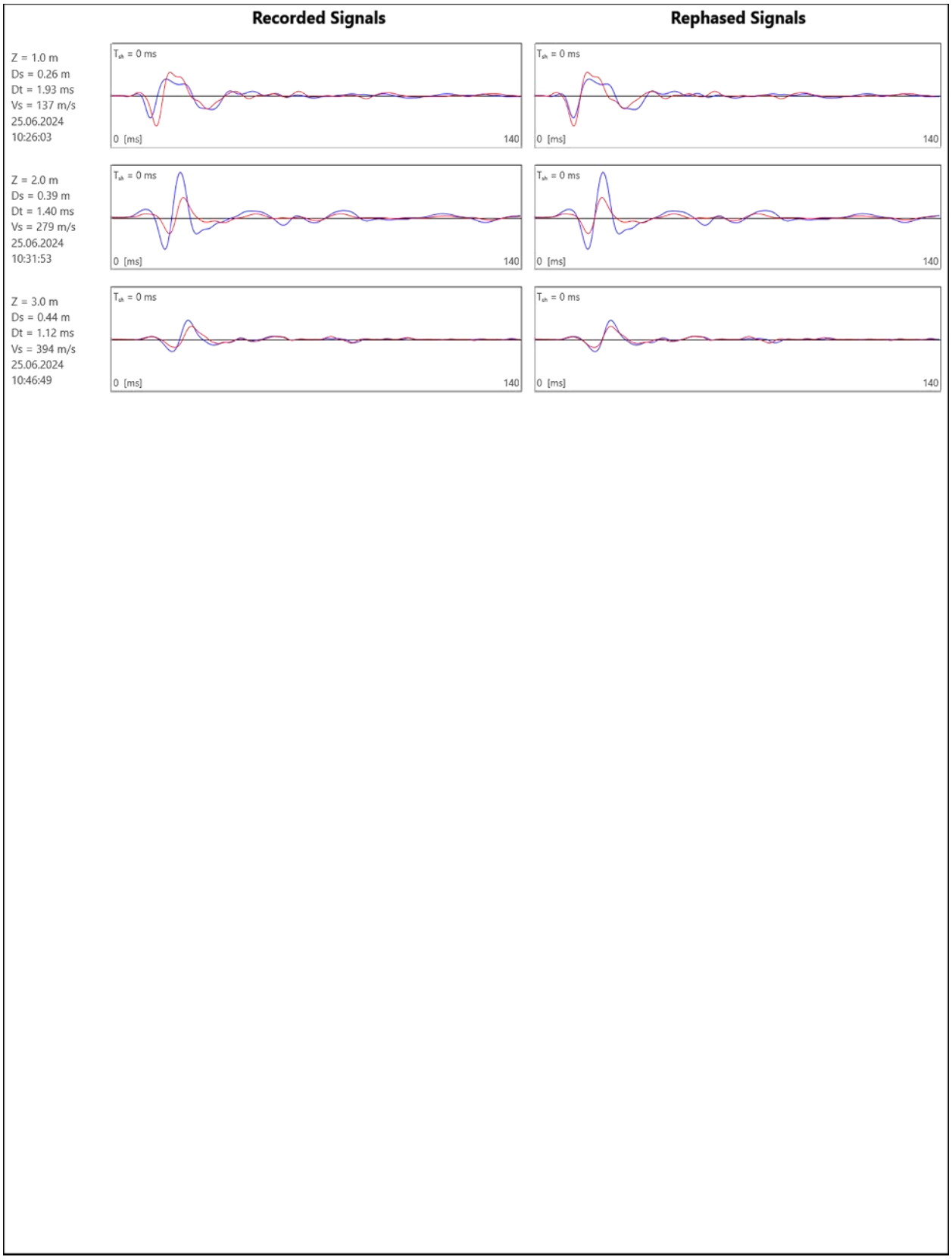
## AUFGEZEICHNETE SEISMOGRAMME (SCPTU 2-24)



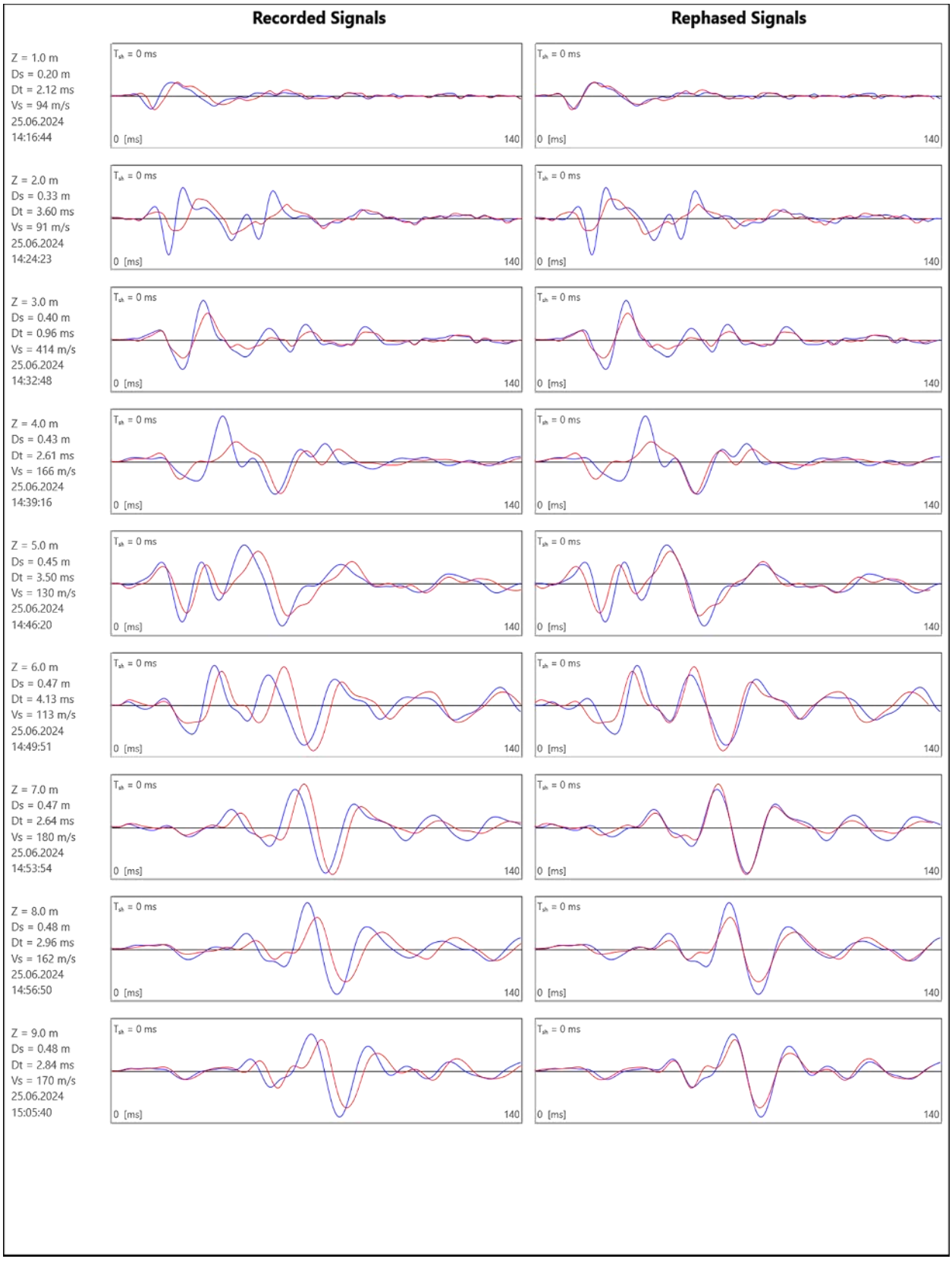
## AUFGEZEICHNETE SEISMOGRAMME (SCPTU 2-24)



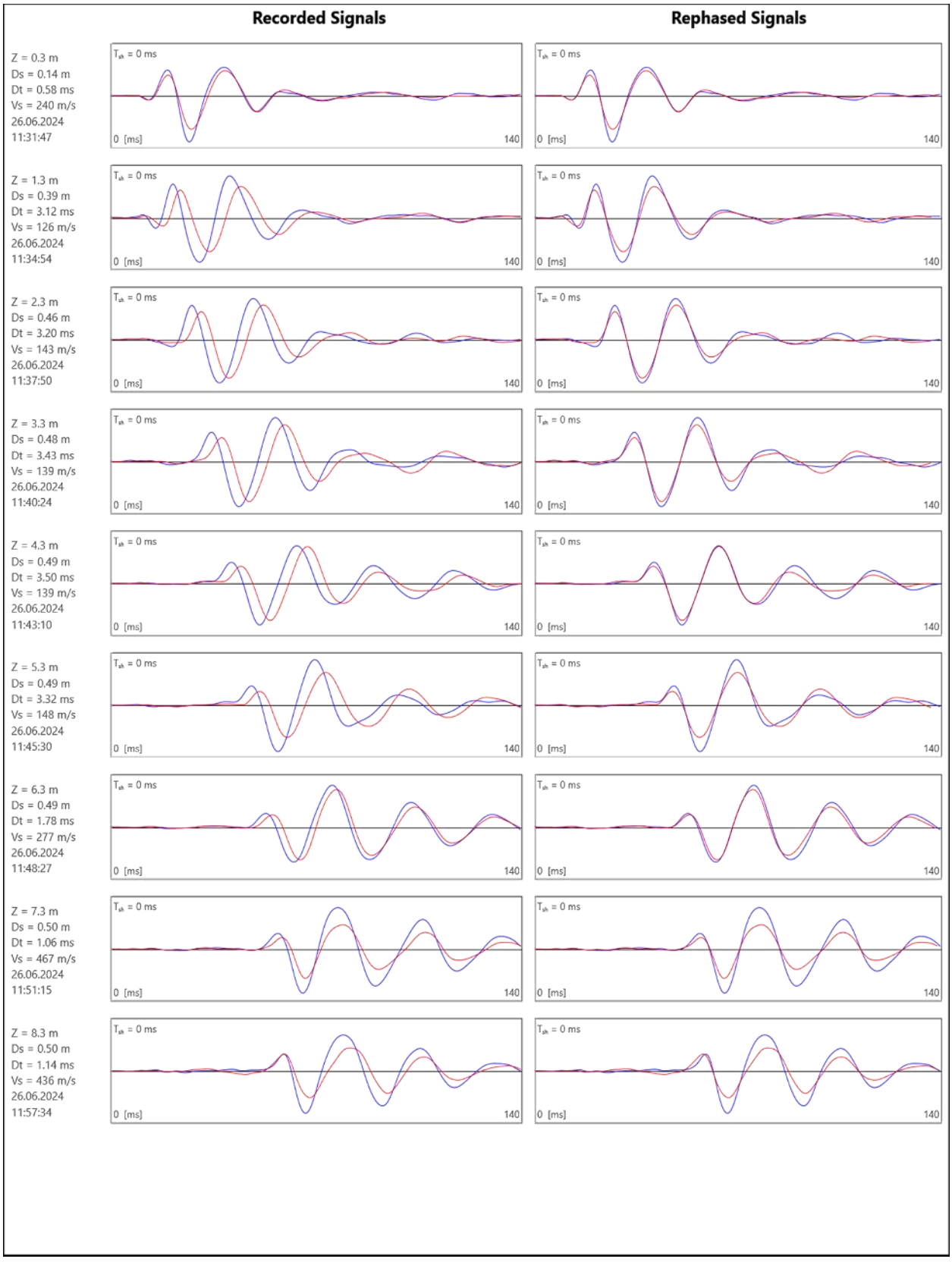
## AUFGEZEICHNETE SEISMOGRAMME (SCPTU 6-24)



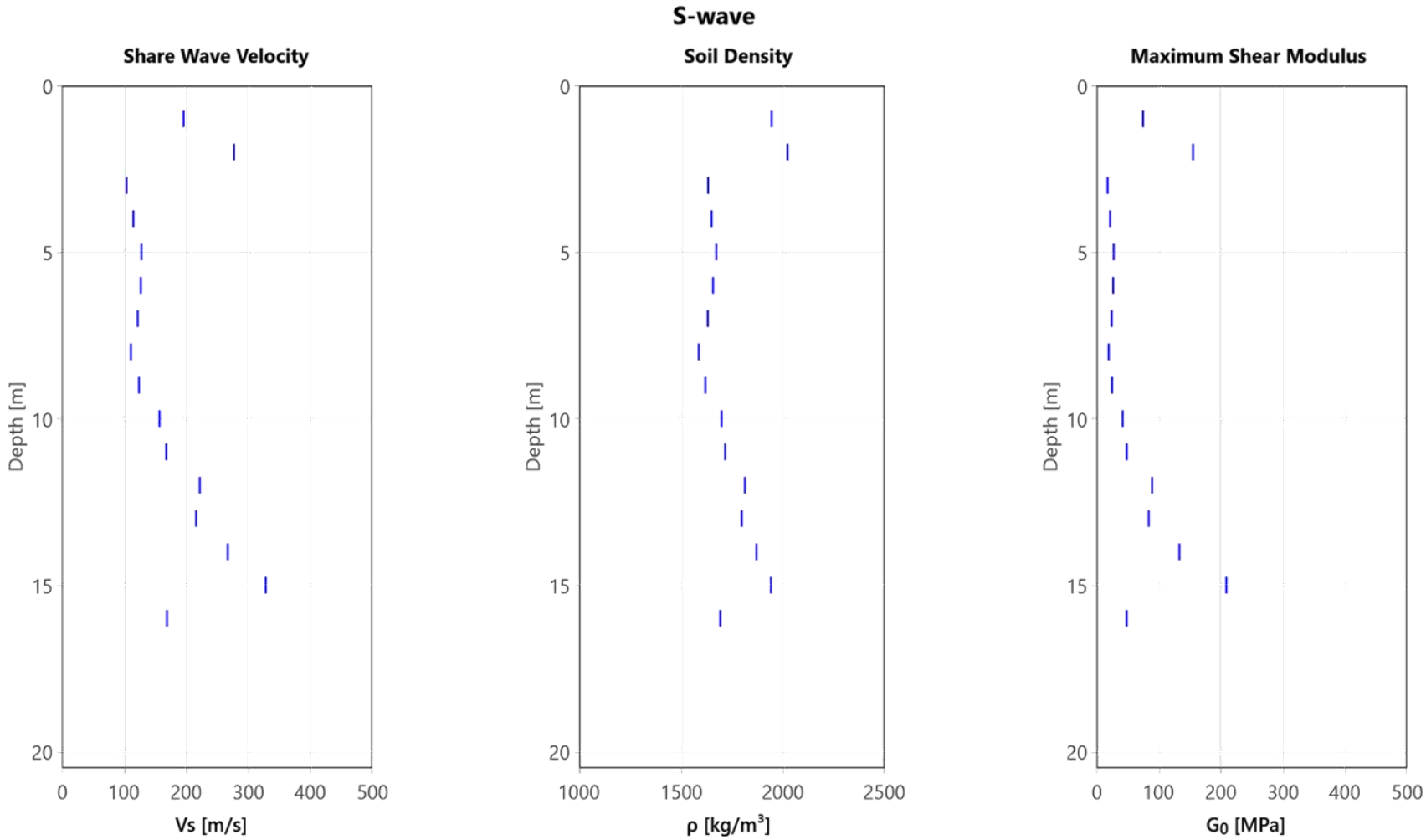
## AUFGEZEICHNETE SEISMOGRAMME (SCPTU 8-24)



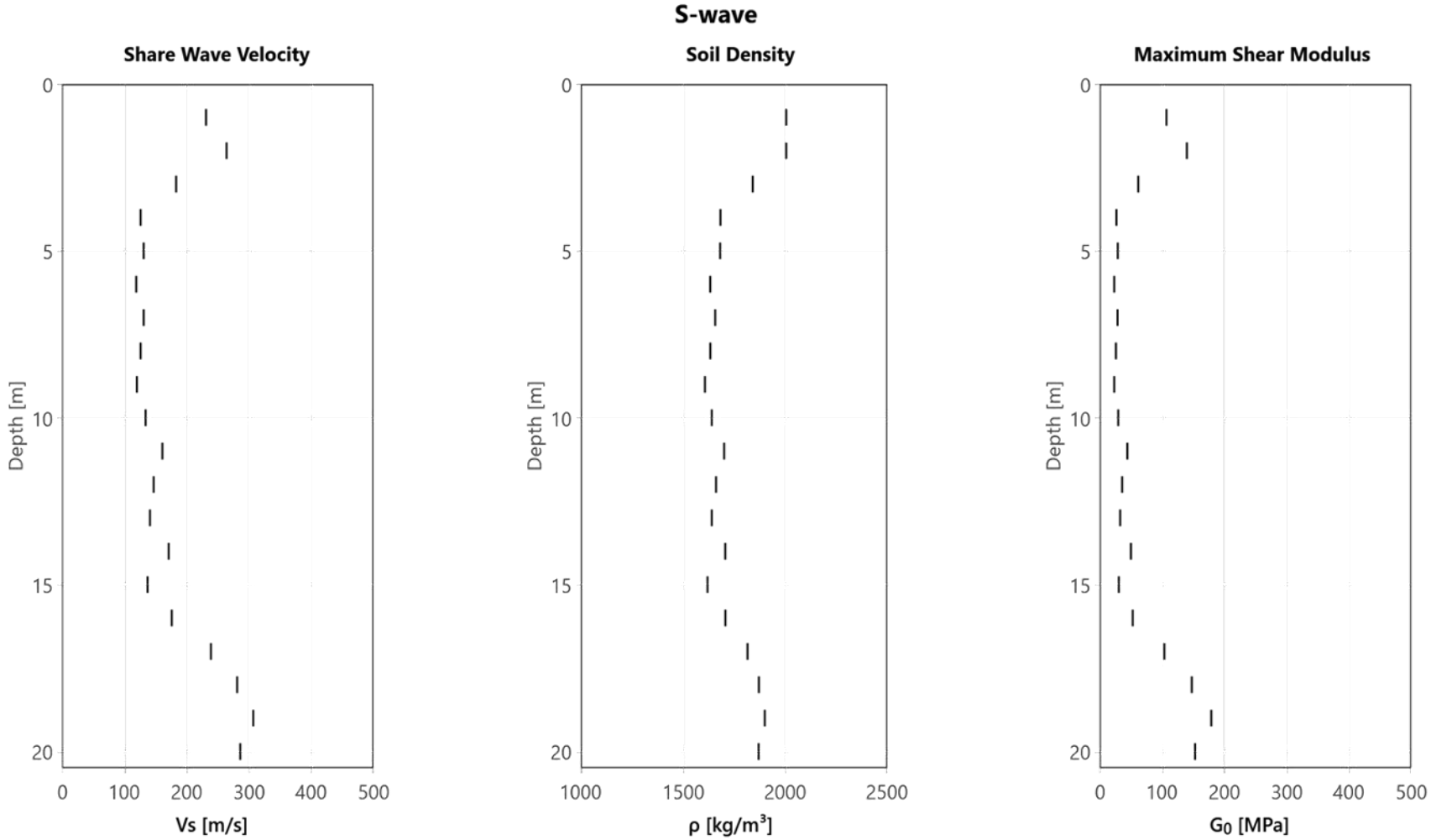
## AUFGEZEICHNETE SEISMOGRAMME (SCPTU 15-24)



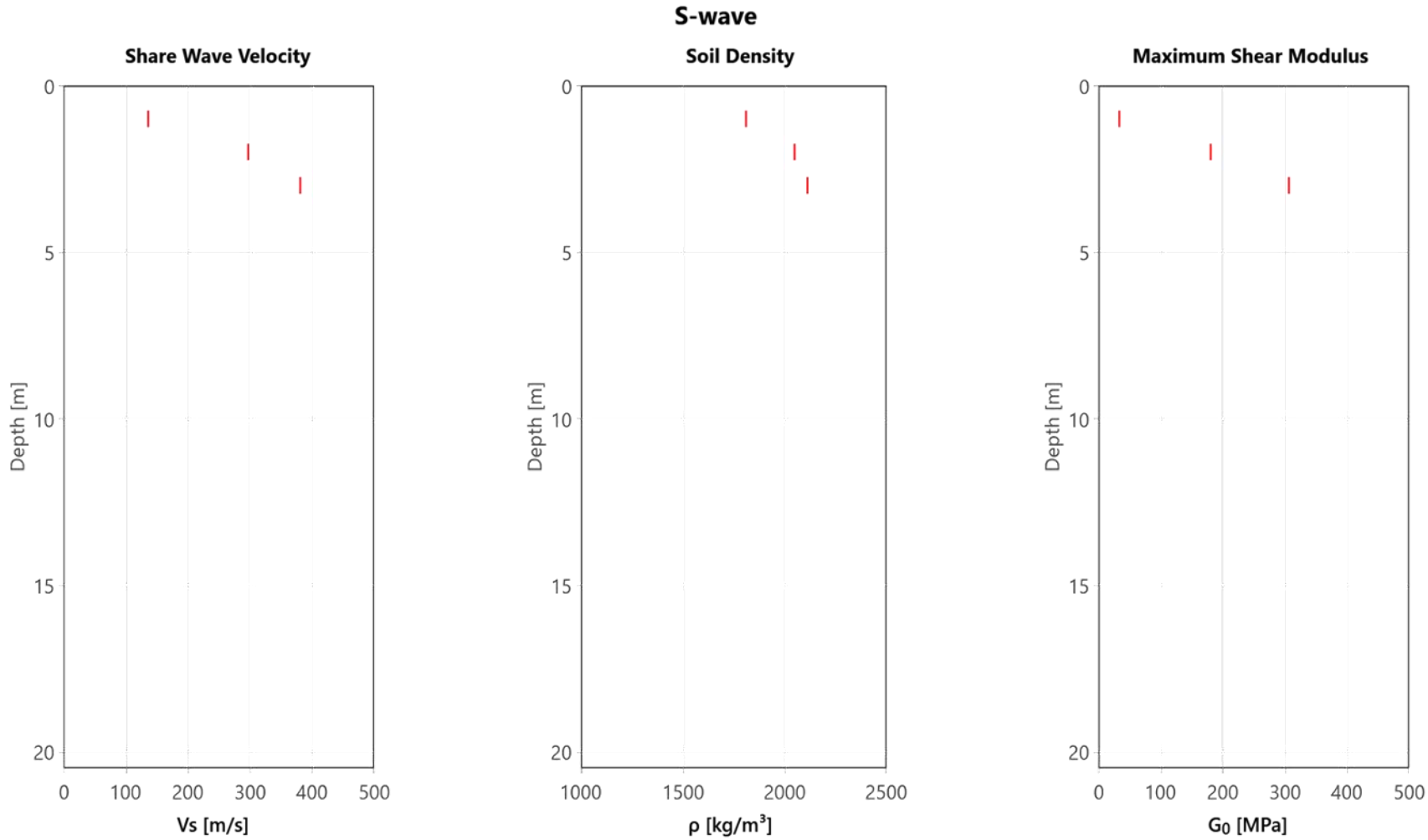
## GEOTECHNISCHE KENNWERTE (SCPTU 1-24)



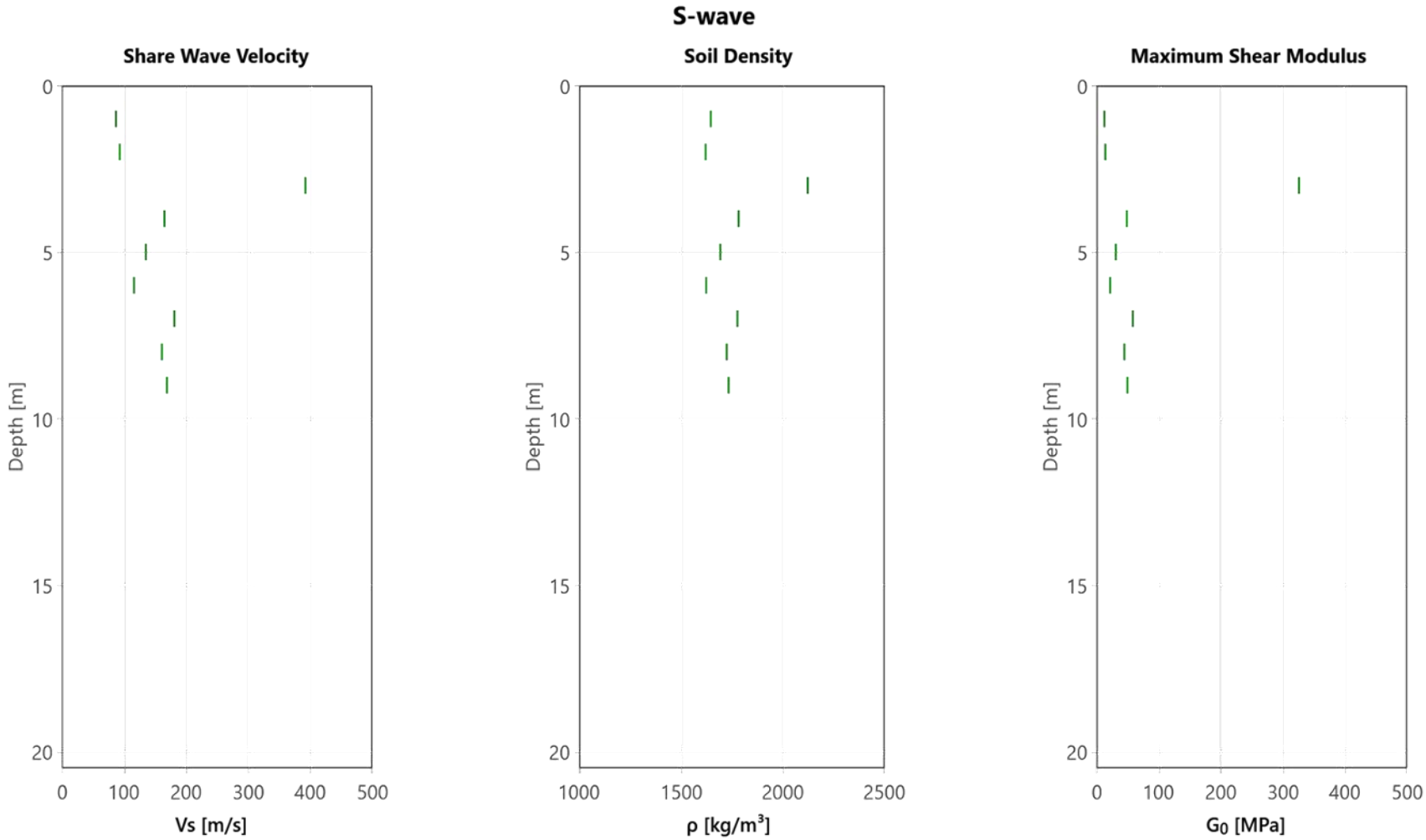
**GEOTECHNISCHE KENNWERTE (SCPTU 2-24)**



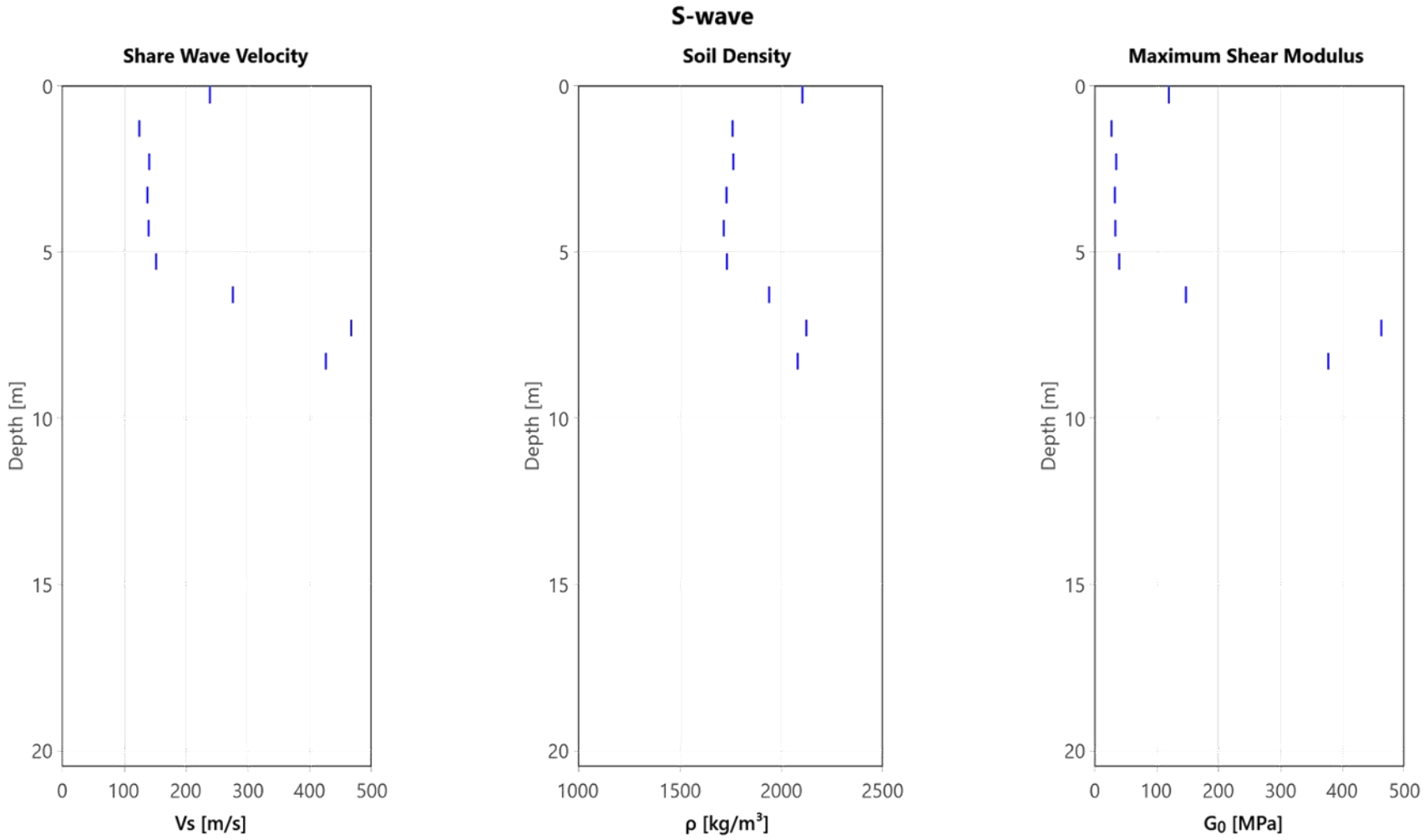
## GEOTECHNISCHE KENNWERTE (SCPTU 6-24)



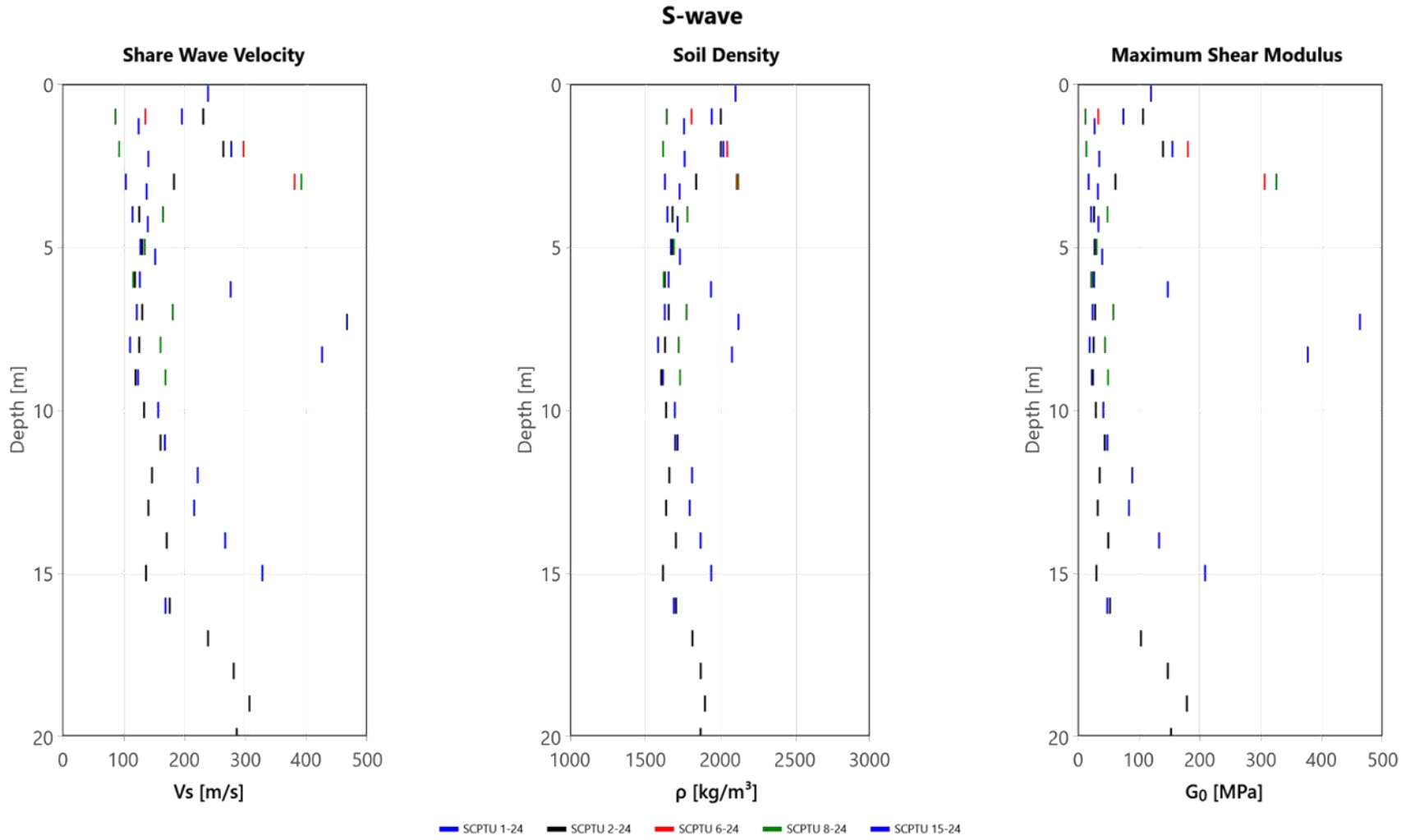
## GEOTECHNISCHE KENNWERTE (SCPTU 8-24)



## GEOTECHNISCHE KENNWERTE (SCPTU 15-24)



## GEOTECHNISCHE KENNWERTE (alle SCPTU)



**ANHÄNGE**

**ALLGEMEINE HINTERGRUNDINFORMATION**

**INHALT**

Anhang 1 : Elektrische Drucksondierung (CPT)

Anhang 2 : Interpretation der elektrischen Drucksondierung (CPT)

Anhang 3 : Rammsondierung (DP)

## ALLGEMEINES

Die Drucksondierung (CPT) ist ein Verfahren, das häufig zur Untersuchung des Baugrunds verwendet wird. Hierbei wird der Widerstand des Baugrunds bei konstantem und kontinuierlichem Eindringen mit einem zylindrischen und mit internen Sensoren ausgestatteten Penetrometer bestimmt. Gemessen werden Eindringtiefe (z), Spitzenwiderstand ($q_c$), lokale Mantelreibung ($f_s$) und ggf. Porenwasserdruck ($u_2$) und der vertikale Neigungswinkel ($i_x$ bzw. $i_y$). Die Ergebnisse ermöglichen eindeutige Rückschlüsse auf die Beschaffenheit des Baugrunds.

Die von Geoprofile für die Drucksondierung angewandten Verfahren und verwendeten Geräte richten sich nach ISO EN 22476-1 und den Regelungen der Veröffentlichung “International Reference Test Procedure” der internationalen Gesellschaft für Grundbau und Bodenmechanik (ISSMGE, 1999).

Wenn nicht anders vereinbart, gelten die folgenden Kriterien für die Beendigung des Versuchs:

- das Erreichen der gewünschten Eindringtiefe,
- die Abweichung von der Vertikale ist grösser als 15°,
- die Abweichung von der Vertikale vergrössert sich plötzlich,
- das Erreichen der Höchstleistung des Druckgerätes, der Auflagevorrichtung, der Schubstangen und/oder der Messsensoren,
- Umstände im Ermessen des Sondiermeisters, wie z.B. das Risiko von Sach- oder Personenschaden.

## ERGEBNISSE

Die Darstellung der Ergebnisse der Drucksondierungen umfasst:

- die Parameter $q_c$, $f_s$ und $R_f$ sowie $u_2$ in Abhängigkeit der Tiefe unter der Erdoberfläche,
- fakultativ die Parameter $q_t$, $q_n$ und $B_q$ bei Versuchen mit Porendruckmessungen,
- fakultativ den Neigungswinkel i bei Versuchen mit Winkelmessungen.

Als Bezugswert der Versuche gilt die Erdoberfläche. Die Definition der einzelnen Parameter ist wie folgt:

z = Eindringtiefe in die Erdoberfläche, bezüglich des vertikalen Neigungswinkels (i) korrigiert:

$$= \int_0^l \cos i \, . \, dl$$

dabei ist:

z = Eindringtiefe
l = Eindringlänge
i = vertikaler Neigungswinkel

Copyright Geoprofile GmbH

$q_c$ = Spitzenwiderstand bezüglich der Referenzwerte des Versuchs.

$f_s$ = lokale Mantelreibung. Die Tiefe wird so korrigiert, dass die (hinter der Spitze gemessene) Mantelreibung sich auf die Tiefe der Sondierspitze bezieht.

$R_f$ = Verhältnis der Mantelreibung zum Spitzenwiderstand ($f_s/q_c$).

$u_2$ = Porendruck direkt hinter der Sondierspitze (Position 2). Die Tiefe wird so korrigiert, dass der gemessene Porenwasserdruck sich auf die Tiefe der Sondierspitze bezieht.

Während der Versuchsdurchführung kann es u.U. zu einem Sättigungsverlust des Filterelementes kommen (Lunne et al., 1997). Zu den möglichen Gründen zählen:

- Eindringen in einen teilweise gesättigten Boden;
- Das Auftreten von negativem Porenwasserdruck, so dass es zu Kavitation kommt. Dies kann zum Beispiel beim Eindringen in einen dicht gelagerten Sand oder einen überkonsolidierten Ton auftreten.

Ein Sättigungsverlust führt normalerweise zu einem geringeren Porendruck beim Eindringen in den Boden unterhalb dieser Zone.

$q_t$ = Totaler Spitzenwiderstand. Diese Kenngrösse beinhaltet Korrekturen für den hydrostatischen und den transienten Porendruck sowie für die Konstruktion der Sondierspitze:

$$q_t = q_c+(1-a)u_2$$

Dabei gilt:

a = Netto-Flächenverhältnis des Querschnitts der Stahlfläche in der Öffnung zwischen der Sondierspitze und der Reibungshülse. Dieses Verhältnis ist von der Art des Penetrometers abhängig.

$q_n$ = $q_t-\sigma_{vo}$ = Netto-Spitzenwiderstand. Diese Kenngrösse beinhaltet Korrekturen für den hydrostatischen und den transienten Porendruck sowie für die Konstruktion der Sondierspitze und die In-Situ Spannung im Untergrund. Dabei gilt:

$\sigma_{vo}$ = totale vertikale In-Situ Spannung im Bereich der Sondierspitze. Dieser Wert ist berechnet.

$B_q$ = Porendruckverhältnis:

$B_q$ = $(u_2-u_o)/q_n$ mit

$u_o$ = hydrostatischer Porenwasserdruck im Bereich der Sondierspitze. Es handelt sich um einen

Copyright Geoprofile GmbH

berechneten Wert.

**WEITERE MESSUNGEN**

Mit der elektrischen Drucksondierung können weitere Messungen vorgenommen werden:

- Messung des hydrostatischen Wasserdrucks in einer bestimmten Tiefe;
- Dissipations-Test. Hierbei wird die Verringerung des transienten Porenwasserdrucks als Funktion der Zeit gemessen. Die Resultate erlauben Rückschlüsse auf die horizontale Durchlässigkeit von feinkörnigen Schichten und somit auf die benötigte Zeit bis zum Abklingen der primären Setzungen.
- Prüfung des Reibungs-Aufbaus. Hierbei wird die Zunahme der lokalen Mantelreibung nach einer Unterbrechung des Sondiervorgangs gemessen. Die Resultate erlauben Rückschlüsse auf die zeitlichen Entwicklung der Mantelreibung entlang eines Pfahlschafts.

Für die Durchführung dieser zusätzlichen Messungen muss der Sondiervorgang angehalten werden.

**LITERATURANGABEN**

CEN (2005), “Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Felduntersuchungen - Teil 1: Drucksondierungen mit elektrischen Messwertaufnehmern und Messeinrichtungen für den Porenwasserdruck (ISO EN 22476-1:2005)

ISSMGE International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (1999), “International Reference Test Procedure for the Cone Penetration Test (CPT) and the Cone Penetration Test with Pore Pressure (CPTU)”, Bericht vom ISSMGE Technical Committee 16 bzgl. der Bestimmung von Baugrundeigenschaften mittels in-situ Prüfverfahren, Proceedings of the Twelfth European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Amsterdam, editiert Barends et al., Vol. 3, pp. 2195-2222.

Lunne, T. (1999), “Special Workshop – Investigation Methods”, Proceedings of the Twelfth European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Amsterdam, editiert Barends et al., Additional Volume, pp. 51-52.

Copyright Geoprofile GmbH

## EINLEITUNG

Das vorliegende Dokument gibt einen Überblick der verwendeten Auswertungsmethoden für die Testergebnisse von Drucksondierungen. Die Eignung der einzelnen Methoden hängt unter anderem von den Anforderungen des jeweiligen Projektes ab und muss durch einen Geotechnik-Ingenieur beurteilt werden.

Die Auswertung von Drucksondierungsversuchsergebnissen hilft bei der Festlegung von Parametern für geotechnische Modelle. Die konventionellen Modelle stützen sich normalerweise auf die Plastizitätstheorie für den Grenzzustand der Tragfähigkeit und auf die Elastizitäts- und Konsolidierungstheorie für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (CEN, 1994). Merkmale für solche geotechnischen Modelle sind:

- eine Analyse des Verhaltens in drainiertem oder undrainiertem Zustand für Plastizitätsmodelle
- die Analyse für den Grenzzustand der Tragfähigkeit unterscheidet sich von der für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.

Die Auswertungsmethoden für Drucksondierungen basieren meist auf empirischen Korrelationen mit theoretischem Hintergrund. Die Datenintegration mit anderen, zusätzlichen Untersuchungstechniken wie Bohrungen und Laborversuchen erhöht den Grad der Zuverlässigkeit. Lunne et al. (1997) geben einen Überblick über verschiedene Auswertungsmethoden.

Die unten erläuterten Bewertungsmethoden unterliegen einigen Einschränkungen:

- Empirische Korrelationen beziehen sich auf Referenzparameter, welche in einem festgelegten Referenzverfahren gemessen wurden. So bezieht sich die mit einem $N_{kT}$-Faktor von Sondierergebnissen abgeleitete undrainierte Scherfestigkeit auf denen, welche in einem einstufigen, isotrop konsolidierten, undrainierten Triaxialversuch (CIU) an einer ungestörten Bodenprobe im Labor ermittelt wurde. Der Bezugsparameter ist nicht unbedingt dem gewählten geotechnischen Modell angemessen, so dass eine Anpassung erforderlich sein könnte.
- Die meisten Bewertungsmethoden gelten meistens für einen Sand oder einen Ton. Bei Silt, Ton/Sand/Kies Mischungen, sehr dünn geschichteten Böden, zementierten Schichten und/oder Verwitterungsböden kann es zu Abweichungen kommen. Im Falle von solchen Schichten muss spezifisch vorgegangen werden (Peuchen et al., 1996; Lunne et al., 1995).
- Die Auswertungen beziehen sich auf die Bedingungen zu Beginn der geotechnischen Untersuchungen. Geologische und umwelttechnische Faktoren sowie Bauarbeiten können die vorgefundenen Baugrundverhältnisse verändern.
- Die Drucksondierung gibt nur bedingt direkte Information über den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (Verformungen), da beim Eindringen der umliegende Boden stark deformiert wird. Im Vergleich zum Grenzzustand der Tragfähigkeit können genauere zusätzliche Daten erforderlich sein.

Copyright Geoprofile GmbH

- Drainiertes oder undrainiertes Verhalten für die geotechnische Analyse kann dem jeweiligen drainierten oder undrainierten Verhalten während dem Sondiervorgang entsprechen, muss dies aber nicht. Es ist Aufgabe des Geotechnik-Ingenieurs zu beurteilen, welches Verhalten für die geotechnische Fragestellung relevant ist.

## EINDRINGVERHALTEN

Während des Sondiervorgangs treten grössere Deformationen in unmittelbarer Nähe, und kleinere elastische Deformationen in grösserem Abstand des Penetrometers auf. Die Zusammensetzung der einzelnen Schichten, die Lagerungsdichte, die Struktur und die In-Situ Spannungsverhältnisse beeinflussen die Messgrössen.

Der gemessene Spitzenwiderstand $q_c$ wird unter anderem durch den Porenwasserdruck beeinflusst. Da das Verhältnis effektiver Spannung zum Porendruck in grobkörnigen Schichten hoch ist, kann dieser Einfluss normalerweise vernachlässigt werden. Beim Eindringen in Ton ist dasselbe Verhältnis jedoch niedrig. Es kann somit wichtig sein zu wissen, wie hoch der Porendruck um das Penetrometer herum ist. Zu den Parametern, die die Auswirkungen des Porendrucks berücksichtigen, zählen der Gesamtspitzenwiderstand $q_t$, der Netto-Spitzenwiderstand $q_n$ und das Porendruckverhältnis $B_q$. Diese Parameter können berechnet werden, wenn Daten bezüglich des Porenwasserdrucks vorliegen. Die Auswirkungen des Porendrucks auf die Mantelreibung $f_s$ sind sehr gering und werden üblicherweise ignoriert. Die Berechnung des Reibungsverhältnisses $R_f$ (definiert als $f_s/q_c$) lässt keine Rückschlüsse auf die Auswirkungen des Porendrucks zu.

Die Eindringgeschwindigkeit in Bezug auf die Durchlässigkeit des Bodens bestimmt, ob das Bodenverhalten in erster Linie undrainiert, drainiert oder teilweise drainiert ist. Normalerweise ist das Bodenverhalten bei Drucksondierungen in Sand und Kies drainiert (es gibt keinen messbaren, aufgrund des Sondiervorgangs hervorgerufenen Porenwasserüberdruck) und in Ton undrainiert (bedeutende Änderung des Porenwasserdrucks). Teilweise drainiert ist es bei Böden mit mittlerer Durchlässigkeit, wie z. B. bei Silt. Die folgenden Abschnitte gehen näher auf die Ermittlung von geotechnischen Parametern aufgrund von elektrischen Drucksondierungen ein.

## KLASSIFIZIERUNG

Die Klassifizierung der verschiedenen Schichten in Bezug auf das allgemeine Bodenverhalten (und in eingeschränkterem Masse die Bodenart) ist, im Vergleich mit anderen Ermittlungstechniken, ein wichtiger Teil der Drucksondierung.

Copyright Geoprofile GmbH

Die Klassifizierung des Bodenverhaltens steht im Einklang mit der von Robertson (1990) beschriebenen Vorgehensweise. Diese betrachtet eine normalisierte Klassifizierung des Bodenverhaltens, die eine allgemeine Leitlinie zur Bestimmung der wahrscheinlichen Bodenart (z. B. Sand, siltig) gibt. Hierzu sind Daten einer Porenwasserdrucksondierung nötig. Es besteht eine vereinfachte Vorgehensweise für Ergebnisse ohne Messung des Porenwasserdrucks (Robertson et al., 1986).

## IN-SITU SPANNUNGSVERHÄLTNISSE

Die Spannungsverhältnisse im Baugrund müssen bekannt sein, damit Parameter wie die bezogene Lagerungsdichte $I_D$ und der innere Reibungswinkel $\varphi'$ ermittelt werden können. Die effektive vertikale Spannung $\sigma'_v$ kann berechnet werden, jedoch ist die effektive horizontale Spannung $\sigma'_{ho} = K_o\sigma'_{vo}$ meist unbekannt und hängt primär vom Überkonsolidierungsgrad OCR [-] und dem effektiven inneren Reibungswinkel φ' [°] ab:

$$K_0 = (1 - \sin \varphi') \cdot OCR^{\sin \varphi'} \quad [1]$$

Für eine Erklärung der verwendeten Symbole siehe Anhang „elektrische Drucksondierung (CPT)“, insofern nicht anders erwähnt. Der Zusammenhang basiert auf mechanischer Überkonsolidierung von rekonstituierten Probekörpern im Labor. Überkonsolidierung kann in der Natur durch geologische Faktoren wie z.B. glaziale Vorbelastung und Erosion, aber auch durch Grundwasserschwankungen und das Altern der Ablagerungen („ageing“) hervorgerufen werden. Normalerweise bewegen sich In-Situ Werte für $K_o$ für Tiefen bis zu 50 m zwischen 0.4 und 2.0. In grösseren Tiefen (> 50 m) beträgt dieser Ruhedruckkoeffizient üblicherweise weniger als 1.

Der maximale passive Erddruck stellt eine Obergrenze für die effektive horizontale Spannung dar. Der Koeffizient des passiven Erddrucks richtet sich unter Vernachlässigung einer allfälligen Kohäsion nach:

$$K_p = \frac{1 + \sin \varphi'}{1 - \sin \varphi'} \quad [2]$$

Wenn die effektive horizontale Spannung das Niveau des passiven Erddrucks erreicht, können Risse im Erdreich entstehen. In ausgetrockneten Tonen kann auch früher Rissbildung auftreten. In verkitteten Schichten kann aufgrund der vorhandenen Kohäsion ein horizontaler Erddruck vorhanden sein, welcher grösser ist als oben beschrieben. Die Kombination der Beziehung für $K_0$ und $K_p$ ergibt eine Obergrenze für die Überkonsolidierung:

Copyright Geoprofile GmbH

$$OCR_{max} = \left\lceil \frac{1 + \sin \varphi'}{(1 - \sin \varphi')^2} \right\rceil^{\frac{1}{\sin \varphi'}} \quad [3]$$

Für einen Ton kann der maximale Überkonsolidierungsgrad $OCR_{max}$ somit weniger als 4, für einen Sand jedoch mehr als 50 betragen.

Der Überkonsolidierungsgrad von feinkörnigen Sedimenten kann direkt aus den Sondierergebnissen abgeleitet werden (Kulhawy und Mayne, 1990):

$$OCR = \alpha \cdot (q_T - \sigma_v) \quad [4]$$

Kulhawy und Mayne schlagen einen α-Wert von 0.3 [-] vor. Die Korrelation von elektrischen Drucksondierungen mit ausgewerteten Oedometer-Versuchen für Tone und Silte in der Schweiz suggeriert, dass ein Wert von 0.25 den Schweizer Verhältnissen besser angemessen sein dürfte. Geoprofile GmbH legt der Abschätzung des Überkonsolidierungsgrades (OCR) einen α-Wert von 0.25 zugrunde, was im Vergleich zu Kulhawy und Mayne zu einem etwas tieferen Überkonsolidierungsgrad führt.

Für Sande und Kiessande kann der Überkonsolidierungsgrad wie folgt abgeschätzt werden:

$$OCR = \left\lceil \frac{0.192 \cdot (q_t / p_{atm})^{0.22}}{(1 - \sin \varphi')(\sigma'_{vo} / p_{atm})^{0.31}} \right\rceil^{\frac{1}{\sin \varphi' - 0.27}}$$

wobei $p_{atm}$ den atmosphärischen Druck bezeichnet.

Der maximale Vorkonsolidierungsdruck $\sigma'_p$ ergibt sich aus der Multiplikation mit der effektiven vertikalen Spannung In-Situ:

$$\sigma'_p = \sigma'_{vo} \cdot OCR \quad [5]$$

Wird zudem der effektive innere Reibungswinkel φ' ermittelt, ist gemäss [1] auch der horizontale Erdruhedruck bekannt.

Copyright Geoprofile GmbH

## EFFEKTIVE SCHEREIGENSCHAFTEN

Der effektive innere Reibungswinkel φ' ist keine Konstante. Er hängt neben der Zusammensetzung (Mineralogie, Kornform und -rauheit) und der Lagerungsdichte zudem von den Spannungsverhältnissen im Erdreich und dem Abschermodus ab. Es gibt Hinweise dafür, dass Faktoren wie der Sedimentationsmodus oder die In-Situ Spannungsanisotropie weniger von Bedeutung sind.

Die ermittelten Werte der effektiven Reibungswinkel beziehen sich auf das In-Situ Spannungsniveau während der Sondierung. Dies dürfte z.B. für die Berechnung der Stabilität einer Böschung angemessen sein. Im Falle einer signifikanten Erhöhung der Spannungsverhältnisse, wie z.B. bei einer Aufschüttung oder einer Pfahlgründung, muss der effektive Reibungswinkel für Sand und Kiessand den neuen Verhältnissen angepasst werden, was meistens eine Verringerung der Scherparameter bedeutet. Das Verfahren nach Bolton (1986, 1987) stellt dazu eine breit akzeptierte Methode dar. Da der kritische Reibungswinkel $\varphi'_{krit}$ im Falle von feinkörnigen Böden bereits bei einem geringen Spannungsniveau erreicht wird, ist die Abstufung von effektiven Scherparametern für Ton und Silt weniger üblich.

Das Verhältnis des inneren Reibungswinkels φ' zum Spitzenwiderstand $q_c$ kann auf mehr oder weniger aufwendige Art und Weise ermittelt werden. Einfache Vorgehensweisen stützen sich auf eine konservative Klassifizierung des Bodenverhaltens. Eine aufwendigere empirische Untersuchung berücksichtigt zudem die In-Situ Spannungsverhältnisse $\sigma'_{vo}$ und $\sigma'_{ho}$ (siehe Abschnitt „In-Situ Spannungsverhältnisse“). Zudem kann die Lagerungsdichte explizit miteinbezogen werden. Neuere Ansätze verzichten jedoch darauf und berücksichtigen die Lagerungsdichte mit dem Einbezug von $q_c$ nur implizit, da bei der Abschätzung der Lagerungsdichte zusätzliche Unsicherheiten eingebracht werden.

Eine Überprüfung der Ergebnisse von Drucksondierungen in mit Sand gefüllten Kalibrationskammern erlaubt die Abschätzung des effektiven inneren Reibungswinkels φ’ für dieses Material (Kulhawy und Mayne, 1990):

$$\varphi' = 17.6 + 11 \cdot \log(q_{t1}) \qquad [6]$$

$$q_{t1} = \frac{q_t / p_{atm}}{\sqrt{\sigma'_{vo} / p_{atm}}} \qquad [p_{atm} = \text{atmosphärischer Druck} \approx 100\ \text{kPa}] \qquad [7]$$

Als Referenzverfahren gelten axial belastete Triaxialprüfungen von isotrop und anisotrop konsolidierten Sandproben (CID unf CAD). Die Korrelation enthält im Vergleich zu früheren Gleichungen (z.B. Robertson und Campanella, 1983) eine Korrektur für die Grösse der Kalibrationskammer im Vergleich zur Sondierspitze.

Copyright Geoprofile GmbH

Die Abschätzung der effektiven Scherparameter für fein- und gemischtkörnige Ablagerungen beruht auf einer Form der Tragfähigkeitsformel (Senneset et al., 1988, 1989):

$$q_n = N_m(\sigma'_{vo} + a) \quad [9]$$

wobei:

$$N_m = \frac{N_q - 1}{1 + N_u B_q} \quad [10]$$

$$N_q = \tan^2(45 + \tfrac{1}{2}\varphi') e^{(\pi - 2\beta)\tan\varphi'} \quad [11]$$

$$N_u = 6\tan\varphi'(1 + \varphi') \quad [12]$$

β = Plastifizierungswinkel

a = Anziehung

Dazu muss der Plastifizierungswinkel und die Anziehung („attraction“) abgeschätzt werden. Senneset et al. geben Richtwerte für verschiedenen Materialen als Funktion der Konsistenz bzw. der Lagerungsdichte. Die Abschätzung des effektiven inneren Reibungswinkels ist relativ unabhängig von den gewählten Werten für β und a. Die von Geoprofile gewählte Vorgehensweise basiert auf einer vorsichtigen Schätzung der beiden Parameter.

Die Abschätzung der effektiven Kohäsion für feinkörnige Schichten richtet sich nach dem maximalen Vorkonsolidierungsdruck $\sigma'_p$ (Mesri und El-Ghaffar, 1993):

$$c' = 0.024 \cdot \sigma'_p \quad [13]$$

Für die Bestimmung des maximalen Vorkonsolidierungsdrucks $\sigma'_p$ siehe den Abschnitt „In-Situ Spannungsverhältnisse“. Die Integration von weiteren geotechnischen Datensätzen für die Ermittlung der effektiven Kohäsion ist empfehlenswert. Ob die Anwendung einer effektiven Kohäsion hinsichtlich der geotechnischen Fragestellung und dem nicht-linearen Verlauf der Einhüllende sinnvoll ist, muss durch einen Geotechnik-Ingenieur beurteilt werden. Für Langzeit-Analysen kann es angebracht sein, die effektive Kohäsion vollständig zu vernachlässigen.

Copyright Geoprofile GmbH

## BEZOGENE LAGERUNGSDICHTE

Die Bestimmung des minimalen und des maximalen Porenraums der Sandproben im Labor ($e_{min}$ und $e_{max}$) bildet die Grundlage für den Begriff der bezogenen Lagerungsdichte. Es ist unwahrscheinlich, dass bei den Laborversuchen tatsächlich der niedrigsten oder der höchsten Wert für den Porenraum $e_{max}$ bzw. $e_{min}$ ermittelt wird. Das In-Situ Raumgewicht kann somit den im Labor erfassten Wert übertreffen.

Übliche Zusammenhänge zwischen $q_c$ und der bezogenen Lagerungsdichte $I_D$ basieren auf Drucksondierungen in einer mit Sand gefüllten Kalibrationskammer. Derartige Versuche sind Teil von allgemeinen geotechnischen Forschungsprojekten und unterliegen einigen Beschränkungen, wie z. B.:

- Abhängigkeit von der Bodenart
- Ungenauigkeiten bei der Bestimmung von $I_D$ im Labor
- begrenzte Bandbreite an Spannungshöhen und $K_o$ Werten
- Vereinfachungen bei der Probenvorbereitung und den Aufzeichnungen zur Bodenspannung

Folgende Schritte dienen zur Bestimmung der Lagerungsdichte (locker, dicht, etc.) vor Ort:

(a) Schätzung der In-Situ Spannungsverhältnisse $\sigma'_{vo}$ und $\sigma'_{ho}$

(b) Empirische Korrelation der bezogenen Lagerungsdichte $I_D$ mit $q_c$, $\sigma'_{vo}$ und $\sigma'_{ho}$

Die Abschätzung der In-Situ Spannungsverhältnisse wurde oben erläutert. Sind zudem allgemeine Angaben zur Kompressibilität des Sands vorhanden, sollten diese in die Beurteilung der bezogenen Lagerungsdichte miteinbezogen werden. Die Kompressibilität eines Sands nimmt tendenziell zu mit zunehmender Uniformität der Korngrösseverteilung, mit der Eckigkeit der einzelnen Körner und mit zunehmendem Feinanteil.

Die Abschätzung der bezogenen Lagerungsdichte richtet sich nach Kulhawy und Mayne (1990):

$$I_D^{\,2} = \frac{q_{t1}}{305\ Q_c \cdot Q_{OCR} \cdot Q_A} \qquad [14]$$

wobei $q_{t1}$ sich nach [7] richtet und die Faktoren $Q_c$, $Q_{OCR}$ und $Q_A$ wie folgt berechnet werden:

$Q_c$ = Kompressibilitätsfaktor
$0.91 < Q_c < 1.09$ (Tiefer Wert für geringe Kompressibilität)

$Q_{OCR}$ = Überkonsolidierungsfaktor
$OCR^{0.2}$

$Q_A$ = Faktor, welche die Zunahme des Spitzenwiderstands mit der Zeit berücksichtigt
$1.2 + 0.05 \cdot \log(t/100)$ (t in Jahren)
≈ 1.3 für Sande, welche nach der letzten Eiszeit abgelagert wurden

Copyright Geoprofile GmbH

## ZUSAMMENDRÜCKUNGSMODUL BEI ERSTBELASTUNG

Zusammenhänge zwischen den Resultaten von Drucksondierungen und dem eindimensionalen Zusammendrückungsmodul bei Erstbelastung $M_{E1}$ sind indikativ. Für eine genaue Bestimmung des Last-Deformationsverhaltens sind zusätzliche Daten (z. B. Plattendilatometer, Oedometerprüfung) unumgänglich.

Normalerweise wird die Elastizitätstheorie für die Analyse des Verformungsverhaltens von drainierten Böden angewandt. Lunne und Christophersen (1983) schlagen aufgrund einer Überprüfung der Ergebnisse von Drucksondierungen in mit Sand gefüllten Kalibrationskammern die folgende Beziehung zur Abschätzung des Zusammendrückungsmoduls bei Erstbelastung vor:

$$M_{E1} = \begin{cases} 4 \cdot q_c & q_c < 10 \text{ MPa} \\ 2 \cdot q_c + 20 & 10 < q_c < 50 \text{ MPa} \\ 120 & q_c > 50 \text{ MPa} \end{cases} \quad [15]$$

Die Abschätzung des eindimensionalen Zusammendrückungsmoduls bei Erstbelastung für feinkörnige Schichten richtet sich meistens nach:

$$M_{E1} = \alpha_c \cdot q_c \quad [16]$$

Oder, korrigiert für den transienten Porenwasserdruck und den Bau der Messsonde:

$$M_{E1} = \alpha_n \cdot q_n \quad [17]$$

Dabei stellt α einen Korrelationskoeffizient dar, welcher unter anderem von der Plastizität, Korngrösse, Mineralogie und Spannungsgeschichte abhängt. Mitchell und Gardner (1975) geben Richtwerte für $\alpha_c$, welche sich je nach Zusammensetzung, Plastizität und Scherfestigkeit zwischen 1 und 8 bewegen. Neuere Studien aufgrund des netto Spitzenwiderstands $q_n$ empfehlen einen Wert für $\alpha_n$ zwischen 4 und 8 (Senneset et al, 1989). Die von Geoprofile gewählte Methode betrachtet einen pauschalen Wert für $\alpha_n$ von 5 als praktikabel.

Der hier abgeleitete Zusammendrückungsmodul ist einen oedometrischen Modul, welche sich auf die effektiven in-situ Spannungsverhältnisse in einer bestimmten Tiefe bezieht. Bei der Bestimmung eines Zusammendrückungsmoduls beim Oedometerversuch gilt, dass die vertikalen Dehnungen sehr gross sind und meistens zwischen 1 und 10 Prozent variieren. Solche Dehnungen sind unter einem Bauwerk kaum realistisch. Es liegt in der Verantwortung des Anwenders, die effektiv auftretenden Dehnungen bei der Wahl eines geeigneten $M_E$-Wertes gebührend zu berücksichtigen. Dies kann durchaus zu einem höheren Wert führen. Die Verwendung eines konstanten, oedometrischen Zusammendrückungsmoduls führt bei Setzungsberechnungen in der Regel zu einer Überschätzung der zu erwartenden Setzungen.

Copyright Geoprofile GmbH

Zur Berücksichtigung einer grösseren Steifigkeit des Baugrundes bei geringeren Dehnungen sollte vorzugsweise auf komplexeren Materialmodellen zurückgegriffen werden (z.B. das hardening soil small strain Modell (HSS)).

Die Abschätzung der maximalen Vorkonsolidierungsspannung $\sigma'_p$ richtet sich nach [5].

## UNDRAINIERTE SCHERFESTIGKEIT

Die undrainierte Scherfestigkeit $s_u$ ist keine Konstante. Sie hängt von Faktoren wie dem Abschermodus und der -richtung, der Spannungshistorie und –anisotropie sowie der Abschergeschwindigkeit und der Temperatur ab.

Es gibt verschiedene theoretische und empirische Vorgehensweisen, um den Spitzenwiderstand $q_c$ mit der undrainierten Scherfestigkeit $s_u$ zu korrelieren. Theoretische Ansätze stützen sich auf die Tragfähigkeitstheorie oder die Bodenmechanik des kritischen effektiven Zustands (critical state soil mechanics, CSSM). So kann der einfache Abschermodus wie folgt beschrieben werden (Wroth 1984):

$$s_u / \sigma'_{vo\ DDS} = \tfrac{1}{2} \sin \varphi' \cdot OCR^{\Lambda} \qquad [18]$$

wobei $\Lambda = 1-C_s/C_c$ das plastische volumetrische Dehnungspotential, und $C_c$ und $C_s$ den Zusammendrückungsindex bei Erstbelastung bzw. bei Entlastung bezeichnen. Für Tone mit einer geringen bis mittleren Sensitivität liegt Λ meistens zwischen 0.7 und 0.8, für sensitive Tone eher um 0.9. Die bekannte Beziehung (Jamiolkowski et al., 1985; Ladd, 1991; Ladd and DeGroot 2003):

$$s_u / \sigma'_{vo\ DDS} = 0.22 \cdot OCR^{0.8} \qquad [19]$$

welche im Erdbaulabor des MIT entwickelt wurde, ist dabei ein Subsatz von [18] mit φ' = 26° und Λ = 0.8. Die von Geoprofile gewählte Methode nutzt den aus den Sondierdaten abgeleiteten Wert für den effektiven inneren Reibungswinkel φ' und einem Λ von 0.8.

Empirische Ansätze beruhen meistens auf einer direkten Korrelation des netto Spitzenwiderstands $q_n$ mit der undrainierten Scherfestigkeit (Rad und Lunne, 1988):

$$s_{u\ TX} = \frac{q_t - \sigma_{vo}}{N_{kt}} = \frac{q_n}{N_{kt}} \qquad [20]$$

Der Faktor $N_{kt}$ liegt üblicherweise zwischen 15 und 25, hängt aber unter anderem von der Plastizität und

Copyright Geoprofile GmbH

dem Überkonsolidierungsgrad ab. Das Referenzverfahren für die oben genannte Beziehung ist der konsolidierte, undrainierte, triaxiale Zusammendrückungstest (CU). Die von Geoprofile gewählte Vorgehensweise bezieht sich auf eine undrainierte Scherfestigkeit mit einem Faktor $N_{kt}$ von 18, welche aber nur zur Kontrolle von der mit [18] abgeleiteten undrainierte Scherfestigkeit (und damit indirekt auch von φ') herangezogen wird.

Die Sensitivität eines Tons ist das Verhältnis zwischen der maximalen und der gestörten undrainierten Scherfestigkeit:

$$S_t = s_{u,max} / s_{u,rest} \quad [21]$$

Da die gemessene lokale Mantelreibung $f_s$ in Ton primär von der gestörten undrainierten Scherfestigkeit abhängt, kann die Sensitivität wie folgt abgeleitet werden Rad und Lunne, 1986):

$$S_t = \frac{N_s}{R_f} \quad [22]$$

wobei $R_f$ das Reibungsverhältnis bezeichnet und $N_s$ üblicherweise zwischen 6 und 9 liegt. Bei der von Geoprofile gewählten Vorgehensweise liegt der Abschätzung der Sensitivität ein Wert für $N_s$ von 7.5 zugrunde.

Copyright Geoprofile GmbH

## LITERATURANGABEN

Bolton, M.D. (1986), "The Strength and Dilatancy of Sands", Geotechnique, Vol. 36, No. 1, pp. 65-78.

Bolton, M.D. (1987), "The Strength and Dilatancy of Sands, Discussion", Geotechnique, Vol. 37, No. 2, pp. 225-226.

Kulhawy, F.H. und P.W. Mayne, (1990), Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design, Report EPRI EL-6800, Electric Power Research Institute, Palo Alto, California, 306 pp.

Ladd, C.C., Foott, R.R., Ishihara, K., Schlosser, F. und Poulos, H.G. (1977), "Stress-Deformation and Strength Characteristics", Proc. 9th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Tokyo, Vol. 2, pp. 421-494.

Lunne, T., Powell, J.J.M. und Robertson, P.K. (1995), "Use of Piezocone Tests in Non-Textbook Materials", Proc. Int. Conf. on Advances in Site Investigation Practice, Institution of Civil Engineers, London, pp. 438-451.

Lunne, T und Christophersen, H.P. (1983), "Interpretation of cone Penetrometer data for offshore Sands", Proc. of the offshore technology conference, Richardson, Texas, paper nr. 4464

Lunne, T., Robertson, P.K. und Powell, J.J.M. (1997), "Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice", Blackie Academic & Professional, London, p. 312.

Mayne, P.W. und Kulhawy, F.H. (1982), "$K_o$ - OCR Relationships in Soil", ASCE Jnl. of Geotechnical Engineering, Vol. 108, No. GT6, pp. 851-872.

Mesri, G. und Abdel-Ghaffar, M.E.M. (1993). "Cohesion Intercept in Effective Stress Stability Analysis." Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 119, No. 8, pp. 1229-1249.

Mitchell, J.K. und Gardner, W.S. (1975), "In-Situ Measurements of Volume Change Characteristics", ASCE Speciality Conference on In-Situ Measurement of Soil Properties, North Carolina, Vol. II, pp. 279-345.

Rad, N.S. und Lunne, T. (1988), "Direct Correlations between Piezocone Test Results and Undrained Shear Strength of Clay", Penetration Testing 1988, Proc. First Int. Symp. On Penetration Testing, ISOPT-1, De Ruiter (ed.), Vol. 2, pp. 911-917.

Robertson, P.K. (1990), "Soil Classification using the Cone Penetration Test", Can. Geotech. Jnl., Vol. 27, No. 1, pp. 151-158.

Copyright Geoprofile GmbH

Robertson, P.K., Campanella, R.G., Gillespie, D. und Grieg, J. (1986), "Use of Piezometer Cone Data", Proc. In-Situ '86, ASCE Specialty Conf., Blacksburg, VA, pp. 1263-1280.

Senneset, K., R. Sandven, T. Lunne, T. By, und T. Amundsen, (1988), “Piezocone Tests in Silty Soils,” Penetration Testing, Vol. 2, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, pp. 955–974.

Senneset, K., R. Sandven, und N. Janbu, (1989), “Evaluation of Soil Parameters from Piezocone Tests,” Transportation Research Record 1235, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C, pp. 24–37.

Wroth, C.P. (1984), "The Interpretation of In-Situ Soil Tests", Geotechnique, Vol. 34, No. 4, pp. 449-489.

Copyright Geoprofile GmbH

## ALLGEMEINES

Die Rammsondierung ist ein Verfahren, das zur Untersuchung des Baugrunds verwendet wird. Bei der Durchführung einer Rammsondierung wird eine Messsonde aus Stahl mittels eines Fallgewichts, welches aus einer bestimmten Höhe wiederholt fallen gelassen wird, in den Boden eingeschlagen. Dabei wird die Schlagzahl, welche für das Eindringen eines festgelegten Tiefenintervalls erforderlich ist, aufgezeichnet. Da die Schlagzahl durch Gestängereibung und Energieverluste mit zunehmender Tiefe tendenziell ansteigt, kann optional zur Bestimmung des Systemwiderstands das Rammgestänge in regelmässigen Intervallen angehoben und nachgeschlagen werden.

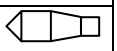
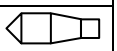
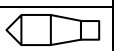
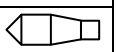
Gängige Sonden haben eine Querschnittfläche von 10, 15 oder 20 $cm^2$. Die Sonde wird mit einer freistehenden oder auf einem leichten Trägerfahrzeug montierten Schlagvorrichtung bis in Tiefen von maximal ca. 25 m vorgetrieben (baugrundabhängig). Die von Geoprofile GmbH für die Rammsondierung angewandten Verfahren und verwendeten Geräte stehen in Einklang mit den Regelungen der Schweizer Norm SN 670 318-2:2005 bzw. dem Eurocode EN ISO 22476-2:2005.

Wenn nicht anders vereinbart, gelten die folgenden Kriterien für die Beendigung des Versuchs:

- das Erreichen der gewünschten Eindringtiefe,
- das Erreichen der maximalen Schlagzahl während eines Tiefenintervalls,
- Umstände im Ermessen des Sondiermeisters, wie z.B. das Risiko von Sach- oder Personenschaden.

## AUSFÜHRUNGSVARIANTEN

Gemäss Eurocode sind mehrere Ausführungsvarianten möglich, wobei das Fallgewicht, die Fallhöhe sowie die Querschnittsfläche variieren. Gemäss nationalem Vorwort der SN 670 318-2:2005 ist in der Schweiz zudem die Verwendung der aus historischen Gründen verbreitet vorhandenen „Von Moos“ Rammsonde gestattet. Diese weist neben Unterschieden bei Fallgewicht, Fallhöhe und Querschnittsfläche eine unterschiedliche Form der eigentlichen Rammspitze auf. Die unten stehende Tabelle fasst die verschiedenen Ausführungsvarianten der Rammsondierung zusammen.

| Bezeichnung | | Spitze Dm [mm] | Spitze Fläche [$cm^2$] | Fall-gewicht [kg] | Fall-höhe [m] | Mess-intervall [cm] | Ramm-energie [J] | Spez. Ramm-energie [$kJ/m^2$] | Form der Sonde |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Leichte Rammsonde | DPL | 35.7 | 10 | 10 | 0.5 | 10 | 50 | 50 | |
| „Von Moos“ | VAWE | 35.7 | 10 | 30 | 0.2 | 20 | 60 | 60 | |
| Mittelschwere Rammsonde | DPM | 43.7 | 15 | 30 | 0.5 | 10 | 150 | 100 |  |
| Schwere Rammsonde | DPH | 43.7 | 15 | 50 | 0.5 | 10 | 250 | 167 |  |
| Superschwere Rammsonde A | DPSH-A | 45.0 | 16 | 63.5 | 0.5 | 10 / 20 | 318 | 198 |  |
| Superschwere Rammsonde B | DPSH-B | 50.5 | 20 | 63.5 | 0.75 | 10 / 20 | 476 | 238 |  |

Copyright Geoprofile GmbH

Der Standard Penetration Test (SPT), welcher bei Bohrungen oft ausgeführt wird, weist die gleichen Eigenschaften wie die superschwere Rammsondierung des Typs B (DPSH-B) auf, wird jedoch ab Bohrlochsohle angesetzt und bezieht sich auf einem Messintervall von 30 cm ($N_{30}$).

## ERGEBNISSE

Die Darstellung der Ergebnisse der Rammsondierung umfasst:

- die Schlagzahl N pro Messintervall in Abhängigkeit der Tiefe z ($N_{10}$ oder $N_{20}$),
- fakultativ den dynamischen Spitzenwiderstand $r_d$ sowie den massenkorrigierten dynamischen Spitzenwiderstand $q_d$, wie folgt:

$$r_d = \frac{m \cdot g \cdot h \cdot E_r}{A_c \cdot e} = \frac{E_{meas}}{A_c \cdot e}$$

$$q_d = \left( \frac{m_H}{m_H + m_G} \right) \cdot r_d$$

Dabei gilt

- m = Masse des Fallgewichts [kg]
- g = Erdbeschleunigung [9.8 m/s$^2$]
- h = Fallhöhe [m]
- $E_r$ = Energieverhältnis bzw. Schlageffizienz (geräteabhängig) [-]
  - = $E_{meas}$ / $E_{theor}$ , mit $E_{meas}$ = gemessene Rammenergie und $E_{theor}$ = theoretische Rammenergie
- $A_c$ = Spitzenfläche [m$^2$]
- e = mittlere Eindringung pro Schlag [m]
  - = Messintervall / N
- $m_H$ = Masse des Fallgewichts
- $m_G$ = die Gesamtmasse der Verlängerungsstangen, des Ambosses und der Führungsstangen

## INTERPRETATION UND ANWENDUNGSGRENZEN

Die Interpretation von Rammsondierungen dient primär der Bestimmung des Schichtaufbaus. Sie ist meistens nur qualitativ möglich. Eine quantitative Auswertung, wobei ein Bezug zwischen den Schlagzahlen und geotechnischen Parametern hergestellt wird, ist generell nur mit zusätzlichen geologischen oder geotechnischen Informationen sinnvoll. Dies, weil die Schlagzahlen neben den Baugrundeigenschaften noch von einer Reihe von weiteren, meistens unzureichend bekannten Faktoren bestimmt werden. Zur Vermeidung von Fehlinterpretation müssen diese Faktoren aber zwingend berücksichtigt werden.

Copyright Geoprofile GmbH

Systemwiderstand

Grundsätzlich gilt, dass sich die Schlagzahl N in einer bestimmten Tiefe aus den folgenden Komponenten zusammensetzt:

- dynamischer Widerstand des Baugrundes im Bereich der Spitze;
- intrinsischer Systemwiderstand.

Der Systemwiderstand ergibt sich aus gerätetechnischen Widerständen sowie aus der kumulativen Reibung entlang dem Rammgestänge. Zu den wichtigsten gerätetechnischen Widerständen gehören die mechanische Dämpfung entlang und die elastische Ausbiegung des Rammgestänges. Die mechanische Dämpfung entlang des Gestänges und die elastische Ausbiegung des Rammgestänges selber sind abhängig von den Materialeigenschaften und der Kupplung zwischen Gestänge und dem Baugrund. Die elastische Ausbiegung wird zudem von der Grösse des ringförmigen Hohlraums um das Gestänge herum und der seitlichen Stützung durch den Baugrund beeinflusst.
Die zweite Komponente des Systemwiderstands, namentlich die Reibung entlang des Rammgestänges, wird primär von den anstehenden Baugrundschichten sowie von der Abweichung des Rammgestänges von der Lotrechten beeinflusst. Feinkörnige Schichten weisen im Vergleich zu Sanden und Kiesen meistens eine höhere Reibung entlang des Gestänges auf. Eine Abweichung von der Vertikalen bewirkt eine bessere Ankupplung und somit eine erhöhte Reibung zwischen Gestänge und Erdreich.

Um den Systemwiderstand abschätzen zu können, ist es gute Praxis, die Rammsonde regelmässig anzuheben und anschliessend nachzurammen. Ziel ist es, den Rammwiderstand im Bereich der Spitze weitgehend zu eliminieren, sodass zum Abteufen der Sonde nur der Systemwiderstand überwunden werden muss. Allerdings ist dieser Vorgehensweise in Sanden unterhalb des Grundwasserspiegels nur bedingt anwendbar, da beim Ziehen der Sonde ein Vakuum entstehen kann, welches das Auftreten von hydraulischem Grundbruch im Sondierloch unterhalb der Rammsonde begünstigt. Dies kann dazu führen, dass das Sondierloch beim Nachrammen nicht leer, sondern wieder mit Sand gefüllt ist.

Gerätetechnische Einflüsse

Aus gerätetechnischer Sicht spielt die Energieeffizienz der Schlagvorrichtung eine wesentliche Rolle. Eine geringe Schlageffizienz bewirkt, dass nur ein geringer Teil der Rammenergie in das Rammgestänge geleitet wird, was zwingend zu einer höheren Schlagzahl führt. Moderne Rammsysteme erreichen eine Schlageffizienz von über 85 Prozent, bei älteren Systemen liegt diese tiefer. Die Effizienz von mit Pressluft betriebenen Systemen ist meistens etwas geringer als bei vergleichbaren Systemen mit einer mechanischen Hebevorrichtung und automatischem Auslöser (z.B. Kette mit Mitnehmer).

Copyright Geoprofile GmbH

Geotechnische Einflüsse

Baugrundseitig hängt die gemessene Schlagzahl von verschiedenen geotechnischen Faktoren ab, darunter:

- Lagerungsdichte des Korngefüges
- Korngrössenverteilung
- Kornform und –rauhigkeit
- Mineralart der Körner
- Grad der Verfestigung
- In-situ Spannungsverhältnisse
- Wassergehalt und Lage des Wasserspiegels
- geotechnische Verhalten des Baugrundes (drainiert / undrainiert)

Unter sonst gleichen Bodenverhältnissen ist die Schlagzahl in grobkörnigen Böden unterhalb des Grundwasserspiegels niedriger. Umgekehrt ist bei sonst gleichen Bodenverhältnissen die Schlagzahl in siltigen Böden unterhalb des Grundwasserspiegels gleich oder höher.

## LITERATURANGABEN

Butler, J. J., Caliendo, J. A. und Goble, G. G. (1998), Comparison of SPT energy measurements methods, Proc. 1st Int. Conf. on Site Characterization, Atlanta 1998, Vol. 2, pp. 901– 905.

CEN (2005), “Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Felduntersuchungen - Teil 2: Rammsondierungen (ISO EN 22476-2:2005)

Smoltczyk, U. (2003), Geotechnical Engineering Handbook, Volume 1: Fundamentals, Ernst & Sohn, Berlin.

VSS Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (1997), Rammsondierung “Von Moos” (SN 670 314: 1997)

Copyright Geoprofile GmbH

# Anhang E Laborergebnisse

**Horgen-Au – Kernbohrung KB 1; 3 und 4**

**KB 1-24 – Tiefe: 4.5 – 5.5 m**

**KB 1-24 – Tiefe: 6.5 – 8.0m**

**KB 1-24 – Tiefe: 8.5 – 9.5 m**

**KB 1-24 – Tiefe: 10.5 – 11.5 m**

**KB 3-24 – Tiefe: 1.5 – 2.5 m**

**KB 3-24 – Tiefe: 6.0 – 7.0 m**

**KB 4-24 – Tiefe: 2.0 – 3.0 m**

# Attest

| Glühverlust | VSS-70370 |
|---|---|



| | |
|---|---|
| Prüfzeugnis-Nr. | 24-02-5489 |
| Gesamtauftrag | 02-02-01705 - 18 |
| Probenahme | - |
| Probeneingang | 13.08.2024 |
| Projektleiter | Nimet Coskun |
| Objekt | DCH013913.01 Horgen-Au |
| Bemerkungen | - |

CSD Ingenieure AG
Schachenallee 29 A
5000 Aarau

| | | | |
|---|---|---|---|
| Probe-Nr. | 24-08780 | Bez. Kunde | KB 1-24 |
| Probenart | - | Probenahmeort | - |
| Entnahme ab | 6.5 – 8.0 m | Probenehmer | Auftraggeber |
| Bemerkungen | - | | |

**Grobe organische Verunreinigungen - Glühverlust (VSS-70370)**

| Masse Messprobe vor dem Glühen [g] | Masse Messprobe nach dem Glühen [g] | Glühverlust LOI [%] | Kategorie EN ISO 14688-2 [-] |
|---|---|---|---|
| 24.148 | 23.704 | 1.84 | *schwach organisch* |

Oberbuchsiten, den 11.09.2024

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.
Es gelten die AGB.

Nimet Coskun
Projektleiterin

**IMP Bautest AG**
www.impbautest.ch
Institut für Materialprüfung,
Bauberatung und Analytik
Laborweg 1
4625 Oberbuchsiten
Telefon 062 389 98 99
info@impbautest.ch

**Swiss Testing 00016**

# Attest

| | |
|---|---|
| **Böden** | **SN EN 933-1:2013** |
| **Sieb- und Schlämmanalyse** | **SN 670 816a:1989** |



| | |
|---|---|
| Prüfzeugnisnummer | 24-02-5488 |
| Gesamtauftrag | 02-02-01705 - 18 |
| Probenahme | - |
| Probeneingang | 13.08.2024 |
| Projektleiter | Nimet Coskun |
| Objekt | DCH013913.01 Horgen-Au |
| Bemerkung | - |

CSD Ingenieure AG
Schachenallee 29 A
5000 Aarau

| | | | |
|---|---|---|---|
| Probe-Nr. | 24-08779 | Bezeichnung Kunde | KB 1-24 |
| Probenart | - | Probenahmeort | - |
| Entnahme ab | 4.5 – 5.5 m | Probenehmer | Auftraggeber |
| Bemerkungen | - | | |

## Korngrössenverteilung

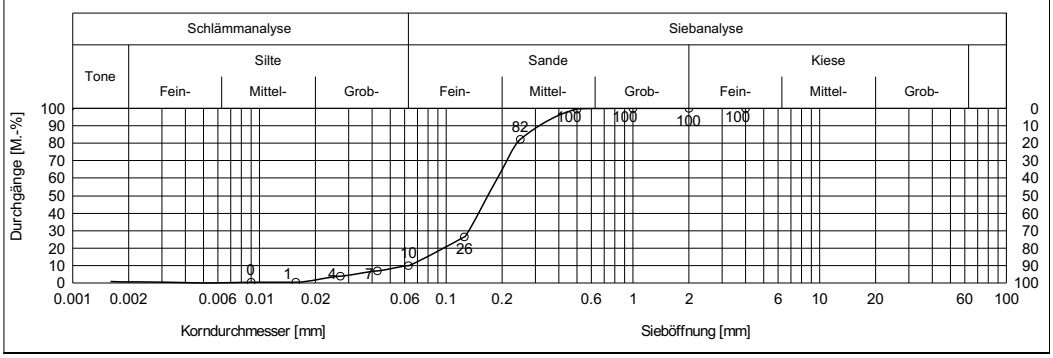
Siebanalyse (SN EN 933-1: 2013)

| Sieb [mm] | Ergebnis [M.-%] |
|---|---|
| 4.0 | 100.0 |
| 2.0 | 100.0 |
| 1.0 | 99.9 |
| 0.5 | 99.5 |
| 0.25 | 82.2 |
| 0.125 | 26.5 |
| 0.063 | 10.0 |

Schlämmanalyse (SN 670 816a:1989)

| Korndurchmesser [mm] | Ergebnis [M.-%] |
|---|---|
| 0.0428 | 7.0 |
| 0.0271 | 3.8 |
| 0.0157 | 0.6 |
| 0.0090 | 0.3 |
| 0.0055 | |
| 0.0032 | |
| 0.0016 | |

Methoden: Schlämmanalyse (Aräometer)
Waschen, Trockensiebung




### Zusammensetzung

| | | |
|---|---|---|
| Ton | 0.8 | [M.-%] |
| Silt | 9.2 | [M.-%] |
| Sand | 90.0 | [M.-%] |
| Kies | 0.0 | [M.-%] |
| Steine | 0.0 | [M.-%] |
| Organika | - | [M.-%] |
| Wassergehalt | 25.6 | [M.-%] |

### Kongrössenparameter

| | | |
|---|---|---|
| Grösstkorn | 2 | [mm] |
| < 0.02 mm | 1.8 | [M.-%] |
| < 0.063 mm | 10.0 | [M.-%] |
| d10 | 0.063 | [mm] |
| d30 | 0.133 | [mm] |
| d50 | 0.17 | [mm] |
| d60 | 0.19 | [mm] |
| Steilheit Cud | 3.0 | |
| Krümmung Ccd | 1.5 | |

### Konzistenzgrenzen (Atterberg)

| | | |
|---|---|---|
| Anteil Überkorn | - | [M.-%] |
| Fliessgernze wL 105 | - | [%] |
| Ausrollgrenze wP | - | [%] |
| Plastizitätsindex Ip | - | [%] |
| Plastizität | nicht plastisch | |

**USCS-Klassifikation** **SP-SM: schlecht abgestufter Sand mit Silt**

Oberbuchsiten, den 11.09.2024

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.
Es gelten die AGB.

Nimet Coskun

**IMP Bautest AG**
www.impbautest.ch
Institut für Materialprüfung, Bauberatung und Analytik
Laborweg 1
4625 Oberbuchsiten
Telefon 062 389 98 99
info@impbautest.ch

**Swiss Testing 0016**

# Attest

| | |
|---|---|
| **Böden** | **SN EN 933-1:2013** |
| **Sieb- und Schlämmanalyse** | **SN 670 816a:1989** |



| | |
|---|---|
| Prüfzeugnisnummer | 24-02-5487 |
| Gesamtauftrag | 02-02-01705 - 18 |
| Probenahme | - |
| Probeneingang | 13.08.2024 |
| Projektleiter | Nimet Coskun |
| Objekt | DCH013913.01 Horgen-Au |
| Bemerkung | - |

CSD Ingenieure AG
Schachenallee 29 A
5000 Aarau

| | | | |
|---|---|---|---|
| Probe-Nr. | 24-08780 | Bezeichnung Kunde | KB 1-24 |
| Probenart | - | Probenahmeort | - |
| Entnahme ab | 6.5 – 8.0 m | Probenehmer | Auftraggeber |
| Bemerkungen | - | | |

## Korngrössenverteilung

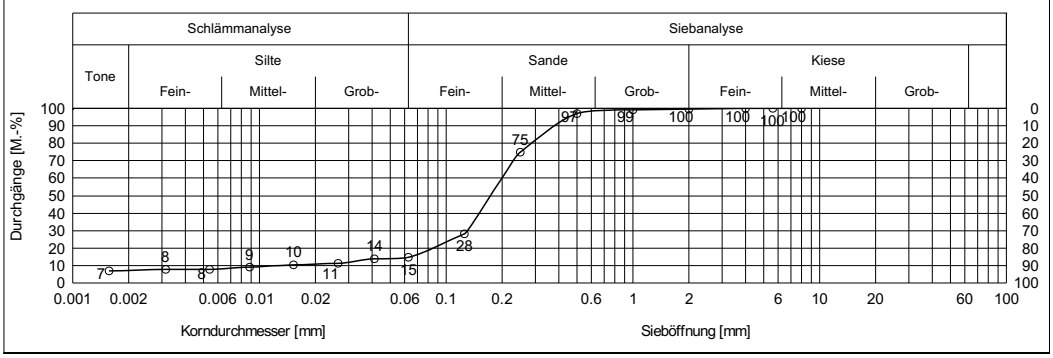
Siebanalyse (SN EN 933-1: 2013)

| Sieb [mm] | Ergebnis [M.-%] |
|---|---|
| 8.0 | 100.0 |
| 5.6 | 100.0 |
| 4.0 | 100.0 |
| 2.0 | 99.8 |
| 1.0 | 99.2 |
| 0.5 | 97.0 |
| 0.25 | 75.1 |
| 0.125 | 28.1 |
| 0.063 | 14.5 |

Schlämmanalyse (SN 670 816a:1989)

| Korndurchmesser [mm] | Ergebnis [M.-%] |
|---|---|
| 0.0412 | 13.9 |
| 0.0263 | 11.4 |
| 0.0152 | 10.5 |
| 0.0088 | 8.9 |
| 0.0054 | 8.0 |
| 0.0031 | 7.7 |
| 0.0016 | 7.1 |

Methoden: Schlämmanalyse (Aräometer)
Waschen, Trockensiebung




### Zusammensetzung

| | | |
|---|---|---|
| Ton | 7.3 | [M.-%] |
| Silt | 7.2 | [M.-%] |
| Sand | 85.3 | [M.-%] |
| Kies | 0.2 | [M.-%] |
| Steine | 0.0 | [M.-%] |
| Organika | - | [M.-%] |
| Wassergehalt | 38.0 | [M.-%] |

### Kongrössenparameter

| | | |
|---|---|---|
| Grösstkorn | 7 | [mm] |
| < 0.02 mm | 10.8 | [M.-%] |
| < 0.063 mm | 14.5 | [M.-%] |
| d10 | 0.013 | [mm] |
| d30 | 0.130 | [mm] |
| d50 | 0.17 | [mm] |
| d60 | 0.20 | [mm] |
| Steilheit Cud | 15.5 | |
| Krümmung Ccd | 6.7 | |

### Konzistenzgrenzen (Atterberg)

| | | |
|---|---|---|
| Anteil Überkorn | - | [M.-%] |
| Fliessgernze wL 105 | - | [%] |
| Ausrollgrenze wP | - | [%] |
| Plastizitätsindex Ip | - | [%] |
| Plastizität | nicht plastisch | |

**USCS-Klassifikation** **SM: siltiger Sand**

Oberbuchsiten, den 11.09.2024

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.
Es gelten die AGB.

Nimet Coskun

**IMP Bautest AG**
www.impbautest.ch
Institut für Materialprüfung, Bauberatung und Analytik
Laborweg 1
4625 Oberbuchsiten
Telefon 062 389 98 99
info@impbautest.ch

**Swiss Testing 0016**

# Attest

**Böden** **SN EN 933-1:2013**
**Sieb- und Schlämmanalyse** **SN 670 816a:1989**



| | |
|---|---|
| Prüfzeugnisnummer | 24-02-5483 |
| Gesamtauftrag | 02-02-01705 - 18 |
| Probenahme | - |
| Probeneingang | 13.08.2024 |
| Projektleiter | Nimet Coskun |
| Objekt | DCH013913.01 Horgen-Au |
| Bemerkung | - |

CSD Ingenieure AG
Schachenallee 29 A
5000 Aarau

| | | | |
|---|---|---|---|
| Probe-Nr. | 24-08782 | Bezeichnung Kunde | KB 1-24 |
| Probenart | - | Probenahmeort | - |
| Entnahme ab | 8.5 – 9.5 m | Probenehmer | Auftraggeber |
| Bemerkungen | - | | |

## Korngrössenverteilung

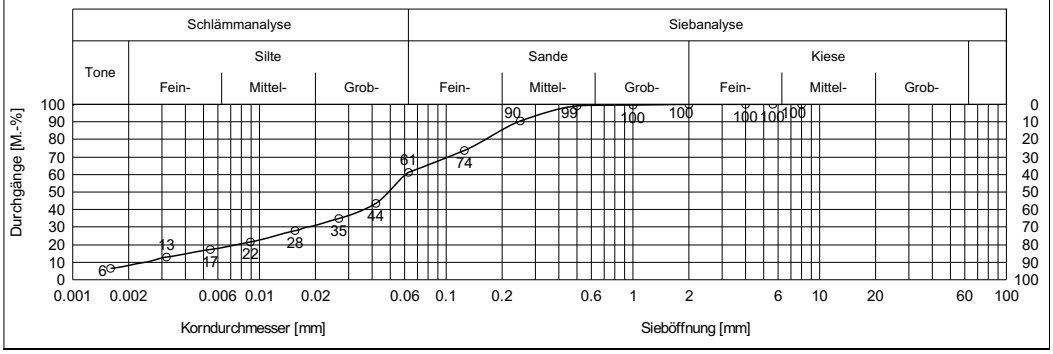
Siebanalyse (SN EN 933-1: 2013)

| Sieb [mm] | Ergebnis [M.-%] |
|---|---|
| 8.0 | 100.0 |
| 5.6 | 100.0 |
| 4.0 | 99.9 |
| 2.0 | 99.8 |
| 1.0 | 99.6 |
| 0.5 | 98.9 |
| 0.25 | 90.4 |
| 0.125 | 73.6 |
| 0.063 | 61.3 |

Schlämmanalyse (SN 670 816a:1989)

| Korndurchmesser [mm] | Ergebnis [M.-%] |
|---|---|
| 0.0421 | 43.7 |
| 0.0267 | 34.9 |
| 0.0155 | 28.0 |
| 0.0089 | 21.7 |
| 0.0055 | 17.3 |
| 0.0032 | 12.9 |
| 0.0016 | 6.3 |

Methoden: Schlämmanalyse (Aräometer)
Waschen, Trockensiebung




### Zusammensetzung

| | | |
|---|---|---|
| Ton | 7.9 | [M.-%] |
| Silt | 53.4 | [M.-%] |
| Sand | 38.5 | [M.-%] |
| Kies | 0.2 | [M.-%] |
| Steine | 0.0 | [M.-%] |
| Organika | - | [M.-%] |
| Wassergehalt | 53.9 | [M.-%] |

### Kongrössenparameter

| | | |
|---|---|---|
| Grösstkorn | 10 | [mm] |
| < 0.02 mm | 31.0 | [M.-%] |
| < 0.063 mm | 61.3 | [M.-%] |
| d10 | 0.002 | [mm] |
| d30 | 0.018 | [mm] |
| d50 | 0.05 | [mm] |
| d60 | 0.06 | [mm] |
| Steilheit Cud | 24.8 | |
| Krümmung Ccd | 2.3 | |

### Konzistenzgrenzen (Atterberg)

| | | |
|---|---|---|
| Anteil Überkorn | 1.1 | [M.-%] |
| Fliessgernze wL 105 | 35.0 | [%] |
| Ausrollgrenze wP | 23.7 | [%] |
| Plastizitätsindex Ip | 11.3 | [%] |
| Plastizität | CM (plastisch) | |

**USCS-Klassifikation** **CM: sandiger magerer Ton**

Oberbuchsiten, den 11.09.2024

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.
Es gelten die AGB.

Nimet Coskun

**IMP Bautest AG**
www.impbautest.ch
Institut für Materialprüfung, Bauberatung und Analytik
Laborweg 1
4625 Oberbuchsiten
Telefon 062 389 98 99
info@impbautest.ch

**Swiss Testing 0016**

# Attest

| | |
|---|---|
| **Böden** | **VSS 70 345b:2019** |



| | |
|---|---|
| Prüfzeugnisnummer | 24-02-5484 |
| Gesamtauftrag | 02-02-01705 - 18 |
| Probenahme | - |
| Probeneingang | 13.08.2024 |
| Projektleiter | Nimet Coskun |
| Objekt | DCH013913.01 Horgen-Au |

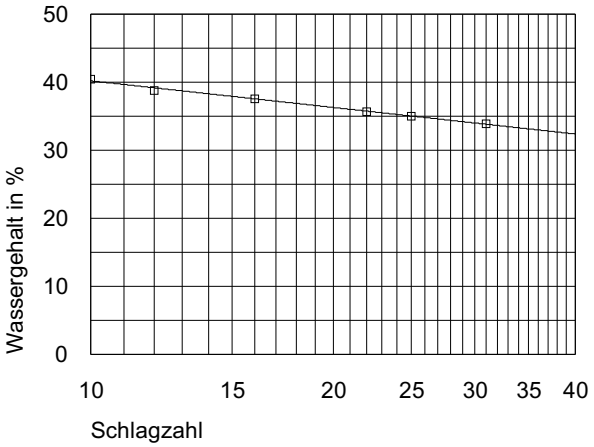
CSD Ingenieure AG
Schachenallee 29 A
5000 Aarau

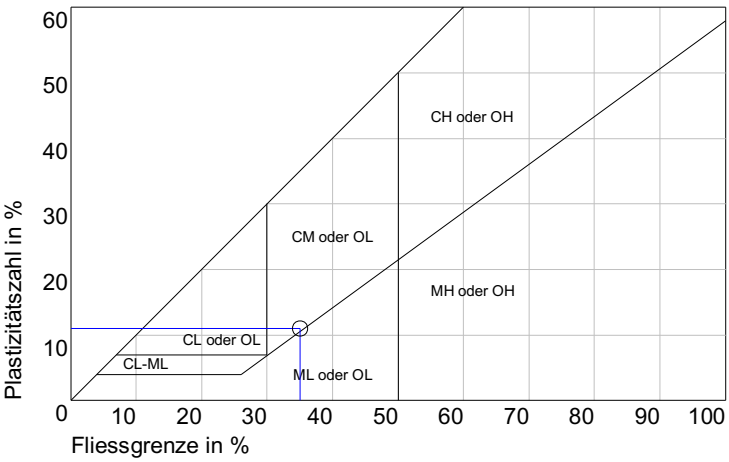
Bemerkungen -

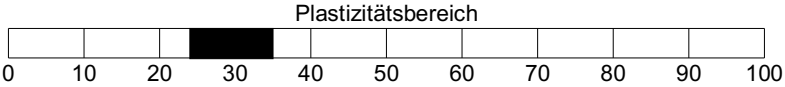
| | | | |
|---|---|---|---|
| Probe-Nr. | 24-08782 | Bezeichnung Kunde | KB 1-24 |
| Probenart | - | Probenahmeort | - |
| Entnahme ab | 8.5 – 9.5 m | Probenehmer | Auftraggeber |
| Bemerkungen | - | | |

## Konsistenzgrenzen Atterberg (VSS 70 345b:2019)

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Grösstkorn | [mm] | 0.5 | Anteil Überkorn | [M.-%] | 1.1 |
| Trockenmasse Probe md | [g] | 3198.5 | Fliessgrenze $w_{L105}$ | [%] | 35.0 |
| Trockenmasse Überkorn $m_ü$ | [g] | 34.2 | Ausrollgrenze $w_P$ | [%] | 23.7 |
| Wassergehalt Probe w | [M.-%] | 53.9 | Plastizitätszahl $I_P$ | [%] | 11.3 |
| Wassergehalt Überkorn $w_ü$ | [M.-%] | | Liquiditätszahl $I_L$ | [%] | |
| Wassergehalt w<0.4 | [M.-%] | | Konsistenzzahl $I_C$ | [%] | |
| Fliessgrenze $w_{Lnat}$ | [%] | | Verhältnis $w_{L105}$ / $w_{Lnat}$ | [-] | |
| Plastizität | | | CM (plastisch) | | |




Oberbuchsiten, den 11.09.2024

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.
Es gelten die AGB.

Nimet Coskun

**IMP Bautest AG** Institut für Materialprüfung, Laborweg 1 Telefon 062 389 98 99
www.impbautest.ch Bauberatung und Analytik 4625 Oberbuchsiten info@impbautest.ch

**Swiss Testing 0016**

# Attest

| **Böden** | **SN EN 933-1:2013** |
|---|---|
| **Sieb- und Schlämmanalyse** | **SN 670 816a:1989** |



| | |
|---|---|
| Prüfzeugnisnummer | 24-02-5485 |
| Gesamtauftrag | 02-02-01705 - 18 |
| Probenahme | - |
| Probeneingang | 13.08.2024 |
| Projektleiter | Nimet Coskun |
| Objekt | DCH013913.01 Horgen-Au |
| Bemerkung | - |

CSD Ingenieure AG
Schachenallee 29 A
5000 Aarau

| | | | |
|---|---|---|---|
| Probe-Nr. | 24-08781 | Bezeichnung Kunde | KB 1-24 |
| Probenart | - | Probenahmeort | - |
| Entnahme ab | 10.5 – 11.5 m | Probenehmer | Auftraggeber |
| Bemerkungen | - | | |

## Korngrössenverteilung

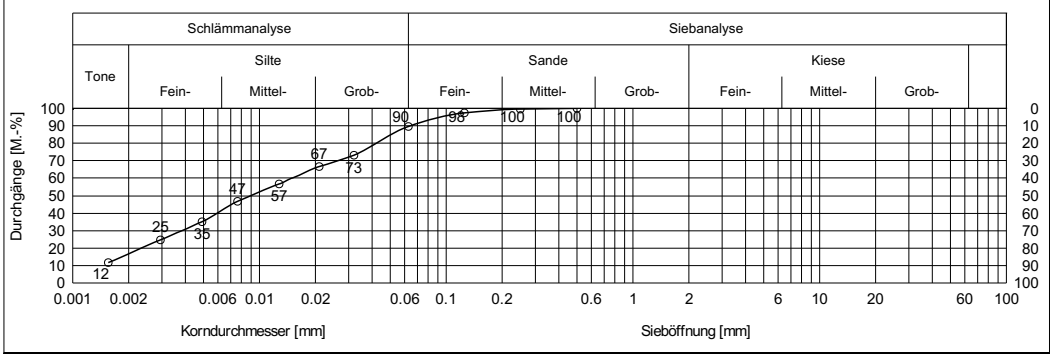
Siebanalyse (SN EN 933-1: 2013)

| Sieb [mm] | Ergebnis [M.-%] |
|---|---|
| 2.0 | |
| 0.5 | 100.0 |
| 0.25 | 99.6 |
| 0.125 | 97.6 |
| 0.063 | 89.6 |

Schlämmanalyse (SN 670 816a:1989)

| Korndurchmesser [mm] | Ergebnis [M.-%] |
|---|---|
| 0.0320 | 73.1 |
| 0.0209 | 66.7 |
| 0.0127 | 56.5 |
| 0.0077 | 46.7 |
| 0.0049 | 35.3 |
| 0.0030 | 24.8 |
| 0.0015 | 11.8 |

Methoden: Schlämmanalyse (Aräometer)
Waschen, Trockensiebung




### Zusammensetzung

| | | |
|---|---|---|
| Ton | 15.6 | [M.-%] |
| Silt | 74.0 | [M.-%] |
| Sand | 10.4 | [M.-%] |
| Kies | 0.0 | [M.-%] |
| Steine | 0.0 | [M.-%] |
| Organika | - | [M.-%] |
| Wassergehalt | 57.7 | [M.-%] |

### Kongrössenparameter

| | | |
|---|---|---|
| Grösstkorn | 0.5 | [mm] |
| < 0.02 mm | 65.9 | [M.-%] |
| < 0.063 mm | 89.6 | [M.-%] |
| d10 | - | [mm] |
| d30 | 0.004 | [mm] |
| d50 | 0.01 | [mm] |
| d60 | 0.02 | [mm] |
| Steilheit Cud | - | |
| Krümmung Ccd | - | |

### Konzistenzgrenzen (Atterberg)

| | | |
|---|---|---|
| Anteil Überkorn | 0.0 | [M.-%] |
| Fliessgernze wL 105 | 43.3 | [%] |
| Ausrollgrenze wP | 28.3 | [%] |
| Plastizitätsindex Ip | 15.0 | [%] |
| Plastizität | ML (plastisch) | |

**USCS-Klassifikation** **ML: Silt**

Oberbuchsiten, den 11.09.2024

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.
Es gelten die AGB.

Nimet Coskun

**IMP Bautest AG**
www.impbautest.ch
Institut für Materialprüfung, Bauberatung und Analytik
Laborweg 1
4625 Oberbuchsiten
Telefon 062 389 98 99
info@impbautest.ch

**Swiss Testing 0016**

# Attest

| | |
|---|---|
| **Böden** | **VSS 70 345b:2019** |



| | |
|---|---|
| Prüfzeugnisnummer | 24-02-5486 |
| Gesamtauftrag | 02-02-01705 - 18 |
| Probenahme | - |
| Probeneingang | 13.08.2024 |
| Projektleiter | Nimet Coskun |
| Objekt | DCH013913.01 Horgen-Au |

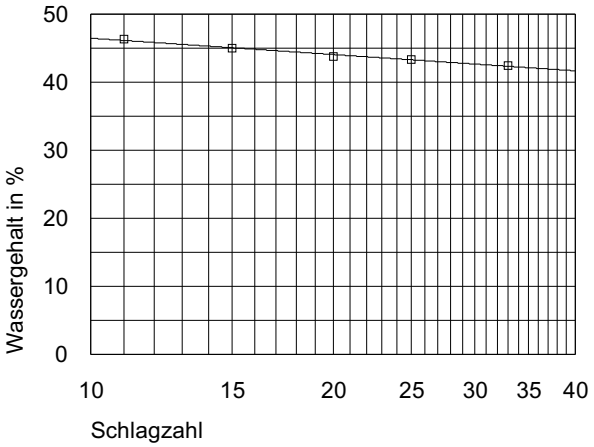
CSD Ingenieure AG
Schachenallee 29 A
5000 Aarau

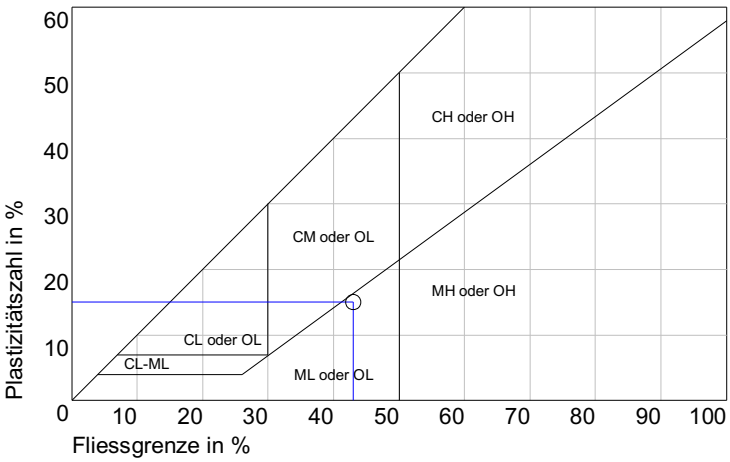
Bemerkungen -

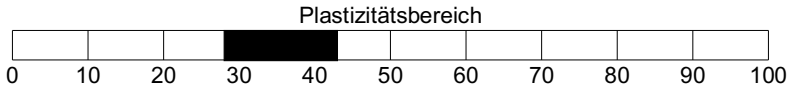
| | | | |
|---|---|---|---|
| Probe-Nr. | 24-08781 | Bezeichnung Kunde | KB 1-24 |
| Probenart | - | Probenahmeort | - |
| Entnahme ab | 10.5 – 11.5 m | Probenehmer | Auftraggeber |
| Bemerkungen | - | | |

## Konsistenzgrenzen Atterberg (VSS 70 345b:2019)

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Grösstkorn | [mm] | 0.5 | Anteil Überkorn | [M.-%] | 0.0 |
| Trockenmasse Probe md | [g] | 2046 | Fliessgrenze $w_{L105}$ | [%] | 43.3 |
| Trockenmasse Überkorn $m_ü$ | [g] | 0.0 | Ausrollgrenze $w_P$ | [%] | 28.3 |
| Wassergehalt Probe w | [M.-%] | 57.7 | Plastizitätszahl $I_P$ | [%] | 15.0 |
| Wassergehalt Überkorn $w_ü$ | [M.-%] | | Liquiditätszahl $I_L$ | [%] | |
| Wassergehalt w<0.4 | [M.-%] | | Konsistenzzahl $I_C$ | [%] | |
| Fliessgrenze $w_{Lnat}$ | [%] | | Verhältnis $w_{L105}$ / $w_{Lnat}$ | [-] | |
| Plastizität | | | ML (plastisch) | | |




Oberbuchsiten, den 11.09.2024

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.
Es gelten die AGB.

Nimet Coskun

**IMP Bautest AG**
www.impbautest.ch
Institut für Materialprüfung, Bauberatung und Analytik
Laborweg 1
4625 Oberbuchsiten
Telefon 062 389 98 99
info@impbautest.ch

**Swiss Testing 0016**

# Attest

| Böden | SN EN 933-1:2013 |
|---|---|
| Sieb- und Schlämmanalyse | SN 670 816a:1989 |



| | |
|---|---|
| Prüfzeugnisnummer | 24-02-5481 |
| Gesamtauftrag | 02-02-01705 - 18 |
| Probenahme | - |
| Probeneingang | 13.08.2024 |
| Projektleiter | Nimet Coskun |
| Objekt | DCH013913.01 Horgen-Au |
| Bemerkung | - |

CSD Ingenieure AG
Schachenallee 29 A
5000 Aarau

| | | | |
|---|---|---|---|
| Probe-Nr. | 24-08783 | Bezeichnung Kunde | KB 3-24 |
| Probenart | - | Probenahmeort | - |
| Entnahme ab | 1.5 – 2.5 m | Probenehmer | Auftraggeber |
| Bemerkungen | - | | |

## Korngrössenverteilung

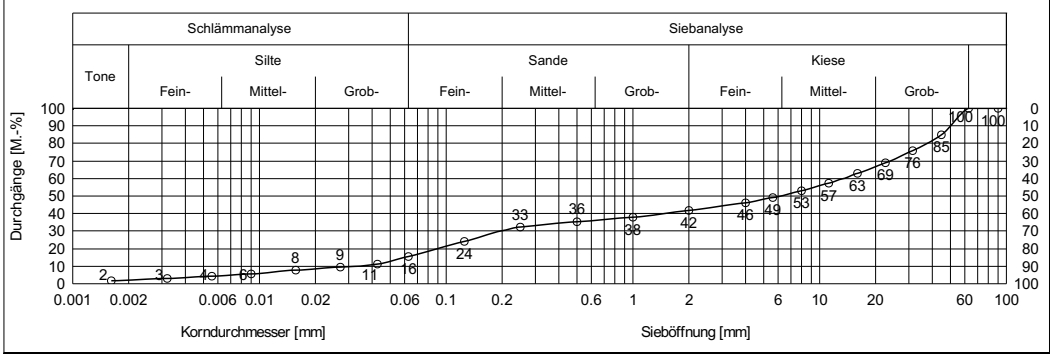
Siebanalyse (SN EN 933-1: 2013)

| Sieb [mm] | Ergebnis [M.-%] |
|---|---|
| 63.0 | 100.0 |
| 45.0 | 84.7 |
| 31.5 | 75.7 |
| 22.4 | 68.8 |
| 16.0 | 63.1 |
| 11.2 | 57.1 |
| 8.0 | 52.9 |
| 5.6 | 48.9 |
| 4.0 | 46.2 |
| 2.0 | 41.6 |
| 1.0 | 38.0 |
| 0.5 | 35.5 |
| 0.25 | 32.5 |
| 0.125 | 24.1 |
| 0.063 | 15.6 |

Schlämmanalyse (SN 670 816a:1989)

| Korndurchmesser [mm] | Ergebnis [M.-%] |
|---|---|
| 0.0427 | 11.4 |
| 0.0270 | 9.4 |
| 0.0156 | 7.7 |
| 0.0090 | 5.5 |
| 0.0055 | 4.3 |
| 0.0032 | 3.2 |
| 0.0016 | 1.8 |

Methoden: Schlämmanalyse (Aräometer)
Waschen, Trockensiebung




### Zusammensetzung

| | | |
|---|---|---|
| Ton | 2.1 | [M.-%] |
| Silt | 13.5 | [M.-%] |
| Sand | 26.0 | [M.-%] |
| Kies | 58.4 | [M.-%] |
| Steine | 0.0 | [M.-%] |
| Organika | - | [M.-%] |
| Wassergehalt | 7.8 | [M.-%] |

### Kongrössenparameter

| | | |
|---|---|---|
| Grösstkorn | 76 | [mm] |
| < 0.02 mm | 8.5 | [M.-%] |
| < 0.063 mm | 15.6 | [M.-%] |
| d10 | 0.032 | [mm] |
| d30 | 0.197 | [mm] |
| d50 | 6.21 | [mm] |
| d60 | 13.34 | [mm] |
| Steilheit Cud | 412.4 | |
| Krümmung Ccd | 0.1 | |

### Konzistenzgrenzen (Atterberg)

| | | |
|---|---|---|
| Anteil Überkorn | 64.5 | [M.-%] |
| Fliessgernze wL 105 | 18.1 | [%] |
| Ausrollgrenze wP | 13.2 | [%] |
| Plastizitätsindex Ip | 4.9 | [%] |
| Plastizität | CL-ML (wenig plastisch) | |

**USCS-Klassifikation** **GC-GM: siltiger bis toniger Kies mit Sand**

Oberbuchsiten, den 11.09.2024

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.
Es gelten die AGB.

Nimet Coskun

**IMP Bautest AG**
www.impbautest.ch
Institut für Materialprüfung, Bauberatung und Analytik
Laborweg 1
4625 Oberbuchsiten
Telefon 062 389 98 99
info@impbautest.ch

**Swiss Testing 0016**

# Attest

| | |
|---|---|
| Prüfzeugnisnummer | 24-02-5482 |
| Gesamtauftrag | 02-02-01705 - 18 |
| Probenahme | - |
| Probeneingang | 13.08.2024 |
| Projektleiter | Nimet Coskun |
| Objekt | DCH013913.01 Horgen-Au |

**Böden** **VSS 70 345b:2019**



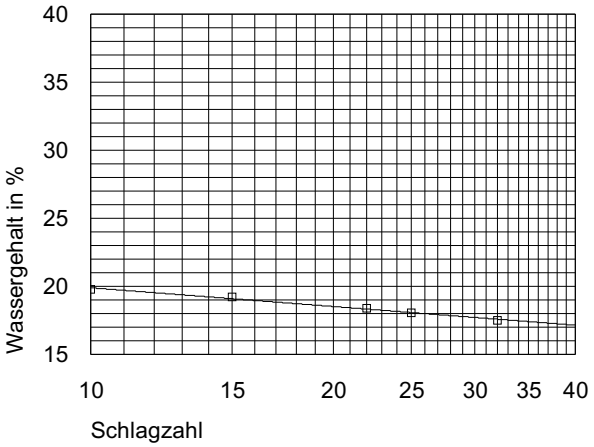
CSD Ingenieure AG
Schachenallee 29 A
5000 Aarau

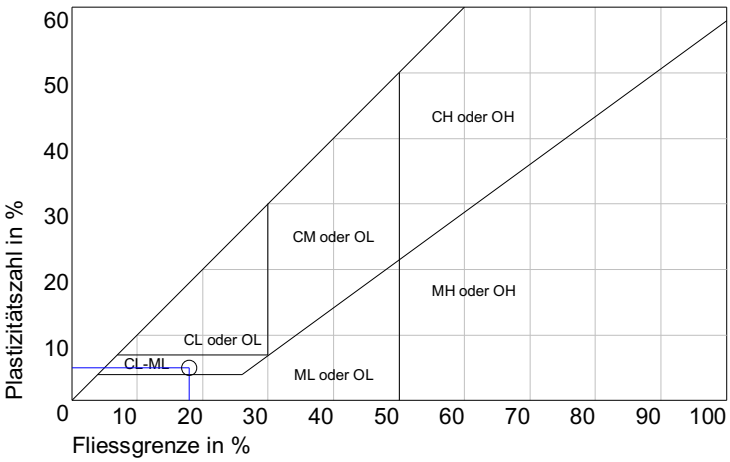
Bemerkungen -

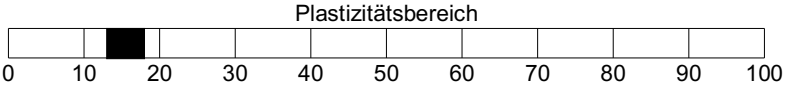
| | | | |
|---|---|---|---|
| Probe-Nr. | 24-08783 | Bezeichnung Kunde | KB 3-24 |
| Probenart | - | Probenahmeort | - |
| Entnahme ab | 1.5 – 2.5 m | Probenehmer | Auftraggeber |
| Bemerkungen | - | | |

## Konsistenzgrenzen Atterberg (VSS 70 345b:2019)

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Grösstkorn | [mm] | 0.5 | Anteil Überkorn | [M.-%] | 64.5 |
| Trockenmasse Probe md | [g] | 7749.0 | Fliessgrenze $w_{L105}$ | [%] | 18.1 |
| Trockenmasse Überkorn $m_ü$ | [g] | 4997.2 | Ausrollgrenze $w_P$ | [%] | 13.2 |
| Wassergehalt Probe w | [M.-%] | 7.8 | Plastizitätszahl $I_P$ | [%] | 4.9 |
| Wassergehalt Überkorn $w_ü$ | [M.-%] | | Liquiditätszahl $I_L$ | [%] | |
| Wassergehalt w<0.4 | [M.-%] | | Konsistenzzahl $I_C$ | [%] | |
| Fliessgrenze $w_{Lnat}$ | [%] | | Verhältnis $w_{L105}$ / $w_{Lnat}$ | [-] | |
| Plastizität | | | CL-ML (wenig plastisch) | | |




Oberbuchsiten, den 11.09.2024

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.
Es gelten die AGB.

Nimet Coskun

**IMP Bautest AG** Institut für Materialprüfung, Laborweg 1 Telefon 062 389 98 99
www.impbautest.ch Bauberatung und Analytik 4625 Oberbuchsiten info@impbautest.ch

**Swiss Testing 0016**

# Attest

| | |
|---|---|
| **Böden** | **SN EN 933-1:2013** |
| **Sieb- und Schlämmanalyse** | **SN 670 816a:1989** |



| | |
|---|---|
| Prüfzeugnisnummer | 24-02-5478 |
| Gesamtauftrag | 02-02-01705 - 18 |
| Probenahme | - |
| Probeneingang | 13.08.2024 |
| Projektleiter | Nimet Coskun |
| Objekt | DCH013913.01 Horgen-Au |
| Bemerkung | - |

CSD Ingenieure AG
Schachenallee 29 A
5000 Aarau

| | | | |
|---|---|---|---|
| Probe-Nr. | 24-08784 | Bezeichnung Kunde | KB 3-24 |
| Probenart | - | Probenahmeort | - |
| Entnahme ab | 6.0 – 7.0 m | Probenehmer | Auftraggeber |
| Bemerkungen | - | | |

## Korngrössenverteilung

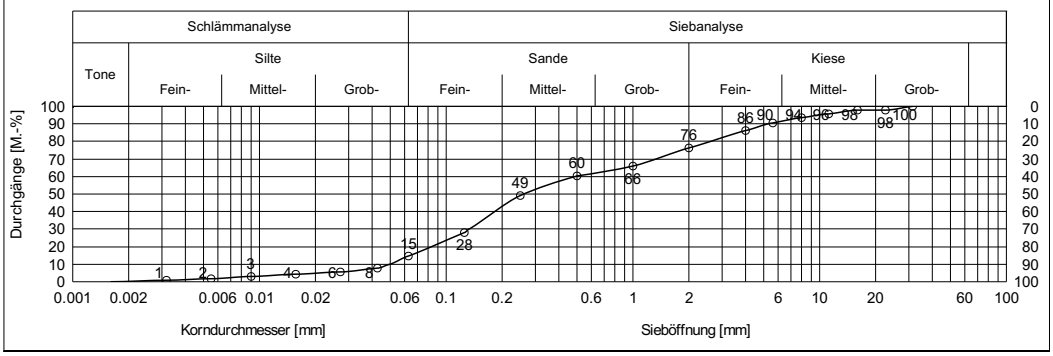
Siebanalyse (SN EN 933-1: 2013)

| Sieb [mm] | Ergebnis [M.-%] |
|---|---|
| 31.5 | 100.0 |
| 22.4 | 97.9 |
| 16.0 | 97.9 |
| 11.2 | 95.9 |
| 8.0 | 93.7 |
| 5.6 | 90.4 |
| 4.0 | 86.3 |
| 2.0 | 76.1 |
| 1.0 | 65.9 |
| 0.5 | 60.4 |
| 0.25 | 49.1 |
| 0.125 | 28.1 |
| 0.063 | 14.8 |

Schlämmanalyse (SN 670 816a:1989)

| Korndurchmesser [mm] | Ergebnis [M.-%] |
|---|---|
| 0.0428 | 7.7 |
| 0.0271 | 5.7 |
| 0.0156 | 4.2 |
| 0.0090 | 3.1 |
| 0.0055 | 1.7 |
| 0.0032 | 1.0 |
| 0.0016 | |

Methoden: Schlämmanalyse (Aräometer)
Waschen, Trockensiebung




### Zusammensetzung

| | | |
|---|---|---|
| Ton | 0.2 | [M.-%] |
| Silt | 14.6 | [M.-%] |
| Sand | 61.3 | [M.-%] |
| Kies | 23.9 | [M.-%] |
| Steine | 0.0 | [M.-%] |
| Organika | - | [M.-%] |
| Wassergehalt | 21.7 | [M.-%] |

### Kongrössenparameter

| | | |
|---|---|---|
| Grösstkorn | 30 | [mm] |
| < 0.02 mm | 4.8 | [M.-%] |
| < 0.063 mm | 14.8 | [M.-%] |
| d10 | 0.050 | [mm] |
| d30 | 0.134 | [mm] |
| d50 | 0.26 | [mm] |
| d60 | 0.49 | [mm] |
| Steilheit Cud | 9.8 | |
| Krümmung Ccd | 0.7 | |

### Konzistenzgrenzen (Atterberg)

| | | |
|---|---|---|
| Anteil Überkorn | - | [M.-%] |
| Fliessgernze wL 105 | - | [%] |
| Ausrollgrenze wP | - | [%] |
| Plastizitätsindex Ip | - | [%] |
| Plastizität | ML (nicht plastisch) | |

**USCS-Klassifikation** **SM: siltiger Sand mit Kies**

Oberbuchsiten, den 11.09.2024

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.
Es gelten die AGB.

Nimet Coskun

**IMP Bautest AG**
www.impbautest.ch
Institut für Materialprüfung, Bauberatung und Analytik
Laborweg 1
4625 Oberbuchsiten
Telefon 062 389 98 99
info@impbautest.ch

**Swiss Testing 0016**

# Attest

| | |
|---|---|
| **Böden** | **SN EN 933-1:2013** |
| **Sieb- und Schlämmanalyse** | **SN 670 816a:1989** |



| | |
|---|---|
| Prüfzeugnisnummer | 24-02-5472 |
| Gesamtauftrag | 02-02-01705 - 18 |
| Probenahme | - |
| Probeneingang | 13.08.2024 |
| Projektleiter | Nimet Coskun |
| Objekt | DCH013913.01 Horgen-Au |
| Bemerkung | - |

CSD Ingenieure AG
Schachenallee 29 A
5000 Aarau

| | | | |
|---|---|---|---|
| Probe-Nr. | 24-08785 | Bezeichnung Kunde | KB 4-24 |
| Probenart | - | Probenahmeort | - |
| Entnahme ab | 2.0 – 3.0 m | Probenehmer | Auftraggeber |
| Bemerkungen | - | | |

## Korngrössenverteilung

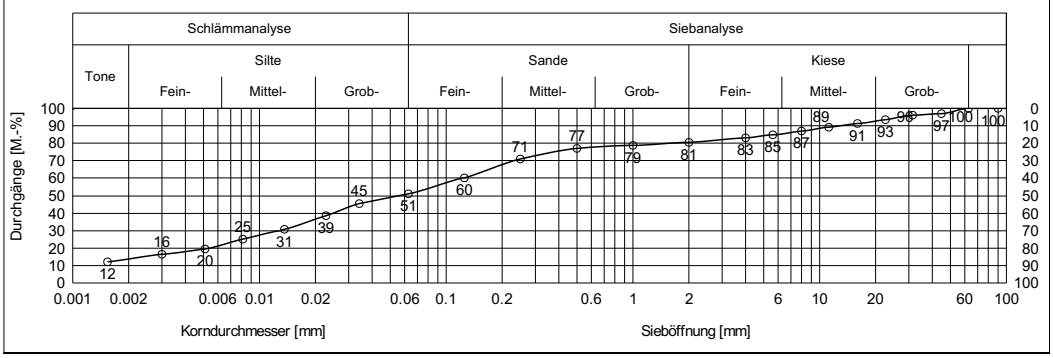
Siebanalyse (SN EN 933-1: 2013)

| Sieb [mm] | Ergebnis [M.-%] |
|---|---|
| 63.0 | 100.0 |
| 45.0 | 97.2 |
| 31.5 | 95.9 |
| 22.4 | 93.4 |
| 16.0 | 91.5 |
| 11.2 | 89.2 |
| 8.0 | 87.1 |
| 5.6 | 85.0 |
| 4.0 | 83.2 |
| 2.0 | 80.7 |
| 1.0 | 78.8 |
| 0.5 | 77.2 |
| 0.25 | 71.1 |
| 0.125 | 60.2 |
| 0.063 | 51.0 |

Schlämmanalyse (SN 670 816a:1989)

| Korndurchmesser [mm] | Ergebnis [M.-%] |
|---|---|
| 0.0344 | 45.4 |
| 0.0227 | 38.5 |
| 0.0137 | 30.9 |
| 0.0081 | 25.0 |
| 0.0051 | 19.6 |
| 0.0030 | 16.4 |
| 0.0015 | 12.3 |

Methoden: Schlämmanalyse (Aräometer)
Waschen, Trockensiebung




### Zusammensetzung

| | | |
|---|---|---|
| Ton | 13.6 | [M.-%] |
| Silt | 37.4 | [M.-%] |
| Sand | 29.7 | [M.-%] |
| Kies | 19.3 | [M.-%] |
| Steine | 0.0 | [M.-%] |
| Organika | - | [M.-%] |
| Wassergehalt | 16.3 | [M.-%] |

### Kongrössenparameter

| | | |
|---|---|---|
| Grösstkorn | 54 | [mm] |
| < 0.02 mm | 36.6 | [M.-%] |
| < 0.063 mm | 51.0 | [M.-%] |
| d10 | - | [mm] |
| d30 | 0.013 | [mm] |
| d50 | 0.06 | [mm] |
| d60 | 0.12 | [mm] |
| Steilheit Cud | - | |
| Krümmung Ccd | - | |

### Konzistenzgrenzen (Atterberg)

| | | |
|---|---|---|
| Anteil Überkorn | 22.8 | [M.-%] |
| Fliessgernze wL 105 | 20.9 | [%] |
| Ausrollgrenze wP | 13.6 | [%] |
| Plastizitätsindex Ip | 7.3 | [%] |
| Plastizität | CL (ziemlich plastisch) | |

**USCS-Klassifikation** **CL: sandiger siltiger Ton mit Kies**

Oberbuchsiten, den 11.09.2024

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.
Es gelten die AGB.

Nimet Coskun

**IMP Bautest AG**
www.impbautest.ch
Institut für Materialprüfung, Bauberatung und Analytik
Laborweg 1
4625 Oberbuchsiten
Telefon 062 389 98 99
info@impbautest.ch

**Swiss Testing 0016**

# Attest

| | |
|---|---|
| **Böden** | **VSS 70 345b:2019** |



| | |
|---|---|
| Prüfzeugnisnummer | 24-02-5473 |
| Gesamtauftrag | 02-02-01705 - 18 |
| Probenahme | - |
| Probeneingang | 13.08.2024 |
| Projektleiter | Nimet Coskun |
| Objekt | DCH013913.01 Horgen-Au |

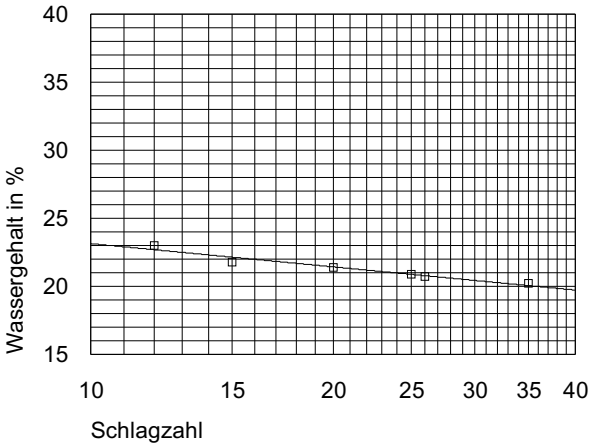
CSD Ingenieure AG
Schachenallee 29 A
5000 Aarau

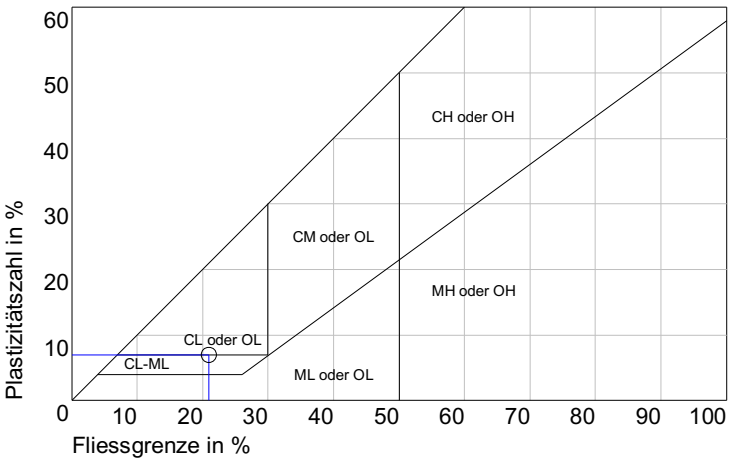
Bemerkungen -

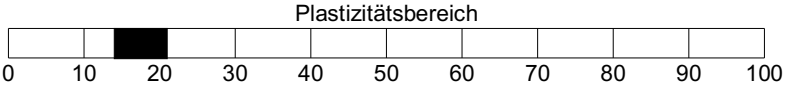
| | | | |
|---|---|---|---|
| Probe-Nr. | 24-08785 | Bezeichnung Kunde | KB 4-24 |
| Probenart | - | Probenahmeort | - |
| Entnahme ab | 2.0 – 3.0 m | Probenehmer | Auftraggeber |
| Bemerkungen | - | | |

## Konsistenzgrenzen Atterberg (VSS 70 345b:2019)

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Grösstkorn | [mm] | 0.5 | Anteil Überkorn | [M.-%] | 22.8 |
| Trockenmasse Probe md | [g] | 6456.9 | Fliessgrenze $w_{L105}$ | [%] | 20.9 |
| Trockenmasse Überkorn $m_ü$ | [g] | 1470.3 | Ausrollgrenze $w_P$ | [%] | 13.6 |
| Wassergehalt Probe w | [M.-%] | 16.3 | Plastizitätszahl $I_P$ | [%] | 7.3 |
| Wassergehalt Überkorn $w_ü$ | [M.-%] | | Liquiditätszahl $I_L$ | [%] | |
| Wassergehalt w<0.4 | [M.-%] | | Konsistenzzahl $I_C$ | [%] | |
| Fliessgrenze $w_{Lnat}$ | [%] | | Verhältnis $w_{L105}$ / $w_{Lnat}$ | [-] | |
| Plastizität | | | CL (ziemlich plastisch) | | |




Oberbuchsiten, den 11.09.2024

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.
Es gelten die AGB.

Nimet Coskun

**IMP Bautest AG** Institut für Materialprüfung, Laborweg 1 Telefon 062 389 98 99
www.impbautest.ch Bauberatung und Analytik 4625 Oberbuchsiten info@impbautest.ch

**Swiss Testing 0016**

# Attest

**Calciumcarbonatgehalt nach Passon**



| | |
|---|---|
| Prüfzeugnis-Nr. | 24-02-5471 |
| Gesamtauftrag | 02-02-01705 - 18 |
| Probenahme | - |
| Probeneingang | 13.08.2024 |
| Projektleiter | Nimet Coskun |
| Objekt | DCH013913.01 SBB Horgen-AU |
| Bemerkungen | - |

CSD Ingenieure AG
Schachenallee 29 A
5000 Aarau

| | | | |
|---|---|---|---|
| Probe-Nr. | 24-08782 | Bez. Kunde | KB 1-24 |
| Probenart | - | Probenahmeort | - |
| Entnahme ab | 8.5-9.5 m | Probenehmer | Auftraggeber |
| Bemerkungen | - | | |

| **Prüfung** | **Anteil** [%] |
|---|---|
| **Calciumcarbonatgehalt nach Passon (eigenes Verfahren)** | 80.2 |

Oberbuchsiten, den 11.09.2024

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.
Es gelten die AGB.

Nimet Coskun
Projektleitung

**IMP Bautest AG**
www.impbautest.ch

Institut für Materialprüfung,
Bauberatung und Analytik

Laborweg 1
4625 Oberbuchsiten

Telefon 062 389 98 99
info@impbautest.ch

**Swiss Testing 00016**

# Attest

| **Oedometerversuch** | **SN EN ISO 17892-5:2018** |
|---|---|



| | |
|---|---|
| Prüfzeugnis-Nr. | 24-02-5543 |
| Gesamtauftrag | 02-02-01705 - 18 |
| Probenahme | - |
| Probeneingang | 13.08.2024 |
| Projektleiter | Nimet Coskun |
| Objekt | DCH013913.01 Horgen-Au |
| Bemerkungen | - |

CSD Ingenieure AG
Schachenallee 29 A
5000 Aarau

| | | | |
|---|---|---|---|
| Probe-Nr. | 24-08782 | Bez. Kunde | KB 1-24 |
| Probenart | - | Probenahmeort | - |
| Entnahme ab | 8.5-9.5 m | Probenehmer | Auftraggeber |
| Bemerkungen | - | | |

| **Zusammenstellung der Resultate** | Duchführung in Drittlabor (s. Anhang) |
|---|---|



**IMP Bautest AG** Institut für Materialprüfung, Laborweg 1 Telefon 062 389 98 99
www.impbautest.ch Bauberatung und Analytik 4625 Oberbuchsiten info@impbautest.ch

**Swiss Testing 00016**

TransGeo AG
Dorfstrasse 10
CH-3073 Gümligen
Tel: +41 31 964 02 16
E-Mail: info@transgeo.ch, www.transgeo.ch

# Untersuchungsbericht

# Ungebundene Gemische / Böden

## Projekt: 24-08781

## Auftrag: IMP Bautest, CH-4625 Oberbuchsiten

| **Auftraggeber:** | **Prüflabor:** | |
|---|---|---|
| IMP Bautest AG | Bericht Nr.: | 13.369 IMP 017 |
| Nimet Coskun | Auftrag Nr. | 13.369 |
| Laborweg 1 | Datum: | 12.09.2024 |
| **CH-4625 Oberbuchsiten** | Verfasser: | fog |
| | Verteiler: | Auftraggeber |

## Probenmaterial / Prüfablauf

| **Angaben Auftraggeber** | | **Angaben Prüflabor** | | |
|---|---|---|---|---|
| Proben Serie Nr.: | **24-08781** | Projektleiter: | fog | Visum: wy |
| Bezeichnung: | **Bodenprobe (Bohrkern)** | Datum Probenanlieferung : | 19.08.2024 | |
| Bau Los: | - | Datum Untersuchungsbeginn: | 20.08.2024 | |
| Herkunft: | - | Resultatübermittlung: | pdf an Auftraggeber | |
| Entnahme Ort: | - | Probenkonditionierung: | siehe Blatt Resultate | |
| Ausbruchart: | - | Korngruppe Labor Nr.: 0/X: | 24.1091 | |
| Entnahme Datum: | - | | | |
| Entnahme durch: | Auftraggeber | | | |
| Bemerkungen: | - | Bemerkungen: | | |

## Prüfprogramm

| Untersuchungen | | UG Gemisch (*d/D*) [mm] | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0/16 | 0/22.4 | 0/45 | 0/X |
| Korngrössenverteilung | *G* | - | - | - | - |
| Wassergehalt | *w* | - | - | - | - |
| Feinanteile, Sauberkeit | *f* | - | - | - | - |
| Plattigkeits-Kennzahl | *FI* | - | - | - | - |
| Anteile gebrochene Körner | *C* | - | - | - | - |
| Los Angeles-Test | *LA* | - | - | - | - |
| Einteilung der Bestandteile | | - | - | - | - |
| Foto-Dokumentation | | - | - | - | - |
| Chemische Prüfungen | *AS/ SS* | - | - | - | - |
| Proctorversuch | $w_{opt}$ | - | - | - | - |
| CBR Versuche | $CBR, CBR_2, CBR_F$ | - | - | - | - |
| Durchlässigkeitsbeiwert | *k* | - | - | - | - |
| Korndichte und Wasseraufnahme | $\rho r_d$ / $WA_{24}$ | - | - | - | - |
| Schlämmanalyse | | - | - | - | - |
| Fliess und Ausrollgrenze (Atterberg) | *Ip* | - | - | - | - |
| Klassifikation USCS | | - | - | - | - |
| Ödometerversuch | | - | - | - | X |

Bemerkungen, Zusatzuntersuchungen:

Folco Giacomini

Folco Giacomini, dr. rer nat., Geologe
Bereichsleiter Labor

Dieser Untersuchungsbericht umfasst : 3 Seiten und 0 Anhänge

Die nach ISO/IEC 17025 akkreditierten Untersuchungen sind auf den Prüfberichten mit unserem STS Logo gekennzeichnet

Ohne Genehmigung der TransGeo AG dürfen Prüfberichte nicht auszugsweise vervielfältigt werden. Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchten Proben.

**Projekt: 24-08781**

**Auftrag: IMP Bautest, CH-4625 Oberbuchsiten**

TransGeo Analysen und Beratung

# Ödometerversuch

SN EN ISO 17892-5: 2018

## Probenmaterial

| **Angaben Auftraggeber** | |
|---|---|
| Proben Serie Nr.: | **24-08781** |
| Bezeichnung: | **Bodenprobe** |
| Bau Los: | - |
| Herkunft: | - |
| Entnahme Ort: | 0-20cm |
| Ausbruchart: | - |
| Entnahme Datum: | - |
| Entnahme durch: | Auftraggeber |
| Bemerkungen: | **-** |

| **Angaben Prüflabor** | | |
|---|---|---|
| Bearbeiter: | fog | Visum: wy |
| Datum Probenanlieferung : | 19.08.2024 | |
| Datum Untersuchungsbeginn: | 20.08.2024 | |
| Resultatübermittlung: | pdf an Auftraggeber | |
| Probenkonditionierung: | gemäss Norm | |
| Korngruppe Labor Nr.: | 24.1091 | |
| Bemerkungen: | | |

## Probenmaterial und Versuchsanordnung

Probenart: ungestört*

Dichte Festsubstanz $\rho s$ [Mg/m$^3$]: 2.68 (geschätzt)

Wassergehalt bei Anlieferung [M-%]: 48.0

Probendurchmesser $D$ [mm]: 50.0

Probenhöhe $H_0$ [mm]: 20.0

Labortemperatur [°C]: 24.0

ungestört*: Prüfkörper mittig aus dem Bohrkern und parallel zur Bohrkernachse gestochen

Versuchsanordnung: Schwebender Ring, zweiseitige Entwässerung mit Filterpapier

## Prüfresultate

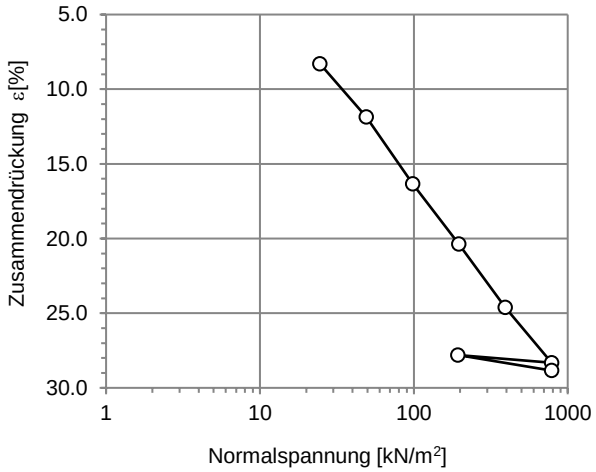
**vor der Belastung**

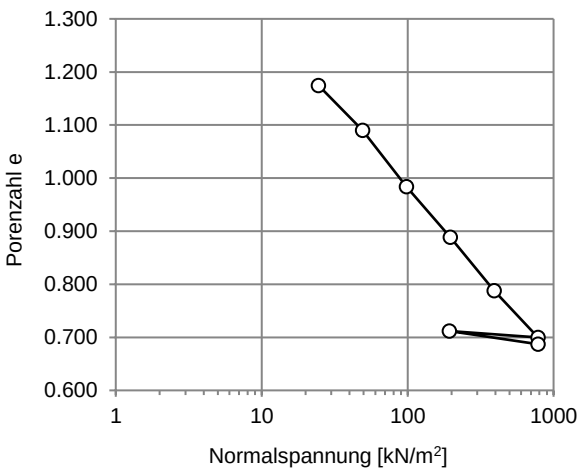
| | |
|---|---|
| Einbaudichte $\rho$ [Mg/m$^3$]: | 1.67 |
| Porenzahl $e_0$: | 1.37 |
| Sättigungsgrad $S_r$ [%]: | 94.1 |
| Trockendichte $\rho_d$ [Mg/m$^3$]: | 1.13 |

**nach der Belastung**

| | |
|---|---|
| Endwassergehalt [M-%]: | 34.1 |
| Porenzahl $e_f$: | 0.687 |
| Zusammendrückung [%]: | 28.84 |
| Probenhöhe [mm]: | 14.23 |

| Normal-spannung $\sigma'_z$ | Zusammen-drückung | Porenzahl e | $C_c$ / $C_s$ |
|---|---|---|---|
| [kN/m$^2$] | [%] | - | [-] |
| 25 | 8.29 | 1.175 | - |
| 50 | 11.86 | 1.090 | 0.281 |
| 100 | 16.33 | 0.984 | 0.352 |
| 200 | 20.36 | 0.888 | 0.318 |
| 400 | 24.61 | 0.788 | 0.335 |
| 800 | 28.31 | 0.700 | 0.292 |
| 200 | 27.80 | 0.712 | 0.020 |
| 800 | 28.84 | 0.687 | 0.042 |




Ohne Genehmigung der TransGeo AG dürfen Prüfberichte nicht auszugsweise vervielfältigt werden. Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchten Proben.

**Projekt: 24-08781**

**Auftrag: IMP Bautest, CH-4625 Oberbuchsiten**

TransGeo Analysen und Beratung

# Ödometerversuch

SN EN ISO 17892-5: 2018

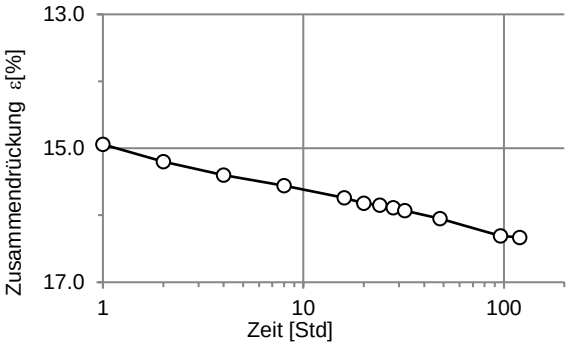
## Probenmaterial

| **Angaben Auftraggeber** | |
|---|---|
| Proben Serie Nr.: | **24-08781** |
| Bezeichnung: | **Bodenprobe** |
| Bau Los: | - |
| Herkunft: | - |
| Entnahme Ort: | 0-20cm |
| Ausbruchart: | - |
| Entnahme Datum: | - |
| Entnahme durch: | Auftraggeber |
| Bemerkungen: | **-** |

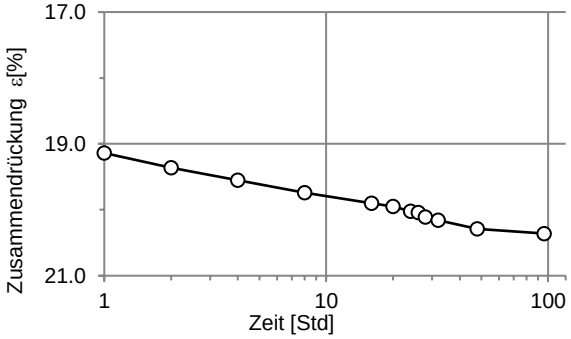
| **Angaben Prüflabor** | | |
|---|---|---|
| Bearbeiter: | fog | Visum: wy |
| Datum Probenanlieferung : | 19.08.2024 | |
| Datum Untersuchungsbeginn: | 20.08.2024 | |
| Resultatübermittlung: | pdf an Auftraggeber | |
| Probenkonditionierung: | gemäss Norm | |
| Korngruppe Labor Nr.: | 24.1091 | |
| Bemerkungen: | | |

## Zeitsetzungskurven

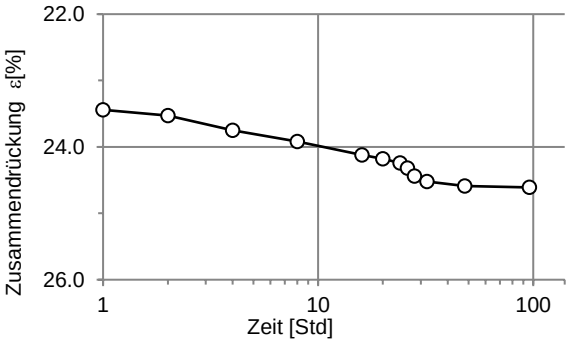
Belastungsstufe: 3 100 kN/m$^2$



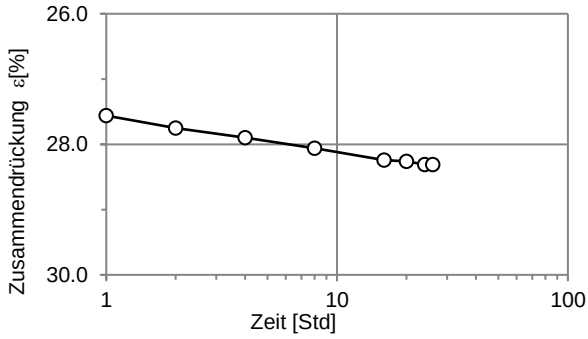

Belastungsstufe: 4 200 kN/m$^2$



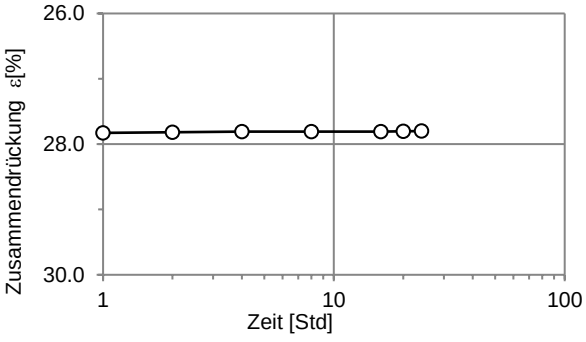

Belastungsstufe: 5 400 kN/m$^2$



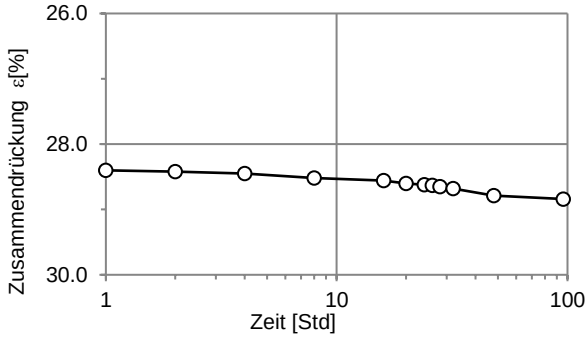

Belastungsstufe: 6 800 kN/m$^2$




Belastungsstufe: 7 200 kN/m$^2$ (Entlastung)

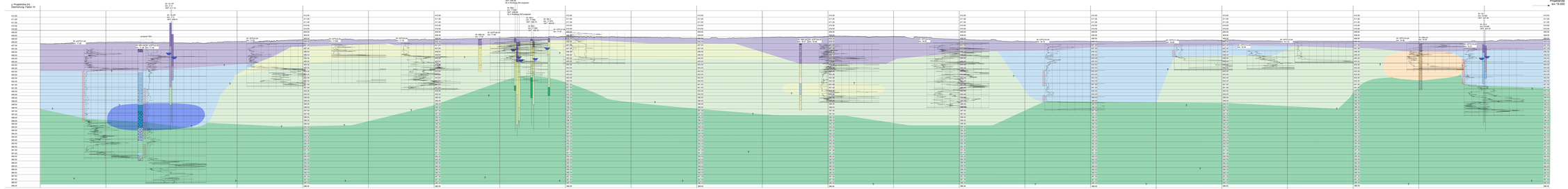



Belastungsstufe: 8 800 kN/m$^2$ (Wiederbelastung)




Ohne Genehmigung der TransGeo AG dürfen Prüfberichte nicht auszugsweise vervielfältigt werden. Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchten Proben.

# Anhang F Längsschnitt




**LEGENDE**

- Anstehes Auffüllungen
- Rutschkörper/-massen
- Rutschfuss
- Bachsohle
- Rezente Verlehmung
- Anstehes
- Obere Grundwasserschicht
- Grenzen auf Rheinschichten
- Grundwasserspiegel

SBB CFF FFS
SBB Horgen - Au

**SBB-Bahnlinie 720,**
**km 17.200 bis 19.500 (Horgen - Au)**


CSD INGENIEURE AG
Sonnenbergstrasse 11
8032 Zürich
www.csd.ch

T +41 52 625 44 55
E mail@csd.ch


LÄNGSPROFIL

| | |
|---|---|
| Datenarchiv | DCH.13949 |
| Massstab | 1:1'000 |
| Format | 36 x 0.297m |
| Datum | 10/01 | 08/21 |

MST 1:1'000

DCH013913.01 Plan_Beilage E

# Anhang G Tabellarische Übersicht der Weichschichten

| Sondierungen | sCPTU 1-24 | sCPTU 2-24 | KB 1-24 | CPTU 3-24 | CPTU 4-24 | CPTU 5-24 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Übersicht Beurteilung Weichschichten | | | | | | |
| Sondierungen | sCPTU 1-24 | sCPTU 2-24 | KB 1-24 | CPTU 3-24 | CPTU 4-24 | CPTU 5-24 |
| Kilometrierung SBB [km] | 17.26 | 17.36 | 17.36 | 17.52 | 17.645 | 17.75 |
| OK Sondierung [m ü. M.] | 407.35 | 407.17 | 407.15 | 408.13 | 407.8 | 408.3 |
| Höhe Gleis [m ü. M.] | 407.9 | 408 | 408 | 408 | 408.5 | 408.5 |
| Bahndamm ja/nein | ja (klein) | ja | ja | nein | ja | ja (klein) |
| Dammhöhe | 0.55 | 0.8 | 0.9 | -0.1 | 0.7 | 0.2 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Beschrieb Bohrkerne / Sondierungen bezüglich Weichschichten | zwischen 403 bis 396.2 m ü. M. Weichschicht aus tonigem Silt | zwischen 401.2 bis 393.5 m ü. M. und zwischen 393.2 bis 390.8 m ü.M. Weichschichten aus tonigem Silt | zwischen 403.6 bis 393.8 m ü. M. und zwischen 393.2 bis 390.8 m ü.M. Weichschichten aus tonigem Silt | Keine Weichschicht | Keine Weichschicht | zwischen 408.2 bis 406.6 m ü. M. potentielle Weichschicht aus tonigem Silt |
| N1,60 | - | - | 2m 5, 4m 2, 6m 1.5, 8m 1.3, 10m 1.2, 12m 1, 16m 10 | - | - | - |
| Taschenpenetrometer qup < 50 kN/m2 | - | - | ja, zwischen 10 und 10.5 m <0.5 kg/cm2 und zwischen 11.5 und 13.6 0 kg/cm2 | - | - | - |
| qc < 2.5 | ja | ja | ja | ja (vermutlich) | nein | ja |
| ID < 0.3 | nein | nein | nein | nein | nein | nein |
| cu < 40 kN/m2 | ja | ja | ja | nein | nein | nein |
| cu < 20 kN/m2 | ja, teilweise einige Zwischenschichten | ja, teilweise zwischen 397 - 396 | ja teilweise | nein | nein | nein |
| DPSH-B < 2 | - | - | - | - | nein | - |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| USCS Klassifikation | - | - | SP-SM | SM | CM | ML | - | - | - |
| Tiefe Probe [m OKT] | - | - | 4.5 - 5.5 | 6.5 - 8.0 | 8.5 - 9.5 | 10.5 - 11.5 | - | - | - |
| wL [%] | - | - | - | - | 35 | 43.3 | - | - | - |
| wP [%] | - | - | - | - | 23.7 | 28.3 | - | - | - |
| Ip = wL - WP | - | - | - | - | 11.3 | 15 | - | - | - |
| IP > 20 % | - | - | - | - | nein | nein | - | - | - |
| IP > 75% | - | - | - | - | nein | nein | - | - | - |
| IL = (wL - w)/(wL - wP) | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| IL < 0.5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Tone mit wL>30% und IP > 12 | - | - | - | - | ja/nein | ja/ja | - | - | - |
| Potentielles Verflüssigungsrisiko wenn w/wL>0.8 (Sättigungsgrad) UND IP<18 | - | - | - | - | ja | ja | - | - | - |
| Wassergehalt % | - | - | 25.6 | 38 | 53.9 | 57.7 | - | - | - |
| org. Anteil [%] | - | - | - | 1.84 (schwach organisch) | - | - | - | - | - |
| org. Anteil über 20 % / 50 % | - | - | - | nein | - | - | - | - | - |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| OK Weichschicht [m unter OKT] | 4.4 | 7.5 | 8.5 | - | - | - |
| UK Weichschicht [m unter OKT] | 11.2 | 14.8 | 16.4 | - | - | - |
| Dicke der Weichschicht [m] | 6.8 | 7.4 | 7.9 | - | - | - |
| Überdeckung der Weichschicht unter den Gleisen | 4.95 | 8.3 | 9.4 | - | - | - |
| Bemerkungen | Ton, siltig | Ton, siltig, Seekreide / Silt / Ton unter 10 m Tiefe | Silt / Ton, Bohrung bei sCPTU2 nahe See, ca. 30 m Abstand zum Gleis | keine zusammenhängende Weichschicht | keine zusammenhängende Weichschicht | keine zusammenhängende Weichschicht |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| vs,Weichschicht, gemessen [m/s] | 135 | 140 | 160 | - | - | - |
| vs10 geschätzt ohne Damm [m/s] | 150 | 160 | 160 | - | - | - |
| Schwerwellengeschwindigkeit vs10 < 140 m/s ja/nein | nein | nein | nein | - | - | - |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Seismische Baugrundklasse SIA 261 (2014) | D/E | D | D | C/D | D | D |
| Erdbebenzonen SIA 261 | Z1b | Z1b | Z1b | Z1b | Z1b | Z1b |
| Seismische Baugrundklasse SBB (Untergrund ohne Damm) | F | E/F | E/F | C/D | E | D |

| Sondierungen | KB 2-24 | sCPTU 6-24 | CPTU 7-24 | KB 3-24 | sCPTU 8-24 | CPTU 9-24 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Übersicht Beurteilung Weichschichten | | | | SBB Strecke Horgen - AU | | |
| Sondierungen | KB 2-24 | sCPTU 6-24 | CPTU 7-24 | KB 3-24 | sCPTU 8-24 | CPTU 9-24 |
| Kilometrierung SBB [km] | 17.87 | 17.88 | 17.97 | 18.37 | 18.38 | 18.55 |
| OK Sondierung [m ü. M.] | 408.61 | 408.7 | 409.7 | 407.96 | 407.91 | 408.38 |
| Höhe Gleis [m ü. M.] | 408.8 | 408.7 | 408.9 | 408.8 | 408.8 | 408.7 |
| Bahndamm ja/nein | ja (klein) | nein | nein | ja | ja | ja |
| Dammhöhe | 0.2 | 0.0 | -0.8 | 0.8 | 0.9 | 0.3 |

| Hinweise auf Weichschichten Bohrungen und Sondierungen | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Beschrieb Bohrkerne / Sondierungen bezüglich Weichschichten | Keine Weichschicht | Keine Weichschicht | Dünne zwischenschicht von 409.0 bis 408.6 m ü. M., aber kleiner als 1 m | Es gibt zwei potenteille Weischsichten von 404.2 bis 402.8 m ü. M. und zwischen 401.8 bis 401 m ü. M. | Es gibt zwei potenteille Weischsichten von 404.2 bis 402.8 m ü. M. und zwischen 401.8 bis 401 m ü. M. | Keine Weichschicht |
| N1,60 | 2m 23, 4m 8, 6m 20 | - | - | 3m 10, 5m 2.5, 7m 10 | - | - |
| Taschenpenetrometer qup < 50 kN/m2 | - | - | - | - | - | - |
| qc < 2.5 | nein | nein | nein | ja | ja | nein |
| ID < 0.3 | nein | nein | nein | nein | nein | nein |
| cu < 40 kN/m2 | nein | nein | nein | nein | nein | nein |
| cu < 20 kN/m2 | nein | nein | nein | nein | nein | nein |
| DPSH-B < 2 | - | nein | - | - | - | - |

| Hinweise auf Weichschichten gemässe Laboruntersuchungen | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| USCS Klassifikation | - | - | - | GC-GM | SM | - | - |
| Tiefe Probe [m OKT] | - | - | - | 1.5 - 2.5 m | 6.0 - 7.0 m | - | - |
| wL [%] | - | - | - | 18.1 | - | - | - |
| wP [%] | - | - | - | 13.2 | - | - | - |
| Ip = wL - WP | - | - | - | 4.9 (wenig plastisch) | ML (nicht plastisch) | - | - |
| IP > 20 % | - | - | - | nein | - | - | - |
| IP > 75% | - | - | - | nein | - | - | - |
| IL = (wL - w)/(wL - wP) | - | - | - | - | - | - | - |
| IL < 0.5 | - | - | - | - | - | - | - |
| Tone mit wL>30% und IP > 12 | - | - | - | nein | - | - | - |
| Potentielles Verflüssigungsrisiko wenn w/wL>0.8 (Sättigungsgrad) UND IP<18 | - | - | - | nein/ja | - | - | - |
| Wassergehalt % | - | - | - | 7.8 | 21.7 | - | - |
| org. Anteil [%] | - | - | - | - | - | - | - |
| org. Anteil über 20 % / 50 % | - | - | - | - | - | - | - |

| Geometrie der Weichschicht | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OK Weichschicht [m unter OKT] | - | - | - | - | - | - | - |
| UK Weichschicht [m unter OKT] | - | - | - | - | - | - | - |
| Dicke der Weichschicht [m] | - | - | - | - | - | - | - |
| Überdeckung der Weichschicht unter den Gleisen | - | - | - | - | - | - | - |
| Bemerkungen | keine zusammenhängende Weichschicht | keine zusammenhängende Weichschicht | keine zusammenhängende Weichschicht | keine zusammenhängende Weichschicht | | keine zusammenhängende Weichschicht | keine zusammenhängende Weichschicht |

| Beurteilung Scherwellengeschwindigkeit vs | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| vs,Weichschicht, gemessen [m/s] | - | - | - | - | - | - |
| vs10 geschätzt ohne Damm [m/s] | - | 430 | - | - | 169 | - |
| Schwerwellengeschwindigkeit vs10 < 140 m/s ja/nein | - | nein | - | - | nein | - |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Seismische Baugrundklasse SIA 261 (2014) | C | C | C/D | D | D | C/D |
| Erdbebenzonen SIA 261 | Z1b | Z1b | Z1b | Z1b | Z1b | Z1b |
| Seismische Baugrundklasse SBB (Untergrund ohne Damm) | C | C | C/D | D | D | C/D |

| Sondierungen | CPTU 10-24 | CPTU 11-24 | CPTU 12-24 | CPTU 13 -24 | CPTU 14 -24 | KB 4-24 | sCPTU 15 -24 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Übersicht Beurteilung Weichschichten | | | | | | | |
| Sondierungen | CPTU 10-24 | CPTU 11-24 | CPTU 12-24 | CPTU 13 -24 | CPTU 14 -24 | KB 4-24 | sCPTU 15 -24 |
| Kilometrierung SBB [km] | 18.73 | 18.93 | 19.04 | 19.115 | 19.28 | 19.3 | 19.37 |
| OK Sondierung [m ü. M.] | 407.7 | 407.9 | 406.8 | 408.3 | 408.4 | 407.98 | 407.2 |
| Höhe Gleis [m ü. M.] | 408.2 | 408.3 | 408.2 | 408.3 | 408.2 | 408.2 | 408.3 |
| Bahndamm ja/nein | ja | ja | ja | nein | nein | ja (klein) | ja |
| Dammhöhe | 0.5 | 0.4 | 1.4 | 0.0 | -0.2 | 0.2 | 1.1 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Beschrieb Bohrkerne / Sondierungen bezüglich Weichschichten | zwischen 402.6 bis 401.5 m ü.M. Weichschicht aus sandigem Silt | zwischen 407.2 bis 405.8 m ü.M. Weichschicht aus siltigem Ton | Keine Weichschicht | Es gibt eine potenteille Weischsicht von 408.2 bis 406.2 m ü. M. | Keine Weichschicht | Keine Weichschicht | zwischen 405.4 bis 401.8 m ü. M. Weichschicht aus siltigem Ton |
| N1,60 | - | - | - | - | - | 3m 20, 5m 2, 7 m > 50 | - |
| Taschenpenetrometer qup < 50 kN/m2 | - | - | - | - | - | nein, von 3 bis 4 meter 3.5 kg/cm2 und von 4.4 bis 5.5 meter >8 kg/cm2 | - |
| qc < 2.5 | ja | ja | nein | ja | nein | nein | ja |
| ID < 0.3 | nein | nein | nein | nein | nein | nein | nein |
| cu < 40 kN/m2 | ja | ja | nein | nein | nein | nein | ja |
| cu < 20 kN/m2 | ja (vermutlich) | ja (vermutlich) | nein | nein | nein | nein | ja |
| DPSH-B < 2 | - | nein | - | - | - | - | - |

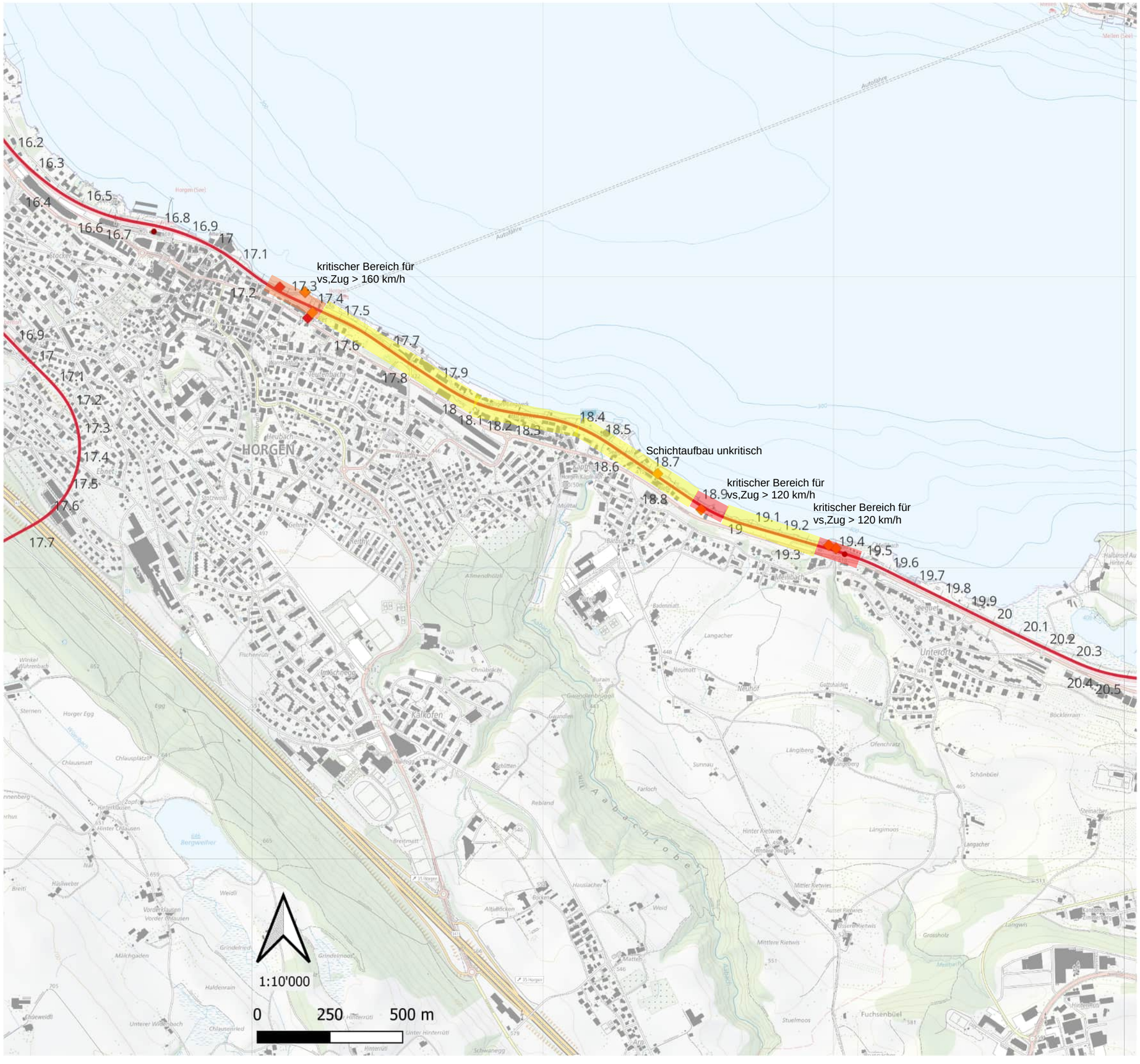
| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| USCS Klassifikation | - | - | - | - | - | CL | - |
| Tiefe Probe [m OKT] | - | - | - | - | - | 2.0 - 3.0 | - |
| wL [%] | - | - | - | - | - | 20.9 | - |
| wP [%] | - | - | - | - | - | 13.6 | - |
| Ip = wL - WP | - | - | - | - | - | 7.3 (ziemlich plastisch) | - |
| IP > 20 % | - | - | - | - | - | nein | - |
| IP > 75% | - | - | - | - | - | nein | - |
| IL = (wL - w)/(wL - wP) | - | - | - | - | - | - | - |
| IL < 0.5 | - | - | - | - | - | - | - |
| Tone mit wL>30% und IP > 12 | - | - | - | - | - | - | - |
| Potentielles Verflüssigungsrisiko wenn w/wL>0.8 (Sättigungsgrad) UND IP<18 | - | - | - | - | - | nein / ja | - |
| Wassergehalt % | - | - | - | - | - | 16.3 | - |
| org. Anteil [%] | - | - | - | - | - | - | - |
| org. Anteil über 20 % / 50 % | - | - | - | - | - | - | - |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OK Weichschicht [m unter OKT] | 5 | 0.8 | - | - | - | - | 1.6 |
| UK Weichschicht [m unter OKT] | 6.1 | 2.2 | - | - | - | - | 5.2 |
| Dicke der Weichschicht [m] | 1.1 | 1.4 | - | - | - | - | 3.6 |
| Überdeckung der Weichschicht unter den Gleisen | 5.5 | 1.2 | - | - | - | - | 2.7 |
| Bemerkungen | Silt | Ton, siltig | keine zusammenhängende Weichschicht | keine zusammenhängende Weichschicht | keine zusammenhängende Weichschicht | keine zusammenhängende Weichschicht | Ton, siltig |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| vs,Weichschicht, gemessen [m/s] | - | - | - | - | - | - | 155 |
| vs10 geschätzt ohne Damm [m/s] | - | - | - | - | - | - | 255 |
| Schwerwellengeschwindigkeit vs10 < 140 m/s ja/nein | - | - | - | - | - | - | nein |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Seismische Baugrundklasse SIA 261 (2014) | D/E | D | D | C/D | C | C | D |
| Erdbebenzonen SIA 261 | Z1b | Z1b | Z1b | Z1b | Z1b | Z1b | Z1b |
| Seismische Baugrundklasse SBB (Untergrund ohne Damm) | F | E/F | D | D | D | D | D |

# Anhang H Plan Weichschichten




## Weichschichten Mächtigkeit

Sondierungen Mächtigkeit Weichschichten

- >1m -5m
- >5m

GeoCover - Vektordaten

SBB CFF FFS

SBB Horgen - Au

Übersicht Mächtigkeit Weichschichten

CSD INGENIEURE
CSD INGENIEURE AG
Schachenallee 29 A
CH-5000 Aarau
t +41 62 834 44 00
www.csd.ch

| | | | |
|---|---|---|---|
| Gezeichnet | DCV | Auftrags Nr. | PLAN_BEILAGE |
| Geprueft | IWI | DCH013913.01 | H |
| Datum | 11.10.2024 | | |