

EINGEGANGEN

19. Juli 2022

Landkreis Vechta | Postfach 1353 | 49375 Vechta

Umania GmbH & Co. Windpark Krimpenfort KG  
Alter Weg 23  
27478 Cuxhaven

Ravensberger Str. 20  
49377 Vechta

Sachbearbeiter  
**Frau Schmidt**

66 - Amt für Umwelt und Tiefbau

Zimmer Nr. 342

Tel.: 04441/898-2522

Fax: 04441/898-1041

eMail: 2522@landkreis-vechta.de

Sprechzeiten  
s.u. zu Öffnungszeiten

Ihr Zeichen, Ihr Schreiben vom

Mein Zeichen (Bei Antwort bitte angeben)  
66-663045/09/1283

Datum  
13.07.2022

**Baumaßnahme: Bau einer Windenergieanlage WEA 04 im Windpark Krimpenfort, 49377 Vechta**

**hier: Erlaubnis für die Entnahme von Grundwasser im Rahmen einer Baumaßnahme und Wiedereinleitung des geförderten Grundwassers in ein Gewässer**

**Erlaubnis-Nr.:663045/09/1283**

Sehr geehrte Damen und Herren,

hiermit erteile ich Ihnen die **bis zum 30.09.2022** (Baubeginn 30.07.2022) befristete Erlaubnis für die

1. Entnahme von Grundwasser und
2. Einleitung des geförderten Grundwassers in ein Gewässer

im Rahmen der o. a. Baumaßnahme

**Zu 1. Entnahmestelle:**

|                                              |        |                                |                  |
|----------------------------------------------|--------|--------------------------------|------------------|
| Lage der Anlage: Fläche Siemer, 49377 Vechta |        |                                |                  |
| Gemarkung:                                   | Vechta | Flur: 25                       | Flurstück: 473/1 |
| Geografische Lage:                           |        |                                |                  |
| Ostwert (Rechtswert): 448887,0               |        | Nordwert (Hochwert): 5839750,0 |                  |

Informationen zur Verarbeitung Ihrer Daten erhalten Sie unter [www.landkreis-vechta.de/Datenschutz](http://www.landkreis-vechta.de/Datenschutz)

**Sprechzeiten:**  
Mo. - Fr. 8.30 - 12.30 Uhr  
Do. 14.30 - 17.00 Uhr  
bei Terminabsprache auch  
außerhalb dieser Zeiten

D0146600.DOCX

**Telefon:**  
(0 44 41) 898 - 0  
**Telefax:**  
(0 44 41) 898 - 1037  
**Internet / eMail:**  
[www.landkreis-vechta.de](http://www.landkreis-vechta.de)  
[info@landkreis-vechta.de](mailto:info@landkreis-vechta.de)

**Konto der Kreiskasse:**  
Landessparkasse zu Oldenburg  
BIC: SLZODE22  
IBAN: DE08 2805 0100 0070 4025 08

**Hausadresse:**  
Landkreis Vechta  
Ravensberger Str. 20  
49377 Vechta

**Zu 2. Einleitungsstelle:**

|                                                                                                                                         |          |                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------------------------|
| Einleitung über eine Versickerungsmulde in das Gew. III. Ordn. Nr. 19.2/19 der Hase-Wasseracht<br>Lage siehe beigefügten Übersichtsplan |          |                                |
| Gemarkung: Vechta                                                                                                                       | Flur: 25 | Flurstück: 477/1               |
| Geografische Lage:                                                                                                                      |          |                                |
| Ostwert (Rechtswert) : 449011,0                                                                                                         |          | Nordwert (Hochwert): 5839664,3 |

Die geprüften Antragsunterlagen vom 01.06.2022 sind Bestandteil dieser Erlaubnis. Eine Verlängerung der Erlaubnis ist rechtzeitig anzuzeigen. Die nachfolgenden Nebenbestimmungen sind zu beachten.

**I. Nebenbestimmungen:**

1. Die Entnahme bzw. Einleitung wird auf folgende Gesamtmenge begrenzt: **10 m³/h.**
2. Beginn und Ende der Bauwasserhaltung sind mir mindestens 2 Werktage vorab schriftlich unter 2526@landkreis-vechta.de anzuzeigen.

**Entnahme**

3. Das geförderte Grundwasser ist über einen Wassermengenzähler zu erfassen. Die Zählerstände und die daraus zu berechnende Fördermenge sind **täglich** prüffähig zu notieren und mir **wöchentlich** per e-mail (2526@landkreis-vechta.de) als Excel-Tabelle vorzulegen.  
Die Häufigkeit der Messung der Grundwasserstände kann auf Antrag verringert werden.
4. Durch die Entnahme wird der Grundwasserstand in einem prognostizierten Radius um die Baugrube von ca. 80 m abgesenkt. Eine Beweissicherung über Grundwassermessstellen (GWM) ist aufgrund der Lage nicht erforderlich.
5. Beim Betrieb und Ausbau der Wasserhaltungsanlage dürfen keine wassergefährdenden Stoffe, wie z. B. Treib- und Schmierstoffe, in das Grundwasser gelangen. Die gesamte Anlage ist deshalb mit größter Sorgfalt zu betreiben bzw. auszubauen. Die zum Bau und Betrieb der Anlage erforderlichen Maschinen sind mit dauernd wirksamen Vorrichtungen zum Schutz des Grundwassers auszustatten. Weitere Anforderungen sind den entsprechenden DIN- Vorschriften zu entnehmen.
6. Sollte bei der Baumaßnahme geruchlich oder visuell auffälliger Boden (z. B. Ölgeruch) angetroffen werden, sind die Arbeiten in diesem Bereich einzustellen. Die Feststellung ist mir (2526@landkreis-vechta.de) unverzüglich mitzuteilen.
7. Es wird die Durchführung einer Beweissicherung an den Gebäuden, die im prognostizierten Absenkungsbereich liegen, durch einen zugelassenen Bausachverständigen vor Beginn der Bauwasserhaltung empfohlen. Schäden, die durch die Absenkung des Grundwasserstandes verursacht werden, sind durch den Erlaubnisinhaber zu entschädigen bzw. zu beseitigen.

**Einleitung**

8. Für die Einleitung des geförderten Grundwassers in das Gewässer III. Ordnung Nr. 19.2/19 der Hase-Wasseracht werden folgende Überwachungswerte des geförderten Grundwassers festgesetzt:

| Parameter                                    | Einheit | Überwachungswert |
|----------------------------------------------|---------|------------------|
| pH- Wert                                     |         | 6,5 – 8,5        |
| Leitfähigkeit                                | µs/cm   | 800              |
| Chlorid                                      | mg/l    | 200              |
| Sulfat                                       | mg/l    | 200              |
| Eisen gesamt<br>(Fe <sub>ges</sub> )         | mg/l    | 3                |
| Ammonium- Stickstoff<br>(NH <sub>4</sub> -N) | mg/l    | 0,5              |
| Nitrit- Stickstoff<br>(NO <sub>2</sub> -N)   | mg/l    | 0,1              |
| Nitrat- Stickstoff<br>(NO <sub>3</sub> -N)   | mg/l    | 5                |
| P <sub>ges</sub>                             | mg/l    | 0,3              |
| Absetzbare Stoffe                            | ml/l    | < 1              |

Ich behalte mir vor, weitere Parameter in die Untersuchung aufzunehmen.

9. Ich behalte mir vor, weitere Untersuchungen der oben genannten Überwachungswerte durch ein zugelassenes Labor zu veranlassen. Die Kosten für Probenahme und Analytik trägt der Erlaubnisinhaber.
10. Das geförderte Grundwasser ist vor Einleitung in das Gewässer über einer ausreichend dimensionierten Versickerungsmulde (Breite 4 m, Länge 15 m, Tiefe 0,3 m) zu leiten. Zwischen der Mulde und Gewässer sind mind. 5 m einzuhalten.
11. Bei sichtbaren Eisenausfällungen im geförderten Grundwasser bzw. im Gewässer ist das geförderte Grundwasser vor der Einleitung durch eine Enteisungsanlage vorzubehandeln.
12. Das abgeleitete Grundwasser ist täglich visuell auf Trübung u. Färbung zu prüfen. Sollten Unregelmäßigkeiten auftreten (z. B. Rotfärbung, Schaumbildung), ist dies mir unverzüglich mitzuteilen (Herrn Frilling 04441/8982526 o. 2526@landkreis-vechta.de).
13. Die Häufigkeit der Probenahme sowie die zu untersuchenden Parameter können auf Antrag den aktuellen Verhältnissen angepasst werden.
14. Die Ableitung des geförderten Grundwassers in das Gew. III. Ordn. Nr. 19.2/19 ist von Ihnen täglich auf den ordnungsgemäßen Zustand und Betrieb zu überwachen.
15. An der Einleitungsstelle sind Sohle u. Böschung des Gewässers vor Ausspülung zu schützen. Sämtliche Schäden die im oder am Gewässer aufgrund der beantragten Maßnahme entstehen, sind auf Kosten des Antragstellers zu beseitigen.
16. Gewässer- oder Grundwasserverunreinigungen sind mir unverzüglich anzuzeigen.
17. Weitere Auflagen behalte ich mir vor.

## **II. Hinweise:**

1. Die Entnahme des Grundwassers im Rahmen der Grundwasserabsenkung ist gebührenpflichtig. Für die Wasserhaltung fällt pro m<sup>3</sup> eine Gebühr von 0,074 € an. Ist die Gebühr nicht höher als 280 €, wird sie nicht erhoben.
2. Gemäß der Satzung der Hase- Wasseracht werden für die Einleitung zusätzliche Beiträge erhoben. Es ist daher nach Beendigung der GW- Absenkung unaufgefordert die tatsächliche Einleitungsmenge dem Verband anzugeben. Pro eingeleitetem m<sup>3</sup> wird der 2500stel des Hektarsatzes berechnet.
3. Für Schäden, die durch den Betrieb der Bauwasserhaltung und der Einleitung des geförderten Grundwassers entstehen, haftet der Antragsteller.
4. Sämtliche Bauarbeiten im Bereich des Verbandsgewässers sind vor Baubeginn an Ort und Stelle mit der Hase-Wasseracht abzustimmen.

## **Begründung:**

Am 01.06.2022 wurde durch Umania GmbH & Co. Windpark Krimpenfort KG der Antrag für die Erlaubnis für die Entnahme von Grundwasser im Rahmen der Baumaßnahme Windenergieanlage WEA 04 und die Einleitung des geförderten Grundwassers in ein Gewässer beantragt. Die Erlaubnispflicht für die Gewässerbenutzung ergibt sich aus den § 8 Abs. 1, § 9 Abs. 1 Nrn. 4 und 5 und § 10 des WHG.

Die Grundwasserentnahme ist zur Absenkung des Grundwasserstandes im Bereich der Windenergieanlage erforderlich. Das Grundwasser muss um rd. 2 m abgesenkt werden. Nach den Berechnungen des Büros Geonovo ist hierfür eine Fördermenge von rd. 10 m<sup>3</sup>/h erforderlich. Die Bemessungsreichweite nach Sichard ergibt einen Absenkungsradius von rd. 80 m. Erfahrungsgemäß bildet sich ein größerer Absenkungstrichter aus. Grundwassermessstellen sind in diesem Bereich nicht erforderlich.

Das geförderte Grundwasser soll in das Gewässer III. Ordnung Nr. 19.2/19 der Hase-Wasseracht eingeleitet werden. Zusätzlich wird vor der Einleitung eine Versickerungsmulde gefordert.

Eine Vorprüfung hat ergeben, dass durch die Gewässerbenutzung grundwasserabhängige Ökosysteme nicht betroffen sind, so dass erhebliche nachteilige Auswirkungen nicht zu erwarten sind. Eine Pflicht zur Durchführung einer Vorprüfung des Einzelfalls besteht somit nach § 7 oder 9 UVPG nicht.

Bei Berücksichtigung der Nebenbestimmungen bestehen aus wasserwirtschaftlicher Sicht keine Bedenken gegen die beantragte Entnahme des Grundwassers und die Einleitung des geförderten Grundwassers in ein Gewässer.

## **Rechtsbehelfsbelehrung:**

Gegen diesen Bescheid kann innerhalb eines Monats nach Bekanntgabe beim Landkreis Vechta, Ravensberger Str. 20, 49377 Vechta, Widerspruch erhoben werden.

## **Kostenbescheid:**

Die Kosten des Verfahrens in Höhe von **500,00 €** haben Sie zu tragen.

Den oben genannten Betrag bitte ich innerhalb eines Monats unter Verwendung des anliegenden Zahlscheines an den Landkreis Vechta zu überweisen.

### **Kostenbegründung:**

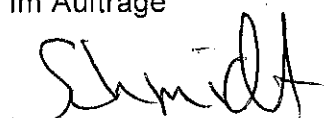
Die Kostenentscheidung beruht auf §§ 1, 3, 5 und 13 des NVwKostG in Verbindung mit § 1 der ALLGO und lfd. Nr. 96.1.2.1 des Kostentarifs.

|                                                                  |                 |
|------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Gebühr für die Grundwasserentnahme nach § 9 Abs. 1 Nr. 5 WHG =   | 250,00 €        |
| Gebühr für die Grundwassereinleitung nach § 9 Abs. 1 Nr. 4 WHG = | 250,00 €        |
| <b>Gesamt</b>                                                    | <b>500,00 €</b> |

### **Rechtsbehelfsbelehrung:**

Gegen diesen Kostenbescheid kann innerhalb eines Monats nach Bekanntgabe beim Landkreis Vechta, Ravensberger Str. 20, 49377 Vechta, Widerspruch erhoben werden.

Mit freundlichem Gruß  
Im Auftrage



Schmidt

### **Anlagen**

#### **Fundstellen:**

|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| WHG      | Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz) in der Fassung der Bekanntmachung vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 18. August 2021 (BGBl. I S. 3901)                                                                                                            |
| NWG      | Niedersächsisches Wassergesetz (NWG) vom 19. Februar 2010 (Nds. GVBl. S. 64), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 16.12.2021 (Nds. GVBl. S. 911)                                                                                                                                                                       |
| NVwKostG | Niedersächsisches Verwaltungskostengesetz in der Fassung vom 25. April 2007 (Nds. GVBl. S. 172), zuletzt geändert durch Artikel 11 des Gesetzes vom 15. Dezember 2016 (Nds. GVBl. S. 301)                                                                                                                                            |
| ALLGO    | Verordnung über die Gebühren und Auslagen für Amtshandlungen und Leistungen (Allgemeine Gebührenordnung) in der Fassung der Bekanntmachung vom 05.06.1997 (Nds. GVBl. S. 171), zuletzt geändert durch Artikel 4 des Gesetzes vom 17.05.2022 (Nds. GVBl. S. 304)                                                                      |
| WRRL     | RICHTLINIE 2000/60/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (ABl. L 327 vom 22.12.2000, S. 1), zuletzt geändert durch Art. 1 ÄndRL 2014/101/EU vom 30.10.2014 (ABl. Nr. L 311 S. 32)-Wasserrahmenrichtlinie |
| UVPG     | Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. März 2021 (BGBl. I S. 540), zuletzt geändert durch Artikel 14 des Gesetzes vom 10. September 2021 (BGBl. I S. 4147) geändert worden ist                                                                                                      |

E 449027 m

N 5839824 m

663062 09/1283

6630 3/09/1283

66304 5/09/1283/1

Entnahme

663045/09/1283/2

Einleitung

N 5839563 m



© 2022, Quelle: Auszug aus den Geobasisdaten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung, www.lgln.niedersachsen.de

E 448863 m

Bauwasserhaltung  
WEA 04

**Erlaubnis Antrag für die Entnahme von Grundwasser im Rahmen einer Baumaßnahme (z.B. für Grundwasserabsenkung, Wasserhaltung) oder eines Pumpversuches (> 50 m³/Tag oder länger als 6 Monate) und Wiedereinleitung des geförderten Wassers**

**1. Antragsteller**

|                                                       |                                |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Name/Firma<br>UMania GmbH&Co. Windpark Krimpenfort KG | Plz, Ort<br>27478 Cuxhaven     |
| Straße<br>Alter Weg 23                                | Telefon<br>0 47 22 - 91 09 - 0 |

|                                                                                     |            |                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------------------|
| <b>2. Baugrundstück (Entwässerungsfläche)</b> <input type="checkbox"/> siehe Anlage |            |                     |
| Gemarkung<br>Vechta                                                                 | Flur<br>25 | Flurstücke<br>473/1 |

|                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>3. Eigentums- und Pachtverhältnisse</b> <input type="checkbox"/> Die Einverständniserklärung ist dem Antrag beigelegt |
| Eigentümer, Anschrift<br>Aloys Siemer, Kötterheide 1, 49377 Vechta (Wird nachgereicht!)                                  |
| Nießbraucher/Erbbaurecht/Pächter, Anschrift<br>./.                                                                       |

|                              |             |                 |          |          |
|------------------------------|-------------|-----------------|----------|----------|
| <b>4. Entnahmemengen l/s</b> | m³/h<br>7,2 | m³/Tag<br>172,8 | m³/Woche | m³/Monat |
|------------------------------|-------------|-----------------|----------|----------|

|                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------|
| <b>5. Entnahmeverrichtungen</b><br>Wasserhaltung über Tiefenbrunnen |
|---------------------------------------------------------------------|

|                              |                                |
|------------------------------|--------------------------------|
| <b>6. Leistung der Pumpe</b> | <b>7. Absenkziel</b><br>3,00 m |
|------------------------------|--------------------------------|

|                                                           |                                                                      |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| <b>8. Grundwasserstand u. Geländeoberfläche</b><br>1,30 m | <b>9. Dauer der Entnahme</b><br>Beginn: 30.07.22      Ende: 27.08.22 |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|

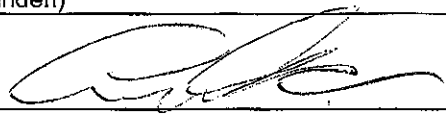
|                                                                              |                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> Einleitung in ein oberirdisches Gewässer | <input type="checkbox"/> Einleitung in das Grundwasser |
| <input type="checkbox"/> Einleitung in die öffentliche Kanalisation          | <input type="checkbox"/> Sonstiges                     |

*Die nachfolgenden Zeilen sind nur auszufüllen, wenn das geförderte Grundwasser in ein Oberflächengewässer oder das Grundwasser (Versickerung/ Schluckbrunnen) eingeleitet wird. Bei Einleitung in die öffentliche Kanalisation ist ein entsprechender Antrag bei dem zuständigen Kanalbetreiber zu stellen!*

|                                                                                                                |                      |                     |                                             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------------------------------|
| <b>10. Gewässer</b> (nur bei Einleitung in ein oberirdisches Gewässer) Name<br><del>Borkener Bach</del> Graben | Gew.-Ordnung<br>III. | Gew.-Nr.<br>19.2/19 | Unterhaltungspflichtiger<br>Hase-Wasseracht |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------------------------------|

|                                                                    |            |                     |
|--------------------------------------------------------------------|------------|---------------------|
| <b>11. Einleitungsstelle</b> <input type="checkbox"/> siehe Anlage |            |                     |
| Gemarkung<br>Vechta                                                | Flur<br>25 | Flurstücke<br>477/1 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>12. Anlagen</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Topographische Karte Maßstab 1 : 25.000 oder Deutsche Grundkarte Maßstab 1 : 5000</li> <li>• Lageplan Maßstab 1 : 1000, aus dem Lageplan müssen die Entwässerungsfläche und falls erforderlich, die Einleitstelle in das Gewässer o. Grundwasser, sowie die Bezeichnung von Gemarkung, Flur und Flurstücke ersichtlich sein.</li> <li>• Berechnung der Wassermenge und des Absenkungsradius</li> <li>• Baugrundgutachten (wenn vorhanden)</li> </ul> |

|                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ort, Datum, Unterschrift<br>Cuxhaven, den 01.06.2022  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## **WP Krimpenfort Windpark Vechtaer Mark WEA 04**

**Antrag auf Erteilung einer Erlaubnis gemäß § 8 des  
Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) zur Grundwasserentnahme  
zum Zwecke der Grundwasserabsenkung (Bauwasserhaltung)  
und Einleitung in ein Gewässer**

**Auftraggeber:** UMania GmbH & Co. Windpark Krimpenfort KG  
Alter Weg 23  
27478 Cuxhaven

**Auftragnehmer:** Geonovo GmbH  
Blinke 6  
26789 Leer

**Bearbeiter:** Dipl.-Geow. Torsten Wagner  
Dipl.-Geol. Frauke Menzel

Leer, den  
30.05.2022

**Hiermit beantragt die UMania GmbH & Co. Windpark Krimpenfort KG die Erlaubnis gemäß § 8 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) für:**

Die Entnahme und Wiedereinleitung von Grundwasser für den Bau der WEA 04 im WP Krimpenfort:

- Art der GW-Absenkung: Tiefenbrunnen (T = 6,0 m u. GOK)
- Geplanter Beginn: 30.07.2022 – 27.08.2022
- Dauer: 29 Tage
- Fundamentradius: 11,5 m
- Baugrubenradius inklusive Baugrubenböschung: 16,5 m
- Baugrubentiefe: 2,5 m unter GOK
- Sicherheitsabstand zur Sohle: 0,5 m
- Maximale Entnahmetiefe: 3,0 m unter Geländeoberkante
- Mindesttiefe der Absenkung: 1,9 m
- Absenkreichweite: 79,8 m
- Entnahmedauer: 29 Tage
- Einleitpunkt: ~~Bokerner Bach~~ Graben Gew. III. Ordn. Nr. 19, 2/19

## **Anlagenverzeichnis**

- Anlage I:      Übersichtslageplan**
- Anlage II:     Absenkbereich**
- Anlage III:    Einleitstelle**
- Anlage IV:    Chemische Analytik des Grundwassers**

## Erläuterungsbericht

### Bauzeitliche Grundwasserentnahme und Wiedereinleitung im WP Krimpenfort, WEA 04

#### 1. Veranlassung

Die UMania GmbH & Co. Windpark Krimpenfort KG plant die Errichtung und den Betrieb einer neuen Windenergieanlage (WEA 04) im Windpark Krimpenfort. Vorgesehen ist hierbei die Herstellung des Typs Nordex vom Typ N 149/5.X (Stahlrohrturm TS 125-04) mit 5,7 MW Nennleistung und einer Nabenhöhe von 125,4 m.

Die Baugrube reicht in den grundwassererfüllten Bereich des Untergrunds hinein. Im Zuge der Bohrungen der BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG 09.01.2019 wurde die Grundwasseroberfläche in einer Tiefe von 1,10 m und 1,13 m unter GOK angetroffen. Nach der Bohrung von Herrn Ulpts (Ulpts Geotechnik) am 11.05.2022 lag die Grundwasseroberfläche in einer Tiefe von 1,3 m unter GOK. Daher wird für die Dauer der Fundamentarbeiten eine bauzeitliche Grundwasserhaltung notwendig.

Die Geonovo GmbH wurde mit der Erstellung der Antragsunterlagen für die Beantragung einer wasserrechtlichen Erlaubnis für die Grundwasserabsenkung in der Baugrube und die Einleitung in ein Gewässer beauftragt.

#### 1.1 Betroffene Flächen

Aufgrund der geringen räumlichen Erstreckung des Bauvorhabens ist von der Grundwasserabsenkung und der Wiedereinleitung des entnommenen Wassers nur eine kleine Fläche betroffen. Diese sind in der folgenden Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Absenkort und Einleitstelle

| Bezeichnung | Standort  |      |           | Einleitstelle<br><i>Grw. III. Ordn. Bokerner Bach 14.10.2019</i> |      |           |
|-------------|-----------|------|-----------|------------------------------------------------------------------|------|-----------|
|             | Gemarkung | Flur | Flurstück | Gemarkung                                                        | Flur | Flurstück |
| WEA 04      | Vechta    | 25   | 473/1     | Vechta                                                           | 25   | 477/1     |

## 2. Verwendete Unterlagen

- Bodengutachten BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG, 24.01.2019
- Lageplan UMania GmbH & Co. Windpark Krimpenfort II KG, Maßstab 1 : 2.500, Stand 01.02.2022
- Übersichtskarte Windpark Vechtaer Mark Revision 1, CPC Germania, Maßstab 1 : 20.000, Stand 01.02.2019
- Kurzbeschreibung Bauvorhaben WEA 04, Umwelt Management AG

## 3. Bodenaufbau und Grundwasserverhältnisse

### 3.1 Lokale Boden- und Baugrundverhältnisse

Die Bodenkarte 1:50.000 des LBEG (NIBIS® Kartenserver, 2021) weist für den Windpark Talsandniederungen und Urstromtäler als Bodengroßlandschaft aus.

Die Bodenabfolge beginnt mit einer 0,3 m mächtigen Oberbodenauflage aus organischen Sanden.

Darunter folgen fluviatile Sande bis in eine Tiefe von 6,0 m bzw. 6,3 m unter GOK. Sie bestehen vorwiegend aus Fein- bis Mittelsanden. In der RKS 2 sind diese Sande z. T. mit organischen Beimengungen versetzt. Die Lagerungsdichte ist zunächst locker und geht mit zunehmender Tiefe in eine mitteldichte Lagerung über. Zwischen 2,6 m bis 4,3 m (RKS 1) bzw. 2,8 m bis 4,2 m (RKS 2) werden die Sande von feinsandigen und bereichsweise schwach organischen Schluffen mit weicher und steifer Konsistenz durchzogen.

Bis zur maximalen Sondiertiefe von 7,0 m unter GOK wurden schwach sandige und schwach tonige Schluffe mit steifer Konsistenz erbohrt.

Durch die BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG wurden an insgesamt drei Bodenproben aus der RKS 1 die Körnungslinien nach DIN 18123 ermittelt. Die anstehenden Sande im Tiefenprofil zwischen 1,8 m und 2,6 m unter GOK sind mit  $k_f = 2,9 \times 10^{-5} \text{ m/s}$  als durchlässig einzustufen. Die unterlagernden Schluffe zwischen 2,6 m und 3,4 m bzw. 6,0 m bis 7,0 m unter GOK sind mit Durchlässigkeitsbeiwerten von  $k_f = 2,4 \times 10^{-7} \text{ m/s}$  und  $k_f = 1,5 \times 10^{-8} \text{ m/s}$  schwach durchlässig und wasserstauend. Zur Bestimmung der Kornverteilung auflagernder Sande, wurde am 11.05.2022 eine ergänzende Bohrung bis in eine Tiefe von 4,0 m unter GOK durchgeführt. Sie wurde von Ulpts Geotechnik durchgeführt. Da die Fläche zum Zeitpunkt der Probenahme mit Getreide bestellt war, musste die Bohrung in einer Entfernung von ca. 10 m zur geplanten WEA 04 durchgeführt werden. Nach dem Ergebnis der Korngrößenverteilung der Sande aus einem Tiefenbereich zwischen 2,0 m bis 3,0 m unter GOK wurde ein Durchlässigkeitsbeiwert von etwa  $k_f = 3,9 \times 10^{-4} \text{ m/s}$  ermittelt. Zur hydrologischen Berechnung wird ein Mittelwert der beiden Werte ermittelt. Dieser liegt bei  $k_f = 2,1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ .

Bezüglich der Ergebnisse der Berechnungen muss berücksichtigt werden, dass es sich bei den Bodenprofilen lediglich um Stichproben handelt. Die tatsächlichen Verhältnisse können über das jeweilige Baufeld kleinräumig variieren. Trotz des Sicherheitszuschlags bei den  $k_f$ -Werten können die tatsächlich geförderten Wassermengen aufgrund lokaler Unregelmäßigkeiten der Wasserleitfähigkeit im Baugrund sowie Schwankungen der Grundwasserstände, z.B. durch Starkregenereignisse, von den berechneten Werten abweichen.

### 3.2 Grundwasser

Im Zuge der Bohrungen der BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG 09.01.2019 wurde die Grundwasseroberfläche in einer Tiefe von 1,10 m (RKS 2) und 1,13 m (RKS 1) bzw. 1,3 m unter GOK angetroffen.

### 4. Baugrubengröße

Nach der Wassermengenberechnung der BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG, beträgt der Fundamentdurchmesser 23 m. Für die Fundamentgründung soll ein Aushub von etwa 2,5 m Tiefe erfolgen. Unter Berücksichtigung der Baugrubenböschung beträgt der Radius 16,5 m (Stellungnahme BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG, 22.02.2022).

Für das Fundament wird eine Baugrube mit einem Durchmesser von 23 m benötigt.

## **5. Grundwasserhaltung**

### **5.1 Dauer der Wasserhaltung**

Die Wasserhaltung ist in einem Zeitraum vom 30.07.2022 bis zum 27.08.2022 vorgesehen und beträgt insgesamt 29 Tage.

### **5.2 Art der Wasserhaltung**

Zur bauzeitlichen Absenkung des Grundwasserspiegels sollte eine Wasserhaltung über Tiefenbrunnen eingesetzt werden.

Das Absenkziel sollte mindestens 0,5 m unterhalb der Baugrubensohle liegen und beträgt somit 3,0 m.

### **5.3 Einleitstelle**

Nach erhaltener Auskunft soll das geförderte Grundwasser in den Bokerner Bach östlich der geplanten Anlage geleitet werden.

#### **5.3.1 Sicherung der Einleitstelle**

Bevor das entnommene Grundwasser in die nächste Vorflut eingeleitet wird, läuft es durch einen Strohcontainer (Absetz- und Belüftungsbecken), damit sich mitgeführtes Sediment absetzen kann und die Vorflut nicht versandet und das Wasser mit Sauerstoff angereichert wird. Sollte dennoch Sediment in die Vorflut eingetragen werden, so wird dieses im Anschluss an die Wasserhaltung wieder entfernt.

In der Vorflut selbst kann es durch die Einleitung zu Ausspülungen im Böschungsbereich kommen. Dies ist durch einen Auskolkungsschutz aus z.B. BigPacks, Schutzmatten, Bohlen oder Steinschüttungen an der Einleitstelle zu vermeiden.

## **5.4 Grundwasserchemie**

Im Bereich der geplanten Baugrube wurde am 11.05.2022 eine Grundwasserprobe zur Analyse auf die nachfolgenden Parameter entnommen.

- Betonaggressivität DIN 4030
- Chlorid
- Sulfat
- Eisen gesamt
- Ammonium-Stickstoff
- Nitrit-Stickstoff
- Nitrat-Stickstoff
- Phosphor gesamt
- Absetzbare Stoffe

Die Ergebnisse können der folgenden Tabelle 2 entnommen werden.

Tabelle 2: Grundwasseranalytik WEA 04

| Parameter                    | Einheit | Messwert | Überwachungswert |
|------------------------------|---------|----------|------------------|
| pH-Wert                      | -       | 5,2      | 6,5 – 8,5        |
| Kalklösende Kohlensäure      | mg/l    | 51       | 15 - 40          |
| Ammonium                     | mg/l    | 0,4      | 0,5              |
| Magnesium                    | mg/l    | 15       | 300 – 1.000      |
| Sulfat                       | mg/l    | 270      | 200              |
| Calcium                      | mg/l    | 46       | —                |
| Eisen gesamt                 | mg/l    | 13       | 3                |
| Chlorid                      | mg/l    | 160      | 200              |
| Nitrit-Stickstoff            | mg/l    | 0,003    | 0,1              |
| Nitrat-Stickstoff            | mg/l    | < 0,5    | 5                |
| Phosphor gesamt              | mg/l    | 0,07     | 0,3              |
| Absetzbare Stoffe nach 0,5 h | mg/l    | < 0,1    | < 1              |
| Absetzbare Stoffe nach 2,0 h | mg/l    | < 0,1    | < 1              |

Die Werte von Eisen (13 mg/l), Sulfat (270 mg/l) sowie der pH-Wert von 5,2 liegen außerhalb der Überwachungswerte.

Zur Absenkung des Eisengehaltes im Einleitwasser können Strohcontainer eingesetzt werden, die zur Eisenfällung führen. Für eine Minimierung des Sulfatgehaltes bietet sich ggf. eine Verdünnung an.

## 6. Berechnung der Grundwasserabsenkung

Für die Berechnung der Grundwasserabsenkung werden die Reichweite des daraus resultierenden Absenktrichters sowie die Zuflusswassermenge zur Abschätzung der Entnahmemenge berechnet.

Die Reichweite der Grundwasserabsenkung wurde mit der empirischen Formel nach Sichardt:

$$R = 3000 * s * \sqrt{k_f}$$

(mit R = Reichweite,  $k_f$  = Durchlässigkeitsbeiwert und s = Absenktiefe)

abgeschätzt, die zu erwartende Fördermenge wurde gemäß Dupuit Thiem:

$$Q = \pi * k_f * \frac{(H^2 - h^2)}{(\ln R - \ln r)}$$

Q = Gesamtwassermenge ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$k_f$  = Durchlässigkeitsbeiwert (m/s)

H = Mächtigkeit des Grundwasserleiters (m)

h = Abstand zwischen Absenkziel und Oberkante Wasserstauer (m)

R = Reichweite des Absenktrichters (m)

r = Brunnenradius (m)

### 6.1 Ergebnisse

Tabelle 3: Ergebnisse der hydrologischen Berechnung WEA 04

| Bauwerk   | Zuflusswasser-<br>menge<br>[ $\text{m}^3/\text{h}$ ] | Zuflusswasser-<br>menge<br>[ $\text{m}^3/\text{d}$ ] | Max. Dauer<br>Wasserhaltung | Gesamtwasser-<br>menge<br>[ $\text{m}^3$ ] | Reichweite<br>Absenkung<br>Sichardt<br>[m] |
|-----------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Fundament | 7,2                                                  | 172,8                                                | 29 Tage                     | 5.011                                      | 79,8                                       |

Bei der Grundwasserhaltung zur Herstellung des Fundaments ist von einer zu fördernden Gesamtwassermenge von etwa **5.011  $\text{m}^3$**  auszugehen. Die Reichweite des Absenktrichters liegt bei **R = 79,8 m**.

## **7. Beeinträchtigungen des Naturhaushalts**

Bei der geplanten Grundwasserabsenkung handelt es sich um eine bauzeitliche Wasserhaltung mit einer maximalen Dauer von 29 Tagen. Die Auswirkungen der Wasserhaltung sind dementsprechend räumlich und zeitlich begrenzt.

Das Untersuchungsgebiet befindet sich innerhalb einer Grünlandfläche. Die Beeinträchtigung der Fläche durch die Absenkung ist daher als eher gering anzusehen.

Innerhalb der Reichweite der Absenkung befinden sich keine größeren Gehölzbestände. Lediglich kleinere Gehölzstrukturen sowie einzelne Bäume und Baumreihen sind in diesem Bereich vorhanden. Zudem befindet sich die Anlage WEA 04 außerhalb von Wasserschutzgebieten.

Um Beeinträchtigungen der Natur in Umgebung der Grundwasserhaltungsmaßnahme so gering wie möglich zu halten, sollten regelmäßige Kontrollen eingeplant werden, um für die genehmigungskonforme Umsetzung der Grundwasserabsenkung zu sorgen. Hierbei ist auch auf Leckagen und/oder Verunreinigungen zu achten, die die Gewässerqualität beeinträchtigen könnten.

## **8. Beweissicherungsmaßnahmen**

Über Wasserzähler wird die Entnahmemenge ermittelt und täglich im Bautagebuch dokumentiert. Zudem werden in regelmäßigen Abständen Grundwasserproben entnommen und chemisch untersucht.

## **9. Umweltverträglichkeits-Vorprüfung**

Gemäß Anlage 1 Nr. 13.3 UVPG ist bei einer Wasserentnahmemenge zwischen 5.000 m<sup>3</sup> und 100.000 m<sup>3</sup> eine Standortbezogene Vorprüfung notwendig, so dass eine standortbezogene Vorprüfung erforderlich ist.

Tabelle 4: Standortbezogene UVP-Vorprüfung WEA 9

| Merkmale des Vorhabens                                                                                                                                                                                                          | Überschlägige Prüfung |                          |                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------|
|                                                                                                                                                                                                                                 | erheblich             | möglicherweise erheblich | unerheblich     |
| Nutzung und Gestaltung von Wasser, Boden, Natur und Landschaft                                                                                                                                                                  | erheblich             | möglicherweise erheblich | unerheblich     |
| Abfallerzeugung                                                                                                                                                                                                                 | erheblich             | möglicherweise erheblich | unerheblich     |
| Umweltverschmutzung und Belästigung                                                                                                                                                                                             | erheblich             | möglicherweise erheblich | unerheblich     |
| Unfallrisiko, besonders im Hinblick auf verwendete Stoffe und Technologien                                                                                                                                                      | erheblich             | möglicherweise erheblich | unerheblich     |
| <b>Standort des Vorhabens</b>                                                                                                                                                                                                   |                       |                          |                 |
| Bestehende Nutzung des Gebiets, insbesondere als Fläche für Siedlung und Erholung, für land-, forst- und fischereiwirtschaftliche Nutzung, für sonstige wirtschaftliche und öffentliche Nutzungen, Verkehr, Ver- und Entsorgung | erheblich-betroffen   | möglicherweise erheblich | nicht betroffen |
| Reichtum, Qualität und Regenerationsfähigkeit von Wasser, Boden, Natur und Landschaft des Gebiets                                                                                                                               | erheblich-betroffen   | möglicherweise erheblich | nicht betroffen |
| Vorgeschlagene FFH oder EU-Vogelschutzgebiete                                                                                                                                                                                   | erheblich-betroffen   | möglicherweise erheblich | nicht betroffen |
| Naturschutzgebiete gemäß § 24 BNatSchG                                                                                                                                                                                          | erheblich-betroffen   | möglicherweise erheblich | nicht betroffen |
| Nationalparke gemäß § 24 BNatSchG                                                                                                                                                                                               | erheblich-betroffen   | möglicherweise erheblich | nicht betroffen |
| Biosphärenreservat gemäß § 25 BNatSchG                                                                                                                                                                                          | erheblich-betroffen   | möglicherweise erheblich | nicht betroffen |
| Landschaftsschutzgebiete und geschützte Landschaftsbestandteile gemäß § 26 und 28 NNatG                                                                                                                                         | erheblich-betroffen   | möglicherweise erheblich | nicht betroffen |
| Geschützte Landschaftsbestandteile gemäß § 28 NNatG                                                                                                                                                                             | erheblich-betroffen   | möglicherweise erheblich | nicht betroffen |
| Gesetzlich geschützte Biotope gem. § 28 a/b NNatG und Wallhecken gem. § 33 NNatG                                                                                                                                                | erheblich-betroffen   | möglicherweise erheblich | nicht betroffen |
| Wasserschutzgebiete gemäß § 48 NWG sowie Überschwemmungsgebiete gem. § 92 NWG                                                                                                                                                   | erheblich betroffen   | möglicherweise erheblich | nicht betroffen |
| Heilquellenschutzgebiete                                                                                                                                                                                                        | erheblich-betroffen   | möglicherweise erheblich | nicht betroffen |
| Gebiete in denen die in den Gemeinschaftsvorschriften festgelegten Umweltqualitätsnormen bereits überschritten sind                                                                                                             | erheblich-betroffen   | möglicherweise erheblich | nicht betroffen |
| Gebiete mit hoher Bevölkerungsdichte                                                                                                                                                                                            | erheblich-betroffen   | möglicherweise erheblich | nicht betroffen |
| Denkmale, Denkmalensembles, Bodendenkmale                                                                                                                                                                                       | erheblich-betroffen   | möglicherweise erheblich | nicht betroffen |
| <b>Merkmale der möglichen Auswirkung</b>                                                                                                                                                                                        |                       |                          |                 |

|                                                                           |                     |                          |                  |
|---------------------------------------------------------------------------|---------------------|--------------------------|------------------|
| Ausmaß der Auswirkungen (geografisches Gebiet und betroffene Bevölkerung) | erheblich-betroffen | möglicherweise erheblich | unerheblich      |
| Etwaiger grenzüberschreitender Charakter der Auswirkungen                 | erheblich-betroffen | möglicherweise erheblich | unerheblich      |
| Schwere und Komplexität der Auswirkungen                                  | erheblich-betroffen | möglicherweise erheblich | unerheblich      |
| Wahrscheinlichkeit der Auswirkungen                                       | wahrscheinlich      |                          | unwahrscheinlich |
| Dauer, Häufigkeit und Reversibilität der Auswirkungen                     | erheblich-betroffen | möglicherweise erheblich | unerheblich      |

## 10. Zusammenfassung

Für die Erstellung der WEA 04 im WP Krimpenfort ist eine bauzeitliche Wasserhaltung in einem Zeitraum von 29 Tagen vorgesehen. Das Grundwasser muss auf eine Tiefe von ca. 3,0 m u. GOK abgesenkt werden. Hierbei werden insgesamt 5.011 m³ Grundwasser gefördert und in den nahegelegenen Vorfluter „Bokerner Bach“ eingeleitet. Alternativ kann an diesem Standort auch eine Verrieselung des Grundwassers in Betracht gezogen werden.

Die Auswirkungen der Grundwasserabsenkung sind zeitlich und räumlich stark begrenzt. Größere Gehölzbestände und Biotope sind innerhalb der berechneten Absenktrichter nicht vorhanden.

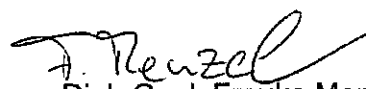
Bei der Wiedereinleitung werden Maßnahmen getroffen (Absetzbecken, Auskolkungsschutz), um negative Einflüsse auf die Oberflächengewässer so gering wie möglich zu halten. Die entnommenen Wassermengen werden über Wasseruhren ermittelt und dokumentiert.

Wenn diese Maßnahmen beachtet werden, ist mit erheblichen nachteiligen Umweltauswirkungen durch das Bauvorhaben nicht zu rechnen, so dass eine Umweltverträglichkeitsprüfung des Vorhabens verzichtbar ist.

Aufgestellt,

Leer, den 30. Mai 2022

  
i.A. Dipl.-Geow. Torsten Wagner

  
ppa. Dipl.-Geol. Frauke Menzel



# Zeichenerklärung:



Zuwegung



Windenergieanlage

Bauvorhaben: WP Krimpenfort, WEA 04

Projekt-Nr.: G220038

Auftraggeber: UMania GmbH & Co. Windpark Krimpenfort KG  
Alter Weg 23  
27478 Cuxhaven

**Geonovo**

Blinke 6  
26789 Leer

Telefon: (0491) 960 960 20  
Telefax: (0491) 960 960 39

email: [info@geonovo.de](mailto:info@geonovo.de)  
Homepage: [www.geonovo.de](http://www.geonovo.de)

## Übersichtslageplan

Maßstab: 1:5.000

Datum:

Bearbeiter: M. Popp

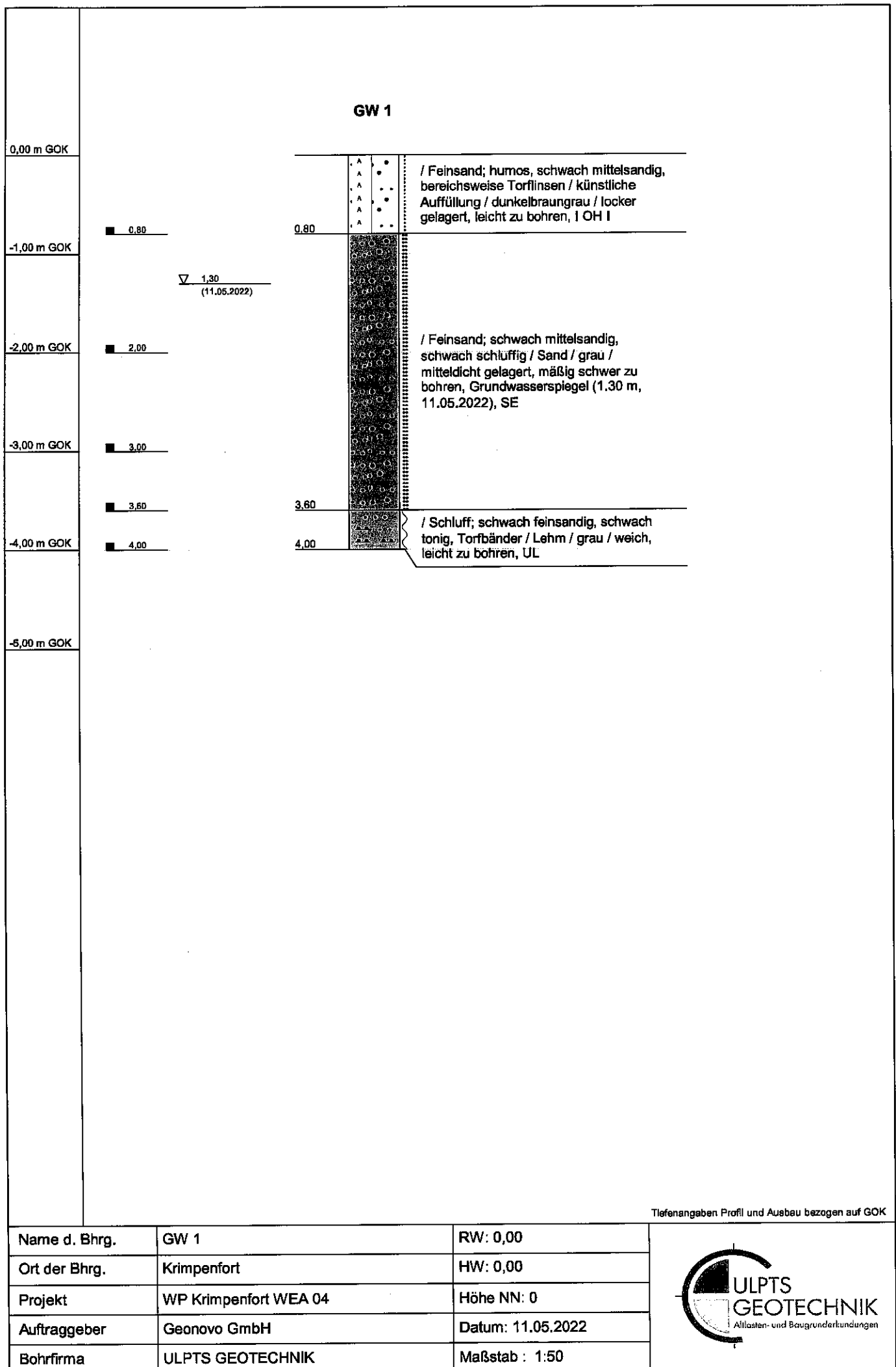
26.04.22

Gezeichnet: M. Popp

26.04.22

Geändert:

Plan-Nr.: G220038\_P01



# Schichtenverzeichnis

für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben

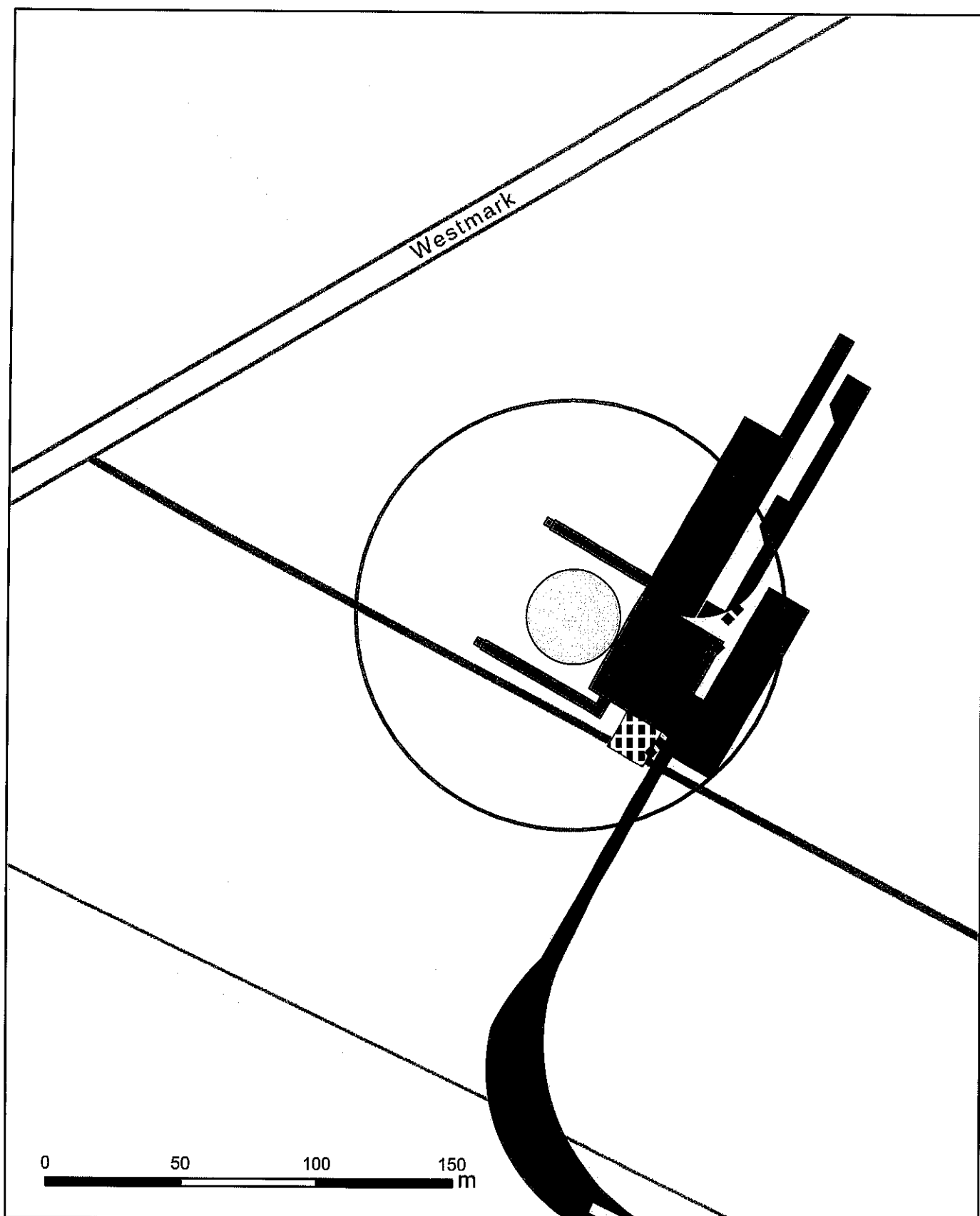


**Bohrung:** GW 1  
**Projekt:** WP Krimpenfort WEA 04

**RW:** 0  
**HW:** 0

**ID:** 1007 **Seite:** 1

| 1                                     | 2                                                                         |  |                                       |  |                                 | 3                                                                                                | 4                    | 5                    | 6                    |  |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--|---------------------------------------|--|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--|
| Bis ...m<br>unter<br>Ansatz-<br>punkt | a) Benennung der Bodenart und Beimengungen + b) Ergänzende Bemerkung<br>+ |  |                                       |  |                                 | Bemerkungen<br><br>Sonderprobe,<br>Wasserführung,<br>Bohrwerkzeuge,<br>Kernverlust,<br>Sonstiges | Entnommene<br>Proben |                      |                      |  |
|                                       | b)                                                                        |  |                                       |  |                                 |                                                                                                  | Art                  | Tiefe<br>in m<br>OK  | Tiefe<br>in m<br>UK  |  |
|                                       | c) Beschaffenheit<br>nach Bohrgut                                         |  | d) Beschaffenheit<br>nach Bohrvorgang |  | e) Farbe                        |                                                                                                  |                      |                      |                      |  |
|                                       | f) Übliche<br>Benennung                                                   |  | g) Geologische<br>Benennung           |  | h) Gruppe<br>i) Kalk-<br>gehalt |                                                                                                  |                      |                      |                      |  |
| 0,80                                  | a) Feinsand; humos, schwach mittelsandig, bereichsweise Torflinsen<br>+   |  |                                       |  |                                 |                                                                                                  |                      | 0,00                 | 0,80                 |  |
|                                       | b)                                                                        |  |                                       |  |                                 |                                                                                                  |                      |                      |                      |  |
|                                       | c) locker gelagert                                                        |  | d) leicht zu bohren                   |  | e) dunkelbraungrau              |                                                                                                  |                      |                      |                      |  |
|                                       | f) künstliche Auffüllung                                                  |  | g)                                    |  | h) I OH I<br>i)                 |                                                                                                  |                      |                      |                      |  |
| 3,60                                  | a) Feinsand; schwach mittelsandig, schwach schluffig<br>+                 |  |                                       |  |                                 | Grundwasserspiege<br>( 1.30 m,<br>11.05.2022)                                                    |                      | 0,80<br>2,00<br>3,00 | 2,00<br>3,00<br>3,60 |  |
|                                       | b)                                                                        |  |                                       |  |                                 |                                                                                                  |                      |                      |                      |  |
|                                       | c) mitteldicht gelagert                                                   |  | d) mäßig schwer zu<br>bohren          |  | e) grau                         |                                                                                                  |                      |                      |                      |  |
|                                       | f) Sand                                                                   |  | g)                                    |  | h) SE<br>i)                     |                                                                                                  |                      |                      |                      |  |
| 4,00                                  | a) Schluff; schwach feinsandig, schwach tonig, Torfbänder<br>+            |  |                                       |  |                                 |                                                                                                  |                      | 3,60                 | 4,00                 |  |
|                                       | b)                                                                        |  |                                       |  |                                 |                                                                                                  |                      |                      |                      |  |
|                                       | c) weich                                                                  |  | d) leicht zu bohren                   |  | e) grau                         |                                                                                                  |                      |                      |                      |  |
|                                       | f) Lehm                                                                   |  | g)                                    |  | h) UL<br>i)                     |                                                                                                  |                      |                      |                      |  |



# Zeichenerklärung:

|  |                     |  |                           |
|--|---------------------|--|---------------------------|
|  | Wegeneubau temporär |  | Wegebaunutzung            |
|  | Überschwenkbereich  |  | Kranstellfläche Bestand   |
|  | Ausweichspur        |  | Reibseilabspannung        |
|  | Rettungsweg         |  | Wegeneubau                |
|  | temporäre Fläche    |  | Absenkreichweite (79,8 m) |
|  | Fundament           |  |                           |
|  | Kranauslegerfläche  |  |                           |
|  | Kranstellfläche     |  |                           |

Bauvorhaben: WP Krimpenfort, WEA 04

Projekt-Nr.: G220038

Auftraggeber: UMania GmbH & Co. Windpark Krimpenfort KG  
Alter Weg 23  
27478 Cuxhaven

**Geonovo**

Blinke 6  
26789 Leer

Telefon: (0491) 960 960 20  
Telefax: (0491) 960 960 39

email: [info@geonovo.de](mailto:info@geonovo.de)  
Homepage: [www.geonovo.de](http://www.geonovo.de)

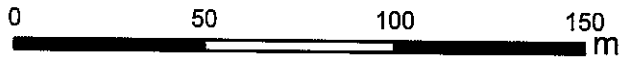
Absenkreichweite

|                       |          |
|-----------------------|----------|
| Maßstab: 1:2.000      | Datum:   |
| Bearbeiter: M. Popp   | 26.04.22 |
| Gezeichnet: M. Popp   | 26.04.22 |
| Geändert: M. Popp     | 24.05.22 |
| Plan-Nr.: G220038_P09 |          |



Westmark

Gew. III. Ord.  
Nr. 192/19



**Zeichenerklärung:**

- |                     |                         |
|---------------------|-------------------------|
| Wegeneubau temporär | Wegebaunutzung          |
| Überschwenkbereich  | Kranstellfläche Bestand |
| Ausweichspur        | Reibseilabspannung      |
| Rettungsweg         | Wegeneubau              |
| temporäre Fläche    | Einleitstelle           |
| Fundament           |                         |
| Kranauslegerfläche  |                         |
| Kranstellfläche     |                         |

Bauvorhaben: WP Krimpenfort, WEA 04

Projekt-Nr.: G220038

Auftraggeber: UMania GmbH & Co. Windpark Krimpenfort KG  
Alter Weg 23  
27478 Cuxhaven

**Geonovo**

Blinke 6  
26789 Leer

Telefon: (0491) 960 960 20  
Telefax: (0491) 960 960 39

email: [info@geonovo.de](mailto:info@geonovo.de)  
Homepage: [www.geonovo.de](http://www.geonovo.de)

Einleitstelle

|                       |          |
|-----------------------|----------|
| Maßstab: 1:2.000      | Datum:   |
| Bearbeiter: M. Popp   | 26.04.22 |
| Gezeichnet: M. Popp   | 26.04.22 |
| Geändert: M. Popp     | 24.05.22 |
| Plan-Nr.: G220038_P08 |          |

CUA Chemisches Untersuchungsamt Emden GmbH - Zum Nordkai 16 - 26725 Emden

Geonovo GmbH  
Blinke 6

26789 LEER

18. Mai 2022

## PRÜFBERICHT 120522822

Auftragsnr. Auftraggeber: G220038  
Projektbezeichnung: G2010406 Lohne, Windpark Vechtaer Mark Revision 1  
Probenahme: durch Auftraggeber am 11.05.2022  
Probentransport: durch Auftraggeber  
Probeneingang: 12.05.2022  
Prüfzeitraum: 12.05. – 18.05.2022  
Probennummer: 15640 / 22  
Probenmaterial: Grundwasser  
Verpackung: div. Glas- und PP-Gebinde  
Bemerkungen: -

Sonstiges: Der Messfehler dieser Prüfungen befindet sich im üblichen Rahmen. Näheres teilen wir Ihnen auf Anfrage gerne mit. Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die angegebenen Prüfgegenstände. Regelungen zur Unterauftrag- und Fremdvergabe auf Seite 2. Eine auszugsweise Vervielfältigung dieses Prüfberichts bedarf der schriftlichen Genehmigung durch die CUA Emden GmbH. Eventuell ausgewiesene Summen einzelner Parameter werden automatisch berechnet. Die Bildung der Summen erfolgt rein numerisch. Die angegebenen Stellen widerspiegeln keine Signifikanz. Die Bestimmungsgrenzen können matrix- / einwaagebedingt variieren.

Analysenbefunde: Seite 3

Messverfahren: Seite 2

Qualitätskontrolle:

  
Name: Laura Bernd  
Grund: geprüft und freigegeben  
Datum: 18.05.2022 14:10:17 (UTC+02:00:00)  
M. Ed. Greß Brose  
(Projektleiterin)

  
Name: Dr. A. Denhof  
Grund: geprüft und freigegeben  
Datum: 18.05.2022 14:18:14 (UTC+02:00:00)  
Dr. Andreas Denhof  
(Laborleiter)

**Messverfahren:**

pH-Wert (W,E)  
Sulfat  
kalklös. Kohlensäure  
Ammonium  
Calcium<sup>1)</sup>  
Magnesium<sup>1)</sup>

DIN EN ISO 10523 (C5): 2012-04  
DIN EN ISO 10304-1 (D20): 2009-07  
DIN 38404-C10  
DIN EN ISO 11732 (E 23): 1997-09  
DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01  
DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01

Chlorid  
Nitrit  
Nitrat  
absetzbare Stoffe  
Eisen, gesamt <sup>1)</sup>  
Phosphor, gesamt<sup>1)</sup>

DIN EN ISO 10301-1 (D20): 2009-07  
DIN EN 26777 (D10): 1993-04  
DIN EN ISO 10301-1 (D20): 2009-07  
DIN 38409-9 (H9):1980-07  
DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01  
DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01

<sup>1)</sup> Laboratorien Dr. Döring GmbH

|                          |                     |                               |                             |                             |
|--------------------------|---------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| <b>Labornummer</b>       | <b>15640</b>        | <b>Angriffsgrad</b>           |                             |                             |
| <b>Analysennummer</b>    | <b>128799</b>       |                               |                             |                             |
| <b>Probenbezeichnung</b> | <b>GW 1</b>         |                               |                             |                             |
|                          |                     | <b>schwach<br/>angreifend</b> | <b>mäßig<br/>angreifend</b> | <b>stark<br/>angreifend</b> |
| <b>Dimension</b>         | <b>[mg/L]</b>       | <b>[mg/L]</b>                 | <b>[mg/L]</b>               | <b>[mg/L]</b>               |
| pH-Wert (20°C)           | 5,2                 | 6,5 – 5,5                     | < 5,5 – 4,5                 | < 4,5                       |
| kalklösende Kohlensäure  | 51                  | 15 – 40                       | > 40 – 100                  | > 100                       |
| Ammonium                 | 0,4                 | 15 – 30                       | > 30 – 60                   | > 60                        |
| Sulfat                   | 270                 | 200 – 600                     | > 600 – 3.000               | > 3.000                     |
| Magnesium                | 15                  | 300 – 1.000                   | > 1.000 – 3.000             | > 3.000                     |
| Calcium                  | 46                  |                               |                             |                             |
| Angriffsgrad n. DIN 4030 | mäßig<br>angreifend | schwach<br>angreifend         | mäßig<br>angreifend         | stark<br>angreifend         |

## Beurteilung nach DIN 4030 - Betonaggressivität

In Bezug auf die untersuchten Parameter ist die Wasserprobe **GW 1** (Labornummer 15640) beurteilt nach den Grenzwerten der DIN 4030-1 aufgrund des pH-Wertes und der kalklösenden Kohlensäure als mäßig betonangreifend einzustufen.

|                                        |               |  |
|----------------------------------------|---------------|--|
| <b>Labornummer</b>                     | <b>15640</b>  |  |
| <b>Analysennummer</b>                  | <b>128799</b> |  |
| <b>Probenbezeichnung</b>               | <b>GW 1</b>   |  |
| <b>Dimension</b>                       | <b>[mg/L]</b> |  |
| Chlorid                                | 160           |  |
| Nitrit-N                               | 0,003         |  |
| Nitrat-N                               | < 0,5         |  |
| absetzbare Stoffe nach 0,5 h<br>[mL/L] | < 0,1         |  |
| absetzbare Stoffe nach 2 h<br>[mL/L]   | < 0,1         |  |
| Eisen, gesamt                          | 13            |  |
| Phosphor, gesamt                       | 0,07          |  |

# BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen  
Geophysik & Geotechnik



BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG · Glockenplatz 1 · 34388 Trendelburg

UMania GmbH & Co. KG  
Windpark Krimpenfort KG  
Akter Weg 23  
27478 Cuxhaven

## Stellungnahme Nr.

218319-5

Ansprechpartner:

Gesine Grapp

Datum:

22.02.2022

Telefon:

0 56 71 – 77 97 0

Fax:

0 56 71 – 77 97 10

eMail:

info@bbu-schubert.de

www.bbu-schubert.de

## STELLUNGNAHME

### Vechta - Windpark Krimpenfort - Errichtung einer Windenergieanlage (WEA 04)

Hier: orientierende Vorbemessung des Wasseranfalls einer Grundwasserhaltung

Die UMania GmbH & Co. Windpark Krimpenfort II KG, Cuxhaven, beabsichtigt die Errichtung und den Betrieb einer Windenergieanlage im Windpark Krimpenfort (Landkreis Vechta). Vorgesehen ist die Aufstellung des Anlagentyps NORDEX N149 / 5.X (Stahlrohrturm TS125-04). Die Anlagenkennung trägt die Bezeichnung "WEA 04".

Im Auftrag des Bauherrn hat die BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG im Winter 2018/2019 eine orientierende ingenieurgeologische Voruntersuchung durchgeführt und das Ergebnis mit dem ingenieurgeologischen Gutachten iga218319-1 vom 24.01.2019 dargestellt, ausgewertet und bekannt gegeben.

Als Ergänzung zum vorliegenden ingenieurgeologischen Gutachten und den im weiteren Projektverlauf verfassten Stellungnahmen hat der Bauherr die BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG mit einer Ermittlung einer orientierenden Vorbemessung des Wasseranfalls der notwendig werdenden Grundwasserhaltung beauftragt.

## 2 Grundlagen, Bearbeitungsunterlagen

Als Grundlage für die Vorbemessung der Grundwasserabsenkung dienen die am 12.12.2018 auftragsgemäß ausgeführten Rammkernsondierungen RKS 1 und 2, die während der Sondierarbeiten gemessenen Grundwasserstände und die im Ingenieurgeologischen Gutachten angegebenen Durchlässigkeitsbeiwerte.

## 3 Grundwasserabsenkung

### 3.1 Allgemeine Hinweise und Berechnungsgrundlagen

Aufgrund der örtlichen Bedingungen (feinmaterialführende Horizonte) sollte eine Vakuumentwässerung mittels Spüllanzen vorgesehen werden.

Zur überschlägigen Berechnung der zu fördernden Wassermenge wird die Fördermenge  $Q$  nach Forchheimer berechnet. Hier wird die Baugrube als ein großer, kreisförmiger Brunnen mit dem Radius  $A$  angenommen, auf den von allen Seiten Wasser zufließt.

Die berechnete Gesamtwassermenge  $Q$  der gesamten Anlage für den stationären Zustand für unvollkommene Brunnen ergibt sich zusammen mit der Durchlässigkeit  $k$ , dem Radius der Baugrube inkl. Abstand der Brunnen vom Baugrubenrand  $A_{RE}$  und der Reichweite  $R$  in Analogie zur Dupuit-Thiemschen-Brunnenformel:

$$Q = \frac{\pi \cdot k \cdot (H^2 - h^2)}{\ln(R) - \ln(A_{RE})} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

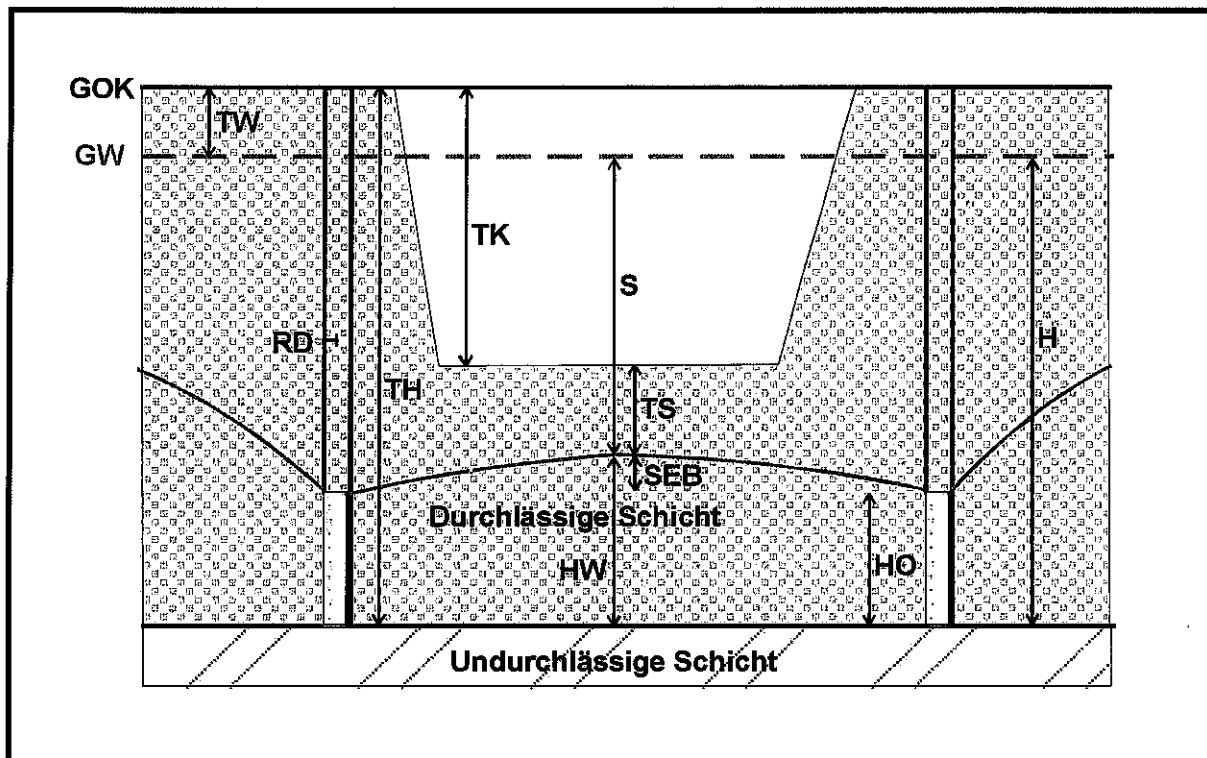
mit

- Durchlässigkeitsbeiwert des Grundwasserleiters  $k$  (m/s)
- Ursprünglicher Wasserstand über der undurchlässigen Schicht  $H$  (m)
- Abgesenkte Wasserspiegel an der ungünstigsten Stelle der Baugrube  $h$  (m)
- Reichweite der Absenkungskurve  $R$  (m)
- Radius der Baugrube inkl. Abstand der Brunnen vom Baugrubenrand  $A_{RE}$  (m)

und den zusätzlichen Parametern:

- Tiefe der Baugrubensohle unter Gelände  $TK$  (m)
- Absenktiefe unter urspr. GW-Spiegel  $s$  (m)
- Sicherheitsabstand des Grundwasserspiegels von der Sohle  $TS$  (m)
- Mittlerer wirksamer Brunnenradius  $RD$  (m)
- Höhe des Filters über Brunnensohle  $HO$  (m)
- Tiefe des urspr. GW-Spiegels u. GOK  $TW$  (m)
- Geländeoberkante GOK

Die nachfolgende schematische Skizze zur Grundwasserberechnung (vollkommener Brunnen) verdeutlicht die o.a. Begriffsdefinitionen:



**Abbildung 1:** Skizze zur Grundwasserberechnung nach Forchheimer

Die Tiefenlage der Baugrubensohle TK ergibt sich aus der Fundamenthöhe zuzüglich der Mächtigkeit des Saubereitsbetons:  $TK = 2,25 + 0,25 = 2,50 \text{ m}$

Für den Grundwasserstand TW wird der höchste während der Erkundungsarbeiten gemessene Wasserstand berücksichtigt:  $TW = 1,10 \text{ m}$

Der Sicherheitsabstand zur Sohle wird mit  $TS = 0,50 \text{ m}$  festgelegt.

Die Mindesttiefe der Absenkung beträgt  $s = TK + TS - TW = 1,90 \text{ m}$ .

Da vor Ort der Einbau von Spülfiltern / Vakuumlanzen i.d.R. nicht exakt vorgenommen wird und ferner im vorliegenden Fall ohnehin von einem unvollkommenen Brunnensystem auszugehen ist, wird bei den Berechnungen von einer Brunnentiefe (TH) von 6,0 m ausgegangen.

Die Reichweite R des Absenkungstrichters nach der empirischen Formel von Sichardt berechnet:  $R = 3000 \times s \times \sqrt{k} \text{ [m]}$ .

Der Radius der Baugrube  $A_{RE}$  wird ermittelt über den Fundamentradius ( $r = 11,50$ ) zuzüglich der Zusatzflächen aus Neigung der Baugrubenböschung und dem Abstand der Brunnen zum Baugrubenrand (angenommen ca. 5 m):  $A_{RE} = 16,50 \text{ m}$ .

Für die Berechnungen wird ein mittlerer Durchlässigkeitsbeiwert  $k_f = 5,0 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$  verwendet.



Für unvollkommene Brunnen wird das Ergebnis mit dem Faktor 1,3 beaufschlagt. Ein Zuschlag für schnelles Absenken wird mit einem Faktor 1,2 berücksichtigt.

## 6.2 Berechnungsergebnisse

In Anlehnung an die o.a. Dupuit-Thiemsche-Brunnenformel unter Berücksichtigung der ebenfalls bereits erläuterten Zuschläge für unvollkommene Brunnen und schnelles Absenken ergeben sich bei einem angenommenen Durchlässigkeitsbeiwert von  $5 \cdot 10^{-5}$  m/s etwa folgende Reichweiten und Fördermengen für die angenommenen Baugrubenabmaße:

| Standort | Durchlässigkeitsbeiwert $k_f$<br>[m/s] | Reichweite R<br>nach Sichardt<br>[m] | Fördermenge Q<br>[m³/h] | Fördermenge Q<br>[m³/d] |
|----------|----------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| WEA 4    | $5 \cdot 10^{-5}$                      | 40                                   | 15                      | 360                     |

Tabelle 1: Ergebniszusammenstellung

Bei der Annahme eines Durchlässigkeitsbeiwertes von  $5 \cdot 10^{-5}$  m/s wurde eine orientierende Reichweite von **40 m** und eine Fördermenge von etwa **360 m³ am Tag** ermittelt.

## 6.3 Weitere Hinweise

Im Umfeld von Grundwasserabsenkungsmaßnahmen können Bodensetzungen auftreten.

Die Berechnungen haben zunächst nur orientierenden Charakter. Um genauere Prognosen treffen zu können, wird eine Ermittlung des aktuellen Grundwasserstands und der tatsächlichen Durchlässigkeitsbeiwerte notwendig. Aus den Erfahrungen in vergleichbaren Bodenarten empfiehlt sich zur zutreffenden Einschätzung der aktuellen Grundwasserverhältnisse (Tiefenlage und Zulauftrate) Baggerschürfgruben anzulegen. Zur Ermittlung der tatsächlichen Durchlässigkeitsbeiwerte werden Versickerungsversuche empfohlen.

Aufgestellt: Trendelburg, den 22.02.2022

BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG  
Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen  
Geophysik & Geotechnik  
  
Dr. Claus Schubert  
Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger, Nr. 11 77 97 10  
Sachverständiger der IHK KS für das Bestellungsgebiet  
2450, Baugrund-Erkundung, -untersuchung & -bewertung  
www.bbu-schubert.de

BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG  
Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen  
Geophysik & Geotechnik  
  
Dipl.-Geow. Gesine Grapp  
BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG  
Tel. 036 1 140 10 10  
Fax 036 1 140 10 10  
www.bbu-schubert.de

# **BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG**

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen  
Geophysik & Geotechnik



BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG · Glockenplatz 1 · 34388 Trendelburg

CPC Germania GmbH und Co. KG  
Max - Born - Straße 1  
  
48431 Rheine

## **Gutachten Nr.**

Ansprechpartner:

Datum:

Telefon:

Fax:

eMail:

**218319**

Gesine Grapp

24.01.2019

0 56 71 – 77 97 0

0 56 71 – 77 97 10

info@bbu-schubert.de

www.bbu-schubert.de

## **INGENIEURGEOLOGISCHES GUTACHTEN**

### **Vechta - Windpark Krimpenfort - Errichtung einer Windenergieanlage (WEA 04)**

Hier: Orientierende geologische Voruntersuchung nach DIN 4020 mit ingenieurgeologischer  
Baugrundbeurteilung sowie gründungs- und erdbautechnischen Empfehlungen

**Bauvorhaben:** Errichtung einer Windenergieanlage (WEA 04)  
NORDEX N149 4.0 MW mit 125 m Nabenhöhe  
im Windpark Krimpenfort  
49377 Vechta - Krimpenfort

**Bauherr:** CPC Germania GmbH und Co. KG  
Max - Born - Straße 1  
48431 Rheine

**Auftraggeber:** Wie vor

**Projektplanung:** Wie vor

**Anlagenhersteller:** NORDEX Energy GmbH  
Erich - Schlesinger - Straße 50  
18059 Rostock

Nachfolgend wird das Ingenieurgeologische Gutachten mit den Seiten 2 bis 42  
und den Anlagen 1 bis 6 vorgelegt.

**ÖFFENTLICH BESTELLTER UND VEREIDIGTER SACHVERSTÄNDIGER FÜR BAUGRUNDERKUNDUNG, BAUGRUNDUNTERSUCHUNG UND -BEURTEILUNG  
ANERKANNTE SACHVERSTÄNDIGE FÜR UMWELT-, GRÜNDUNGSFRAGEN UND BEWEISSICHERUNGSGUTACHTEN**

BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG  
Glockenplatz 1  
34388 Trendelburg  
Tel. 0 56 71 – 77 97 0  
Fax. 0 56 71 – 77 97 10  
info@bbu-schubert.de

Kasseler Sparkasse:  
IBAN DE08 5205 0353 0100 0048 83 · BIC HELADEF1KAS  
St-Nr. 023 368 00060 FA KSII-HOG (OT)  
Handelsregister liegt beim Amtsgericht Kassel · HRA 17775

Dr. Schubert Verwaltungsgesellschaft mbH  
Zwiebelsfelder Weg 9  
34369 Hofgeismar  
Geschäftsführer: Dr. Claus Schubert eMail.  
St.-Nr. 025 231 40808 · HRB 17638



**Inhaltsverzeichnis:**

---

|                                                                   |           |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Bauvorhaben .....</b>                                       | <b>3</b>  |
| <b>2. Auftrag .....</b>                                           | <b>3</b>  |
| <b>3. Grundlagen, Bearbeitungsunterlagen .....</b>                | <b>4</b>  |
| <b>4. Örtliche Situation, geologischer Untergrund .....</b>       | <b>5</b>  |
| <b>5. Baugrunderkundung .....</b>                                 | <b>6</b>  |
| 5.1 Erkundungsprogramm .....                                      | 6         |
| 5.2 Erkundeter Bodenaufbau .....                                  | 7         |
| 5.3 Bodenwasserverhältnisse .....                                 | 8         |
| 5.4 Labortechnische Untersuchungen .....                          | 9         |
| 5.5 Dynamische Widerstandsmessungen .....                         | 10        |
| 5.6 Statische Widerstandsmessungen .....                          | 11        |
| 5.7 Charakteristische Bodenkennwerte .....                        | 13        |
| 5.8 Bautechnische Einteilung .....                                | 13        |
| 5.9 Durchlässigkeit und Versickerungsfähigkeit .....              | 14        |
| 5.10 2D - MASW und Refraktionsseismik .....                       | 15        |
| 5.11 Erdbebensicherheit .....                                     | 21        |
| 5.12 Bauchemische Grundwasseranalyse .....                        | 21        |
| <b>6. Ingenieurgeologische Beratung .....</b>                     | <b>22</b> |
| 6.1 Planungsvorgaben .....                                        | 22        |
| 6.2 Geotechnische Rahmenbedingungen (Zusammenfassung) .....       | 23        |
| 6.3 Gründungsvorschlag .....                                      | 24        |
| 6.4 Auftriebssicherheit .....                                     | 28        |
| 6.5 Geotechnische Nachweise .....                                 | 29        |
| 6.6 Erdbau; Baugrubenabnahme .....                                | 29        |
| 6.7 Wasserhaltung .....                                           | 30        |
| 6.8 Bodenaustausch, Lastverteilung und Fundamentherstellung ..... | 32        |
| 6.9 Arbeitsraumverfüllung; Fundamentüberschüttung .....           | 32        |
| <b>7. Zuwegung .....</b>                                          | <b>33</b> |
| <b>8. Kranstellfläche .....</b>                                   | <b>39</b> |
| <b>9. Schlussbemerkungen .....</b>                                | <b>42</b> |



## **I. Zusammenfassung**

Die **CPC Germania GmbH & Co. KG, Rheine**, beabsichtigt die Errichtung und den Betrieb einer Windenergieanlage im Windpark Krimpenfort (Landkreis Vechta). Vorsehen ist die Aufstellung des Anlagentyps:

- **NORDEX N149 4.0 MW mit 125 m Nabenhöhe**

Die Anlagenkennung trägt die Bezeichnung **"WEA 04"**.

Der Bericht enthält in der **Anlage 1** einen Lageplan mit Darstellung des Standortes. Gleiche Anlage enthält einen Übersichtsplan mit geografischer Einordnung des Standortes.

Zur Prüfung der geotechnischen Rahmenbedingungen und für die Beurteilung einer technisch einwandfreien und sicheren Gründungsausführung wird die Erkundung der anstehenden Boden- und Bodenwasserverhältnisse erforderlich.

In diesem Zusammenhang hat der **Bauherr die BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG, Trendelburg**, beauftragt, die im Gründungseinwirkungsbereich des geplanten Standortes vorhandenen Untergrundverhältnisse festzustellen, auf deren Grundlage eine Gründungsberatung zu bearbeiten und die Zulässigkeitskriterien entsprechend den vorliegenden anlagenherstellerseitigen Vorgaben zu bestätigen.

Gemäß der vorstehenden Zielsetzung wird das Ergebnis der **orientierenden ingenieurgeologischen Voruntersuchung** mit nachfolgendem **Gutachten** dargestellt, ausgewertet und bekannt gegeben.

Das vorliegende Gutachten beschreibt die Baugrunderkundung, -untersuchung und -bewertung der geologischen Voruntersuchung nach DIN 4020 und entbehrt zur Realisierung von erd- und grundbautechnischen Arbeiten nicht die geologische Hauptuntersuchung nach DIN 4020.

Die schriftliche Ausarbeitung gilt nur nach Verifizierung und vorbehaltlich einer ausreichenden Fachbauleitung bzw. geotechnischen Baustellenbegleitung durch das Unterzeichnerbüro.

**Anmerkung:** Der örtlich begrenzte Untersuchungsumfang kann Änderungen der außerhalb des Untersuchungsbereiches anstehenden Baugrundverhältnisse, die Einfluss auf die geotechnischen Rahmenbedingungen sowie die erdbau- und gründungstechnischen Arbeiten haben können, naturgemäß nicht ausschließen.

## 3. Grundlagen, Bearbeitungsunterlagen

Als Grundlage zur Bearbeitung wurden die einschlägigen Normen, Regelwerke und sonstigen Bauvorschriften sowie das zugehörige Fachschrifttum herangezogen, unter anderem:

- **DIN EN ISO 22 475**  
*"Geotechnische Erkundung und Untersuchung (ersetzt DIN 4021)"*
- **DIN EN ISO 14 688**  
*"Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Böden (ersetzt DIN 4 022 und DIN 4 023)"*
- **DIN EN ISO 22 476 - 2**  
*"Geotechnische Erkundung und Untersuchung, Teil 2: Rammsondierungen (ersetzt DIN 4094)"*
- **DIN 1997 - 1 (Eurocode EC - 7)**  
*"Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln" und nationales Anwendungsdokument (NAD)*
- **DIN 1997 - 2 (Eurocode EC - 7)**  
*"Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrundes" und nationales Anwendungsdokument (NAD)*
- **VOB**  
*"Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen"*
- **DIN 4124**  
*"Baugruben und Gräben; Böschungen, Arbeitsraumbreiten, Verbau"*
- **DIBt - Richtlinie für Windenergieanlagen**  
*"Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung"*
- **Grundbau - Taschenbuch (GBT)**  
*"fünfte Auflage, Teil 1, Ernst & Sohn"*
- **RStO**  
*"Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen"*
- **ZTV E - StB**  
*"Zusätzliche Technische Vorschriften und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau".*
- **Floss, Rudolf**  
*"ZTVE Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau, Kommentar mit Kompendium Erd- und Felsbau - 3. Auflage, Bonn, 2006"*
- **ZTV V - SoB - StB**  
*"Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau"*
- **TL SoB - StB**  
*"Technische Lieferbedingungen für Baustoffgemische und Böden zur Herstellung von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau"*

Zum Zeitpunkt der Berichtsverfassung standen dem Unterzeichnerbüro folgende Projektunterlagen für die Bearbeitung zur Verfügung:

- **Übersichtslageplan mit Einkartierung der WEA 01 bis 04**, CPC Germania GmbH und Co. KG
- **Lageplan Windpark Vechtaer Mark, Errichtung von 1 Windenergieanlage des Typs NORDEX Delta 4000 (N149) mit 125mNH**, Maßstab 1 : 5000, CPC Germania GmbH und Co. KG, vom 26.10.2018
- **Allgemeine Dokumentation Transport, Zuwegung und Krananforderungen, Anlagenklasse Nordex Delta4000**, Revision 03 / 31.08.2017, von der Nordex Energy GmbH
- **Allgemeine Dokumentation Fundamente, Anlagenklasse Nordex Delta4000**, Revision 04 / 14.09.2017, von der Nordex Energy GmbH
- **Technische Spezifikation Baugrunduntersuchung & Geotechnischer Bericht Fundament, Straßen und Kranstellflächen - Deutschland**, Revision 00 / 01.11.2017, von der Nordex Energy GmbH

## 4. Geplante Windenergieanlage Vechtaer Mark

Der geplante Anlagenstandort befindet sich im Landkreis Vechta. Er liegt etwa 3 km südwestlich der Stadt Vechta und etwa 4 km nördlich der Stadt Lohne (Oldenburg). Der Standort wird mit folgenden Koordinaten (ETRS 89 UTM Zone 32 N) ausgewiesen:

| Anlage | Ostwert    | Nordwert  |
|--------|------------|-----------|
| WEA 04 | 32 448.886 | 5.839.753 |

**Tabelle 1:** Standortkoordinaten

Der geplante Anlagenstandort befindet sich auf einer ebenen landwirtschaftlichen Nutzfläche. Die verkehrstechnische Anbindung erfolgt über einen Wirtschaftsweg, der von der Straßenführung "Westmark" abzweigt. Das folgende Foto zeigt den Standort zum Erkundungszeitpunkt.



**Foto 1:** Anlagenstandort mit Blick nach Ostsüdosten

Regionalgeologisch liegt der Windpark Vechtaer Mark am Südrand des Norddeutschen Beckens nördlich der Höhenzüge des Teutoburger Waldes und des Wiehengebirges. Der Untergrund sowie die Oberflächenmorphologie in der Region wurden während des **Quartärs** durch den wiederholten Wechsel von Kalt- und Warmzeiten und der damit verbundenen Ab- und Umlagerung von Fluss-, Schmelzwasser- und Eisablagerungen geprägt. Auf diesen pleistozänen Lockersedimenten wuchsen während des Holozäns ausgedehnte Moore auf.

In der Umgebung des Windparks ist oberflächennah vorwiegend mit fluviatil abgelagerten **Sanden, Kiesen und Schluffen** der Weichsel - Kaltzeit zu rechnen. Zum Teil werden diese von Flugsanden überlagert. Mit organischen Beimengungen ist in den genannten quartären Lockersedimenten grundsätzlich zu rechnen.

Anthropogene Ablagerungen oder sonstige schädliche Bodenveränderungen im Planungsgebiet sind nicht bekannt.

Die örtliche Vorflut wird von zahlreichen Entwässerungsgräben gebildet, die entlang der Fahrwege und der Flurgrenzen verlaufen. Zum Zeitpunkt der Erkundung waren die Gräben wassergefüllt. Die Entwässerung erfolgt generell in westliche Richtung.

Der Bodenaufbau ist **grundwasserführend**. Der Grundwasserspiegel stellt sich in Abhängigkeit des jahreszeitigen Klimaverlaufs ein.



Zur Erzielung eines **orientierenden** Überblickes über die tatsächlichen Boden- und Bodenwasserverhältnisse im Lasteinwirkungsbereich der Standorte und als Grundlage für die **Vorbeurteilung** der Gründung wurden im Zeitraum zwischen dem 12.12.2018 und 08.01.2019 auftragsgemäß ausgeführt:

**10 Rammkernsondierungen Ø 50 - 80 mm**  
(Kurzbezeichnung: **RKS 1 bis RKS 10**)

nach DIN 4020 bzw. DIN EN ISO 14688,

**2 schwere Rammsondierungen (DPH)**  
(Kurzbezeichnung: **DPH 1 und DPH 2**)

und

**4 statische Drucksondierungen (CPT)**  
(Kurzbezeichnung: **CPT 1 bis CPT 4**)

nach DIN 4094 bzw. DIN EN ISO 22476 sowie

**MASW und refraktionsseismische Messungen**  
(mit Kreuzprofil)

nach dem Multielektroden - Wenner - Verfahren.

In den Erkundungsstellen, die hinsichtlich ihrer Lage in dem Lageplan der **Anlage 1** einkartiert sind, wurden Bodenschichten beschrieben sowie Schichtgrenzen und die Grundwasser- / Bodenfeuchtesituation eingemessen.

Die schweren Rammsondierungen dienen der quantitativen Bewertung der Lagerungsdichte des Baugrunds in situ. Mit den Drucksondierungen wurden statische Widerstandsmessungen zur direkten Ermittlung der Untergrundeigenschaften ausgeführt. MASW und refraktionsseismische Messungen werden zur Beurteilung des geologischen Untergrunds herangezogen.

**12. Erkundungsbereich**

Der am geplanten Standort während der Erkundung angetroffene Bodenaufbau wurde ingenieurgeologisch detailliert aufgenommen. In der nachfolgenden Zusammenfassung wird ein Überblick über die Untergrundsituation gegeben.

GOK = Geländeoberkante

**RKS 1**

|                   |                                                                      |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------|
| bis 0.30 m u. GOK | <b>Sand</b> , organisch, locker gelagert (Oberboden)                 |
| bis 0.90 m u. GOK | <b>Fein- bis Mittelsand</b> , locker gelagert (Quartär)              |
| bis 1.80 m u. GOK | <b>Fein- bis Mittelsand</b> , locker gelagert - mitteldicht gelagert |
| bis 2.60 m u. GOK | <b>Fein- bis Mittelsand</b> , mitteldicht gelagert                   |
| bis 3.40 m u. GOK | <b>Schluff</b> , mittel sandig, teils schwach organisch, weich       |
| bis 4.30 m u. GOK | <b>Schluff</b> , schwach organisch, steif                            |
| bis 4.60 m u. GOK | <b>Fein- bis Mittelsand</b> , mitteldicht gelagert                   |
| bis 4.70 m u. GOK | <b>Schluff</b> , schwach organisch, steif                            |
| bis 6.00 m u. GOK | <b>Feinsand</b> , mitteldicht gelagert                               |
| bis 7.00 m u. GOK | <b>Schluff</b> , schwach sandig, schwach tonig, steif                |

**Erkundungsendtiefe - kein weiterer Bohrfortschritt!**

**RKS 2**

|                   |                                                                                                          |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| bis 0.30 m u. GOK | <b>Sand</b> , organisch, locker gelagert (Oberboden)                                                     |
| bis 0.90 m u. GOK | <b>Fein- bis Mittelsand</b> , locker gelagert (Quartär)                                                  |
| bis 2.20 m u. GOK | <b>Fein- bis Mittelsand</b> , schwach organisch, locker gelagert                                         |
| bis 2.80 m u. GOK | <b>Fein- bis Mittelsand</b> , locker gelagert - mitteldicht gelagert                                     |
| bis 4.20 m u. GOK | <b>Schluff</b> , mittel feinsandig, weich                                                                |
| bis 4.80 m u. GOK | <b>Fein- bis Mittelsand</b> , stark schluffig, schwach organisch, locker gelagert - mitteldicht gelagert |
| bis 6.30 m u. GOK | <b>Feinsand</b> , schwach schluffig, mitteldicht gelagert                                                |
| bis 7.00 m u. GOK | <b>Schluff</b> , schwach feinsandig, schwach tonig, steif                                                |

**Erkundungsendtiefe - kein weiterer Bohrfortschritt!**

Nach Oberboden aus organisch durchsetztem Sand folgen pleistozäne Sedimente aus vereinzelt Schluffen, vorwiegend jedoch Fein- und Mittelsanden in weicher oder steifer Konsistenz bzw. lockerer bzw. locker bis mitteldichter Lagerung. In einzelnen Schichthorizonten finden sich beigemengte organische Bestandteile.

Anthropogene oder organoleptisch auffällige Schichten wurden im Zuge der Erkundung bis in max. Erkundungstiefe nicht festgestellt.

Die umfassende Bodenbeschreibung und Darstellung der Schichtbegrenzungen kann den **Anlagen 2.1 und 2.2** entnommen werden.

### 5.3 Bodenaufbau und -eigenschaften

Der Bodenaufbau ist erwartungsgemäß grundwasserführend. Folgende Feststellungen wurden während bzw. nach der Durchführung der Bohr- und Sondierarbeiten getroffen:

| Bohrung / Sondierung | Wasserstand gemessen m u. GOK | Bohrloch zugefallen m u. GOK | Messdatum  | Bemerkungen                          |
|----------------------|-------------------------------|------------------------------|------------|--------------------------------------|
| RKS 1                | 1,13                          | 1,30                         | 09.01.2019 | ab 0,90 m u.GOK sehr feucht bis nass |
| RKS 2                | 1,10                          | 1,20                         | 09.01.2019 | ab 0,90 m u.GOK sehr feucht bis nass |
| DPH 1                | --                            | 1,00                         | 08.01.2019 | ----                                 |
| DPH 2                | --                            | 0,80                         | 08.01.2019 | ----                                 |
| CPT 1                | 0,80                          | --                           | 14.01.2019 | ----                                 |
| CPT 2                | 0,90                          | --                           | 14.01.2019 | ----                                 |

**Tabelle 2:** Während der Erkundungsarbeiten gemessene Grundwasserstände

Der Bodenwasserhaushalt ist niederschlagsabhängig und jahreszeitlich bedingten Veränderungen unterworfen. Im Verlauf niederschlagsreicher Jahreszeiten können geringere Flurabstände auftreten, die bis zur Geländeoberkante angenommen werden können. Daher sollte der Bemessungswasserspiegel vorsorglich in Geländehöhe berücksichtigt werden.

Langfristige Aussagen der bodenhydrologischen Situation können nur durch Herstellung von verrohrten Messpegeln bzw. -brunnen erfolgen.

**5.4 Laboratorische Untersuchungen**

Neben den feldgeologischen Arbeiten sind im Labor an ausgewählten Bodenproben Sieb- und Schlämmanalysen nach DIN 18123 durchgeführt sowie natürliche Wassergehalte nach DIN 18121 und an einer Probe der organische Gehalt nach DIN 18128 bestimmt worden. Die Ergebnisse werden nachfolgend wiedergegeben.

**Kombinierte Sieb- und Schlämmanalyse**

Nach Trennung der Sieb- und Schlämmannteile wurden folgende Gehalte in M.-% ermittelt:

| <b>Zeile</b> | <b>Entnahme aus Bohrung</b>                                    | <b>Ton<br/>M.-%</b> | <b>Schluff<br/>M.-%</b> | <b>Sand<br/>M.-%</b> | <b>Kies /<br/>Steine<br/>M.-%</b> | <b>d<sub>50</sub> / d<sub>60</sub></b> |
|--------------|----------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------------------------|
| 1            | RKS 1<br>Entnahmetiefe zw. 1,80 und 2,60 m u. GOK (Pleistozän) | 2                   | 9                       | 89                   | ---                               | 3                                      |
| 2            | RKS 1<br>Entnahmetiefe zw. 2,60 und 3,40 m u. GOK (Pleistozän) | 5                   | 41                      | 45                   | 9                                 | 23                                     |
| 3            | RKS 1<br>Entnahmetiefe zw. 6,00 und 7,00 m u. GOK (Pleistozän) | 12                  | 59                      | 26                   | 3                                 | 22                                     |

**Tabelle 2: Sieb- und Schlämmanalyse**

Entsprechend den Massenkornanteilen werden die Laborproben nach bodenmechanischer Definition beschrieben zu:

- Zeile 1 → **Feinsand, stark mittelsandig, schwach schluffig (enggestuft - gleichförmig)**
- Zeile 2 → **Schluff, feinsandig, schwach mittel- und grobsandig, schwach feinkiesig (weitgestuft - sehr ungleichförmig)**
- Zeile 3 → **Schluff, schwach tonig, schwach fein- bis grobsandig (weitgestuft - sehr ungleichförmig)**

Die Summenkurven der Kornverteilung sind in den **Anlagen 3.1 bis 3.3** dargestellt.

**Natürliche Wassergehalte**

Für die Laborproben ist der natürliche Wassergehalt w ermittelt worden:

| <b>Zeile</b> | <b>Entnahme aus Bohrung</b> | <b>Tiefe<br/>m u. GOK</b> | <b>Bodengruppe<br/>nach DIN 18196</b> | <b>sensorische<br/>Einstufung der Konsistenz /<br/>Lagerung *</b> | <b>Wasser-<br/>gehalt<br/>w [%]</b> |
|--------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 1            | RKS 1                       | 1,80 - 2,60               | SE                                    | mitteldicht                                                       | 17,78                               |
| 2            | RKS 1                       | 2,60 - 3,40               | UL, organisch                         | weich                                                             | 29,95                               |
| 3            | RKS 1                       | 3,40 - 4,30               | OU                                    | steif                                                             | 40,93                               |
| 4            | RKS 1                       | 6,00 - 7,00               | UL                                    | steif                                                             | 24,54                               |

**Tabelle 3: Natürliche Wassergehalte**

\* = während der Erkundungsarbeiten

Nach dem Befund der Wassergehaltsbestimmung beschreiben die untersuchten Proben in Abhängigkeit ihres bodenarttypischen Wasserbindevermögens allesamt eine überhöhte Feuchtebeanspruchung. Der natürliche Wassergehalt der Proben

nach Zeile 2 und 3 ist auf das erhöhte Wasserbindevermögen der organischen Beimengungen zurückzuführen.

### **Organischer Gehalt**

Der Gehalt an organischen Bestandteilen wird durch Massenverlust beim Glühen bestimmt und auf die Trockenmasse bezogen. Organische Bestandteile erhöhen die Zusammendrückbarkeit und verringern die Scherfestigkeit. Der organische Gehalt  $V_{gl}$  beträgt für die untersuchte Probe:

| <b>Zeile</b> | <b>Entnahme aus</b>                                               | <b>Bodenart</b> | <b>Wasser-<br/>gehalt<br/>w [%]</b> | <b>Organischer<br/>Gehalt<br/><math>V_{gl}</math> [%]</b> |
|--------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 1            | RKS 1<br>Entnahmetiefe zw. 3,40 und 4,30 m u. GOK<br>(Pleistozän) | OU              | 40,93                               | 6,72                                                      |

**Tabelle 4:** Organischer Gehalt

Die DIN EN ISO 14688-2, Tab. 3 gibt für den Gehalt an organischer Substanz (% der Trockenmasse < 2 mm) folgende Einteilung an (aus Prinz 2006):

|                   |            |
|-------------------|------------|
| schwach organisch | 2 bis 6 %  |
| mittel organisch  | 6 bis 20 % |
| stark organisch   | > 20 %     |

Nach dem Ergebnis handelt es sich bei der Probe per Definition um einen **mittel organischen Boden**.

### **5.3.2 Dynamische Sondierungen**

Zur Bestimmung der dynamischen Eindringwiderstände und zur Bestätigung der sensitiven Bodenansprache wurden zusätzlich Rammsondierungen mit der schweren Rammsonde (DPH) nach DIN EN ISO 22476 ausgeführt.

Bei der Rammsondierung wird der Eindringwiderstand einer Sondierspitze genormten Durchmessers gemessen, die mit einer definierten Rammenergie (Fallhöhe und Fallgewicht) senkrecht in den Untergrund gerammt wird. Hierbei wird die Anzahl der Schläge des Fallgewichtes pro 10 cm Eindringung ( $N_{10}$ ) mit vorgegebener Fallhöhe gezählt.

Die Ergebnisse werden als Widerstandslinie in einer Stufengrafik dargestellt. In den **Anlagen 4.1 und 4.2** sind die inSitu - Versuche dokumentiert. Die Auswertung der Rammsondierung erfolgt unter Beachtung der allgemeinen Grundsätze der DIN 4094 auf der Grundlage einer Gegenüberstellung von Schlagzahlbereichen und Lagerungsdichte bei grobkörnigen Böden und von Schlagzahlbereichen und Konsistenz

bei feinkörnigen Böden. Bei der Auswertung wird nach PRINZ, (2006), Tabelle 4.6, berücksichtigt:

| Lagerungsdichte | DPH<br>N <sub>10</sub> |
|-----------------|------------------------|
| locker          | 1 - 4                  |
| mitteldicht     | 4 - 18                 |
| dicht           | 18 - 24                |
| sehr dicht      | >24                    |

**Tabelle 5:** Einteilung Lagerungsdichte nach Schlagzahlen der schweren Rammsonde

Bei der Beurteilung ist der Grundwassereinfluss zu berücksichtigen.

Der Eindringwiderstand ist bei sonst gleichen Verhältnissen im Grundwasser geringer als über dem Grundwasser, so dass ab Unterschneidung des Grundwasserspiegels höhere Konsistenzen / Lagerungsdichten vorhanden sind, als im Widerstandsverlauf aufgezeigt werden.

Danach wird das Ergebnis der Prüfung abgeleitet:

Der Widerstandsverlauf kennzeichnet für den oberen Meter sehr lockere bis lockere Lagerungsverhältnisse. Daran anschließend folgt eine bis in Tiefen zwischen etwa 2 und 3 m reichende Schichtzone mit höheren Eindringwiderständen und Ableitung einer mitteldichten Lagerung. Ab den genannten Tiefen nehmen die Eindringwiderstände wieder ab und deuten auf sehr lockere bis lockere Lagerung dieser Schichtzone hin.

Ab Tiefen zwischen etwa 4 und 5 m unter GOK schließt sich eine moderate Zunahme der Eindringwiderstände an. Bis zur Prüftiefe von 10 m verlaufen die Eindringwiderstände relativ gleichmäßig auf dem Niveau eines insgesamt mitteldicht gelagerten Untergrundes. Am Prüfort der DPH 1 ist ab Tiefe von etwa 9,5 m ein Übergang in dichte Lagerungsverhältnisse erkennbar. Die wechsellagernden Schluffe und Fein- bis Mittelsande zeigen anhand des Prüfbefundes bis zur Tiefe von 10 m eine geringe bis mäßige geologische Konsolidierung der pleistozän sedimentierten Ablagerungen.

Zur Findung eines geeignet tragfähigen Baugrundes wurden zur direkten Ermittlung der Untergrundeigenschaften ergänzend Drucksondierungen (CPT) nach DIN EN ISO 22476 ausgeführt.

Bei diesem Verfahren wird eine Sonde in den Untergrund mit gleich bleibender Geschwindigkeit eingedrückt, wobei Spitzenwiderstand, lokale Mantelreibung und ge-

gegebenfalls Gesamtwiderstandskraft in Abhängigkeit von der Sondiertiefe gemessen werden können. Der Spitzenwiderstand ist definiert durch die in der Sondenspitze übertragene Kraft, geteilt durch den Spitzenquerschnitt. Bei der lokalen Mantelreibung liegt die Beziehung der in der Reibungshülse übertragenen Kraft, geteilt durch die Mantelfläche der Reibungshülse zugrunde. Aus dem Reibungsverhältnis kann näherungsweise auf die Bodenart in der jeweiligen Tiefe geschlossen werden (DIN EN ISO 22476).

Im Rahmen einer Fremdleistung erfolgten die Sondierungen durch die Firma Geotechnik Heiligenstadt GmbH, Heilbad Heiligenstadt. Die Prüfungen endeten jeweils bei Erreichung der Tiefe von 20 m unter GOK.

In den **Anlagen 5.1 und 5.2** sind der Spitzenwiderstand, die lokale Mantelreibung und der Reibungsindex grafisch aufgetragen.

Bei der Auswertung wird nach PRINZ, (2006), Tabelle 6, berücksichtigt:

| Lagerungsdichte | Spitzendruck<br>$q_c$<br>MN/m <sup>2</sup> |
|-----------------|--------------------------------------------|
| locker          | < 5                                        |
| mitteldicht     | 5,0 - 7,5 / 10                             |
| dicht           | 7,5 - 18 / 20                              |
| sehr dicht      | > 18 / 20                                  |

**Tabelle 6:** Einteilung Lagerungsdichte nach Spitzendruck

Das Ergebnis wird zusammenfassend beschrieben:

Der Widerstandsverlauf wechselt bis zur Tiefe von 10 m unter GOK mit Spitzenwiderständen zwischen  $q_c = 2,5$  und  $10 \text{ MN/m}^2$  und demzufolge lockerer bis dichter Lagerung. Bis zur genannten Tiefe zeigt der Bodentyp - Index reine Sande, Sandgemische und Sand - Schluff - Gemische. Darunter nehmen die Spitzenwiderstände deutlich zu und erreichen mittlere Spitzenwiderstände von  $q_c = 20 \text{ MN/m}^2$ . Die Schichtzone ist als sehr dicht gelagert zu umschreiben und besitzt eine Mächtigkeit zwischen etwa 6 und 7 m. Der Bodentyp - Index deutet auf das Anstehen reiner Sandböden hin.

Anschließend wird im Tiefenbereich ab etwa 16 bis 17 m unter GOK bis zur Prüfendtiefe ein teils wechselhafter Verlauf der Spitzenwiderstände mit deutlicher Ab- und sprunghafter Zunahme der Spitzenwiderstände registriert. Die Sande wechseln hier mit bindigen Zwischenzonen.

Das Prüfende von 20 m unter GOK registriert einen Spitzenwiderstand von  $q_c = 8,3$  bzw.  $14,7 \text{ MN/m}^2$  und belegt dichte Lagerung.

## 3.7 Charakteristische Bodenkennwerte

Bis zur maximalen Tiefe der Erkundungsstellen werden die angetroffenen Bodenschichten hinsichtlich ihrer wahrscheinlichen Kennwerte abgeleitet und sind **Mittelwerte**. Die Kennwerte der Tabelle gelten für den natürlichen, d.h. ungestörten Zustand.

| Bodenschicht                    | Wichte<br>$\gamma / \gamma'$<br>kN/m <sup>3</sup> | Reibungswinkel<br>$\phi$<br>Grad | Stiffemodul<br>$E_s$<br>kN/m <sup>2</sup> | Kohäsion<br>$c/c_u$<br>kN/m <sup>2</sup> |
|---------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|
| Sand, organisch (Oberboden)     | 17,0 / 7,0                                        | 25,0                             | kein Lastboden                            | 0,0 / 5,0                                |
| Torf                            | 15,0 / 5,0                                        | 15,0                             | 1.000                                     | 0,0 / 15,0                               |
| Fein- bis Mittelsand, organisch | 18,0 / 8,0                                        | 27,5                             | 10.000                                    | 0,0 / 2,0                                |
| Fein- bis Mittelsand            | 19,0 / 9,0                                        | 32,5                             | 40.000                                    | 0,0 / 0,0                                |
| Schluff, organisch              | 18,5 / 8,5                                        | 20,0                             | 2.000                                     | 2,0 / 10,0                               |
| Schluff                         | 19,5 / 9,5                                        | 22,5                             | 5.000                                     | 5,0 / 25,0                               |

**Tabelle 7:** Charakteristische Bodenkennwerte

## 3.8 Bautechnische Einteilung

Nach den örtlichen Feststellungen ist der angrenzende Untergrund bis zur maximalen Erkundungstiefe für bautechnische Zwecke wie folgt einzuordnen:

| Bodenschicht                    | Boden-<br>gruppe<br>DIN 18196 | Klassifikation<br>DIN 18196                                            | Boden-<br>klasse<br>DIN 18300 | Homogen-<br>bereich *) | Frost-<br>empfindlichkeit<br>ZVE-SB 09 |
|---------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------|----------------------------------------|
| Sand, organisch (Oberboden)     | OH                            | organogene Böden                                                       | 1                             | A                      | F 2                                    |
| Torf                            | OH                            | organogene Böden                                                       | 1                             | A                      | F 2                                    |
| Fein- bis Mittelsand, organisch | OU                            | organogene Böden                                                       | 3                             | A                      | F 2                                    |
| Fein- bis Mittelsand            | SE, SU                        | nicht bindige, grobkörnige und schwach bindige, gemischt-körnige Böden | 3                             | B                      | F 1 + F 2                              |
| Schluff, organisch              | OU                            | organogene Böden                                                       | 4                             | A                      | F 3                                    |
| Schluff                         | UL                            | bindige, feinkörnige Böden                                             | 4                             | C                      | F 3                                    |

**Tabelle 8:** Bautechnische Einteilung

\*) Vorschlag - ohne VOB-verbindlichen Charakter

## Erläuterungen zu den Einteilungen

### ➤ Bodengruppen (DIN 18196)

- **GE:** enggestufte Kiese    **GW:** weitgestufte Kies - Sand - Gemische    **GI:** intermittierend gestufte Kies - Sand - Gemische
- **SE:** enggestufte Sande    **SW:** weitgestufte Sand - Kies - Gemische    **SI:** intermittierend gestufte Sand - Kies - Gemische
- **GU bzw. GU\*:** Kies - Schluff - Gemische    **GT bzw. GT\*:** Kies - Ton - Gemische
- **SU bzw. SU\*:** Sand - Schluff - Gemische    **ST bzw. ST\*:** Sand - Ton - Gemische
- **UL:** leicht plastische Schluffe    **UM:** mittelpastische Schluffe    **UA:** ausgeprägt plastische Schluffe
- **TL:** leicht plastische Tone    **TM:** mittelpastische Tone    **TA:** ausgeprägt plastische Tone
- **OU:** Schluffe mit organischen Beimengungen    **OT:** Tone mit organischen Beimengungen
- **OH:** grob- bis gemischtkörnige Böden mit Beimengungen humoser Art    **HN:** nicht bis mäßig zersetzte Torfe (Humus)
- **HZ:** zersetzte Torfe    **A:** Auffüllungen

### ➤ Bodenklassen (DIN 18300 und VOB "Erdarbeiten"):

- **Bodenklasse 1:** Oberboden (Mutterboden) - oberste Bodenschicht, die neben anorganischen Stoffen auch Humus und Bodenlebewesen enthält.
- **Bodenklasse 2:** Fließende Bodenarten - von flüssiger bis zähflüssiger Beschaffenheit, die das Wasser schwer abgeben.
- **Bodenklasse 3:** Leicht lösbare Bodenarten - nicht bindige bis schwach bindige Sande, Kiese, und Sand - Kies - Gemische mit bis zu 15 Gewichtsprozent Beimengungen an Schluff und Ton und mit höchstens 30 Gew.-% Steinen über 63 mm Korngröße und bis zu 0,01 m³ Rauminhalt. Organische Bodenarten mit besserer als breiiger Konsistenz sowie Torfe.
- **Bodenklasse 4:** Mittelschwer lösbare Bodenarten - Gemische von Sand, Kies, Schluff und Ton mit einem Anteil von mehr als 15 Gew.-%, sowie bindige von leichter bis mittlerer Plastizität und höchstens 30 Gew.-% Steine von über 63 mm Korngröße bis zu 0,01 m³ Rauminhalt.
- **Bodenklasse 5:** Schwer lösbare Bodenarten - Bodenarten nach den Bodenklassen 3 und 4, jedoch mit mehr als 30 Gew.-% Steinen von über 63 mm Korngröße bis zu 0,01 m³ Rauminhalt. Ebenso nicht bindige und bindige Bodenarten mit höchstens 30 Gew.-% Steinen von über 0,01 m³ bis 0,1 m³ Rauminhalt sowie ausgeprägt plastische Tone, die je nach Wassergehalt weich bis fest sind.
- **Bodenklasse 6:** Felsarten, die einen inneren, mineralisch gebundenen Zusammenhalt haben, jedoch stark klüftig, brüchig, bröckelig, schiefrig, weich oder verwittert sind, sowie vergleichbare verfestigte bindige und nicht bindige Bodenarten, wie sie z.B. durch Austrocknen, Gefrieren oder chemischen Bindungen hervorgerufen werden; nicht bindige und bindige Bodenarten mit mehr als 30 Gew.-% Steinen von über 0,01 m³ bis 0,1 m³ Rauminhalt.
- **Bodenklasse 7:** Schwer lösbarer Fels - Felsarten, die einen inneren, mineralisch gebundenen Zusammenhalt und hohe Gefügesteifigkeit haben und die nur wenig klüftig oder verwittert sind. Festgelagerter, unverwitterter Tonschiefer, Nagelfluhschichten, Schlackenhalde der Hüttenwerke sowie dergleichen.

### ➤ Homogenbereiche (DIN 18300 (2015) und VOB / C "Erdarbeiten"):

- **Definition:** Gemäß ATV DIN 18304 (2012) sind Boden und Fels in Homogenbereiche (Schichteneinteilung) einzuteilen. Ein Homogenbereich ist ein begrenzter Bereich aus einer oder mehreren Boden- und Felschichten nach DIN 4020 und DIN EN 1997, T. 2, dessen bautechnische Eigenschaften eine definierte Streuung aufweisen und sich von den Eigenschaften der abgegrenzten Bereiche abheben.
- Die DIN 18300 (2012) wurde zurückgezogen - die Einteilung in Bodenklassen (bisher 1 - 7) entfällt.

### ➤ Frostepfindlichkeit (ZTVE - StB 09):

- **Frostepfindlichkeitsklasse F1:** nicht frostepfindlich
- **Frostepfindlichkeitsklasse F2:** gering bis mittel frostepfindlich
- **Frostepfindlichkeitsklasse F3:** sehr frostepfindlich

**Hinweis:** Die Abschätzung der Werte für die Homogenbereiche erfolgt auf Grundlage der durchgeführten Untersuchungen und der Erfahrung aus Projekten mit ähnlichen / vergleichbaren Böden sowie auf Grundlage von Literatur- und Tafelwerten. Die Angabe der nach DIN 18300 vorgesehenen Kennwerte für die Homogenbereiche ist mit entsprechender Genauigkeit und Aussagekraft nur auf der Grundlage eines entsprechenden Umfangs an Feld- und Laboruntersuchungen möglich.

Für die Entscheidung über die Wahl des Fundamenttyps (mit / ohne Auftrieb) ist die Beurteilung der Durchlässigkeit und Versickerungsfähigkeit des Untergrundes maßgebend. Zur Beurteilung der hydraulischen Leitfähigkeit (= Wasserdurchlässigkeit) des Untergrundes ist es notwendig, den  $k_f$  - Wert (so genannter "Durchlässigkeitsbeiwert") zu bestimmen.

Für die Bodenschichten bis in maximale Tiefe des Erkundungsaufschlusses werden die Durchlässigkeiten nach Erfahrung wie folgt angegeben:

| Bodenschicht                    | $k_r$ - Wert<br>m/s                     | Durchlässigkeit<br>nach DIN 18130                |
|---------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Sand, organisch (Oberboden)     | $10^{-4} - 10^{-5}$                     | stark durchlässig bis durchlässig                |
| Torf                            | unter $10^{-8}$                         | sehr schwach durchlässig                         |
| Fein- bis Mittelsand, organisch | $10^{-5} - \text{unter } 10^{-6}$       | durchlässig bis schwach durchlässig              |
| Fein- bis Mittelsand            | $10^{-3} - 10^{-5}$                     | stark durchlässig bis durchlässig                |
| Schluff, organisch              | unter $10^{-6} - \text{unter } 10^{-8}$ | schwach durchlässig bis sehr schwach durchlässig |
| Schluff                         | unter $10^{-8}$                         | sehr schwach durchlässig                         |

**Tabelle 9:** Abschätzung Durchlässigkeit

Nach der Einteilung ist der Untergrund als stark durchlässig bis sehr schwach durchlässig einzustufen.

Aufgrund der hoch stehenden Grundwasserverhältnisse ist eine direkte Beeinflussung des Fundamentes gegeben.

### Vorbemerkungen

Die Methode der aktiven MASW (aus dem englischen: Multi Analysis of Surface Waves) ist eine seismische Methode zur Erkundung des oberflächennahen Untergrundes (bis max. 50 m). Die MASW - Messungen dienen der geologischen Strukturerkundung (v.a. Feststellung von Diskontinuitäten). In Kombination mit einer refraktionsseismischen Auswertung der Daten können darüber hinaus sämtliche dynamische Bodenkennwerte direkt bestimmt werden.

### Durchgeführte Arbeiten

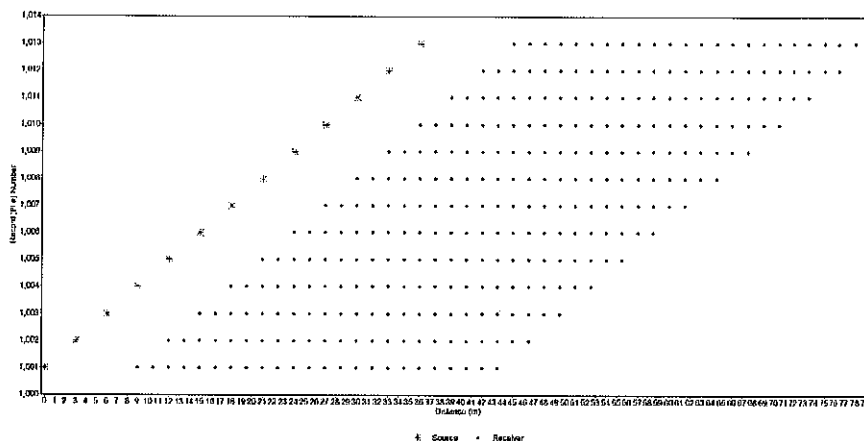
#### **MASW:**

Zur Erkundung des geologischen Untergrundes wurden an dem geplanten Standort aktive 2D-MASW Messungen durchgeführt. Hierzu wurde an dem Standort ein Profil mit je 13 Schusspunkten vermessen.

An jedem Schusspunkt wird mit 24 Kanälen bzw. Geophonen mit einem Einzelgeophonabstand von  $\Delta x = 1.5 \text{ m}$  gemessen. Dadurch ergibt sich eine Auslagelänge der Geophonkette von  $D = 34.5 \text{ m}$ . Der Messpunkt liegt dabei jeweils in der Profilmitte. Für jedes Profil werden insgesamt 13 Schüsse (#1001 bis #1013) durchgeführt, wobei die gesamte Messanordnung (Quelle und Empfänger) jeweils nach jedem Schuss

um einen Abstand  $\Delta d = 3 \text{ m}$  in Richtung der Geophonauslage weiterzieht. Der Abstand des Schusspunktes zum ersten Geophon  $x$  beträgt konstante 9 m. Die Eindringtiefe ist im Wesentlichen durch die Länge der Geophonauslage  $D$  bestimmt, und beträgt bei oben genannten Parametern ca. 20 m.

Die Skizze in Abbildung 4 zeigt den Messaufbau schematisch.



**Abbildung 1:** Schematischer Messaufbau 2D-MASW

Zur Anregung der seismischen Wellen wird ein Hammer mit einer Masse von 10 kg verwendet. Die seismischen Wellen werden durch vertikales Schlagen des Hammers auf eine Schlagplatte erzeugt.

Die jeweiligen Signale werden mit Vertikalgeophonen registriert und über einen A/D Wandler an den Seismograph gegeben. Die Aufnahmelänge betrug jeweils 1 s bei einer Samplingrate von 4000 Hz. Eine Qualitätskontrolle der Daten wird direkt vor Ort durchgeführt und je nach Signal/Rausch Verhältnis mehrere Schüsse gestapelt. Dabei wurde eine seismische Messapparatur und die Software „DoReMi“ von SARA ELECTRONIC INSTRUMENTS SRL, Italien zur Datenaquisition und die Software „ParkS-EIS“ von PARK SEISMIC LLC, USA, zur Datenverarbeitung und zur Auswertung der Daten genutzt.

#### *Refraktionsseismik:*

An einem Teil der Datensätze wurden zusätzlich zu den MASW-Analysen auch refraktionsseismische Auswertungen vorgenommen. Bei vertikaler Schlaganregung (Hammerschlag, wie oben beschrieben) misst dieses Verfahren die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Kompressionswellen (so genannte P-Wellen, s. Anlage 6). Mit der MASW-Methode werden Geschwindigkeiten von Oberflächenwellen ermittelt, bei denen es sich im Wesentlichen um Transversalwellen (so genannte S-Wellen oder Scherwellen) handelt. Bei Kenntnis beider Wellentypengeschwindigkeiten können direkt bodenmechanische Parameter errechnet werden.

**Weitere Informationen:**

Die notwendigen Geländearbeiten fanden am 12.12. und 13.12.2018 bei trockener Witterung und Temperaturen zwischen 0°C und 5°C statt. Der Boden war aufgrund der Witterungsbedingungen trocken bis schwach feucht.

Die Einmessung der Geophonpositionen geschah mittels Bandmaßes und/oder eines Zollstockes, so dass die Positionierungsfehler der Geophone im Bereich kleiner als 5 % zu liegen kommen.

Zum Zeitpunkt der Untersuchungen waren die Standorte gekennzeichnet. Lagepläne mit Angabe der Standortkoordinaten wurden durch den Auftraggeber bereitgestellt.

Die Daten wurden bei geringer Signalstärke 2-fach gestapelt, um ein verwertbares Signal-Rausch-Verhältnis zu erhalten. Die Störeinflüsse durch natürliche und technisch induzierte Bodenbewegungen waren sehr gering.

**Lage der Messprofile**

Die Profile tragen die Bezeichnungen „WEA 04“ und „WEA 04-T“. Der Zusatz „T“ bezeichnet das Kreuzprofil. Jedes Profil ist mit einer Längenskala versehen. Diese reicht von 17 m bis 35 m.

Der Lageplan in **Anlage 1** gibt die Anordnung im Gelände wieder.

Die Auslagerichtungen (= Himmelsrichtung, in die das positive Profilende zeigt) für die Profile ergaben sich wie folgt:

| <b>Profil Nr.</b>              | <b>Profilrichtung (°)</b> |
|--------------------------------|---------------------------|
| WEA 04 / WEA 04-Refraktion     | 24                        |
| WEA 04-T / WEA 04-T-Refraktion | 118                       |

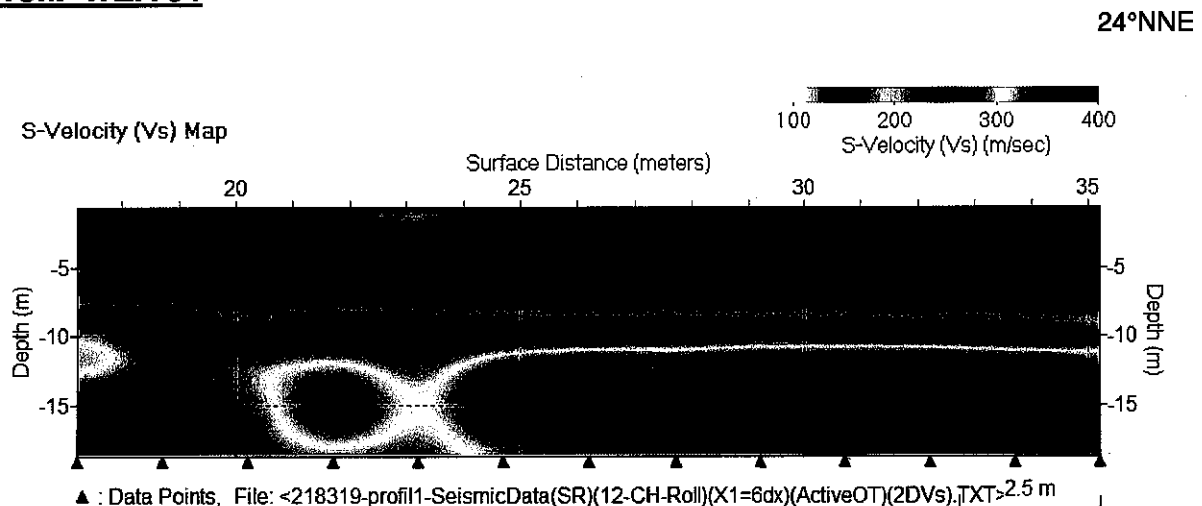
**Tabelle 10:** Vermessene Profile mit Profilrichtungen

**Ergebnisse und Interpretationen****MASW:**

Die Ergebnisse mit der entsprechenden geologischen Interpretation sind nachfolgend wiedergegeben. Dabei werden Aufschlüsse aus der ingenieurgeologischen Erkundung zur Interpretation genutzt.

Die Längen- und Tiefen an dem Profil sind in Metern angegeben. Zu beachten ist, dass kein fester Maßstab für die Skalierung von Tiefen- und Längenangaben gewählt wurde. Als Einheit für die Scherwellengeschwindigkeit wird m/s verwendet. Allgemein bedeuten höhere Geschwindigkeiten auch höhere Festigkeiten im Gestein.

Die Ergebnisse werden nachfolgend ausführlich beschrieben.

**Profil WEA 04****Abbildung 2: Das Profil WEA 04**

Der geplante Anlagenmittelpunkt befindet sich bei Profilmeter 26,25.

Das Scherwellengeschwindigkeitsdiagramm zeigt primär zwei konkordante, scharf getrennte Bereiche mit einem schwachen Einfallen in nordnordöstliche Richtung. Die marginale Neigung könnte auch aus einer Unebenheit des betrachteten Geländeauschnitts innerhalb eines größeren Kontexts von allgemein söhligter Lagerung resultieren.

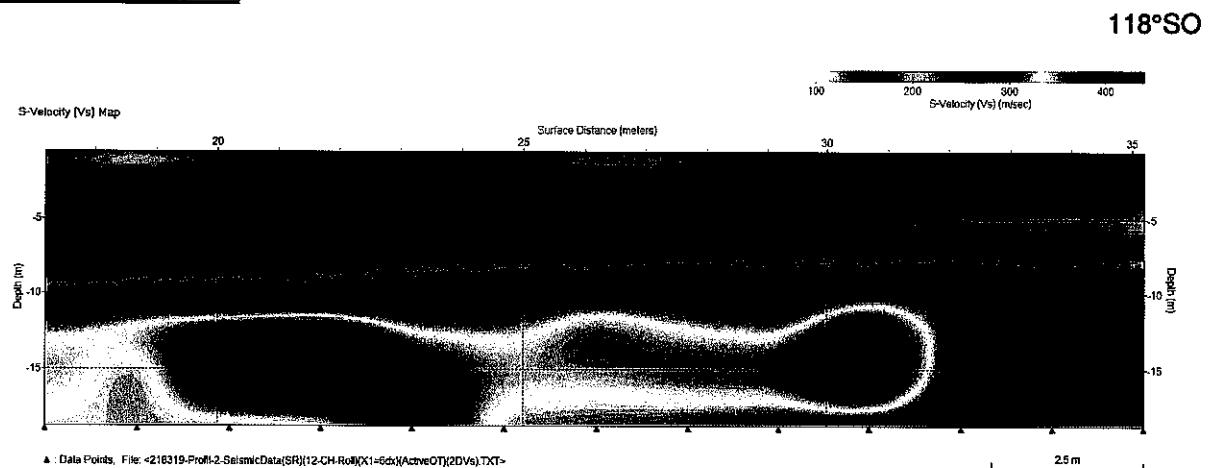
Der obere Abschnitt reicht auf der linken Seite bis in eine Tiefe von ca. 7 m, auf der rechten Seite bis max. ca. 9 m unter GOK. Die Scherwellengeschwindigkeiten liegen zwischen ca. 115 m/s und ca. 160 m/s (blaue Darstellung). Die Übergänge sind weich, teilweise fließend, sie erlauben Rückschlüsse auf Einschaltungen, Schichtgrenzen sowie unterschiedliche Grade der Kompaktion. Die wahrscheinlichste Interpretation sind Schichten aus Sanden, locker bzw. dicht gelagert, welche die ersten 2 m bis 3 m dominieren. Darunter folgen von 1 m bis 2 m mächtige Schluffe, gebettet wiederum auf mitteldichten Sanden etwa gleicher Tiefe. Abschließend lassen sich bis zur Grenze erneut Schluffe deuten. Diese Variation unterstützt die Ergebnisse der Rammkernsondierung RKS 1. Sie befindet sich ebenfalls in Einklang mit der Rammsondierungen DPH 1 und DPH 2, welche eine Wechselfolge von lockerem und dichtem Material innerhalb der ersten 10 m unter GOK aufzeigen (locker – dicht – locker – dicht).

Die untere Schicht zeigt einen lateralen Gradienten der Geschwindigkeit, von ca. 420 m/s im Nordnordwesten auf ca. 260 m/s im Südsüdosten (rot / schwarze bis gelb / grüne Darstellung). Dieser könnte auf eine Inhomogenität innerhalb der Schicht verweisen. Es besteht jedoch die Möglichkeit, dass es sich hierbei lediglich um ein Artefakt der Inversion handelt.

Zudem bildet das seismische Tomogramm einen vertikalen Gradienten der Scherwellengeschwindigkeiten von ca. 250 m/s bis hin zu ca. 420 m/s ab. Die Drucksondierungen CPT 1 sowie CPT 2 bestätigen die bisherige Interpretation. Ab einer Tiefe von ca. 9 m klassifizieren sie den Boden als Sande. Der Gradient ist somit durch den proportional zur Tiefe steigenden lithostatischen Druck zu erklären. Die Oberkante dieser Schicht wird in der Rammkernsondierung nicht erfasst, ist jedoch ansatzweise in der Rammsondierung DPH 1 vorhanden (ab 9,50 m unter GOK dichte Packung). Anhand der geophysikalischen Erkundung lässt sich vorhersagen, dass die Festigkeit in Tiefen über ca. 10 m stark zunimmt.

Weitere Besonderheiten sind nicht zu verzeichnen.

### Profil WEA 04-T



**Abbildung 3:** Das Profil WEA04-T

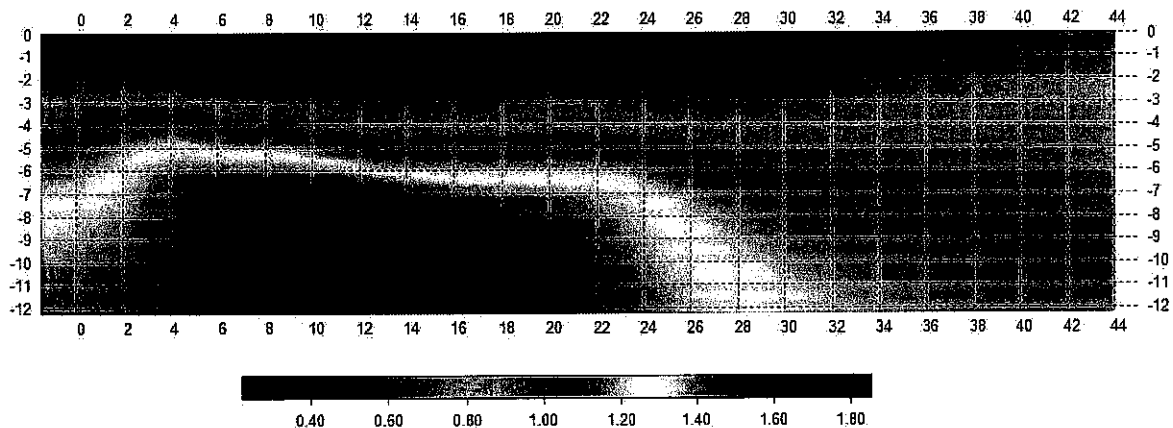
Der geplante Anlagenmittelpunkt befindet sich bei Profilmeter 26,25.

Das Geschwindigkeitsmodell des Profils WEA 04-T gibt eine ähnliche strukturelle Situation wie bei WEA 04 wieder. Es sei daher auf dessen Profilbeschreibung hingewiesen. Im Gegensatz zu Profil WEA 04 fällt die Schichtung hier schwach in Richtung Nordwest ein. Die Scherwellengeschwindigkeiten der einzelnen Schichten sind im Rahmen der Modellgenauigkeit nahezu identisch mit denen aus den Resultaten der Inversion der Messungen am Standort WEA 04.

Weitere Besonderheiten sind nicht zu verzeichnen.

*Refraktionsseismik:***Profil WEA 04-Refraktion**

24°NNE

**Abbildung 4:** Das Profil WEA 04-Refraktion, Auswertung der Kompressionswellengeschwindigkeit

Der geplante Anlagenmittelpunkt befindet sich bei Profilmeter 26,25.

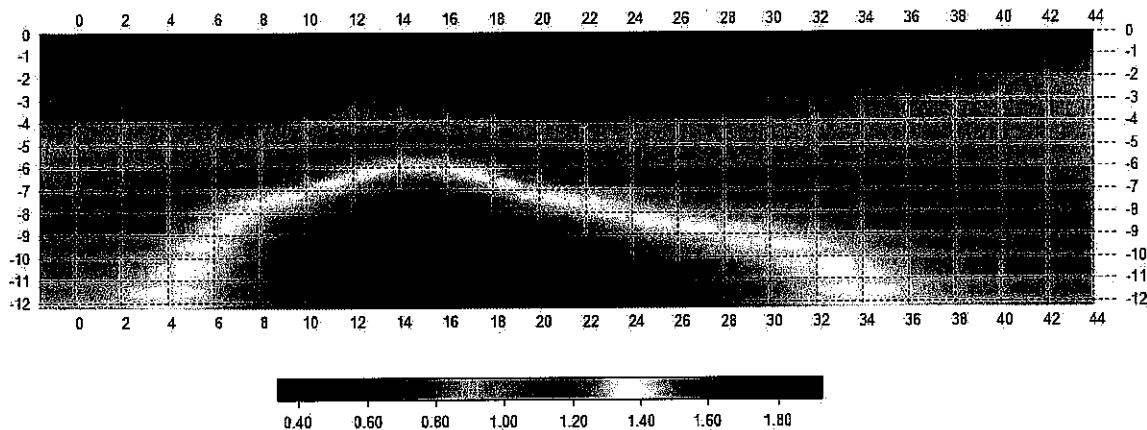
Die Auswertung der refraktionsseismischen Signale ergibt ein recht klares Abbild des Untergrundes. In der vorstehenden Abbildung ist das Ergebnis dargestellt, die Zahlen rechts und links bzw. ober- und unterhalb bezeichnen die Tiefe respektive die Entfernung, jeweils in der Einheit Meter. Die zugehörige Farbskala darunter referenziert die entsprechenden P-Wellengeschwindigkeiten, wobei die Werte in km/s angegeben sind.

Es lässt sich klar die geschichtete, schwach nordnordöstlich einfallende Struktur aus der MASW wiedererkennen. Auf ein durch geringe P-Wellengeschwindigkeiten gekennzeichnetes Materialband (blaue Darstellung) mit oberflächennahen Einschaltungen (Profilmeter -1,5 – 4; Profilmeter 10 – 14; Profilmeter 22 – 24) folgt eine relativ geringmächtige Lage im Bereich von 3 m bis 4 m unter GOK (türkise Darstellung). Darunter befindet sich eine weitere, 2 m bis 3 m mächtige Schicht (grüne Darstellung). Die ungleichmäßige Ausdehnung folgt dem sich ab 8 m (Profilmeter -1,5) bzw. 5 m (Profilmeter 4) Tiefe abzeichnenden Körper (rote Darstellung). Auffallend ist eine sukzessive Zunahme der Kompressionswellengeschwindigkeit mit der Tiefe. Dies stimmt einerseits mit der Auswirkung des lithostatischen Drucks überein. Zudem wird ein Materialwechsel nahe der GOK unterlegt. Eine Sand-Schluff-Wechselfolge kann somit als bestätigt erachtet werden.

Weitere Besonderheiten sind nicht zu verzeichnen.

**Profil WEA 04-T-Refraktion**

118°SO

**Abbildung 5:** Das Profil WEA04-T-Refraktion, Auswertung der Kompressionswellengeschwindigkeit

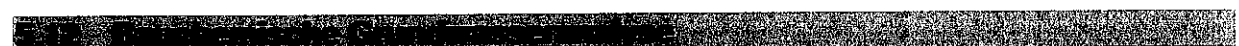
Der geplante Anlagenmittelpunkt befindet sich bei Profilmeter 26,25.

Das Geschwindigkeitsmodell des Profils WEA 04-T-Refraktion gibt eine ähnliche strukturgeologische Situation wie bei WEA 04-Refraktion wieder. Es sei daher auf dessen Profilbeschreibung hingewiesen. Im Gegensatz zu Profil WEA 04-Refraktion fällt die Schichtung hier schwach in Richtung Nordwest ein. Die Kompressionswellengeschwindigkeiten der einzelnen Schichten sind im Rahmen der Modellgenauigkeit nahezu identisch mit denen aus den Resultaten der Inversion der Messungen am Standort WEA 04-Refraktion. Zu bemerken ist jedoch, dass der durch relativ hohe Kompressionswellengeschwindigkeiten markierte Körper (rote Darstellung, bis zu > 1900 m/s) hier zentral im Profil abgebildet ist.

Weitere Besonderheiten sind nicht zu verzeichnen.



Nach DIN EN 1998-1 / NA: 2011-01 und der aktuellen zugehörigen "Karte der Erdbebenzonen in der Bundesrepublik Deutschland" gehört die Umgebung zu keiner Erdbebenzone.

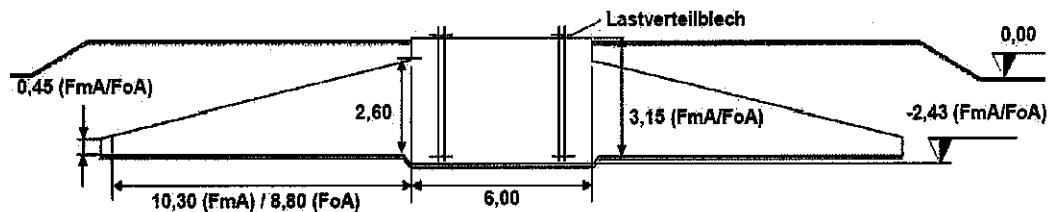


Durch den Grundwassereinfluss waren die Bohrlochwandungen instabil und fielen schnell wieder zu. Hierdurch war eine Beprobung des Grundwassers nicht möglich. Zur Vermeidung einer möglichen Substanzschädigung sollte eine Untersuchung auf betonaggressive Stoffe gem. DIN 4030 nachgeholt werden. Eine Probenahme sollte daher spätestens von Baubeginn durch Baggerschurf und anschließende Analytik vorgenommen werden.

Das Planungsvorhaben sieht im Rahmen der Erweiterung des Windparks Vechta - Krimpenfort die Aufstellung einer Windenergieanlage vor. Es soll folgender Anlagentyp zur Aufstellung kommen.

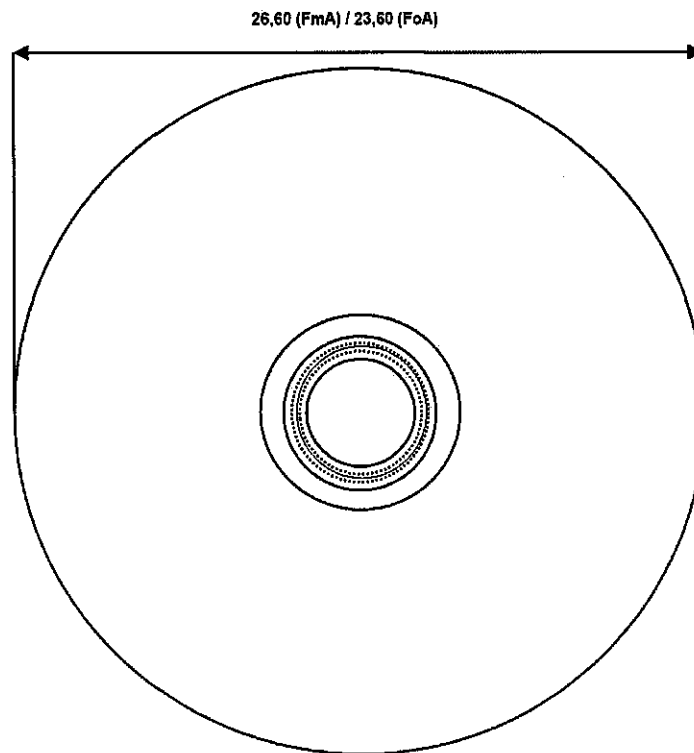
➤ **NORDEX N149 4.0 MW mit 125 m NH Nabenhöhe**

Die nachstehende Abbildung zeigt die Geometrie eines exemplarischen Fundamentes für den vorgesehenen Typ. Aufgrund der örtlichen Bedingungen kommt der Fundamenttyp mit dem Lastfall: GWS maximal bis Geländeoberkante zur Herstellung (FmA).



Quelle: NORDEX Energy GmbH

**Abbildung 6a:** Schematische Schnitt –  
Darstellung eines exemplarischen Fundamentes (Flachgründung)



Quelle: NORDEX Energy GmbH

**Abbildung 6b:** Schematische Draufsicht –  
Darstellung eines exemplarischen Fundamentes (Flachgründung)

Die effektive Fundamenteinbindung beträgt 2,43 m.

Angaben zur Geometrie des Fundamentes für eine Pfahlgründung sowie Lasteinwirkungsgrößen lagen während der Bearbeitung noch nicht vor.

### **Geotechnische Rahmenbedingungen (Rammsondierungen)**

Die geotechnischen Rahmenbedingungen wurden an dem Standort mit Rammkernsondierungen, schweren Rammsondierungen sowie elektrischen Drucksondierungen geprüft.

In den vorhergehenden Abschnitten wurden die Ergebnisse der bodenkundlichen Feststellungen beschrieben. Im Folgenden werden die geotechnischen Rahmenbedingungen zusammenfassend wiedergegeben. In Tiefe der effektiven Fundamenteinbindung (Flachgründung) von -2,43 m unter GOK steht an:

|                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Rammkernsondierungen:</b>                             | Fein- bis Mittelsand in lockerer bis mitteldichter Lagerung im Übergangsbereich zu Schluff, teils organisch und weich                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Rammsondierungen:</b>                                 | Einbindung in sehr lockeren bis mitteldichten Untergrund                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Drucksondierungen:</b>                                | Einbindung in sehr lockeren Untergrund                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>MASW und<br/>refraktionsseismische<br/>Messungen:</b> | <p>Durch die seismischen Untersuchungen konnte die geologische Situation an dem Standort weiter aufgeklärt werden. Zusammenfassend ergibt sich bis zur erkundeten Tiefe von maximal ca. 12 m bis 18 m unter GOK ein mehrschichtiger Aufbau aus einer Wechselfolge aus Sanden variierender Kompaktion und Schluff.</p> <p>Störungen oder Klüfte, die eine Gefahr für das Bauvorhaben darstellen könnten, wurden nicht identifiziert.</p> |
| <b>Grundwasser:</b>                                      | 1,10 / 1,13 m unter GOK (am Erkundungstag)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Bauchemische<br/>Grundwasseranalyse:</b>              | Kein Angriffsgrad                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |



Der Befund der geotechnischen Rahmenbedingungen hat für den Tiefenbereich der Fundamenteinbindung Böden aus Sanden im Übergang zu Schluffen ergeben. Die Schluffe sind teilweise durch organische Beimengungen verunreinigt. Die plastisch reagierenden Schluffe sind zudem durch weiche oder steife Konsistenz gekennzeichnet. Die Auswertung der dynamischen und statischen Widerstandsmessungen hat in Tiefe der Lasteinwirkung einen lockern bis mitteldichten gelagerter Baugrund ergeben.

Nach dem Ergebnis der bodenkundlichen Prüfungen wird der in Tiefe der Lasteinwirkung anstehende Baugrund aufgrund der natürlichen Steifigkeits- bzw. Lagerungsverhältnisse zur schadlosen Aufnahme der Bauwerkslasten und der für die Anlagen zu berücksichtigenden (möglichen) Lastwechsel als verformungsempfindlich und daher **als nicht geeignet** beurteilt.

An dem Standort liegt direkter Grundwassereinfluss vor, der geländenah zu erwarten ist und im ungünstigsten Fall örtlich bis zum Geländeniveau ansteigen kann. Zudem gelten die im maßgeblichen Abgrabungsbereich



Der festgestellte Untergrundaufbau mit dem Anstehen verformungsempfindlicher Böden, lässt die Gründung der Windenergieanlage ohne zusätzliche Maßnahmen nicht zu.

Die Herstellung einer tragfähigkeitsverbessernden und ggf. bewehrten Unterbaukonstruktion aus mineralischen Brechkornmischungen ist erfahrungsgemäß ab Mächtigkeiten von >2,0 m unwirtschaftlich. Im Hinblick auf die Belastungssituation ist daher eine Flachgründung bei Herstellung einer tragfähigkeitsverbessernden und ggf. bewehrten Unterbaukonstruktion nicht zu vertreten.

Eine verformungsarme Einleitung der Bauwerkslasten in den Baugrund kann aufgrund der vorliegenden geotechnischen Rahmenbedingungen nur durch eine pfahlartige Gründungskonstruktion in Aussicht gestellt werden, bei der die gering steifen Böden durchfahren und die Lasten in einen ausreichend scherfesten Boden abgetragen werden.

Erst mit der Lasteinleitung in diesen Baugrund wird ausreichend tragfähiger Baugrund zur Verfügung gestellt, so dass die Lasten auch für den zu berücksichtigenden (möglichen) Lastwechsel und der hiermit einhergehenden erhöhten Eck- und Kantenpressung unbedenklich aufgenommen werden können.

Die Planung der Tiefgründung muss grundsätzlich in Anpassung an die örtlichen Verhältnisse durchgeführt werden.



Nach DIN 4026 - "*Rammpfähle - Herstellung, Bemessung und zulässige Belastung*", Abschnitt 8.1.1.1 (Beiblatt) und den Empfehlungen des Arbeitskreises "Pfähle" (EA - Pfähle, Ernst & Sohn), Abschnitt 5.4.4.2 (3), ist ausreichende Tragfähigkeit gegeben, wenn in der Gründungsschicht ein Spitzendruck von mindestens  $q_c = 10 \text{ MN} / \text{m}^2$  gemessen wird. Vorauszusetzen ist, dass dieser Wert über den gesamten Bereich der maßgeblichen Lasteinwirkung vorhanden ist.

Aufgrund der Feststellungen während der statischen Drucksondierungen ist die Tiefe mit dem Vorliegen dichter Lagerungsverhältnisse zu erwarten:

→ **ab ca. 10 m unter GOK**

Im Einzelnen bieten sich zur Erreichung der erforderlichen Tragfähigkeiten und Setzungseigenschaften im Rahmen dieses Projektes folgende Verfahren an:

1. **Tiefgründung über Pfähle**      "**System FRANKI**"
2. **Tiefgründung über Pfähle**      "**CENTRUM - Pfahl**"

## **Variante 1 "Ortbetonrammpfahl mit Innenrammung (System *FRANKI*)"**

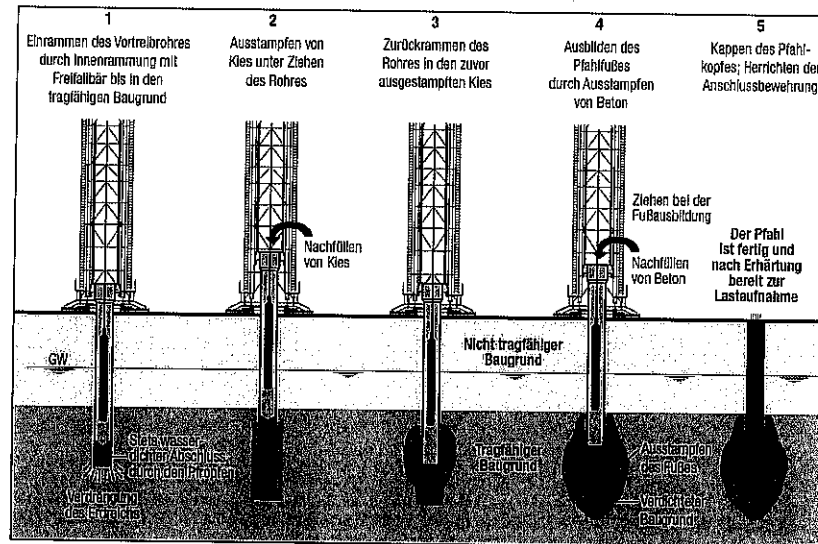
Die Bemessung und die Herstellung von FRANKI - Pfählen erfolgt nach DIN 1054 und DIN EN 12699. Für Vorbemessungen sind für den FRANKI - Pfahl in der "EA - Pfähle" Bemessungskurven sowohl für nicht bindigen als auch für bindigen Boden angegeben.

Bei einem Ortbetonrammpfahl mit Innenrammung (nach *Franki*) erfolgt die Einbringung eines dickwandigen Stahl - Vortreibrohres in den Untergrund. Die Ausführung geschieht dadurch, dass ein erdfeucht eingebrachter, etwa 0,8 bis 1,0 m hoher Betonpfropfen oder Kiessand unter den Schlägen eines frei fallenden Rammhärens so verdichtet wird, dass er sich im Rohr verspannt und dieses mit hinunterzieht. Die dabei geleistete Rammarbeit (Anzahl Schläge / m) ist ein Maß für die Tragfähigkeit des Bodens am jeweiligen Pfahlstandort.

Nach Erreichen der Solltiefe bzw. der Rammkriterien werden der Pfropfen gelöst und die erforderliche Fußbetonmenge ausgestampft. Anschließend wird ein Bewehrungskorb eingestellt, Beton eingefüllt und das Vortreibrohr wieder gezogen.

Zur Verbesserung der Tragfähigkeit kann vor Herstellung des Pfahlfußes eine **Bodenverbesserung mittels Kiesvorverdichtung** ausgeführt werden. Hierbei wird der Boden in einem entsprechenden Bereich unterhalb und oberhalb der Pfahlabsetztiefe durch Ausstampfen von Kies verbessert. Der Boden unter dem Rohr wird seitlich verdrängt und verdichtet.

Die nachstehende Abbildung zeigt das Herstellungsverfahren.



Quelle: Firmenprospekt Fa. Franki, Grundbau

**Abbildung 7:** Herstellungsverfahren Franki - Pfahl mit Kiesvorverdichtung

Bei wechselhaften Baugrundverhältnisse in der Absetztiefe des Pfahlfußes kann bei Bedarf eine Anpassung anhand der Rammkriterien vor Ort erfolgen.

Die erforderliche Tragfähigkeit ergibt sich nach den Kriterien von *Jörß* (vgl. GTB, Teil 2, 3. Auflage, Seite 488) anhand des Fußvolumens und der dabei benötigten Schlagzahlen bei den letzten zwei Metern. In nicht bindigen Böden (Sanden) liegen die zulässigen Pfahldruckkräfte nach Literaturangaben bei über  $Q_{zul} = 2.500 \text{ kN}$ . In bindigen Böden sind unter Zuhilfenahme einer so genannten Kiesfußvorverdichtung bis zu  $Q_{zul} = 1.800 \text{ kN}$  sicher in den Baugrund übertragbar.

Eine Anpassung an wechselnde Baugrundverhältnisse ist über die Pfahlfußausbildung, den Pfahlquerschnitt, die Pfahllänge sowie mittels Kiesfußvorverdichtung möglich.

Durch die volle Bodenverdrängung entfällt eine Förderung von Bodenmaterial.

## Variante 2 "Fertigteiltramppfahl (System *CENTRUM*- Pfahl)"

Der *CENTRUM* - Pfahl ist ein Stahlbetonfertigteiltramppfahl mit quadratischem Querschnitt nach DIN 4026 bzw. DIN EN 12699. Die Pfähle sind standardmäßig bewehrt oder vorgespannt.

Die "äußere" Tragfähigkeit (bzw. nach DIN 1054 und EC 7 der "Widerstand") eines Pfahles, wird durch die Lastübertragung infolge Mantelreibung am Pfahlschaft und Druck über die Pfahlspitze auf den Baugrund bestimmt.



Die zulässige, axiale Belastung eines CENTRUM - Pfahles kann durch folgende Verfahren ermittelt werden:

- Empirische oder analytische Berechnungsmethoden
- Statische oder dynamische Pfahlprobelbelastungen an Bauwerkspfählen
- Berechnung aus Erfahrungswerten nach DIN 1054 oder der "EA - Pfähle"
- Vergleich mit Ergebnissen von Probelbelastungen in ähnlichen Baugrundverhältnissen

Bei Verwendung des Ergebnisses sind jedoch auch andere, die zulässige Tragfähigkeit eines Pfahles beeinflussende Kriterien zu beachten. Insbesondere müssen horizontale Beanspruchungen aus dem Baugrund (z.B. Fließdruck) oder dem aufgehenden Bauwerk (z.B. aus Wind) berücksichtigt werden, gegebenenfalls sind die Auswirkungen z.B. von sehr weichen Böden (Knicknachweis) oder schädlichen Chemikalien im Baugrund zu beachten.

Die Spanne der zulässigen Pfahltragfähigkeit liegt beispielsweise bei einem Pfahl 45 x 45 cm bei ca. 2.000 bis 2.400 kN.

Eine Entsorgung von Böden entfällt.

Generell gilt, dass Pfähle so zu bemessen sind, dass sie die ihnen zugewiesenen axialen Lasten (Zug und Druck, Wechsellasten) und lateralen Lasten sicher in den Baugrund abtragen. Ihre Steifigkeit muss dabei so gewählt sein, dass die Pfahlkopfverschiebungen (horizontal und vertikal) innerhalb der durch die Gebrauchstauglichkeit vorgegeben Grenzwerte liegen.

Zu den Einwirkungen zählen neben dem durch die statisch grundlastempfindliche Einwirkungen wie Geländehaut und negative Lastverteilung, aber auch dynamische Einwirkungen. Die Vorgaben der DIN 1054 (Sonderausgabe EC-7) und nationaler Anhänge DIN 1054: Abschnitt 8, sind unter drei zu beachten.

Es sind Herstellungsprotokolle gemäß den einschlägigen Normen und Richtlinien zu führen (kleiner und großer Rammerbericht). Vor der Herstellung der Bauwerkspfähle sind statische und dynamische Probelbelastungen mit vollständiger Modellierung (z.B. CAP Wap - Verfahren) auf der Grundlage der o.g. Norm und den Empfehlungen des Arbeitskreises **Pfähle EA - Pfähle** durchzuführen.

***Probelbelastungen sind grundsätzlich vor Ausführung der Bauwerkspfähle vorzunehmen!***

Der Zugnachweis von Pfählen erfolgt sowohl für den Einzelpfahl als auch mit dem Erdkegelgewicht der Pfahlgruppe. Aufgrund der Erfahrungen bei vergleichbaren Bauvorhaben ist Druck  $R_{b1,k}$  mit 2,2 - facher Sicherheit und Zug  $R_k$  mit 1,6 - facher Sicherheit nachzuweisen. Wegen der Zugkräfte müssen Pfähle mindestens 5 m in



## **6.5 Geotechnische Nachweise**

Die Aufstellung und der Betrieb der Anlage erfordert die Einhaltung bestimmter Anforderungskriterien. Diese werden durch den Anlagenhersteller in den entsprechenden Spezifikationen, Dokumentationen, Typenprüfungen und dergl. vorgegeben.

Die Bemessung und Nachweisführung mittels Tiefgründung über Franki - Pfähle mit Kiesfußverbreiterung oder Centrum - Pfähle geschieht anhand der inSitu - Probebelastungen. Für eine Tiefgründung über Ortbetonrammpfähle / Fertigteilrammpfähle sind die Herstellerangaben einzuhalten.

**Anmerkung bei Ausführung von FRANKI - Pfählen:** Die erforderliche Kiesvorverdichtung zur Erhöhung der Tragfähigkeit (FRANKI - Pfahl) ist abhängig von den inSitu - Probebelastungen. Außerdem ist der Nachweis des Grenzzustandes der Tragfähigkeit mit der auf den letzten beiden Metern geleisteten Rammarbeit zu führen. Aufgrund der örtlichen Bedingungen ohne Kennung der erreichten Tragfähigkeitsverbesserung und des Rammarbeitsdiagrammes ist eine programmtechnische Vorbemessung nicht zu erreichen. Auch eine Vorbemessung von Fertigteilrammpfählen erscheint nicht zweckmäßig, da an dem Standort wechselnde Bedingungen vorgefunden worden sind.

## **6.6 Erd- und Baugrubensicherungen**

Die Tiefe der Abgrabungen umfasst die standardisierte Fundamenteinbindung, zusätzlich der Betonsauberkeitsschicht, somit 2,43 m unter Gelände. Die Tiefe erhöht sich durch Auskoffern organisch durchsetzter Böden bzw. entsprechend den Einbaufertigdecken der Lastverteilungsschicht bzw. der Baugrubensohlstabilisierungsschicht.

Für die erdbautechnischen Arbeiten ist zu beachten, dass die Möglichkeit der freien Bodenabschachtung nur unter Einhaltung einer dem Boden angepassten Abflachungsneigung erfolgen kann. Bei den Abgrabungen zur Anlegung der Baugrube empfiehlt sich eine Böschungsneigung unter  $\beta = 45^\circ$  einzuhalten (ohne Grundwassereinfluss).

Gleichmaßen ist zu beachten, dass die anstehenden Sande aufgrund der direkten Grundwasserbeeinflussung zum Ausfließen neigen. Ohne bodenstabilisierende Wasserhaltungsmaßnahmen muss mit Neigungen  $<30^\circ$  gerechnet werden.

Auf die Beachtung der DIN 4124 - "Baugruben und -gräben" - sowie der einschlägigen Unfallschutzvorschriften wird hingewiesen. Sollten Labilisierungen der Böschungswandungen beobachtet werden, sind diese unverzüglich durch abflachende Nachprofilierungen oder andere geeignete Stützmaßnahmen zu sichern.

Die Abgrabungen zur Profilierung der Baugrube ist zweckmäßigerweise durch leistungsfähiges Tieflöffelbaggergerät und Arbeitsstand in OK Gelände auszuführen. Eine "Reißzähnebestückung" (Felszähne) wird als nicht erforderlich angesehen.

Entlang der oberen Baugrubenränder wird die Einhaltung eines lastfreien Schutzstreifens von  $\geq 1,5$  m empfohlen.

**Die Baugrubensohle ist nach der Erreichung des Sollprofils vom Baugrundsachverständigen abzunehmen und freizugeben.**

Der Untergrund ist grundwasserführend vorgefunden worden. Es handelt sich um zusammenhängendes Grundwasser. Das Grundwasser ist hinsichtlich des Aufkommens in Abhängigkeit der jahreszeitigen Klimaverläufe veränderlich. Ein Anstieg bis zum Gelände kann im ungünstigsten Fall nicht ausgeschlossen werden. Als Bemessungswasserstand sollte vorsorglich die Oberkante Gelände angesetzt werden. Neben dem freien Grundwasser zeigten sich bereits geländenahe Schichtzonen als "sehr feucht" beansprucht.

Über stärker bindigen und somit relativ undurchlässigen Böden können sich zudem Stauwasserhorizonte ausbilden, die eine rasche Versickerung behindern.

Die Aushub- und Verdichtungsarbeiten müssen im trockenen, d.h. im Schutz einer **Wasserhaltung** durchgeführt werden. Die Wasserhaltung ist auf die Aushubtiefe abzustimmen. Hierbei ist darauf hinzuweisen, dass der Umfang der Wasserhaltungsmaßnahmen an die örtlichen Verhältnisse anzupassen ist. In niederschlagsdefizitären Sommermonaten ist das Bodenwasseraufkommen naturgemäß geringer als in den niederschlagsreicheren Frühjahrsmonaten.

Aus den Erfahrungen in vergleichbaren Bodenarten empfiehlt sich zur zutreffenden Einschätzung der Grundwasserverhältnisse (Tiefenlage und Zulauftrate) Bagger-schürfgruben anzulegen.

Entlang der Abgrabungseinschnitte sind nicht bindige, grobkörnige und bindige, feinkörnige Böden anstehend (Bodengruppe SE und UL). Die Böden sind sehr schwach durchlässig bis stark durchlässig.

Sollte das Messwtergebnis während der Baugrunderkundung den bei Baubeginn vorherrschenden Bedingungen entsprechen, wird vor Durchführung der Baugrubenaushubarbeiten eine vorausseilende Grundwasserabsenkung durchzuführen sein. **Empfohlen wird der Einbau einer Vakuumwasserung über Spüllanzen**

Damit sich der Unterdruck voll ausbilden kann, darf keine Falschluff in den Boden gelangen. Deswegen muss gegebenenfalls eine Tonabdichtung erfolgen. Wegen der kleinen Reichweite dürfen die Abstände der Spüllanzen nicht größer als 1,0 bis 1,5 m sein. Die Lanzen werden gruppenweise zu einem Strang zusammengeschlossen, wobei auf ca. 50 m Strang eine Vakuumpumpe kommt.

Die Absenktiefe sollte mindestens bis 0,50 m unter der Baugrubensohle reichen. Im Allgemeinen lassen sich mit einer Staffel Absenkungen von 4 - 6 m erzielen. Bei tieferen Absenkungen wird ein mehrstaffeliger Einbau der Anlage erforderlich.

Anfallende Restwässer innerhalb des Planums sind in Anpassung an die örtlichen Gegebenheiten über Pumpensumpf außerhalb des Gebäudegrundrisses und Verlegung von kiessandummantelten Dränagen in schaufelbreiten Gräben aufzufangen und vorflutseitig abzuleiten (Kiessand 0 / 8 mm Sieblinie A 8 oder 0 / 32 mm Sieblinie B 32 nach DIN 1045 - filterwirksam - verockerungsresistent oder alternativ Kies 8 / 16 mm nach DIN 4226, Teil 1 und Filtervlies).

Der weitere Baugrubenaushub erfolgt zweckmäßigerweise beginnend von einer Voraushubsohle oberhalb des Grundwassers aus und anschließend beginnend vom Pumpensumpf rückwärtsschreitend. Gleichlaufend mit der "Überkopf" - Arbeitsweise werden die Drainageleitungen entgegen der Gefällerrichtung verlegt.

**Alternative:** Sollte eine freie Bodenabschachtung z.B. wegen der hohen Fließempfindlichkeit der Sande nicht angestrebt werden, müsste ggf. eine Baugrubenumschließung mit Hilfe einer geschlossenen Stahlpundwand ausgeführt werden.

Für den Verbau wird ein statischer Standsicherheitsnachweis erforderlich. Die Bodenkennwerte für die Bemessung können dem Abschnitt 5.7 - *Bodenkennwerte* entnommen werden. Der Ansatz von Verkehrslast ist zu prüfen. Grundwasser ist ebenfalls zu berücksichtigen.

Aufgrund der erwarteten Einspanntiefe unterhalb des Aushubplanums können die Bodenkennwerte wegen des tiefenmäßig begrenzten Erkundungsaufschlusses nicht angegeben werden. Um dies zu ermöglichen, wäre die Abteufung einer maschinellen Tiefbohrung erforderlich. Das Einbringen der Spunddielen sollte durch Einrütteln mittels hochfrequentiger Vibration erfolgen.

Eine wirtschaftliche Wandhöhe für die Baugrubenumschließung kann erreicht werden, wenn ein Teil der Baugrube mit abgeböschten Wandungen ausgeführt wird, sofern die Grundwasserverhältnisse bzw. anderer baulicher Zwänge dies zulässt.

Da eine wassersperrende Sohlschicht innerhalb der Spundwandumschließung nicht zur Verfügung steht, ist hier eine Wasserhaltung gemäß den o.s. Ausführungen erforderlich. Ein hydraulischer Grundbruch innerhalb der Aushubsohle ist wegen der damit verbundenen Tragfähigkeitsabminderung zwingend auszuschließen. Zur Stabilisierung der Baugrubensohle sollte in jedem Fall eine mindestens  $d = 0,30$  m betragende mineralische Schutzschicht aufgebaut werden. Nach dem Abschluss der grundbautechnischen Arbeiten ist der Verbau im Schutze der Grundwasserhaltung sukzessive zu ziehen, anschließend den Arbeitsraum mit Boden kraftschlüssig lagenweise aufzufüllen und lagenweise zu verdichten, so dass ein Ausbruch von Bodenpartien hinter der Verbauwand vermieden wird. Auf eine sorgfältige Verdichtung in der gesamten Arbeitsraumbreite wird hingewiesen.

## **6.1. Problem Statement, Assumptions, and Parameter Estimation**

An dem Standort unterlagern unterhalb der effektiven Fundamentenbindung teils organisch beeinflusste Schluffe und Fein- bis Mittelsande bis Tiefe von 4,70 / 4,80 m unter GOK. Die Böden sind hoch verformungsanfällig und somit zur Auflagerung des Fundamentes nicht geeignet. Diese Böden müssen vollständig ausgekoffert und durch eine mineralische Unterbauschicht ersetzt werden.

Empfohlen wird ein Brechkorngemisch 0 - 32, 0 - 45 oder 0 - 56 mm (Kornkurve nach TL SoB-StB 04 / ZTV SoB-StB 04). Die Schichtdicke orientiert sich an den örtlichen Bedingungen. Außerdem sind die Mehraushubtiefen bei der Wasserhaltung zu berücksichtigen.

Der Einbau wird in Lagen zu  $d = 0,30 \text{ m}$  ab äußerem Fundamentplattenrand im Lastausbreitungswinkel von  $45^\circ$  nach unten oder im Falle einer Spundwandumschließung bis zum Rand durchgeführt, wobei jede Lage intensiv und "kreuzweise" zu verdichten ist. Auf die sorgfältige Verdichtung am äußeren Fundamentrand wird ausdrücklich hingewiesen. Zur Gewährleistung der ausreichenden Verdichtung am Fundamentrand ist prinzipiell eine Verbreiterung der Schicht auf mindestens  $b = 0,50 \text{ m}$  zu empfehlen. Der Erfolg der Tragfähigkeitsverbesserung ist zweckmäßigerweise durch Fremdprüfung nachzuweisen. Als Verdichtungsziel sollte nachgewiesen werden:

$D_{pr} \geq 100\%$  Proctor

**oder ersatzweise**

$E_{v2} \geq 100 \text{ MN / m}^2$  Verformungsmodul

$E_{v2} / E_{v1} \leq 2,3$  Verdichtungsverhältnis

In halber Aufbauhöhe und in Oberkante ist mindestens ein Lastplattendruck - Versuch nach DIN 18134 zur Bestätigung der Verdichtung und der E - Module auszuführen.

Bei fachgerechter Ausführung, Prüfung und Freigabe kann danach das Fundament in einem Durchgang betoniert werden.

100

Vom Grundsatz her sind die Arbeitsräume durch den Einbau von verdichtungsfähigen Erdbaustoffen zu verfüllen. Die Baustoffe sind lagenweise einzubauen und zu verdichten ( $D_{pr} \geq 100 \%$ ).

Die Baugrube zwischen dem Fundament und der Kranstellfläche unterliegt einer besonderen Beanspruchung, da hier eine Lastbeanspruchung aus Richtung der Kranstellfläche stattfindet.



Das nachzuweisende Verdichtungskriterium sollte der vorgenannten Proctordichte und einem Verdichtungsverhältnis von  $E_{v2} / E_{v1} \leq 2,3$  entsprechen (ermittelt durch Lastplattendruckversuche nach DIN 18134). Aufgrund der qualifizierten Anforderungen können voraussichtlich in den relevanten Bereichen nur qualifizierte Erdbaustoffe gemäß ZTV SoB-StB 04 / TL SoB-StB 04 zur Verwendung zugelassen werden. Die erreichte Verdichtung ist nachzuweisen und die Zulässigkeit mit dem Baugrundgutachter abzustimmen.

Die Verwendung der beim Aushub gewonnenen Böden zum Zweck der Arbeitsraumverfüllung außerhalb des Lasteinflusses der Kranstellfläche kann in Aussicht gestellt werden. Hierfür stehen ausschließlich die Sande ohne organische Beimengungen zur Verfügung. Da die Böden für eine bestimmungsgemäße Verdichtung zu feucht sind, ist eine Wassergehaltsreduzierung unumgänglich.

Zur Abklärung möglicher Stabilisierungs- / Verfestigungsmaßnahmen sind Laboruntersuchungen erforderlich (Bestimmung des natürlichen Wassergehaltes, Proctorversuche).

Im Bauablauf muss des Weiteren darauf geachtet werden, dass die zwischengelagerten Böden nicht durch Niederschlag weiter Feuchte aufnehmen können.

Um für die Fundamentüberschüttung die geforderte Mindestwichte zu erreichen, wird ein lagenweiser Einbau der Schüttböden (Eignungskontrolle analog der Arbeitsraumverfüllung) und eine Verdichtung jeder Einzeleinbaulage mittels statischem Verdichtungsgerät (Walzen - mindestens 4 kontrollierte Übergänge je Einbaulage) angeraten. Zur Andeckung des oberen Überschüttbereichs eignen sich vorzugsweise bindige Böden, die zur raschen Abführung von Oberflächenwässern geglättet und mit Gefälle vom Anlagenmittelpunkt weg profiliert werden sollten. Als Schichtdicke der Einzeleinbaulage wird  $d < 0,25$  m vorgeschlagen.

Eine Prüfung und Bestätigung der anlagerherstellerseitigen Mindestwichte ist erforderlich.



Der zukünftige Anlagenstandort befindet sich auf einer ebenen landwirtschaftlichen Nutzfläche und wird über einen Wirtschaftsweg erreicht, der von der Straßenföhrung "Westmark" abzweigt. Von hier aus wird bis zum Aufstellungsort der Bau einer unmittelbaren Zuwegung erforderlich.

Für bestehende Fahrwege ist zu beachten, dass diese während der Bauphase durch häufig wiederkehrenden Schwerlastverkehr beansprucht werden. Bei entsprechenden Belastungen können u.U. erhebliche Einsenkungen und Rinnenbildungen auftreten.

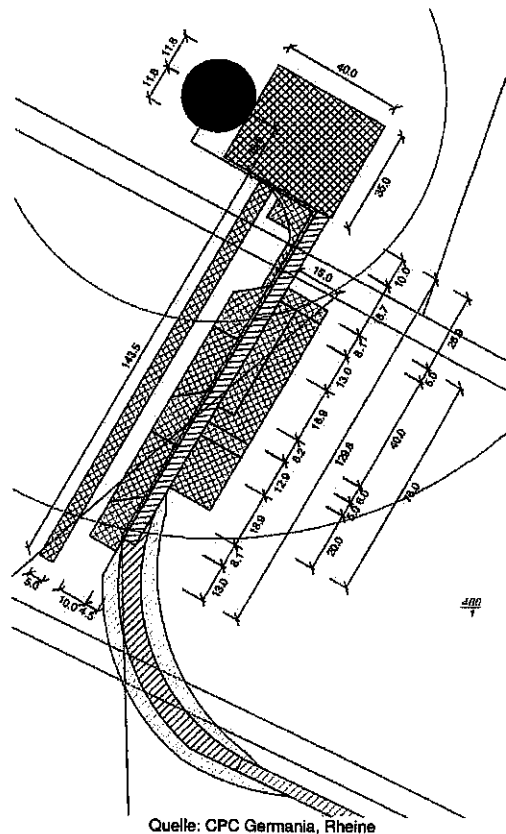
ten. Insbesondere im Verlauf niederschlagsreicher Zeiten stellen sich entlang der Fahrfläche u.U. tiefgründige Aufweichungen ein, die dann nicht mehr befahrbar bzw. ungehindert nutzbar sind.

Um die Anforderungen zu erfüllen, müssen in den betroffenen Abschnitten entsprechende bautechnische Maßnahmen eingeleitet werden. Die Ausbaubreite der Fahrwege, einschließlich der Bankette richtet sich nach den Vorgaben des Anlagenherstellers.

Generell gilt, dass die Wirtschaftswege anforderungsgerecht ertüchtigt werden müssen. Dies betrifft u.a. Maßnahmen zur Verbreiterung sowie Aufweitungen der Fahrwege in Kurvenbereichen.

**Eine Erkundung der Fahrwege war nicht beauftragt.**

Für die unmittelbare Zuwegung gelten die o.s. Anforderungen sinngemäß.



Quelle: CPC Germania, Rheine

**Abbildung 11: Unmittelbare Zuwegung zum Standort**

Gemäß den anlagenherstellerseitigen Spezifikationen ist zu berücksichtigen:

- Achslast zwischen 12 und 16 t
- Maximales Gesamtgewicht pro Lastwagen 165 t

Angaben zu den einzuhaltenden Verdichtungs- und Tragfähigkeitsanforderungen sind bislang noch nicht bekannt.

Für unmittelbare Zuwegungen wird der Aufbau einer durchgehenden, dauerhaft nutzbaren und frostsicheren Oberflächenbefestigung benötigt. Die Tragfähigkeit und Befahrbarkeit müssen auch im Falle von starken Regenfällen gegeben sein.

Da bislang anlagenherstellerseitige Anforderungen noch nicht bekannt sind, sollten anhand umfangreicher Erfahrungen bei vergleichbaren Projekten folgende Tragfähigkeitsbedingungen berücksichtigt werden:

|                        |                                                           |
|------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Gewachsener Untergrund | $E_{v2} \geq 45 \text{ MN / m}^2$                         |
| Oberbau, Tragschicht   | $E_{v2} \geq 80 \text{ MN / m}^2$ / $D_{pr} \geq 100 \%$  |
| Oberbau, Deckschicht   | $E_{v2} \geq 100 \text{ MN / m}^2$ / $D_{pr} \geq 100 \%$ |

Verhältnisswert  $E_{v2} / E_{v1}$   $\leq 2,3$

Die Prüfung erfolgt mittels Lastplattendruckversuchen nach DIN 18134.

Die Deckschicht sollte möglichst gleichmäßig mit einer Überhöhung von mindestens 10 cm zum anliegenden Gelände eingebaut werden. Dazu ist eine Mindestschichtstärke von 25 cm zu empfehlen.

Zur orientierenden geotechnischen Untersuchung der im Bereich der Zuwegung / nicht befestigte Temporärfläche MuL / Temporärflächen Montage und Lagerung (MuL) anstehenden Böden wurden Rammkernsondierungen ausgeführt (Lageanordnung s. **Anlage 1**). Nachstehend werden die Erkundungsergebnisse zusammenfassend wiedergegeben. Die detaillierte Bodenbeschreibung ist in den Profilbalkendarstellungen der **Anlagen 2.4 und 2.7 bis 2.10** enthalten.

GOK = Geländeoberkante

#### **RKS 4**

|                       |                                                                      |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------|
| bis 0.30 m u. GOK     | <b>Sand</b> , organisch, locker gelagert (Oberboden)                 |
| bis 0.40 m u. GOK     | <b>Fein- bis Mittelsand</b> , locker gelagert (Quartär)              |
| bis 0.50 m u. GOK     | <b>Fein- bis Mittelsand</b> , mittel organisch, locker gelagert      |
| bis 0.80 m u. GOK     | <b>Fein- bis Mittelsand</b> , locker gelagert                        |
| bis 2.60 m u. GOK     | <b>Fein- bis Mittelsand</b> , locker gelagert - mitteldicht gelagert |
| bis 3.00 m u. GOK     | <b>Schluff</b> , schwach feinsandig, weich                           |
| <b>Erkundungsende</b> |                                                                      |

#### **RKS 7**

|                       |                                                      |
|-----------------------|------------------------------------------------------|
| bis 0.30 m u. GOK     | <b>Sand</b> , organisch, locker gelagert (Oberboden) |
| bis 0.90 m u. GOK     | <b>Fein- bis Mittelsand</b> , locker gelagert        |
| bis 1.70 m u. GOK     | <b>Fein- bis Mittelsand</b> , locker gelagert        |
| bis 2.80 m u. GOK     | <b>Fein- bis Mittelsand</b> , mitteldicht gelagert   |
| bis 3.00 m u. GOK     | <b>Schluff</b> , mittel feinsandig, weich            |
| <b>Erkundungsende</b> |                                                      |

**RKS 8**

bis 0.30 m u. GOK  
 bis 0.80 m u. GOK  
 bis 3.00 m u. GOK  
*Erkundungsende*

**Sand**, organisch, locker gelagert (Oberboden)  
**Fein- bis Mittelsand**, locker gelagert  
**Fein- bis Mittelsand**, schwach organisch, locker gelagert

**RKS 9**

bis 0.30 m u. GOK  
 bis 0.90 m u. GOK  
 bis 2.60 m u. GOK  
 bis 3.00 m u. GOK  
*Erkundungsende*

**Sand**, organisch, locker gelagert (Oberboden)  
**Fein- bis Mittelsand**, sehr schwach schluffig, locker gelagert  
**Fein- bis Mittelsand**, locker gelagert  
**Fein- bis Mittelsand**, stark schluffig, locker gelagert

**RKS 10**

bis 0.30 m u. GOK  
 bis 0.90 m u. GOK  
 bis 3.00 m u. GOK  
*Erkundungsende*

**Sand**, organisch, locker gelagert (Oberboden)  
**Fein- bis Mittelsand**, teils schwach organisch, locker gelagert  
**Fein- bis Mittelsand**, locker gelagert

Mittels Lichtlot wurden nach Bohrende folgende Wasserstände eingemessen:

| <b>Sondierung</b> | <b>Wasserstand<br/>gemessen<br/>m u. GOK</b> | <b>Bohrloch-<br/>tiefen<br/>m u. GOK</b> | <b>Messdatum</b> |
|-------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------|------------------|
| RKS 4             | --                                           | 0,90                                     | 09.01.2019       |
| RKS 7             | --                                           | 0,60                                     | 08.01.2019       |
| RKS 8             | --                                           | 0,90                                     | 08.01.2019       |
| RKS 9             | --                                           | 0,95                                     | 08.01.2019       |
| RKS 10            | --                                           | 1,00                                     | 08.01.2019       |

**Tabelle 11:** Während der Erkundungsarbeiten gemessene Grundwasserstände

Der Oberboden ist hoch verformungsempfindlich und daher ungenügend tragfähig. Er muss entsprechend seiner ausgebildeten Schichtdicken vollständig ausgeräumt werden.

Bei dem unterhalb des Oberbodens anstehenden Untergrund handelt es sich nach den punktuellen Prüfstellen um Böden der **Bodengruppe SE und OH**. In Anlehnung an die ZTVE - StB 09 ist für Böden der Bodengruppe SE die Frostempfindlichkeitsklasse **F 1** → **nicht frostempfindlich** zuzuordnen. Die Böden besitzen überwiegend lockere Lagerung und sind häufig als sehr feucht vorgefunden worden.

Für die Gründung der Verkehrsflächen ist ein Mindestverformungsmodul für das Plenum von  $E_{v2} = 45 \text{ MN} / \text{m}^2$  vorauszusetzen. Dies entspricht im Übrigen auch den Richtlinien der ZTVE - StB 09, Abschn. 4.5. Das Leistungsmerkmal wird durch den Lastplattendruckversuch nach DIN 18134 ermittelt. Hiervon ausgehend wird auf dem Plenum im Bauzustand ein ausreichend tragfähiger Untergrund abgeleitet.

Eine erfahrungsgemäß getroffene Abschätzung, ob der geforderte Wert in den anstehenden Böden mit Sicherheit erreicht werden kann, ist im Vorfeld nicht zweckmäßig und sollte daher grundsätzlich einer flächendeckenden Prüfung vorbehalten werden.

### **Vorschlag**

Zunächst wird das Erdplanum mit einer Breite von  $b = 4 - 5 \text{ m}$  (bzw. nach Angaben des Anlagenherstellers) angelegt und zur raschen Abführung von Niederschlagswässern mit einem einseitigen Gefälle (ggf. Dachgefälle) von wenigstens 2 - 3 % zum Wegrand hin glättend profiliert sowie intensiv ausschließlich statisch verdichtet (Glattmantelwalze 4 bis 6 überlappende Übergänge). Eine Verdichtung mit Hilfe von Rütteldruck ist wegen der hoch stehenden Grundwasserverhältnisse nicht anzuraten. Der Verdichtung sollten mindestens 3 Tage niederschlagsfreies Wetter vorausgegangen sein.

Zur Vermeidung von Vernässungen am seitlichen Rand sollte erwogen werden, eine Entwässerungseinrichtung in Form eines Grabenprofils und Ausbildung eines vorflutseitigen Gefälles herzurichten. Hierdurch soll vermieden werden, dass das anfallende Niederschlagswasser zu einer Aufweichung des Planums führen kann. Dies gilt auch für den Endzustand.

Werden entlang der neu zu bauenden Baustrassen aufgeweichte Böden im Planum vorgefunden, müssen diese vollständig entfernt und in Erdbauweise ersetzt werden.

Auf dem Planum erfolgt eine Prüfung durch Lastplattendruckversuche nach DIN 18134. Können die Anforderungen des Mindestverformungsmoduls nicht bestätigt werden, wird eine Verfestigung des Untergrundes durch Einfräsen von Zement empfohlen (Hauptziel: Langzeitwirkung). Konkrete Zugabemengen lassen sich nur durch Laborversuche bestimmen.

Die Bodenverfestigung ist nach dem Fertigerprinzip zu empfehlen. Bei diesem Bauverfahren werden Spezialfräsen in Kombination mit Misch- und Dosiergeräten für die Bodenaufbereitung eingesetzt, welche die Arbeitsphasen Fräsen und Aufnehmen des Bodens, Zerkleinern und Homogenisieren, Einmischen des Bindemittels und des Zugabewassers mit dosierter Steuerung, Absetzen des Fertigen Boden - Bindemittel - Gemisches in sich vereinigen. Auf eine besonders sorgfältige Einarbeitung des Bindemittels und Homogenisierung des Boden - Bindemittel - Gemisches ist unbedingt zu achten.

Der Wassergehalt des Bodens sollte dem für Einbau und Verdichtung erforderlichen Wassergehalt, welcher im Rahmen der Eignungsprüfungen mittels Proctorversuch zu bestimmen ist, entsprechen.

Müssen die zu verfestigten Böden angefeuchtet werden, so ist dies so rechtzeitig vorzunehmen, dass sich vor dem Einbringen des Bindemittels eine gleichmäßige Durchfeuchtung eingestellt hat. Der Boden ist so lange zu homogenisieren bzw. zu

mischen, bis in der gesamten Schicht eine gleichmäßige Färbung und ein gleichmäßiger Wassergehalt erreicht sind.

Alternativ zu der Bodenverfestigung kann ein Bodenaustausch und Ersatz durch gleichmäßig kornabgestufte sowie einbau- und verdichtungsfähige mineralische Brechkorngemische erfolgen. Die erforderliche Austauschdicke und deren Optimierung sollte in einem integrierten Prüffeld ermittelt und festgelegt werden.

Ein Bodenaustausch wird ohnehin dort erforderlich, wo organisch verunreinigte Böden angetroffen werden.

Es wird angeraten, die baubegleitenden Kontrollprüfungen entlang der jeweiligen Trasse durch das Büro des Baugrundsachverständigen oder einem anderen öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen durchführen zu lassen.

Voraussetzung für das Erreichen des Verformungsmoduls von  $E_{v2} = 100 \text{ MN} / \text{m}^2$  in Oberkante Deckschicht ist eine entsprechend dimensionierte Trag- und Deckschicht aus geeigneten mineralischen Gesteinen. Zu diesem Zweck sollte der durchlaufende Einbau einer frostsicheren Oberbaukonstruktion (Deck- / Tragschicht = Frostschutzschicht) aus gleichmäßig kornabgestuftem und raumbeständigen, frostsicheren, frostbeständigen sowie einbau- und verdichtungsfähigem Brechkorngemisch vorgesehen werden (z.B. Korngröße 0 - 32 oder 0 - 45 mm).

Sofern eine umweltrelevante Unbedenklichkeit und sonstige Eignung für den vorgesehenen Zweck vorliegt, kann auch Recycling - Material verwendet werden (besondere Freigabe erforderlich!).

Für die Materialgüte, Beschaffenheit, Einbau sowie Verdichtung sollte in Anlehnung an folgende Richtlinien verfahren werden:

➤ **ZTV V - SoB - StB**

*"Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau"*

➤ **TL SoB - StB**

*"Technische Lieferbedingungen für Baustoffgemische und Böden zur Herstellung von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau"*

Bei der erwarteten Belastungsklasse Bk3,2 (gem. RStO - *"Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen"*) beträgt der erforderliche frostsichere Gesamtaufbau  $d = 0,65 \text{ m}$ .

Der Aufbau der Tragschicht orientiert sich zudem an der Schichtstärke des Oberbodenabtrages und der Geländeüberhöhung.

Der Einbau und die Verdichtung müssen den anlagenherstellerseitigen Vorgaben entsprechen, mittels Lastplattendruckversuchen geprüft und freigegeben werden.

## 8. Kranstellfläche

Kranstell- und Vormontageflächen unterliegen einer besonderen Beanspruchung. Insbesondere die Kranstellflächen werden im Hinblick auf die eingesetzten Hebezeuge durch hohe Sohlldrücke beansprucht.

Der Untergrund muss gewährleisten, dass infolge der Beanspruchungen keine unzulässigen Schiefstellungen auftreten können. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Lastbeanspruchung in die angrenzende Arbeitsraumverfüllung des Fundamentes hineinreicht. Zudem gelten die Anforderungen analog zu den Zuwegungen sinngemäß. Dies betrifft vor allem die Dauerhaftigkeit der Eigenschaften und Beschaffenheit sowie die Frostsicherheit.

Anlagenherstellerseitige Anforderungen geben eine Mindesttragfähigkeit von 250 kN / m<sup>2</sup> vor, können sich jedoch projektspezifisch ändern. Aufgrund der Erfahrungen bei vergleichbaren Bauvorhaben sollten vorab folgende Tragfähigkeitsbedingungen eingehalten werden:

$E_{v2} \geq 45 \text{ MN / m}^2$  Tragfähigkeit Untergrund

$E_{v2} \geq 100 \text{ MN / m}^2$  Tragfähigkeit Oberkante Tragschicht

Außerdem wird in Oberkante Tragschicht mittels Lastplattendruckversuchen nach DIN 18134 der Nachweis eines Verhältnisses von  $E_{v2} / E_{v1} \leq 2,3$  empfohlen.

Favorisiert wird eine grobkörnige ebene Oberfläche mit einer Deckschicht aus Mineralgemisch (oder Recycling) mit einer Körnungsstärke von 0 - 32 mm oder 0 - 45 mm. Die Kranstellfläche sollte vom Höhenniveau über Geländeoberkante liegen, damit der Ablauf von Oberflächenwasser gewährleistet wird.

Zur Niederschlagsabführung wird der Einbau einer Dränage empfohlen. Zu diesem Zweck sind Gräben zu profilieren, in denen Dränageleitungen DN 100 mm im Gefälle von mindestens  $I = 1\%$  verlegt werden. Die Dränagen sind allseitig  $d = 0,15 \text{ m}$  mit filterwirksamen Kiessand zu ummanteln und vorflutseitig rückstaufrei abzuleiten.

Zur orientierenden geotechnischen Untersuchung der im Bereich der Kranstellfläche anstehenden Böden wurden Rammkernsondierungen und elektrische Drucksondierungen ausgeführt (Lageanordnung s. **Anlage 1**). Nachstehend werden die Erkundungsergebnisse zusammenfassend wiedergegeben. Die detaillierte Bodenbeschreibung ist in den Profilbalkendarstellungen der **Anlagen 2.3 sowie 2.5 und 2.6** enthalten.

GOK = Geländeoberkante

### RKS 3

bis 0.30 m u. GOK

bis 0.90 m u. GOK

bis 1.00 m u. GOK

bis 3.00 m u. GOK

**Erkundungsende**

**Sand**, organisch, locker gelagert (Oberboden)

**Fein- bis Mittelsand**, sehr schwach schluffig, locker gelagert (Quartär)

**Fein- bis Mittelsand**, mittel organisch, locker gelagert

**Fein- bis Mittelsand**, locker gelagert - mitteldicht gelagert

**RKS 5**

bis 0.30 m u. GOK  
bis 0.90 m u. GOK  
bis 1.10 m u. GOK  
bis 1.30 m u. GOK  
bis 3.00 m u. GOK  
*Erkundungsende*

**Sand**, organisch, locker gelagert (Oberboden)  
**Fein- bis Mittelsand**, schwach schluffig, locker gelagert  
**Torf**, mittel sandig, weich  
**Fein- bis Mittelsand**, schwach organisch, locker gelagert  
**Fein- bis Mittelsand**, mitteldicht gelagert

**RKS 6**

bis 0.30 m u. GOK  
bis 0.90 m u. GOK  
bis 2.30 m u. GOK  
bis 3.00 m u. GOK  
mittelschwer bohrbar  
*Erkundungsende*

**Sand**, organisch, locker gelagert (Oberboden)  
**Fein- bis Mittelsand**, locker gelagert  
**Fein- bis Mittelsand**, teils schwach organisch, locker gelagert  
**Fein- bis Mittelsand**, mitteldicht gelagert,

Mittels Lichtlot wurden nach Bohr- bzw. Sondierende folgende Wasserstände eingemessen:

| Bohrung / Sondierung | Wasserstand gemessen m u. GOK | Bohrloch zugefallen m u. GOK | Messdatum  |
|----------------------|-------------------------------|------------------------------|------------|
| RKS 3                | --                            | 0,90                         | 09.01.2019 |
| RKS 5                | --                            | 0,80                         | 09.01.2019 |
| RKS 6                | --                            | 0,85                         | 08.01.2019 |
| CPT 3                | 0,65                          | --                           | 14.01.2019 |
| CPT 4                | --                            | 0,60                         | 14.01.2019 |

**Tabelle 12:** Während der Erkundungsarbeiten gemessene Grundwasserstände

**Ergebnis statische Widerstandsmessungen (CPT 4 und 5)**

In den **Anlagen 5.3 und 5.4** sind der Spitzenwiderstand, die lokale Mantelreibung und der Reibungsindex grafisch aufgetragen. Die Beschreibung des Verfahrens und die Auswertungskriterien sind in Abschnitt 5.6 enthalten.

Das Ergebnis wird zusammenfassend beschrieben:

Der interessierende geländenahe Abschnitt zeigte bis 1 m geringe Spitzenwiderstände mit  $q_c = 2,5 \text{ MN} / \text{m}^2$ . Daran anschließend folgt ein Abschnitt mit  $q_c = 10 \text{ bis } 15 \text{ MN} / \text{m}^2$  und dichter Lagerung. Diese Zone reicht etwa bis zur Tiefe von etwa 2,5 m unter GOK. Im weiteren Verlauf wird eine deutliche Abnahme der Spitzenwiderstände und Werten um etwa  $q_c = 2,5 \text{ MN} / \text{m}^2$  verzeichnet.

Der Oberboden ist hoch verformungsempfindlich und daher ungenügend tragfähig. Er muss entsprechend seiner ausgebildeten Schichtdicken vollständig ausgeräumt werden. Bei dem unterhalb des Oberbodens anstehenden Untergrund handelt es sich nach den punktuellen Prüfstellen um Böden der **Bodengruppe SE und SU**. In

Anlehnung an die ZTVE - StB 09 ist die Frostempfindlichkeitsklasse **F 1** → **nicht frostempfindlich** und **F 2** → **gering bis mittel frostempfindlich** zuzuordnen. Die Böden besitzen lockere Lagerung und sind "feucht" vorgefunden worden.

Örtlich kommen Zwischenschichten aus Torf oder organisch durchsetzten Fein- bis Mittelsanden vor. Diese sind der Bodengruppe OH zugehörig und als hoch verformungsempfindlich einzustufen.

Für die Gründung der Verkehrsflächen ist ein Mindestverformungsmodul für das Planum von  $E_{v2} = 45 \text{ MN} / \text{m}^2$  vorauszusetzen. Dies entspricht im Übrigen auch den Richtlinien der ZTVE - StB 09, Abschn. 4.5. Das Leistungsmerkmal wird durch den Lastplattendruckversuch nach DIN 18134 ermittelt. Hiervon ausgehend wird auf dem Planum im Bauzustand ein ausreichend tragfähiger Untergrund abgeleitet.

Eine erfahrungsgemäß getroffene Abschätzung, ob der geforderte Wert in den anstehenden Böden mit Sicherheit erreicht werden kann, ist im Vorfeld nicht zweckmäßig und sollte daher grundsätzlich einer flächendeckenden Prüfung vorbehalten werden. Vorab sollten die Böden mit schwerer Walze (10 to) intensiv in Längs- und Querrichtung sowie überlappenden Übergängen verdichtet werden. Die Durchführung der Verdichtung ist frühestens nach 3 Tagen niederschlagsfreien Wetters zu empfehlen.

Im Hinblick auf die erhöhten Flächenbelastungen ist nach erfolgter Verdichtung des Oberbodenabtragplanums im Rahmen der Tragfähigkeitsprüfungen festzulegen, ob Zusatzmaßnahmen wie beispielsweise Bodenaustauschmaßnahmen notwendig werden. Anstehende Torfe und organisch durchsetzte Böden sind in jedem Falle auszutauschen und in Erdbauweise zu ersetzen.

Bei tieferen Eingriffen und je nach der jahreszeitigen Baudurchführung können zudem Wasserhaltungsmaßnahmen notwendig werden.

Voraussetzung für das Erreichen des Verformungsmoduls von  $E_{v2} = 100 \text{ MN} / \text{m}^2$  in Oberkante Tragschicht ist eine entsprechende Dimensionierung aus geeigneten mineralischen Gesteinen. Material und Zusammensetzung sollte denen der Zuwegung entsprechen. Der durchlaufende Einbau wird mit einer Mindest - Einbaufertigdicke von  $d = 0,50 \text{ m}$  vorgeschlagen (bzw. unter Berücksichtigung der Oberbodenmächtigkeit und erforderlichen Geländeüberhöhung). Der Einbau des Bodenaustausches erfolgt in Einzeleinbaulagen von höchstens  $d = 0,30 \text{ m}$  und Verdichtung je Lage.

Zur Verbesserung der Tragfähigkeitseigenschaften sollte zusätzlich zwischen dem Planum und Unterkante Bodenaustausch ein verformungsstabiles und knotensteifes Geogitter mit Vlies des Typs "Tensar TriAx Tx 170 mit GRK III - Vliesstoff" eingebaut werden.

Aufgrund umfangreicher Erfahrungen wird zur Prüfung und Optimierung der Aufbauten jeweils das Anlegen von Testfeldern zwingend erforderlich. Das Erdplanum und



die eingebauten mineralischen Schichten (OK Planum / OK Bodenaustausch und OK Tragschicht) ist durch Lastplattendruckversuche abzunehmen. Die dauerhafte Standsicherheit der abgenommenen Flächen ist für die Bau- und Betriebszeit sicherzustellen. Der vorab empfohlene Aufbau der Flächen ist nach Bekanntgabe der tatsächlich zum Einsatz kommenden Kräne / Kranlasten (auch Abmessungen der Aufstellflächen) durch Grundbruch- / Setzungsnachweise zu prüfen. Im Übrigen gelten die Vorgaben der Anlagenhersteller.

## 9. Schlussbemerkungen

Sollten während der erd- und bautechnischen Arbeiten Abweichungen von den bodenkundlichen Feststellungen vorgefunden werden, bitten wir rechtzeitig um Benachrichtigung. Dies gilt auch bei Änderungen gegenüber den bisherigen Vorgaben.

Das Gutachten gilt nur vollständig und nach Prüfung bzw. Abnahme der Empfehlungen sowie den Hinweisen zur Bauausführung durch den Baugrundsachverständigen. Wir bitten um Verständnis, dass nur nach örtlicher Prüfung während der bautechnischen Arbeiten Gewähr für die Richtigkeit des Gutachtens sowie der umgesetzten Baugrundbeurteilungen übernommen werden kann.

Für weitere ingenieurgeologische Beratungen stehen wir Ihnen selbstverständlich gerne zur Verfügung.

**Aufgestellt: Trendelburg, den 24.01.2019**

**Dr. Claus Schubert**  
Geschäftsführer & Öffentlich bestellter und vereidigter  
Sachverständiger der IHK KS für das Bestellungsgebiet  
2450, Baugrund- Erkundung, -untersuchung & -bewertung

**BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG**

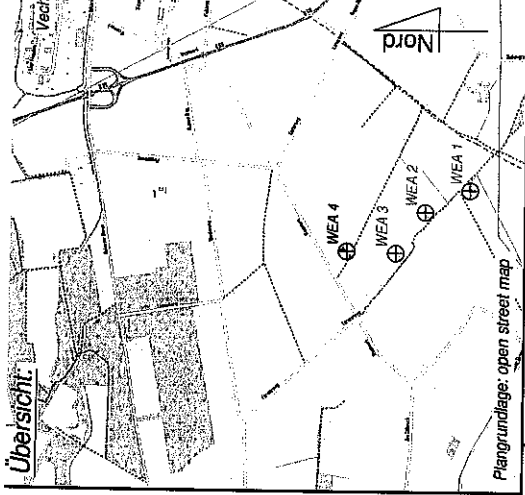
Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen  
Geophysik & Geotechnik

Glockenplatz 1 • 34388 Trendelburg  
Tel. 056 71 - 77 97 0 • Fax 056 71 - 77 97 10  
www.bbu-schubert.de

**Dipl.-Geow. Gesine Grapp**  
BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG

|                            |   |                                                                                                        |
|----------------------------|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Anlage 1</b>            | - | Lageplan mit Einkartierung der Erkundungsstellen, refraktionsseismische Messprofile und Übersichtsplan |
| <b>Anlage 2.1 bis 2.10</b> | - | Profilbalkendarstellung der Rammkernsondierungen                                                       |
| <b>Anlage 3.1 bis 3.3</b>  | - | Summenkurven der Kornverteilung                                                                        |
| <b>Anlage 4.1 und 4.2</b>  | - | Widerstandslinien der dynamischen Rammsondierungen                                                     |
| <b>Anlage 5.1 bis 5.4</b>  | - | Widerstandslinien der statischen Drucksondierungen                                                     |
| <b>Anlage 6</b>            | - | Beschreibung des Verfahrens MASW und refraktionsseismische Messungen                                   |

Wir bitten Sie freundlichst um Beachtung folgenden Hinweises:  
Das Kopieren und Weiterleiten des Gutachtens an Dritte ist weder vollständig noch auszugsweise **ohne ausdrückliche schriftliche Zustimmung des Entwurfsverfassers** zulässig. Dies gilt insbesondere auch für die elektronische Verbreitung digitaler Dateien über Datenträger oder Internet.



**Legende:**

Lage seismisches Messprofil

Ansatzstelle  
Rammkernsondierung

Ansatzstelle schwere  
Rammsondierung

Ansatzstelle  
Drucksondierung

RKS...

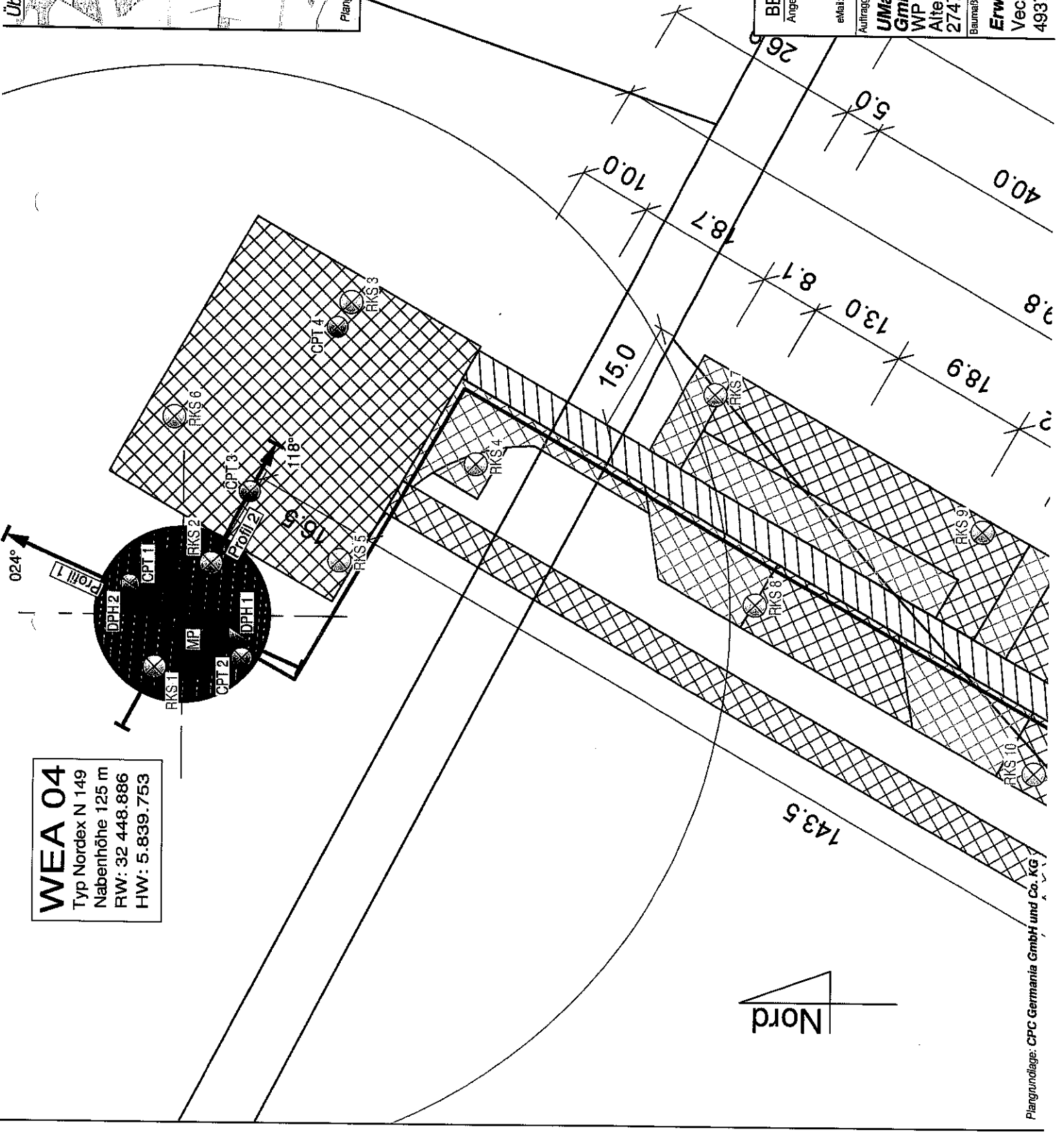
DPH...

CPT...

Profil...

**BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG**  
 Angewandte Geologie, Baugrundfachverständigenwesen  
 Geophysik & Geotechnik  
 Glockenplatz 1 - 34388 Trendelburg  
 Tel. 05671 77970 - Fax 05671 779710  
 eMail: info@bbu-schubert.de - Homepage: www.bbu-schubert.de

|                                                                                                         |              |             |          |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-------------|----------|------------|
| Auftraggeber:<br><b>UMania GmbH &amp; Co. KG</b><br>WP Krimpenfort II<br>Alter Weg 23<br>27478 Cuxhaven | Projekt Nr.: | 218319      | Anlage:  | 1          |
|                                                                                                         | Maßstab: (K) | 1 : 250     | Datum:   | 15.01.2019 |
|                                                                                                         | Gezeichnet:  | MH          | Geprüft: | AM / GG    |
|                                                                                                         | Baumaßnahme: | Platinhalt: |          |            |
| <b>Erweiterung "WP Vechta" um WEA 4</b><br>49377 Vechta                                                 |              |             |          |            |
| <b>Lageplan der Sondieransatzstellen und der Seismik</b>                                                |              |             |          |            |



**WEA 04**  
 Typ Nordex N 149  
 Nabenhöhe 125 m  
 RW: 32 448.886  
 HW: 5.839.753

Vechta - Krimpenfort, WP Vechtaer Mark  
WEA 04 (Nordex N149 mit 125mNH)

Projektnummer:  
218319

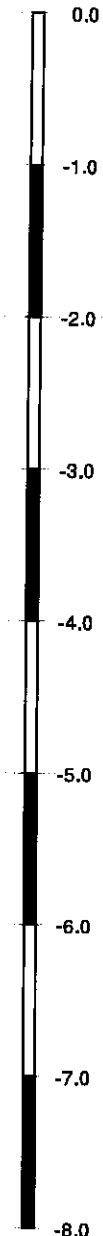
Anlage:  
2.1

Profil einer Rammkernsondierung  
Maßstab der Höhe ca.: 1:50

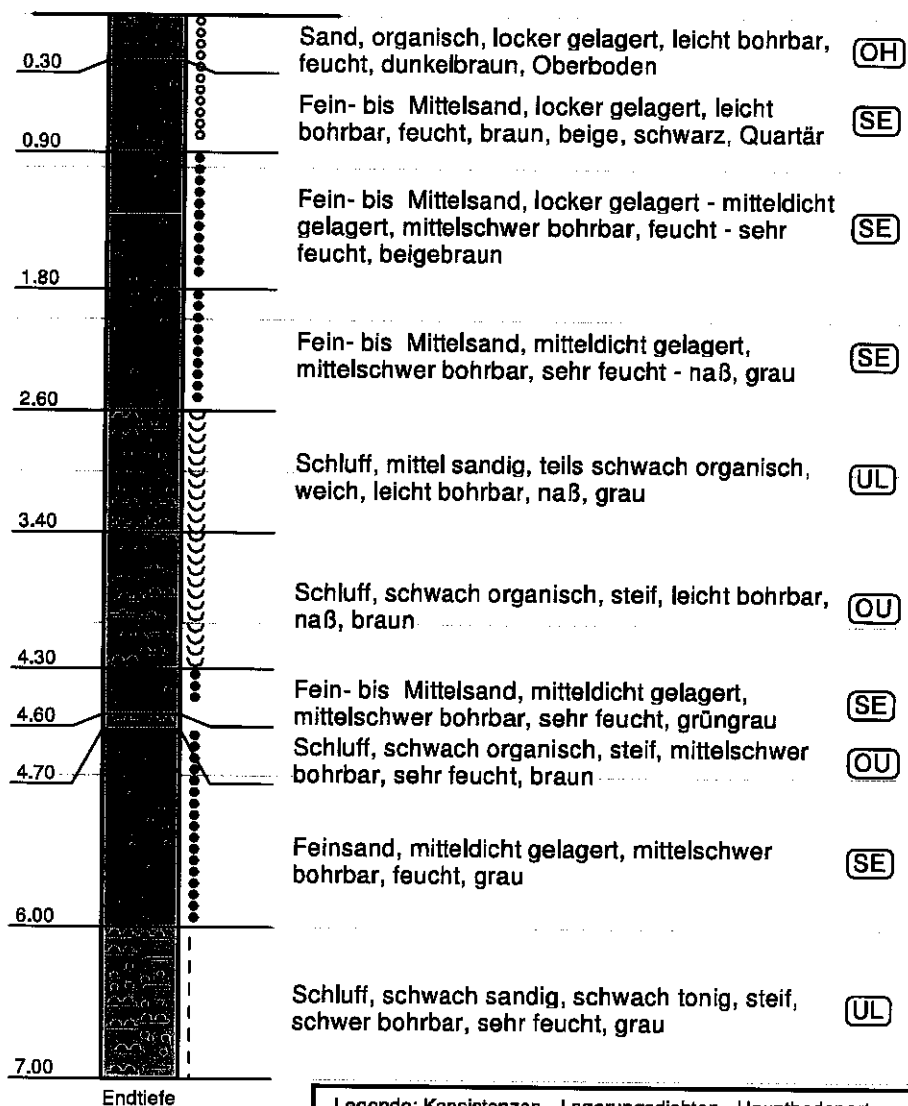
RKS 1

0,0 = GOK

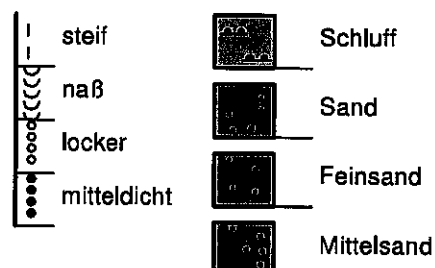
m u. GOK  
0.0



1.13



Legende: Konsistenzen - Lagerungsdichten - Hauptbodenarten



Hinweis:  
1.13 Wasserstand  
09.01.2019  
Bohrloch bei 1,30m zugefallen

Vechta - Krimpenfort, WP Vechtaer Mark  
 WEA 04 (Nordex N149 mit 125mNH)

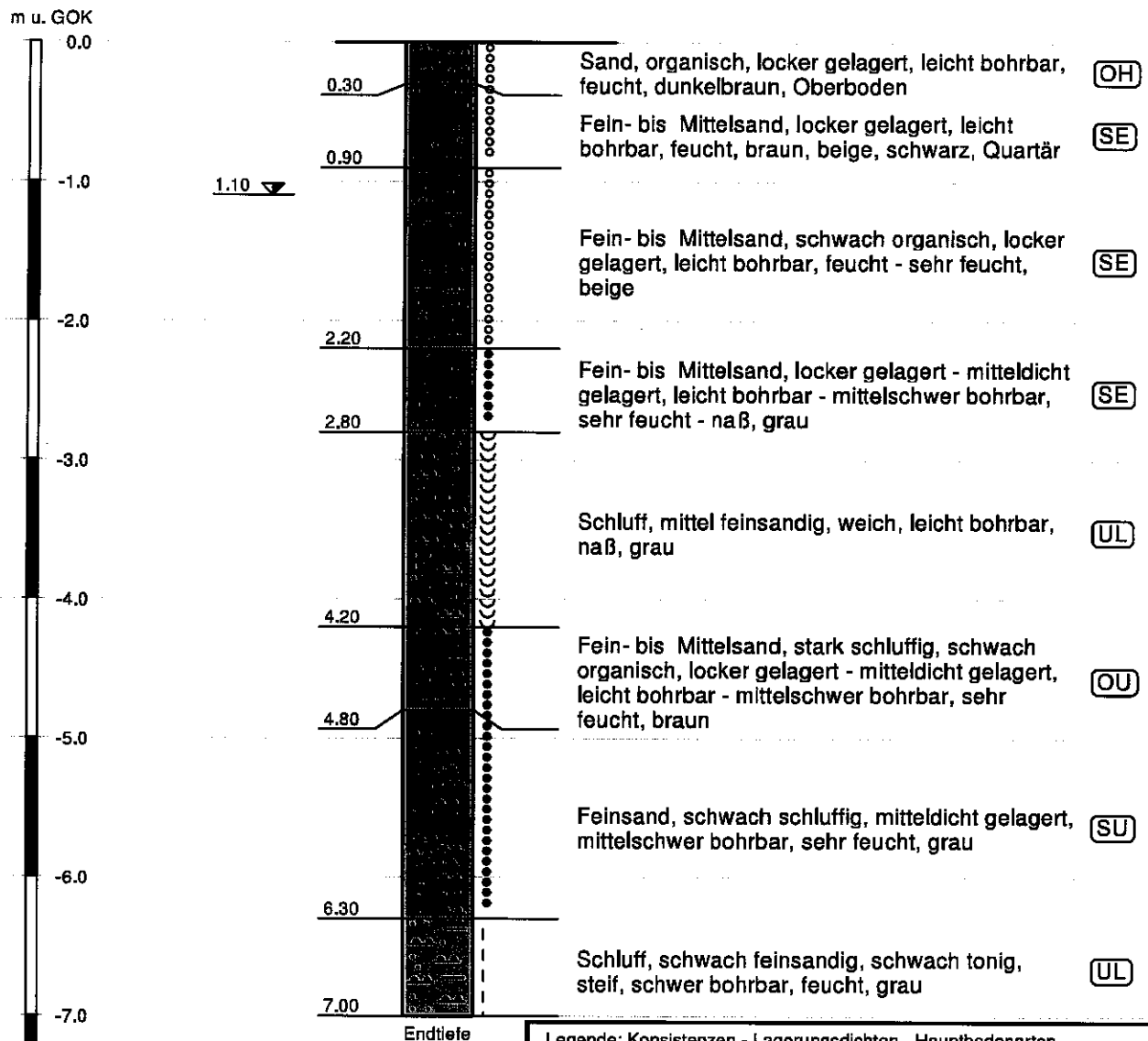
Projektnummer:  
 218319

Anlage:  
 2.2

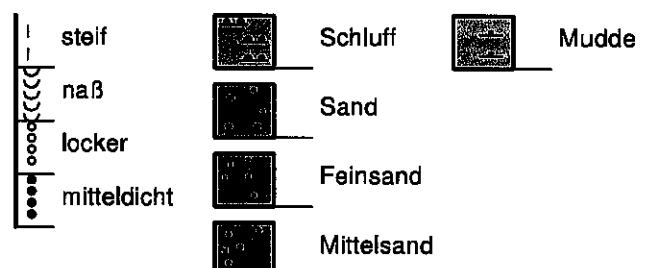
Profil einer Rammkernsondierung  
 Maßstab der Höhe ca.: 1:50

RKS 2

0,0 = GOK



Legende: Konsistenzen - Lagerungsdichten - Hauptbodenarten



Hinweis:  
 1.10 Wasserstand  
 09.01.2019  
 Bohrloch bei 1,20m zugefallen

Vechta - Krimpenfort, WP Vechtaer Mark  
 WEA 04 (Nordex N149 mit 125mNH), Kranstellfläche

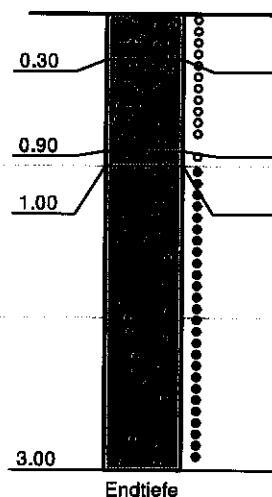
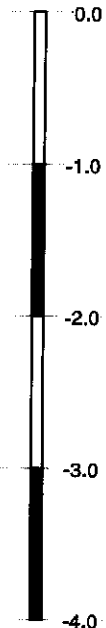
Projektnummer:  
 218319  
 Anlage:  
 2.3

Profil einer Rammkernsondierung  
 Maßstab der Höhe ca.: 1:50

# RKS 3

0,0 = GOK

m u. GOK



Sand, organisch, locker gelagert, leicht bohrbar, feucht, dunkelbraun, Oberboden

(OH)

Fein- bis Mittelsand, sehr schwach schluffig, locker gelagert, leicht bohrbar, feucht, beige, Quartär

(SE)

Fein- bis Mittelsand, mittel organisch, locker gelagert, leicht bohrbar, feucht, schwarzbraun

(OH)

Fein- bis Mittelsand, locker gelagert - mitteldicht gelagert, mittelschwer bohrbar, sehr feucht - naß, grüngrau

(SE)

3.00

Endtiefe

Legende: Konsistenzen - Lagerungsdichten - Hauptbodenarten

steif  
 locker  
 mitteldicht



Sand



Mittelsand



Mudde

Hinweis:

Bohrloch bei 0,90m zugefallen

Vechta - Krimpenfort, WP Vechtaer Mark  
 WEA 04 (Nordex N149 mit 125mNH), Kranstellfläche

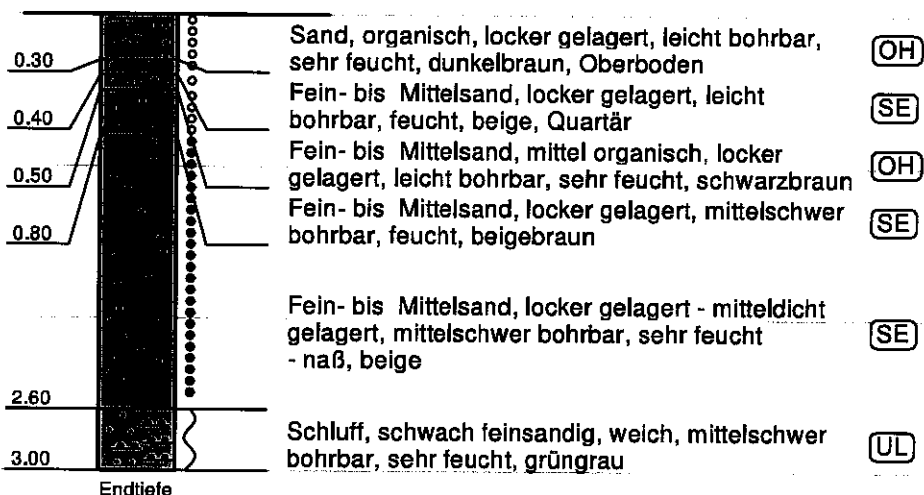
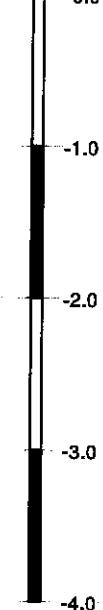
Projektnummer:  
 218319  
 Anlage:  
 2.4

Profil einer Rammkernsondierung  
 Maßstab der Höhe ca.: 1:50

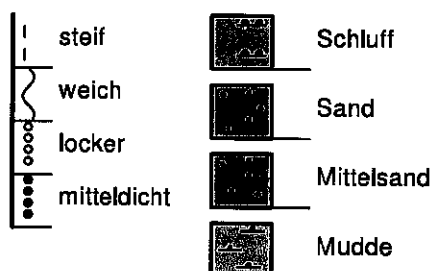
# RKS 4

0,0 = GOK

m u. GOK  
 0.0



Legende: Konsistenzen - Lagerungsdichten - Hauptbodenarten



Hinweis:  
 Bohrloch bei 0,90m zugefallen

Vechta - Krimpenfort, WP Vechtaer Mark  
 WEA 04 (Nordex N149 mit 125mNH), Kranstellfläche

Projektnummer:  
 218319

Anlage:  
 2.5

Profil einer Rammkernsondierung  
 Maßstab der Höhe ca.: 1:50

# RKS 5

0,0 = GOK

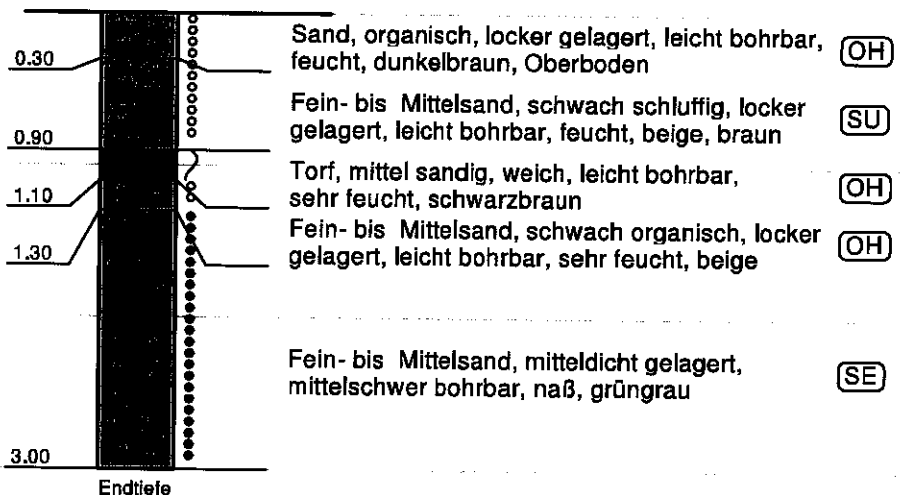
m u. GOK  
 0.0

-1.0

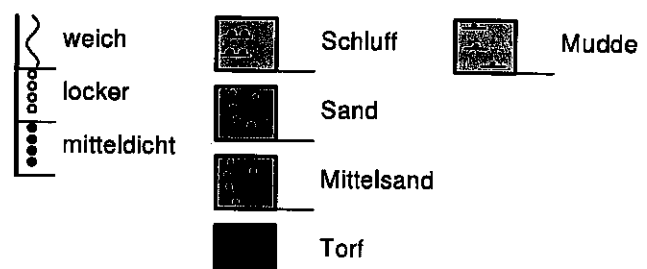
-2.0

-3.0

-4.0



Legende: Konsistenzen - Lagerungsdichten - Hauptbodenarten



Hinweis:

Bohrloch bei 0,80m zugefallen



Vechta - Krimpenfort, WP Vechtaer Mark  
 WEA 04 (Nordex N149 mit 125mNH), Kranstellfläche

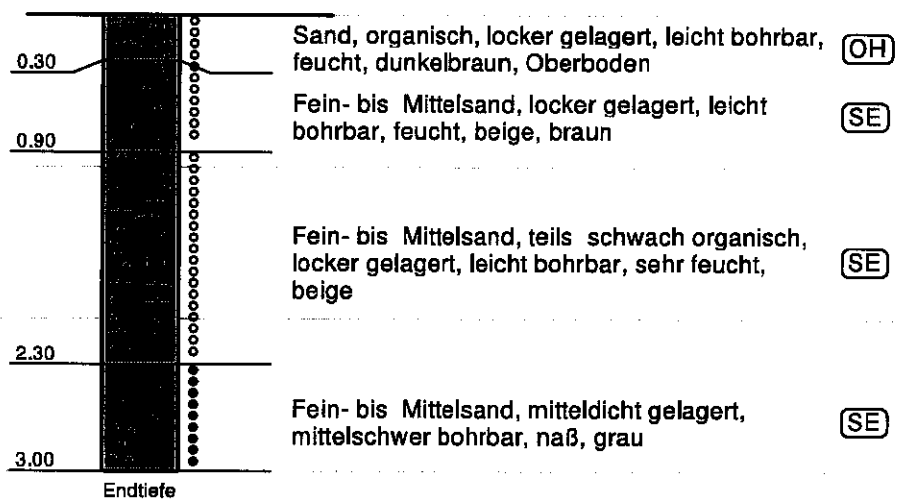
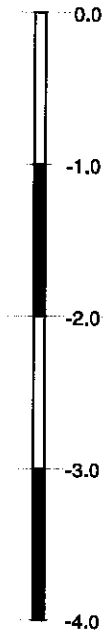
Projektnummer:  
 218319  
 Anlage:  
 2.6

Profil einer Rammkernsondierung  
 Maßstab der Höhe ca.: 1:50

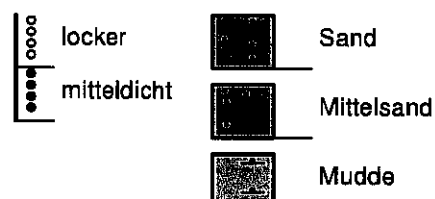
# RKS 6

0,0 = GOK

m u. GOK



Legende: Konsistenzen - Lagerungsdichten - Hauptbodenarten



Hinweis:

Bohrloch bei 0,85m zugefallen

Vechta - Krimpenfort, WP Vechtaer Mark  
 WEA 04 (Nordex N149 mit 125mNH), Kranstellfläche

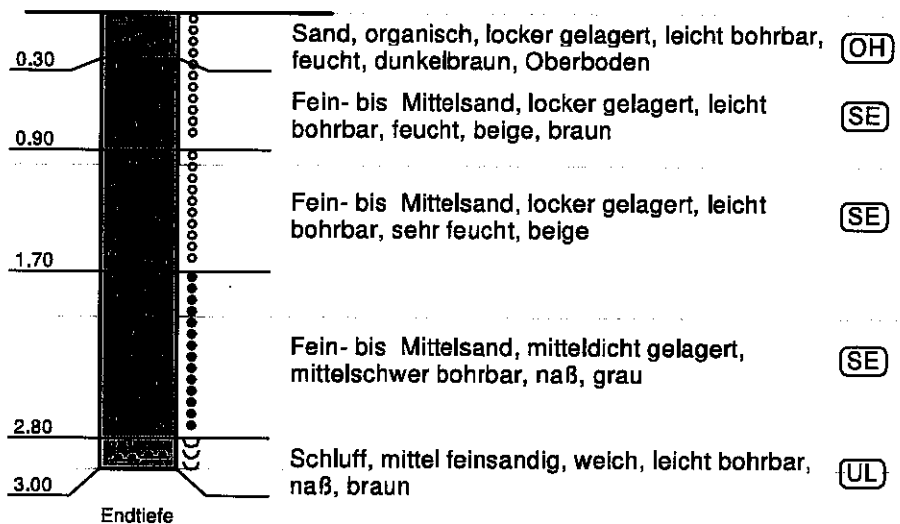
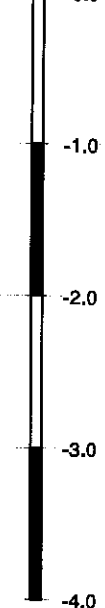
Projektnummer:  
 218319  
 Anlage:  
 2.7

Profil einer Rammkernsondierung  
 Maßstab der Höhe ca.: 1:50

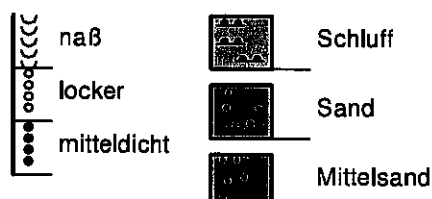
RKS 7

0,0 = GOK

m u. GOK  
 0.0



Legende: Konsistenzen - Lagerungsdichten - Hauptbodenarten



Hinweis:

Bohrloch bei 0,60m zugefallen

Vechta - Krimpenfort, WP Vechtaer Mark  
 WEA 04 (Nordex N149 mit 125mNH), Kranstellfläche

Projektnummer:  
 218319

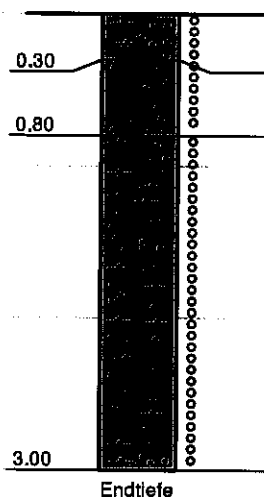
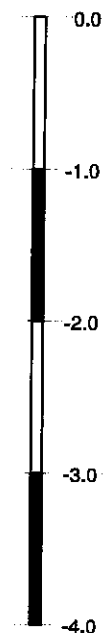
Anlage:  
 2.8

Profil einer Rammkernsondierung  
 Maßstab der Höhe ca.: 1:50

# RKS 8

0,0 = GOK

m u. GOK



Sand, organisch, locker gelagert, leicht bohrbar, feucht, dunkelbraun, Oberboden

OH

Fein- bis Mittelsand, locker gelagert, leicht bohrbar, feucht, beige, braun

SE

Fein- bis Mittelsand, schwach organisch, locker gelagert, leicht bohrbar, sehr feucht, beige

OH

Legende: Konsistenzen - Lagerungsdichten - Hauptbodenarten



locker



Sand



Mittelsand



Mudde

Hinweis:

Bohrloch bei 0,90m zugefallen

Vechta - Krimpenfort, WP Vechtaer Mark  
 WEA 04 (Nordex N149 mit 125mNH), Kranstellfläche

Projektnummer:  
 218319  
 Anlage:  
 2.9

Profil einer Rammkernsondierung  
 Maßstab der Höhe ca.: 1:50

RKS 9

0,0 = GOK

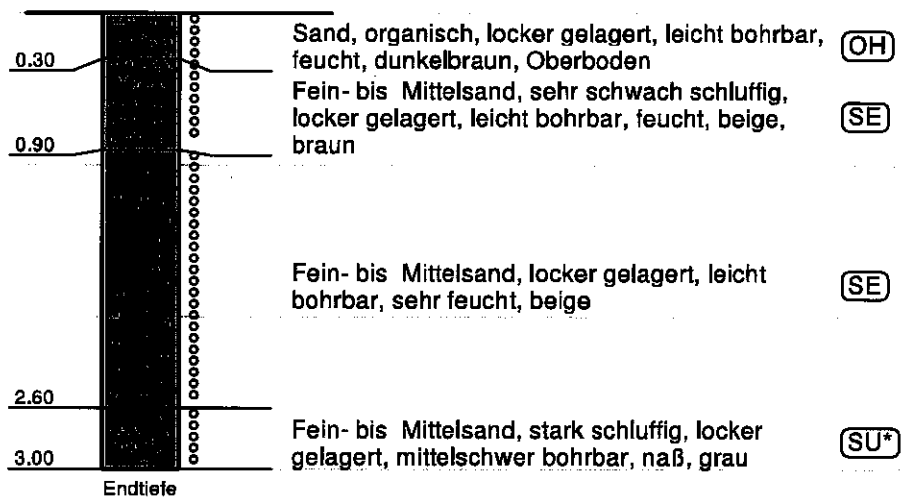
m u. GOK  
 0.0

-1.0

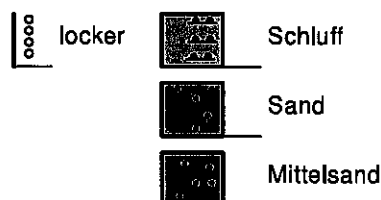
-2.0

-3.0

-4.0



Legende: Konsistenzen - Lagerungsdichten - Hauptbodenarten



Hinweis:  
 Bohrloch bei 0,95m zugefallen

Vechta - Krimpenfort, WP Vechtaer Mark  
 WEA 04 (Nordex N149 mit 125mNH), Kranstellfläche

Projektnummer:  
 218319  
 Anlage:  
 2.10

Profil einer Rammkernsondierung  
 Maßstab der Höhe ca.: 1:50

RKS 10

0,0 = GOK

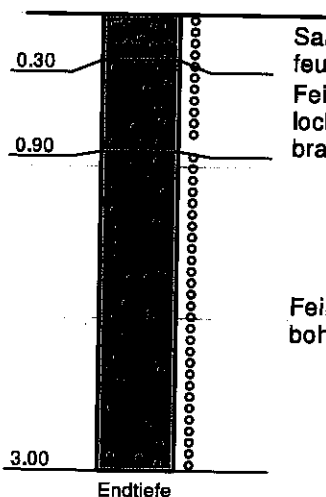
m u. GOK  
 0.0

-1.0

-2.0

-3.0

-4.0



Sand, organisch, locker gelagert, leicht bohrbar,  
 feucht, dunkelbraun, Oberboden

(OH)

Fein- bis Mittelsand, teils schwach organisch,  
 locker gelagert, leicht bohrbar, feucht, beige,  
 braun, schwarz

(SE)

Fein- bis Mittelsand, locker gelagert, mittelschwer  
 bohrbar, sehr feucht - naß, beige-grau

(SE)

Endtiefe

Legende: Konsistenzen - Lagerungsdichten - Hauptbodenarten



locker



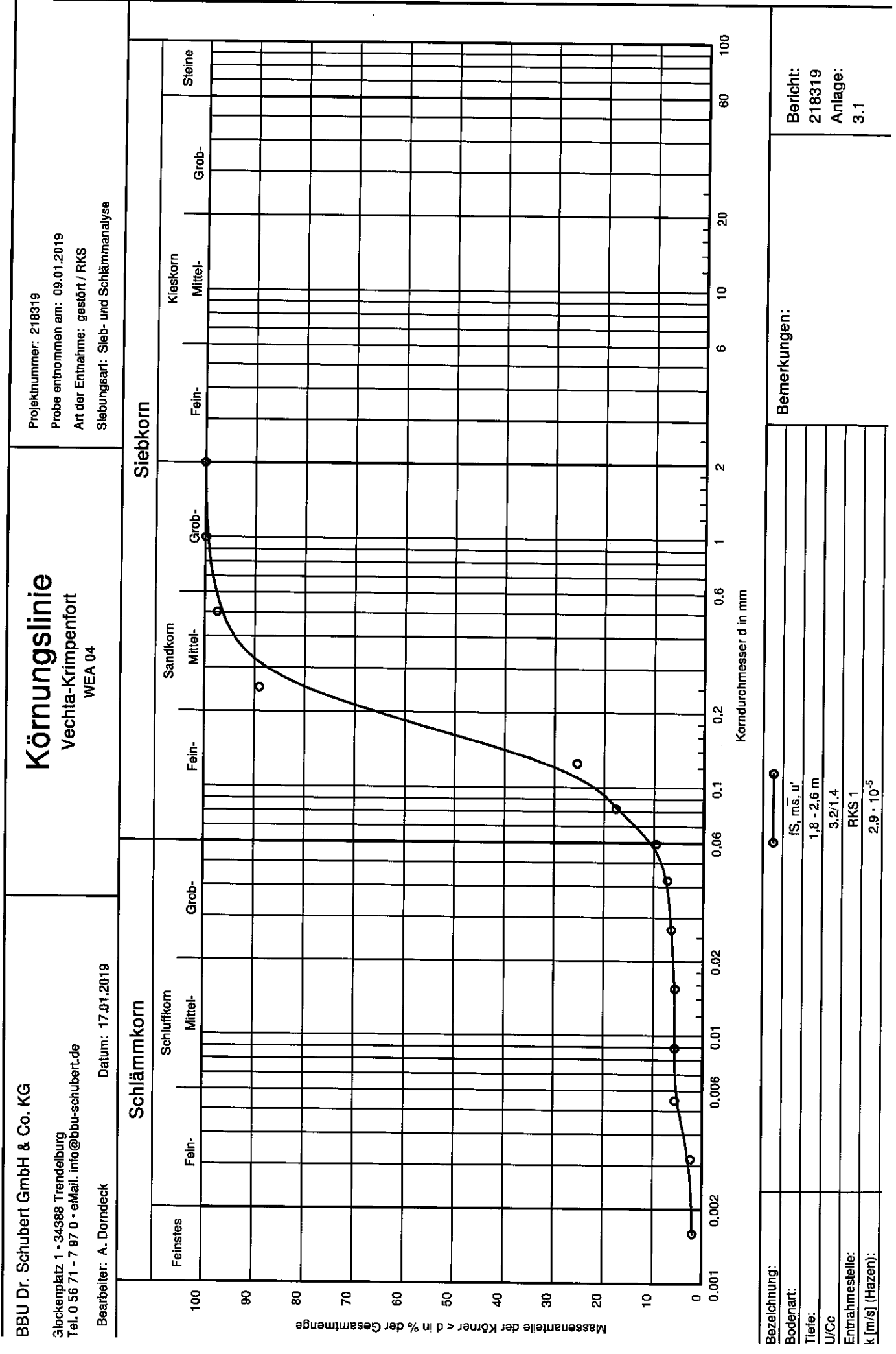
Sand

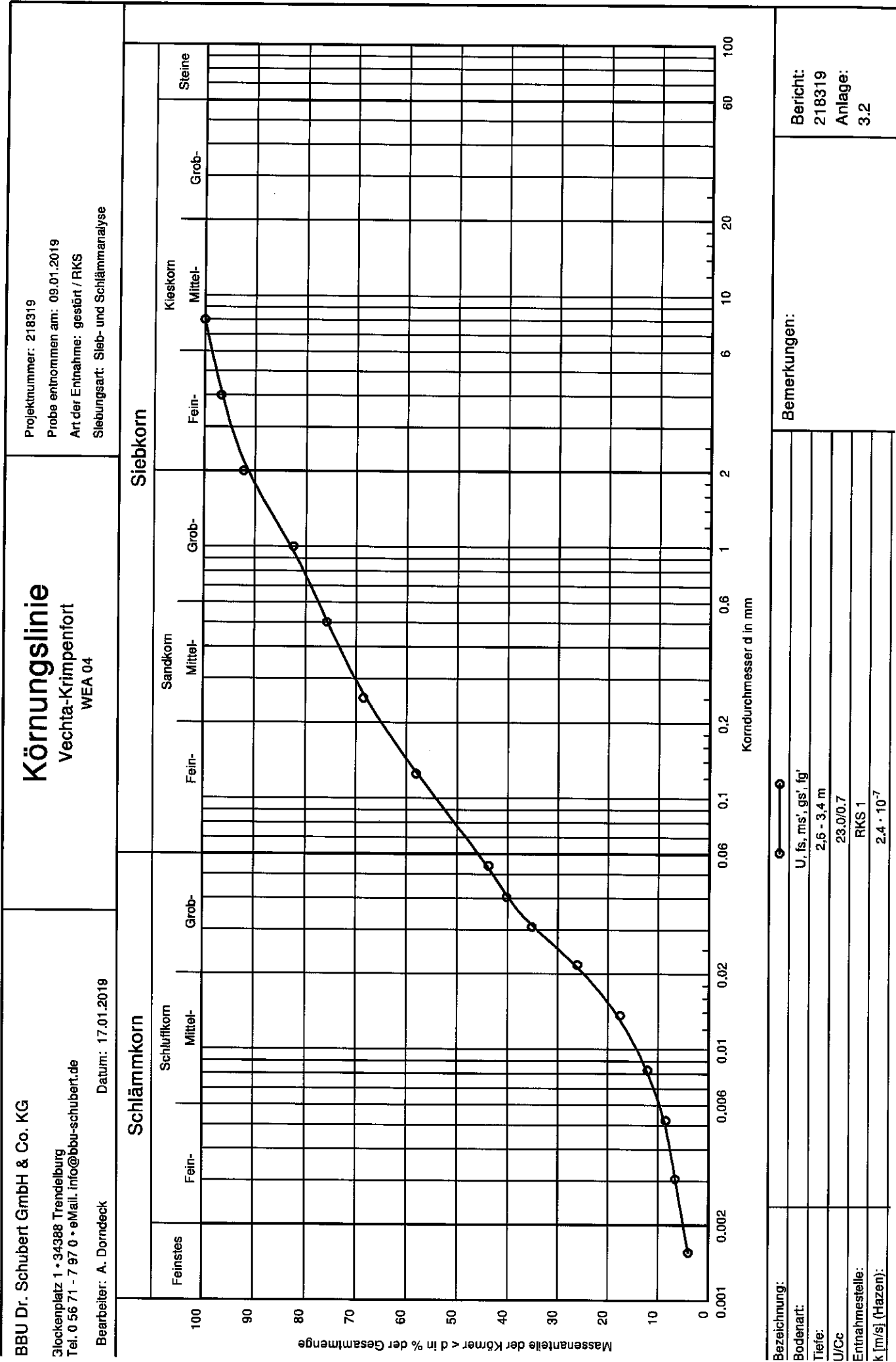


Mittelsand

Hinweis:

Bohrloch bei 1,00m zugefallen





BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG

Glockenplatz 1 • 34388 Trendelburg  
Tel. 0 56 71 - 7 97 0 • eMail: info@bbu-schubert.de

Bearbeiter: A. Dordeck

Datum: 17.01.2019

## Körnungslinie

Vechta-Krimpenfort  
WEA 04

Projektnummer: 218319

Probe entnommen am: 09.01.2019

Art der Entnahme: gestört / RKS

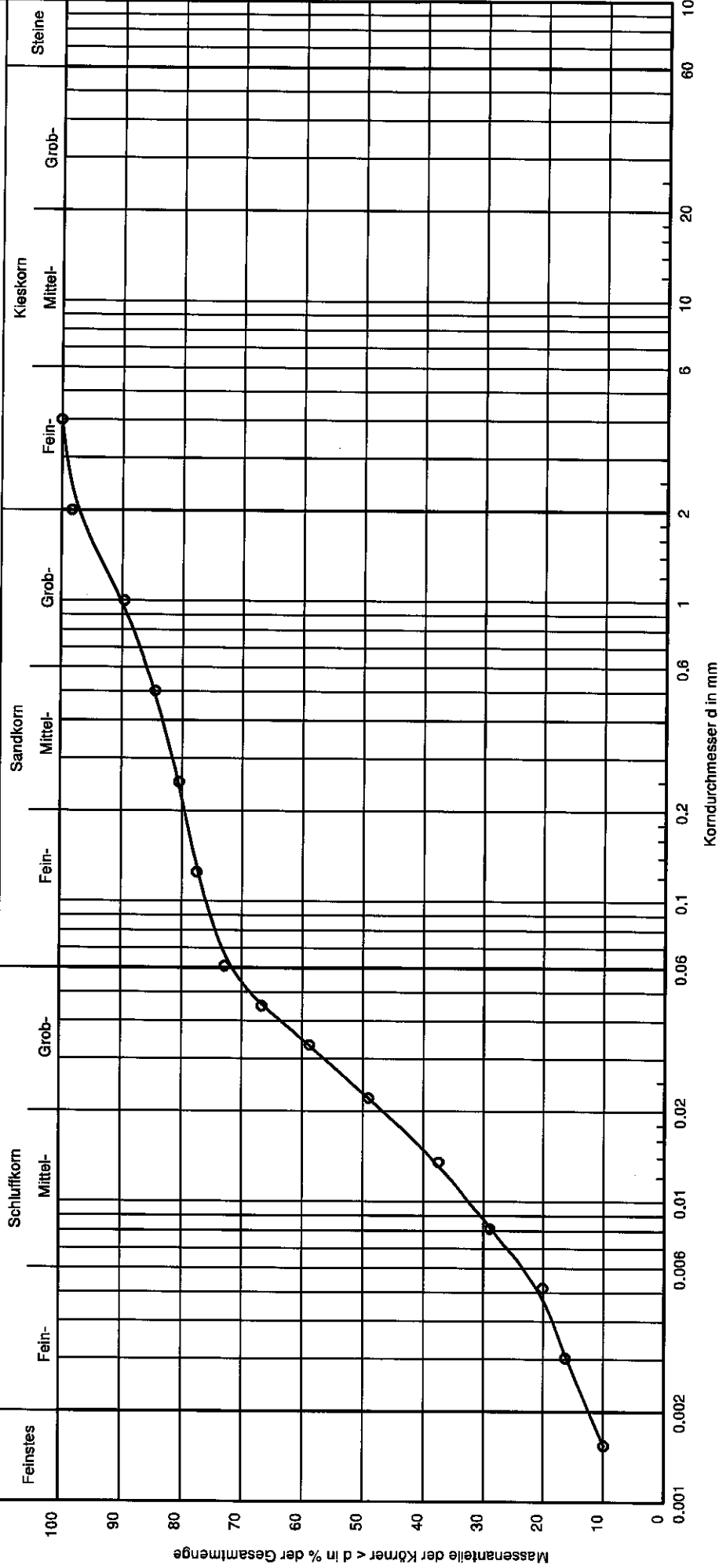
Siebungsart: Sieb- und Schlämmanalyse

### Schlammkorn

Feinstes Fein- Mittel- Grob-

### Siebkorn

Fein- Mittel- Grob- Steine



Bezeichnung:

Bodenart:

Tiefe:

U/Cc

Entnahmestelle:

k [m/s] (Hazen):

U, t, fs, ms, gs'

6,0 - 7,0 m

22.2/1.4

RKS 1

$1.5 \cdot 10^{-8}$

Bemerkungen:

Bericht:  
218319  
Anlage:  
3.3



Vechta - Krimpenfort, WP Vechtaer Mark  
 WEA 04 (Nordex N149 mit 125m Nh.)

Projektnummer:  
 218319

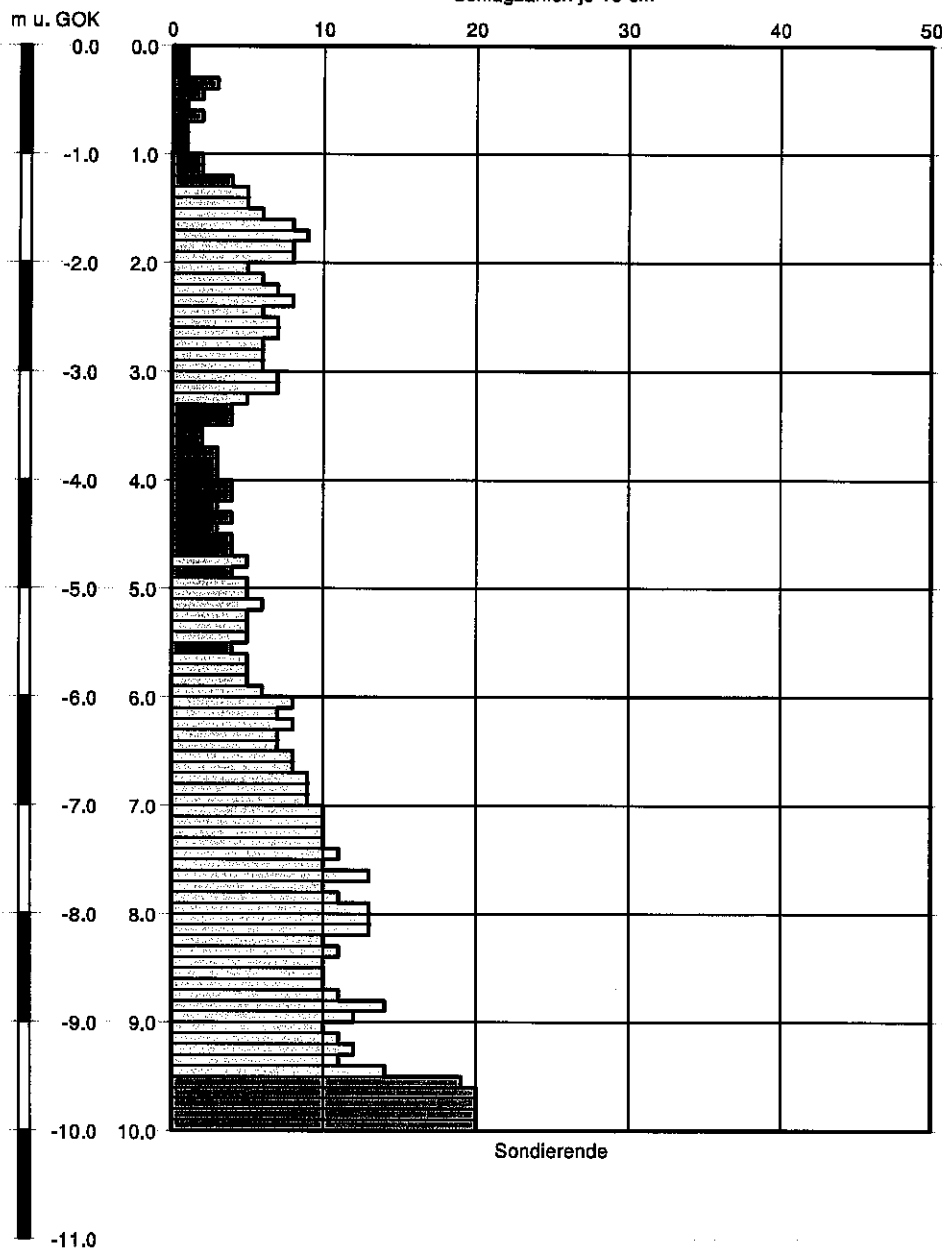
Anlage:  
 4.1

Profil einer Rammsondierung  
 Maßstab der Höhe ca.: 1:70

# DPH 1

0,00 m = Ansatzpunkt

Schlagzahlen je 10 cm



| Tiefe [m] | N <sub>10</sub> | Tiefe [m] | N <sub>10</sub> |
|-----------|-----------------|-----------|-----------------|
| 0.10      | 1               | 5.10      | 5               |
| 0.20      | 1               | 5.20      | 6               |
| 0.30      | 1               | 5.30      | 5               |
| 0.40      | 3               | 5.40      | 5               |
| 0.50      | 2               | 5.50      | 5               |
| 0.60      | 1               | 5.60      | 4               |
| 0.70      | 2               | 5.70      | 5               |
| 0.80      | 1               | 5.80      | 5               |
| 0.90      | 1               | 5.90      | 5               |
| 1.00      | 1               | 6.00      | 6               |
| 1.10      | 2               | 6.10      | 8               |
| 1.20      | 2               | 6.20      | 7               |
| 1.30      | 4               | 6.30      | 8               |
| 1.40      | 5               | 6.40      | 7               |
| 1.50      | 5               | 6.50      | 7               |
| 1.60      | 6               | 6.60      | 8               |
| 1.70      | 8               | 6.70      | 8               |
| 1.80      | 9               | 6.80      | 9               |
| 1.90      | 8               | 6.90      | 9               |
| 2.00      | 8               | 7.00      | 9               |
| 2.10      | 5               | 7.10      | 10              |
| 2.20      | 6               | 7.20      | 10              |
| 2.30      | 7               | 7.30      | 10              |
| 2.40      | 8               | 7.40      | 10              |
| 2.50      | 6               | 7.50      | 11              |
| 2.60      | 7               | 7.60      | 10              |
| 2.70      | 7               | 7.70      | 13              |
| 2.80      | 6               | 7.80      | 10              |
| 2.90      | 6               | 7.90      | 11              |
| 3.00      | 6               | 8.00      | 13              |
| 3.10      | 7               | 8.10      | 13              |
| 3.20      | 7               | 8.20      | 13              |
| 3.30      | 5               | 8.30      | 10              |
| 3.40      | 4               | 8.40      | 11              |
| 3.50      | 4               | 8.50      | 10              |
| 3.60      | 2               | 8.60      | 10              |
| 3.70      | 2               | 8.70      | 10              |
| 3.80      | 3               | 8.80      | 11              |
| 3.90      | 3               | 8.90      | 14              |
| 4.00      | 3               | 9.00      | 12              |
| 4.10      | 4               | 9.10      | 10              |
| 4.20      | 4               | 9.20      | 11              |
| 4.30      | 3               | 9.30      | 12              |
| 4.40      | 4               | 9.40      | 11              |
| 4.50      | 3               | 9.50      | 14              |
| 4.60      | 4               | 9.60      | 19              |
| 4.70      | 4               | 9.70      | 20              |
| 4.80      | 5               | 9.80      | 20              |
| 4.90      | 4               | 9.90      | 20              |
| 5.00      | 5               | 10.00     | 20              |

Sondierende

## Legende DPH

- sehr locker
- locker
- mitteldicht
- dicht
- sehr dicht

### Hinweis:

Feststellung vom 08.01.2019:  
 Sondierloch bei 1,0m zugefallen  
 (wahrscheinlich durch Grundwassereinfluss)



Vechta - Krimpenfort, WP Vechtaer Mark  
 WEA 4 (Nordex N149 mit 125m Nh.)

Projektnummer:  
 218319

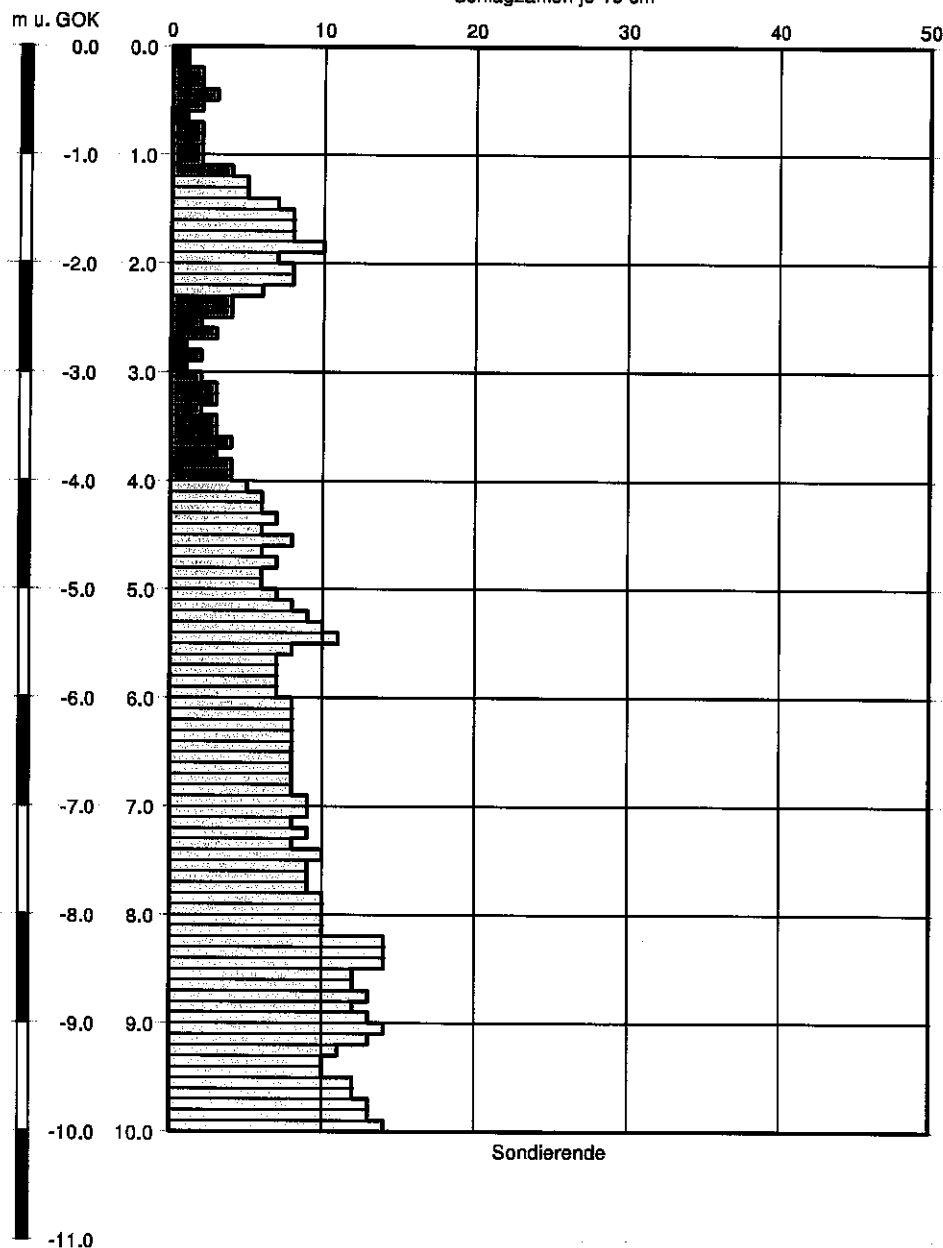
Anlage:  
 4.2

Profil einer Rammsondierung  
 Maßstab der Höhe ca.: 1:70

DPH 2

0,00 m = Ansatzpunkt

Schlagzahlen je 10 cm



| Tiefe [m] | N <sub>10</sub> | Tiefe [m] | N <sub>10</sub> |
|-----------|-----------------|-----------|-----------------|
| 0.10      | 1               | 5.10      | 7               |
| 0.20      | 1               | 5.20      | 8               |
| 0.30      | 2               | 5.30      | 9               |
| 0.40      | 2               | 5.40      | 10              |
| 0.50      | 3               | 5.50      | 11              |
| 0.60      | 2               | 5.60      | 8               |
| 0.70      | 1               | 5.70      | 7               |
| 0.80      | 2               | 5.80      | 7               |
| 0.90      | 2               | 5.90      | 7               |
| 1.00      | 2               | 6.00      | 7               |
| 1.10      | 2               | 6.10      | 8               |
| 1.20      | 4               | 6.20      | 8               |
| 1.30      | 5               | 6.30      | 8               |
| 1.40      | 5               | 6.40      | 8               |
| 1.50      | 7               | 6.50      | 8               |
| 1.60      | 8               | 6.60      | 8               |
| 1.70      | 8               | 6.70      | 8               |
| 1.80      | 8               | 6.80      | 8               |
| 1.90      | 10              | 6.90      | 8               |
| 2.00      | 7               | 7.00      | 9               |
| 2.10      | 8               | 7.10      | 9               |
| 2.20      | 8               | 7.20      | 8               |
| 2.30      | 6               | 7.30      | 9               |
| 2.40      | 4               | 7.40      | 8               |
| 2.50      | 4               | 7.50      | 10              |
| 2.60      | 2               | 7.60      | 9               |
| 2.70      | 3               | 7.70      | 9               |
| 2.80      | 1               | 7.80      | 9               |
| 2.90      | 2               | 7.90      | 10              |
| 3.00      | 1               | 8.00      | 10              |
| 3.10      | 2               | 8.10      | 10              |
| 3.20      | 3               | 8.20      | 10              |
| 3.30      | 3               | 8.30      | 14              |
| 3.40      | 2               | 8.40      | 14              |
| 3.50      | 3               | 8.50      | 14              |
| 3.60      | 3               | 8.60      | 12              |
| 3.70      | 4               | 8.70      | 12              |
| 3.80      | 3               | 8.80      | 13              |
| 3.90      | 4               | 8.90      | 12              |
| 4.00      | 4               | 9.00      | 13              |
| 4.10      | 5               | 9.10      | 14              |
| 4.20      | 6               | 9.20      | 13              |
| 4.30      | 6               | 9.30      | 11              |
| 4.40      | 7               | 9.40      | 10              |
| 4.50      | 6               | 9.50      | 10              |
| 4.60      | 8               | 9.60      | 12              |
| 4.70      | 6               | 9.70      | 12              |
| 4.80      | 7               | 9.80      | 13              |
| 4.90      | 6               | 9.90      | 13              |
| 5.00      | 6               | 10.00     | 14              |

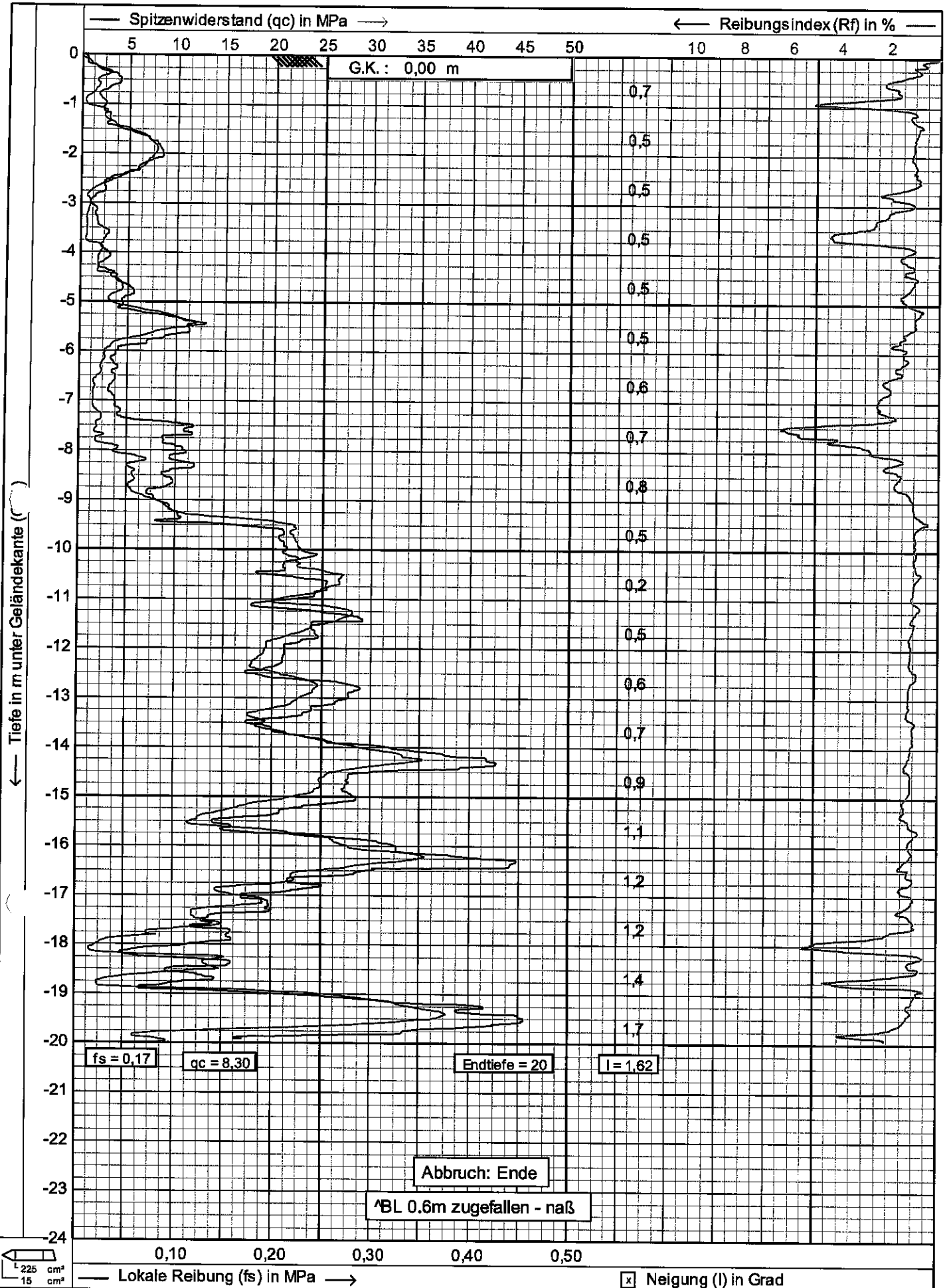
Sondierende

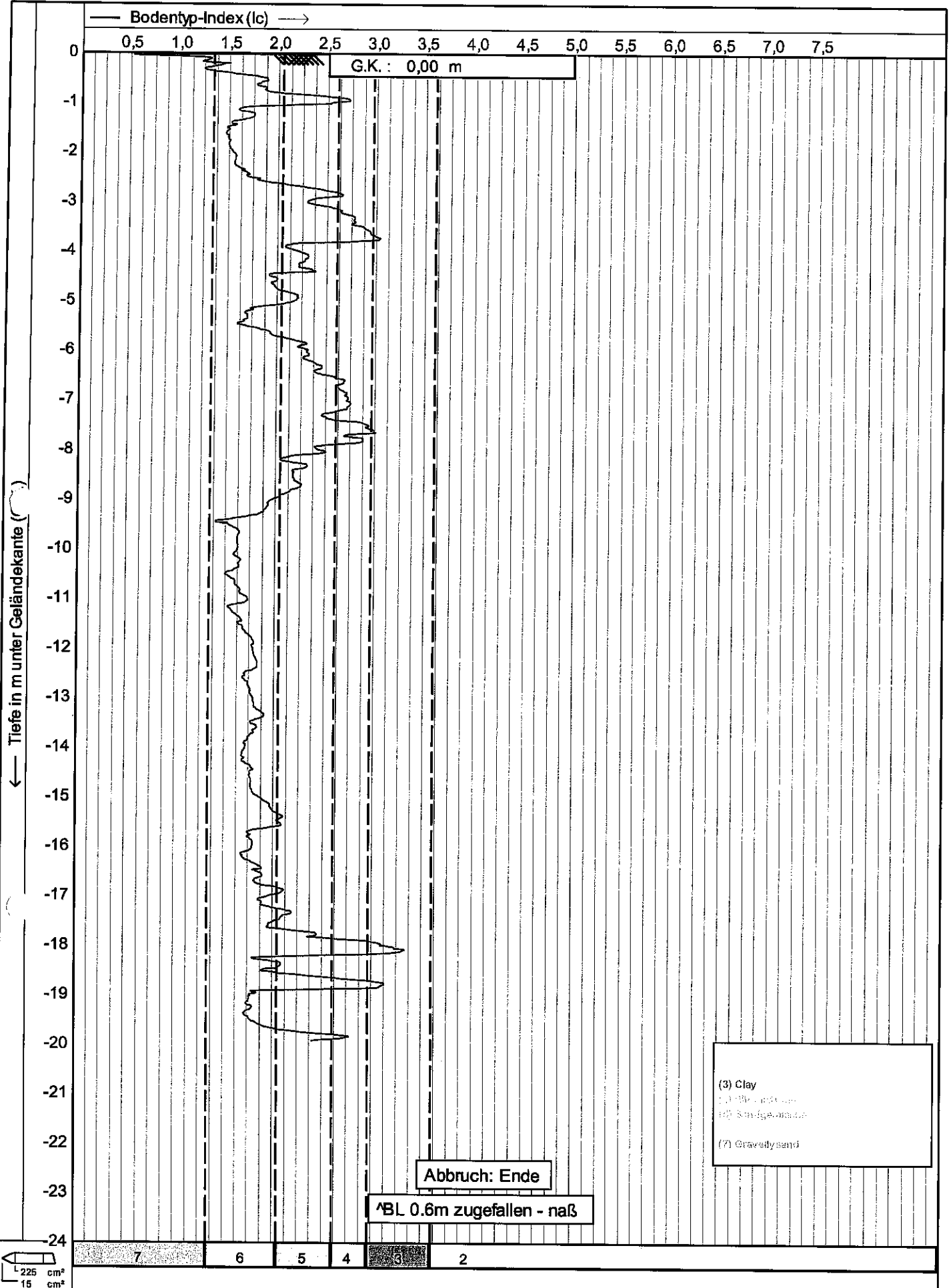
Legende DPH

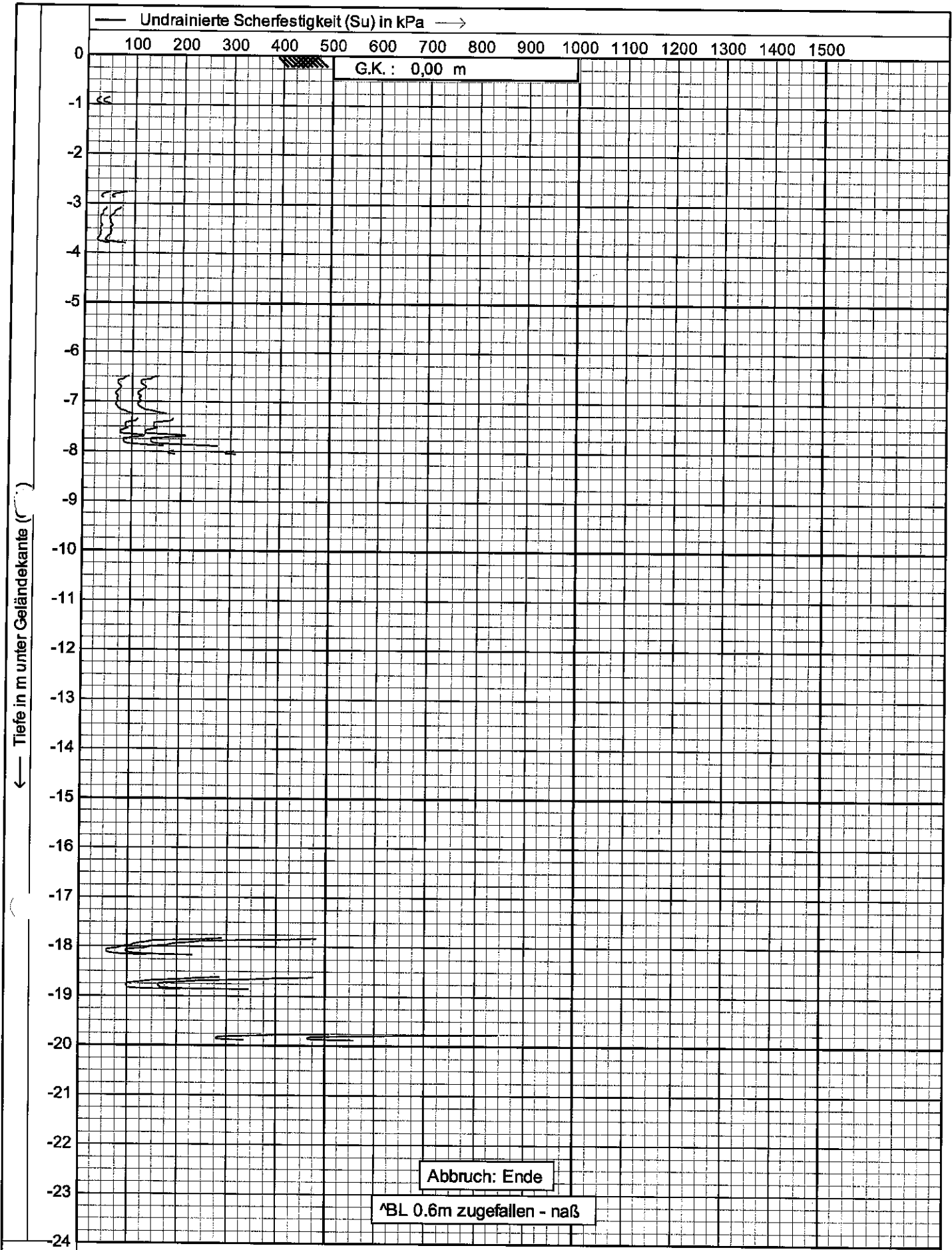
- sehr locker
- locker
- mitteldicht
- dicht
- sehr dicht

Hinweis:

Feststellung vom 08.01.2019:  
 Sondierloch bei 0,8m zugefallen  
 (wahrscheinlich durch Grundwassereinfluss)

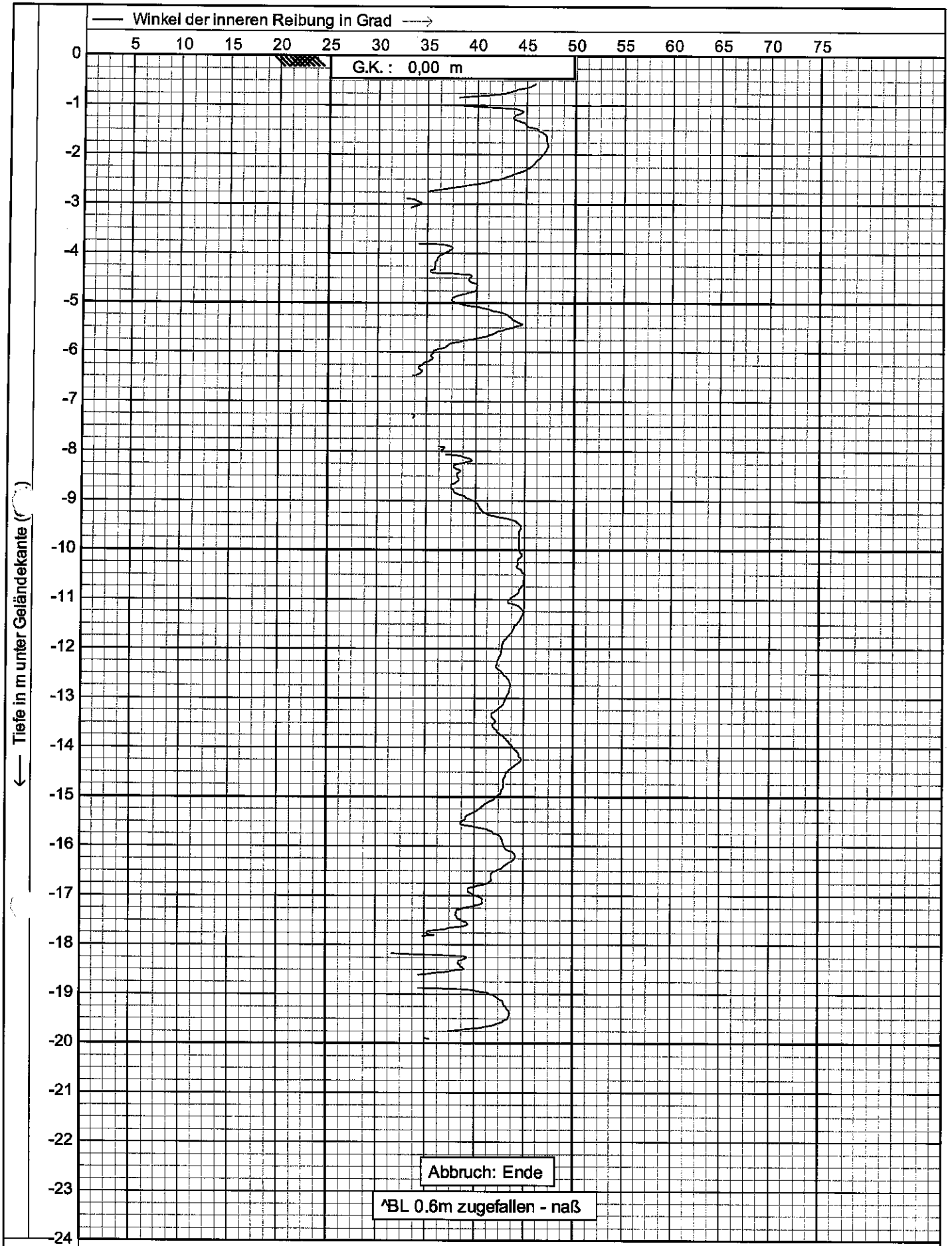




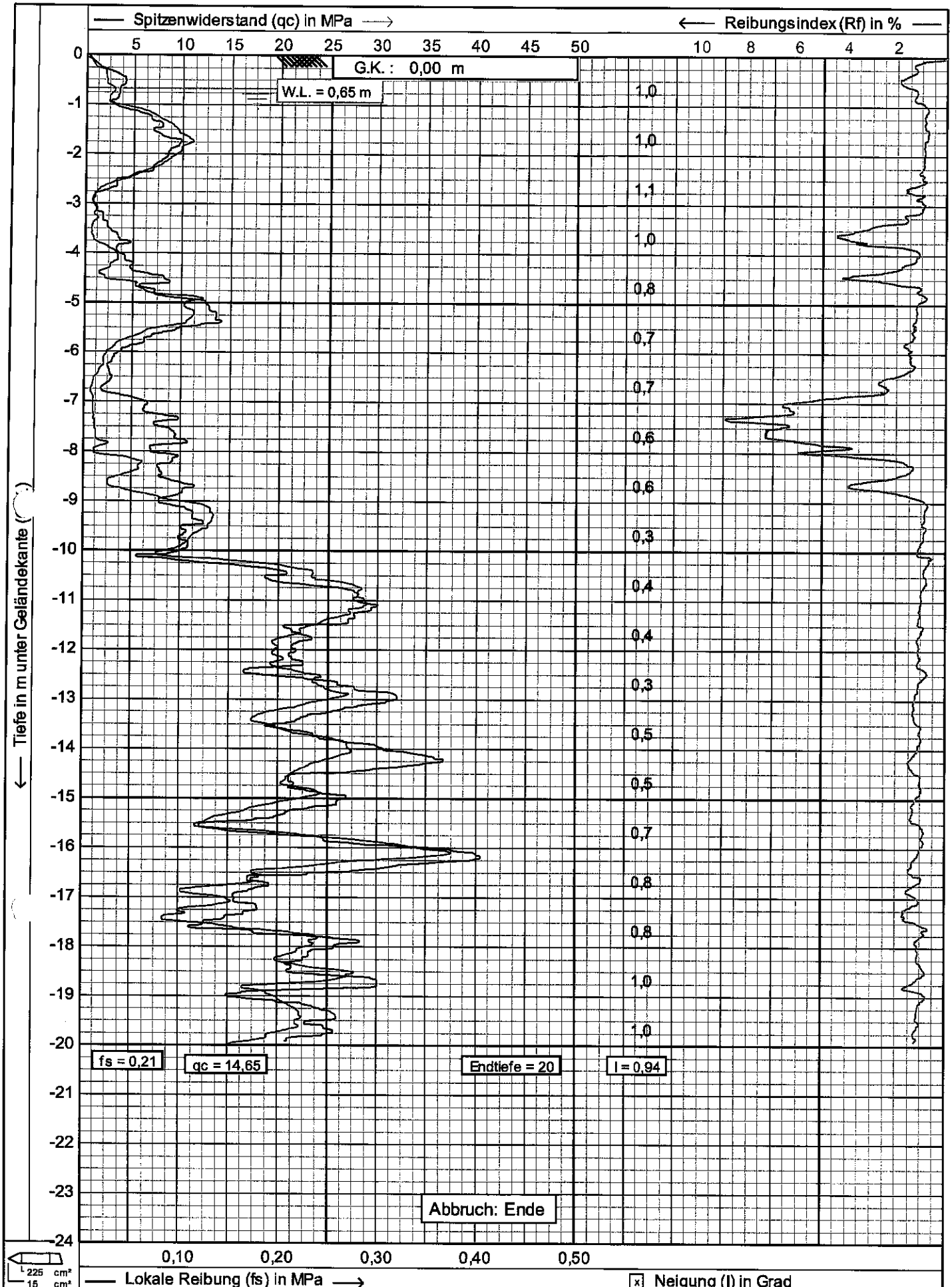


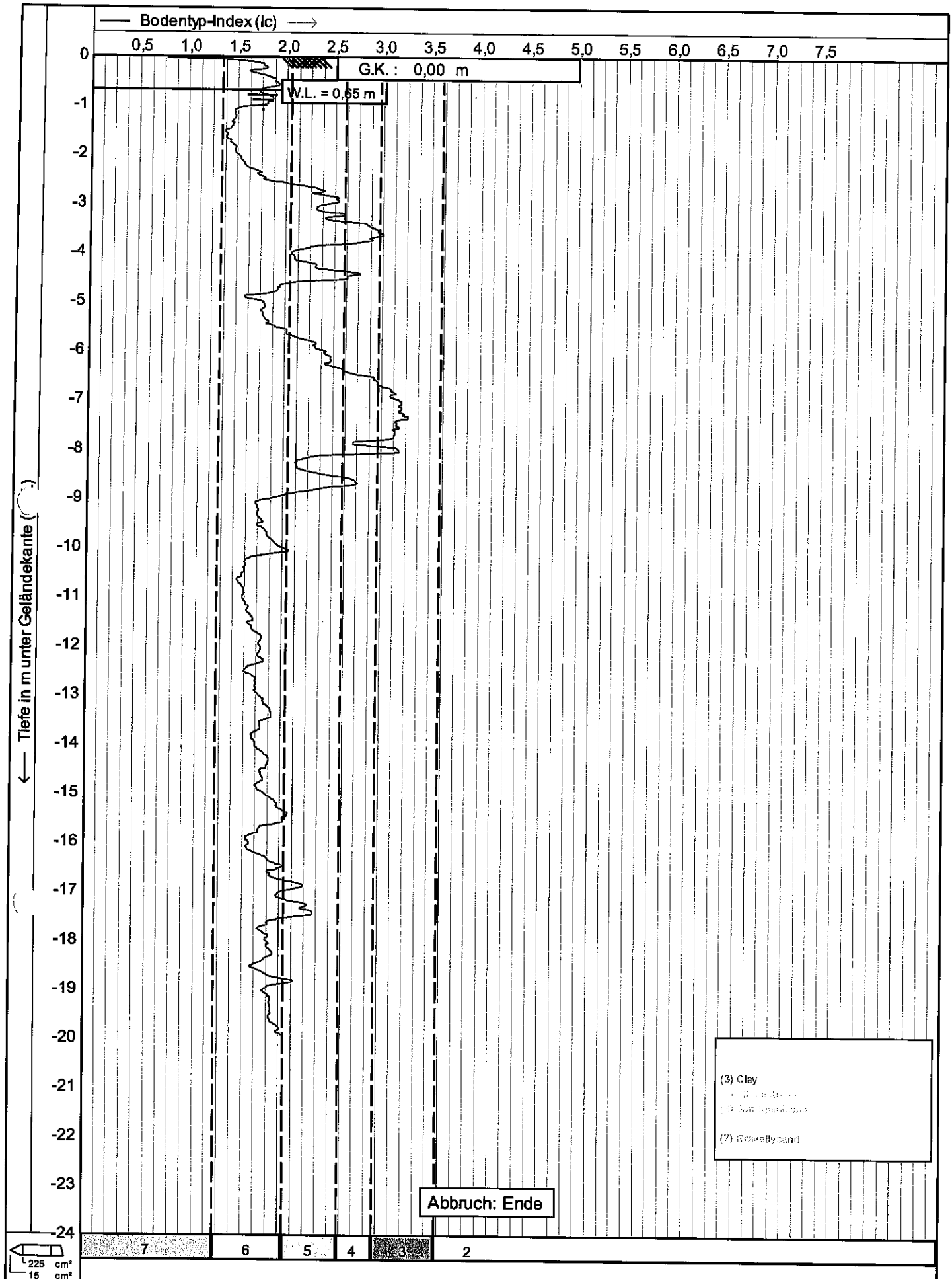
225 cm²  
15 cm²





225 cm<sup>2</sup>  
15 cm<sup>2</sup>





— Undrainierte Scherfestigkeit (Su) in kPa —>

100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500

0

G.K. : 0,00 m

-1

W.L. = 0,65 m

-2

-3

-4

-5

-6

-7

-8

-9

-10

-11

-12

-13

-14

-15

-16

-17

-18

-19

-20

-21

-22

-23

-24

← Tiefe in m unter Geländekante ( )

Abbruch: Ende

225 cm<sup>2</sup>  
15 cm<sup>2</sup>

**geo**  
**technik**  
heiligenstadt gmbh  
Beratende Ingenieure VBI

Drucksondierungen nach DIN EN ISO 22476-1(10/2013)

Projekt : **Vechts-Krimpenfort**

Ort : **Vechta**

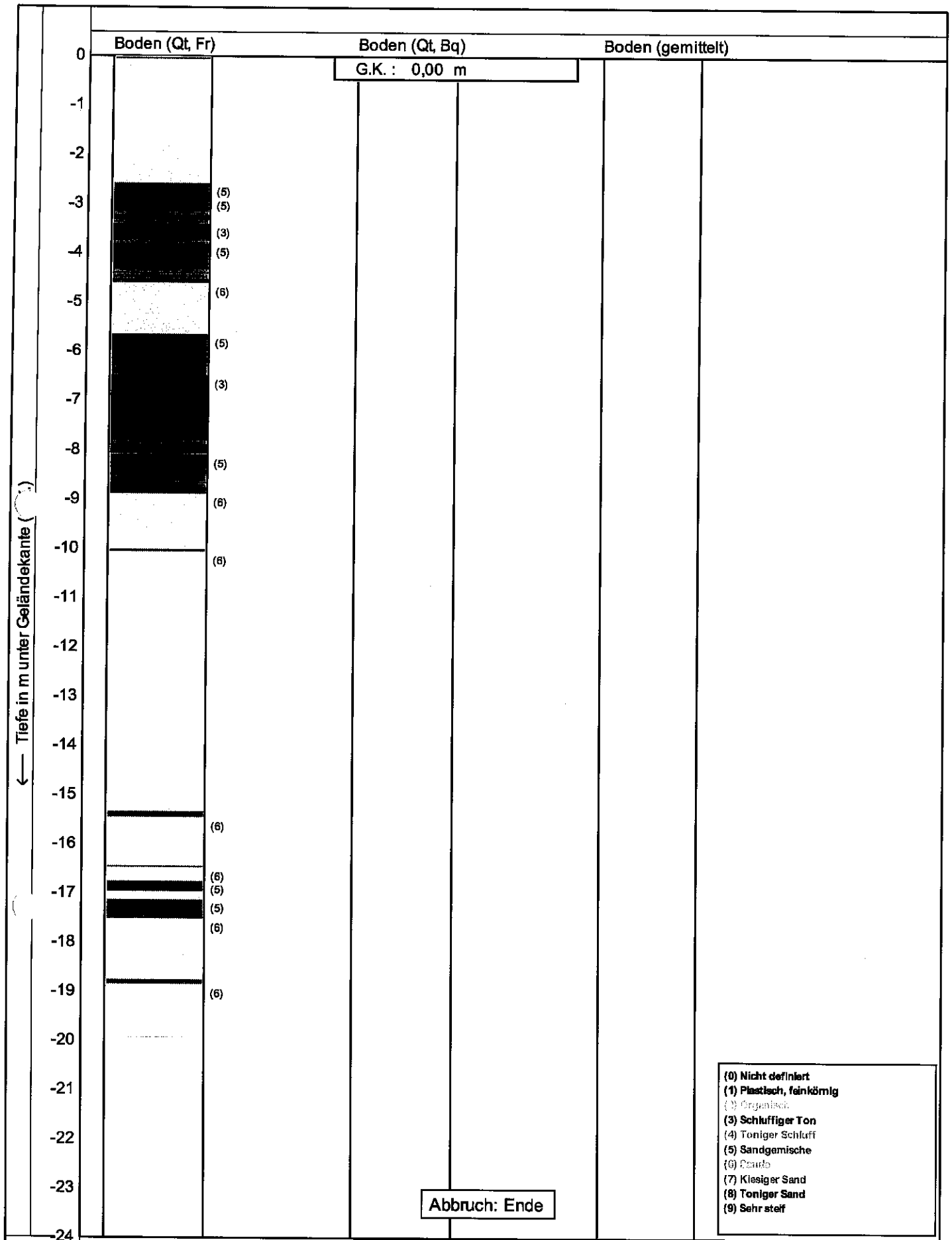
Datum : **14.01.2019**

Konus Nr. : **S15CFILS14615**

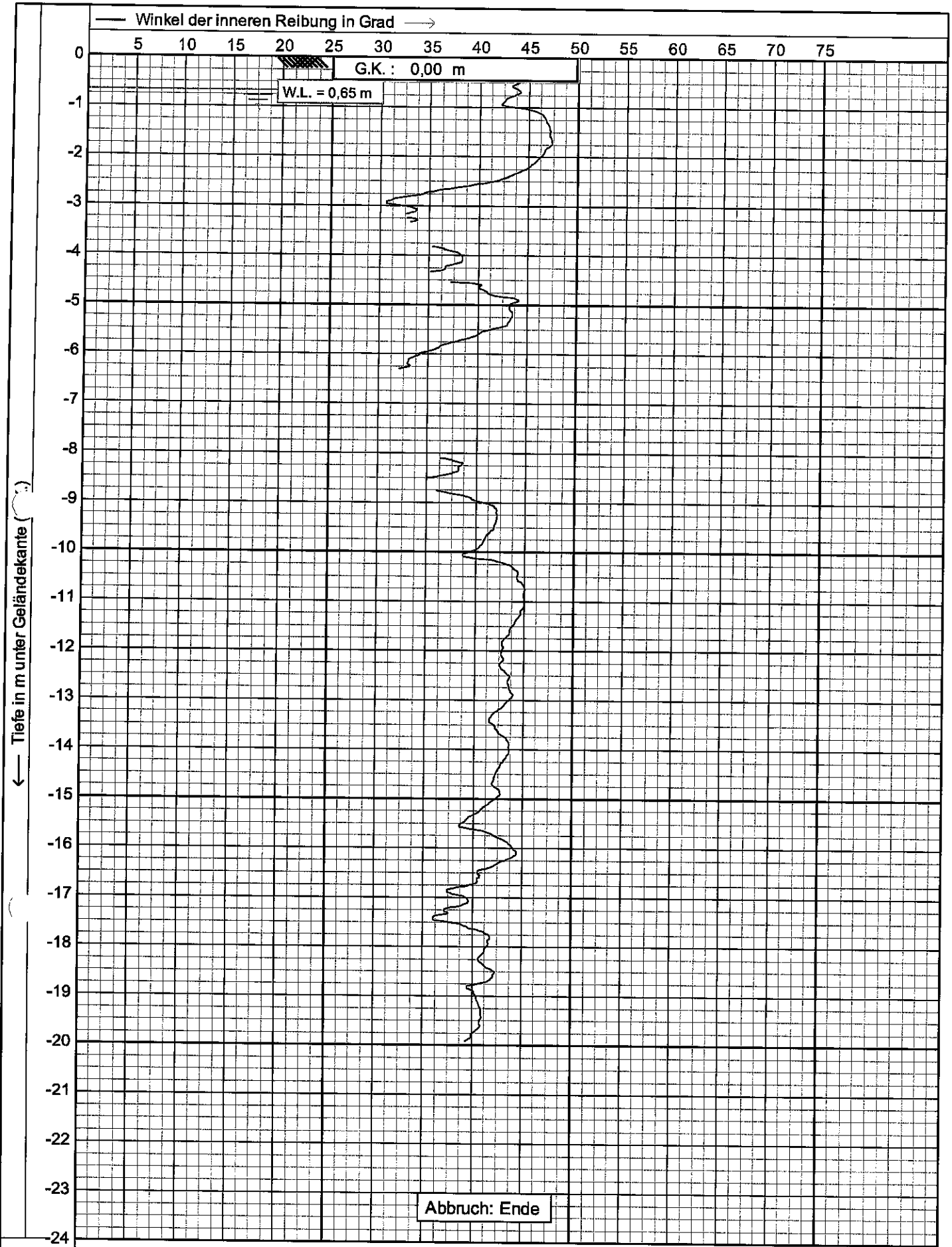
Projekt Nr. : **20190110-10002**

CPT Nr. : **CPT 2**

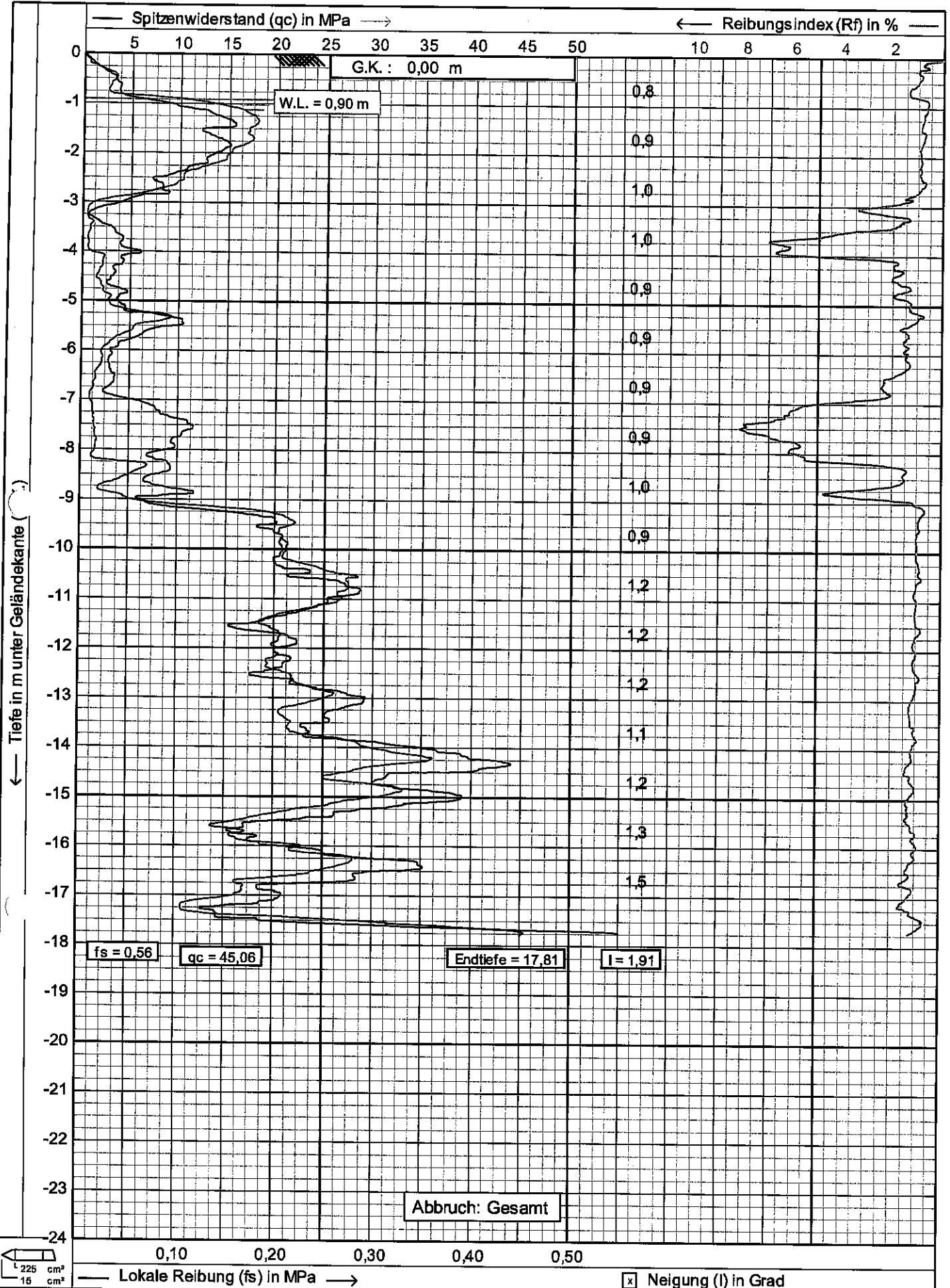
3/5

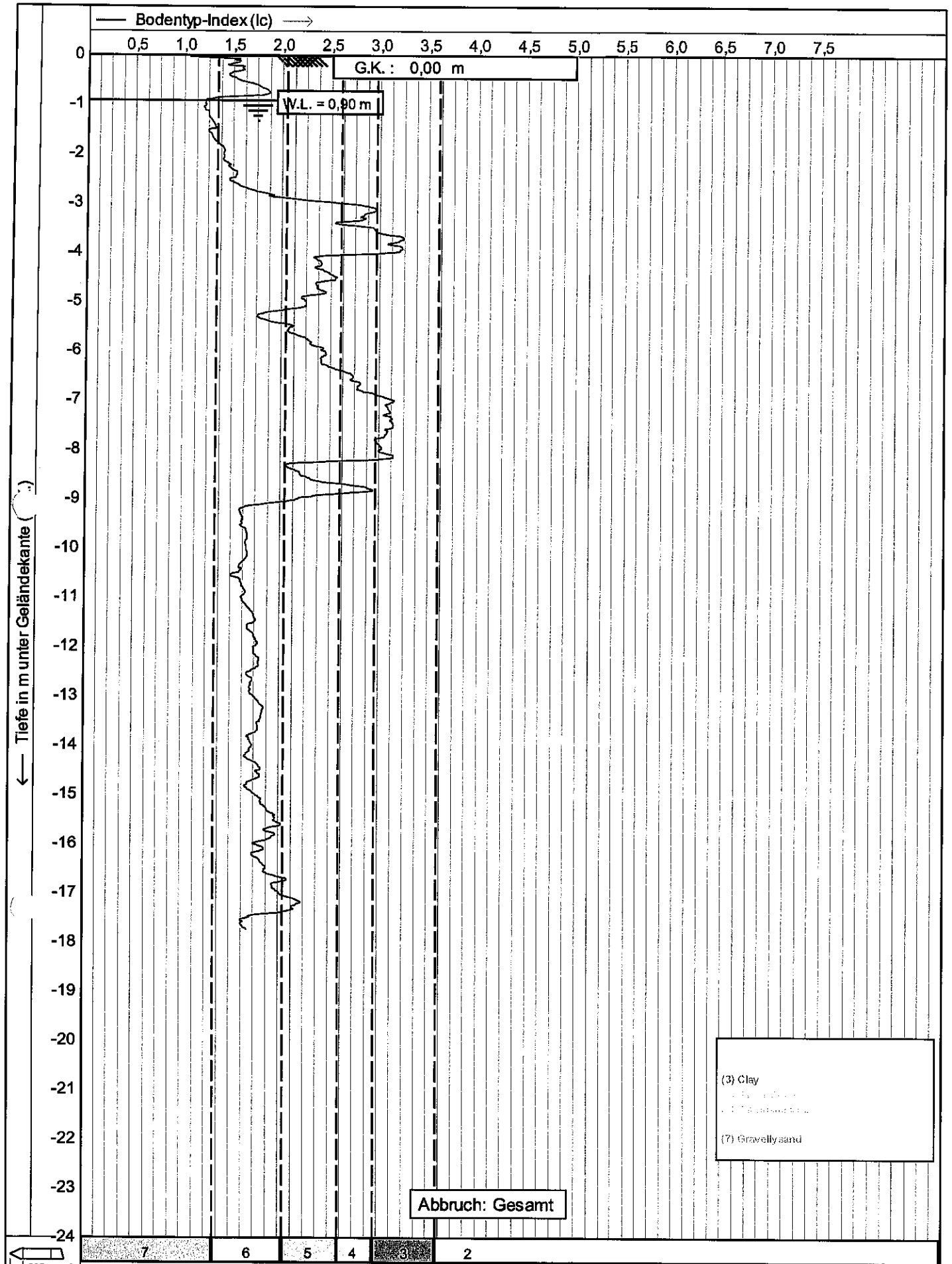


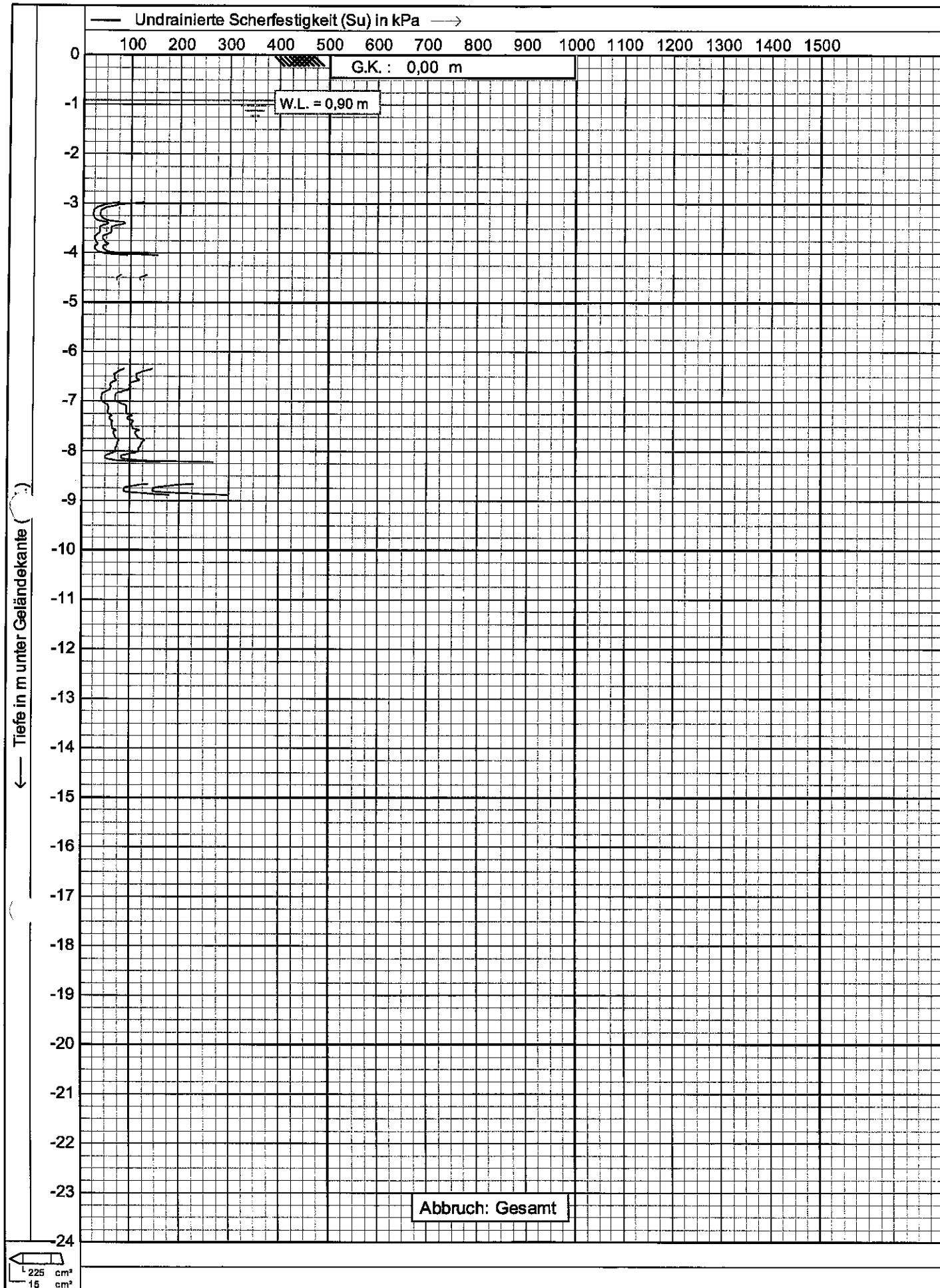
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  <b>Bodenklassifikation nach Robertson 1990</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;">  <p>heiligenstadt gmbh<br/>Beratende Ingenieure VBI</p> </div> <div style="width: 40%;"> <p>Drucksondierungen nach DIN EN ISO 22476-1(10/2013)</p> <p>Projekt : <b>Vechts-Krimpenfort</b></p> <p>Ort : <b>Vechta</b></p> </div> <div style="width: 30%;"> <p>Datum : <b>14.01.2019</b></p> <p>Konus Nr. : <b>S15CFILS14615</b></p> <p>Projekt Nr. : <b>20190110-10002</b></p> <p>CPT Nr. : <b>CPT 2</b></p> </div> </div> |  |
| <div style="display: flex; justify-content: flex-end;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">4/5</div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |



225 cm²  
15 cm²







225 cm<sup>2</sup>  
15 cm<sup>2</sup>

**geo**  
**technik**  
heiligenstadt gmbh  
Beratende Ingenieure VBI

Drucksondierungen nach DIN EN ISO 22476-1(10/2013)

Projekt : **Vechts-Krimpenfort**

Ort : **Vechta**

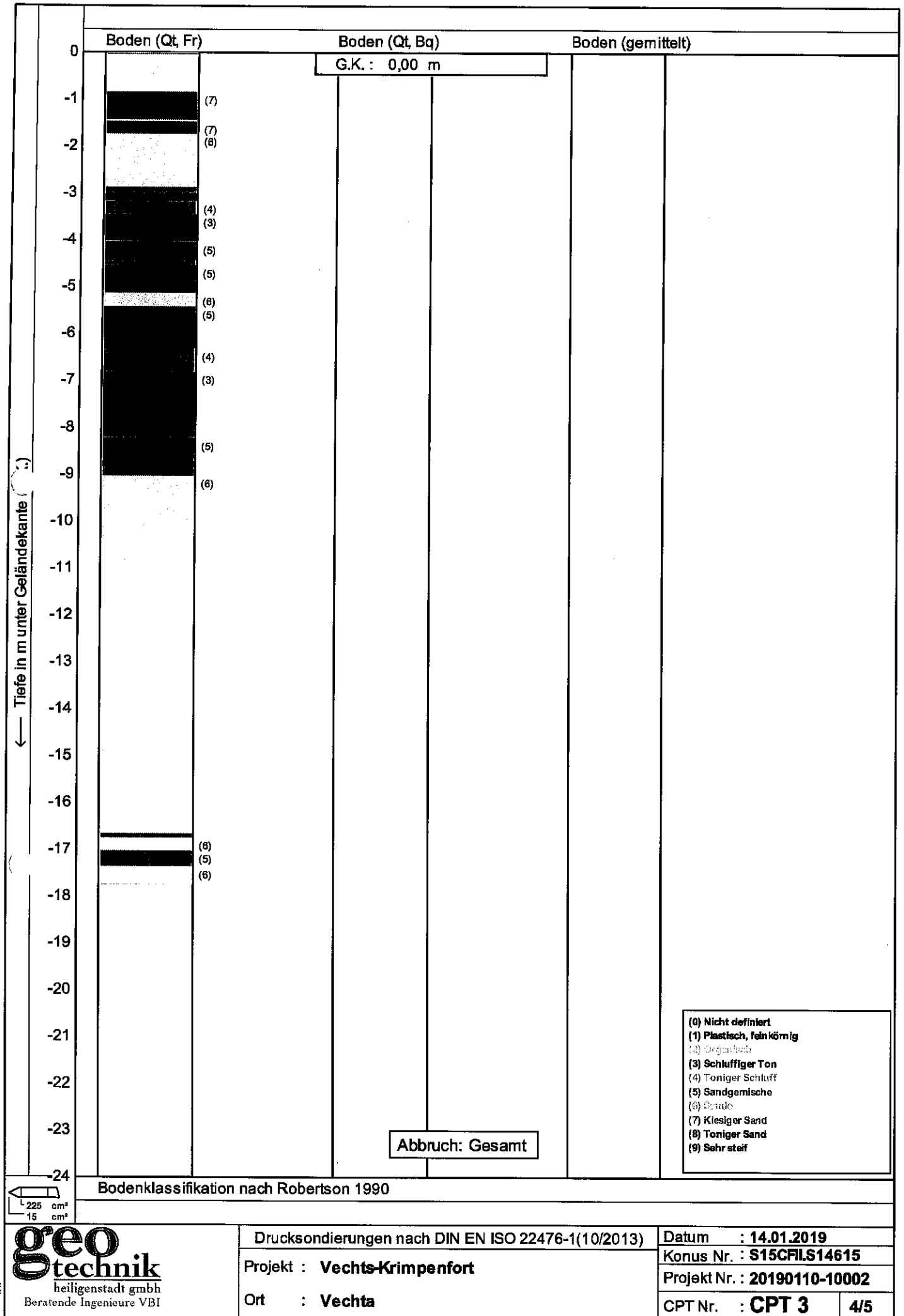
Datum : **14.01.2019**

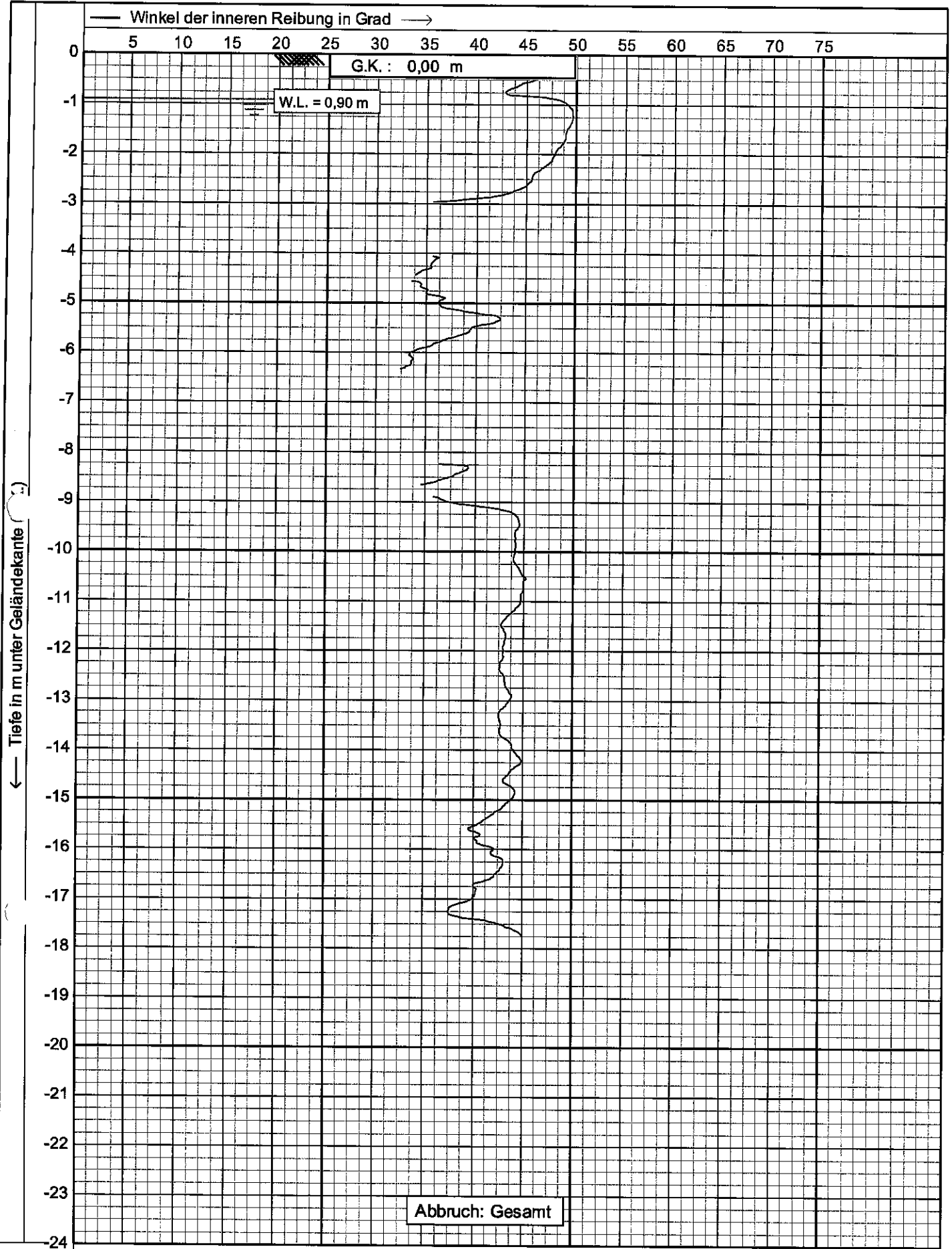
Konus Nr. : **S15CFILS14615**

Projekt Nr. : **20190110-10002**

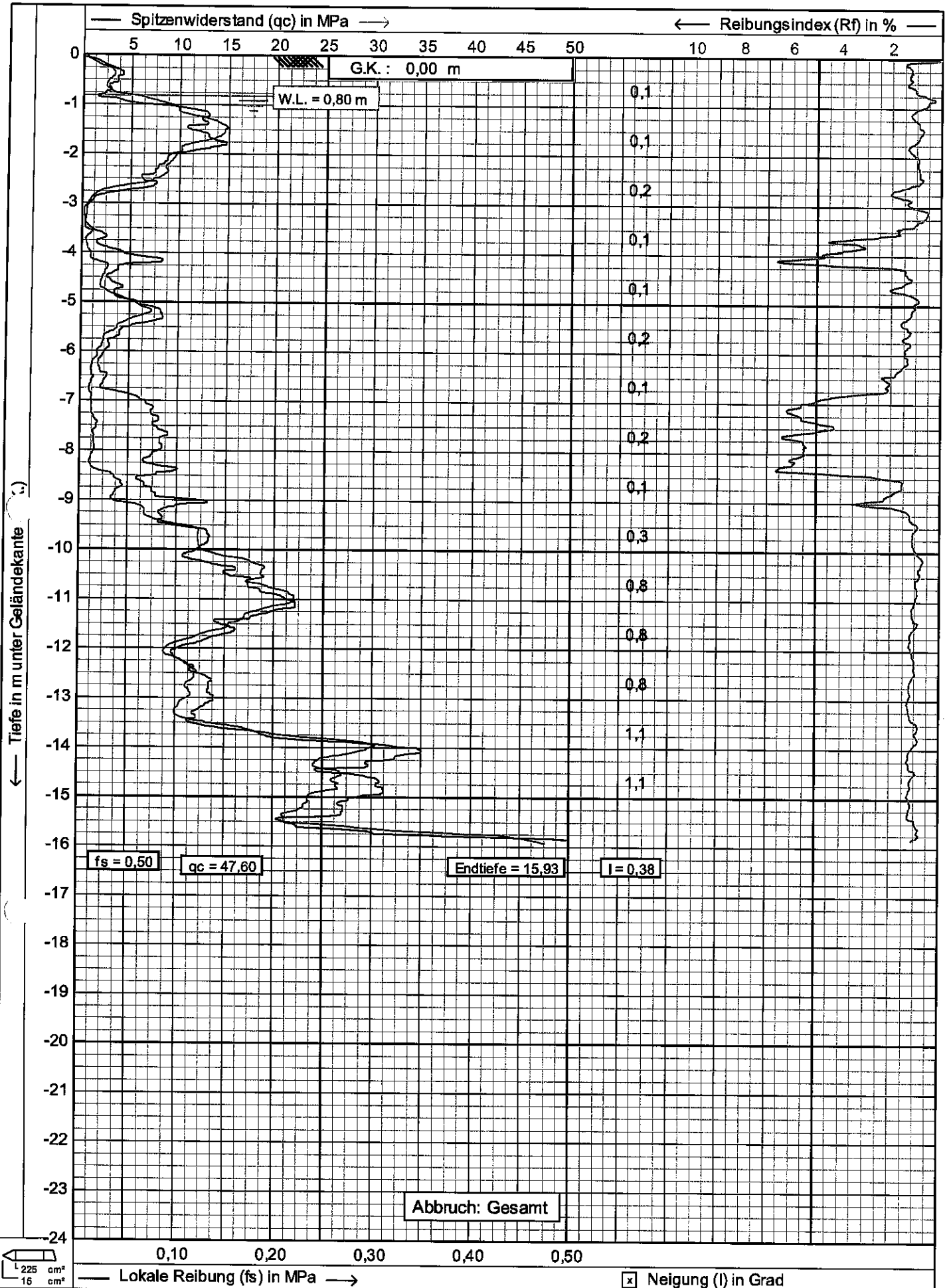
CPT Nr. : **CPT 3**

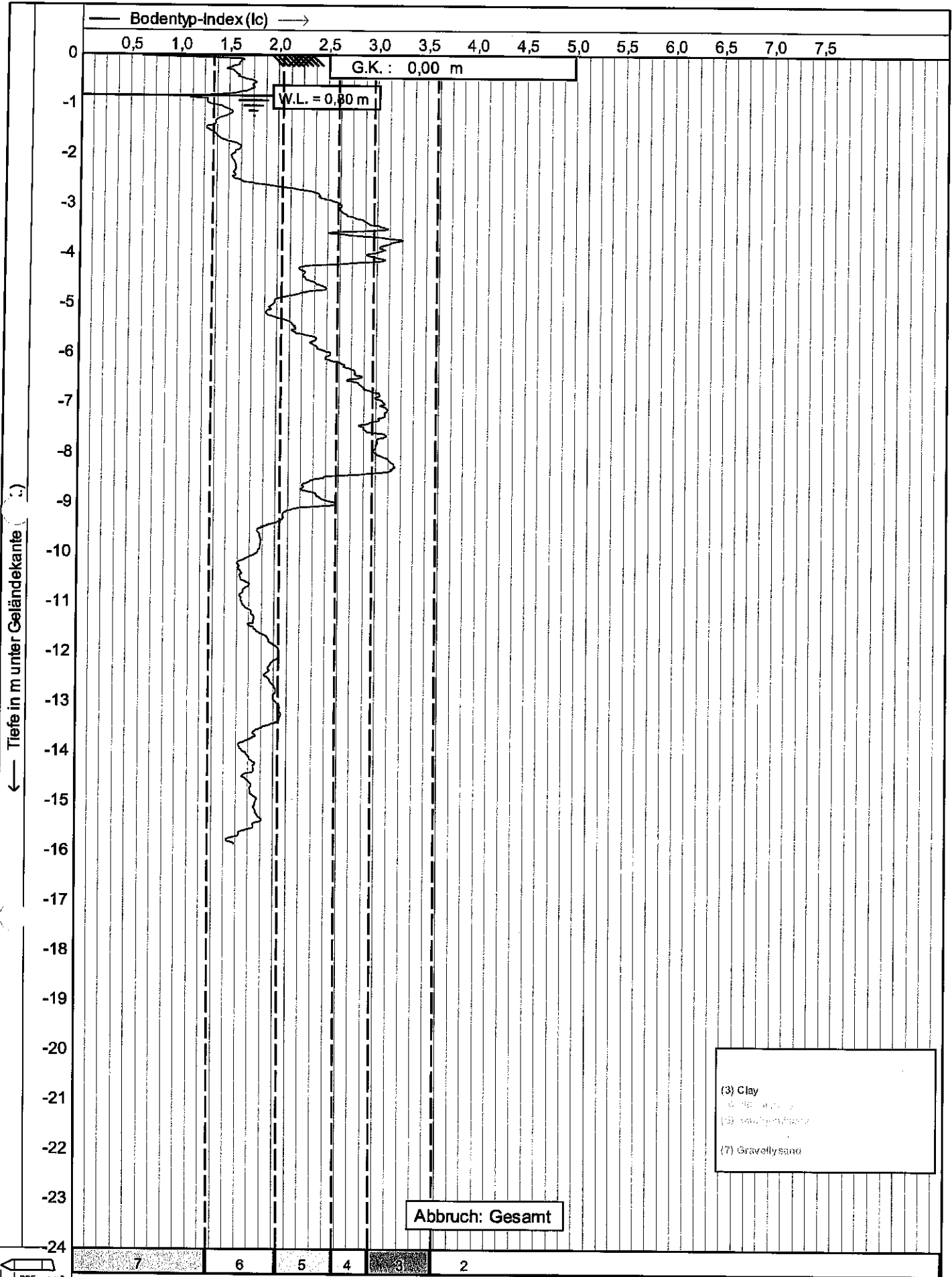
3/5





225 cm²  
15 cm²





— Undrainierte Scherfestigkeit (Su) in kPa —>

0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500

G.K. : 0,00 m

W.L. = 0,80 m

← Tiefe in m unter Gelände (m)

-1  
-2  
-3  
-4  
-5  
-6  
-7  
-8  
-9  
-10  
-11  
-12  
-13  
-14  
-15  
-16  
-17  
-18  
-19  
-20  
-21  
-22  
-23  
-24

Abbruch: Gesamt

225 cm²  
15 cm²

**geo**  
**technik**  
heiligenstadt gmbh  
Beratende Ingenieure VBI

Drucksondierungen nach DIN EN ISO 22476-1(10/2013)

Projekt : **Vechta-Krimpenfort**

Ort : **Vechta**

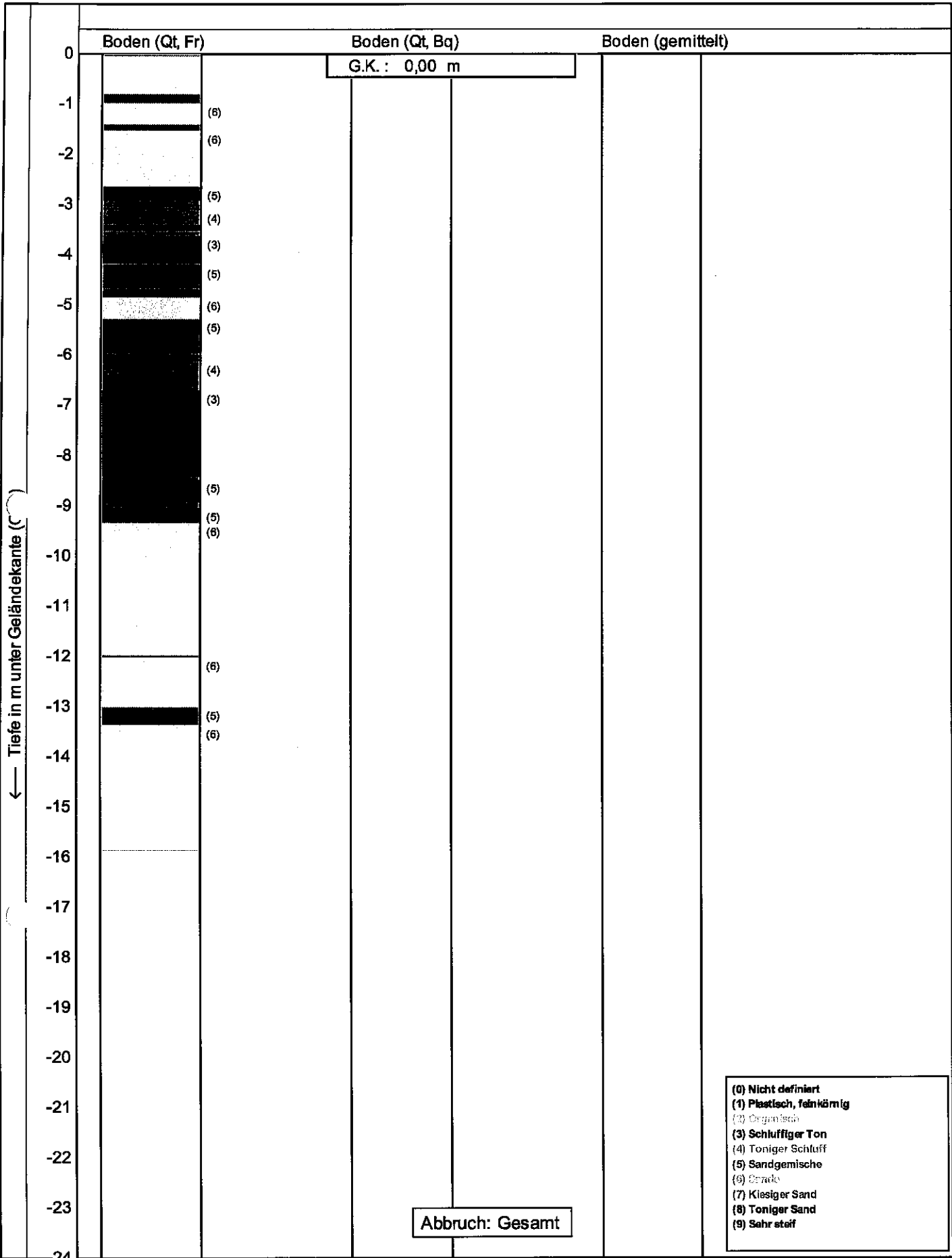
Datum : **14.01.2019**

Konus Nr. : **S15CFILS14615**

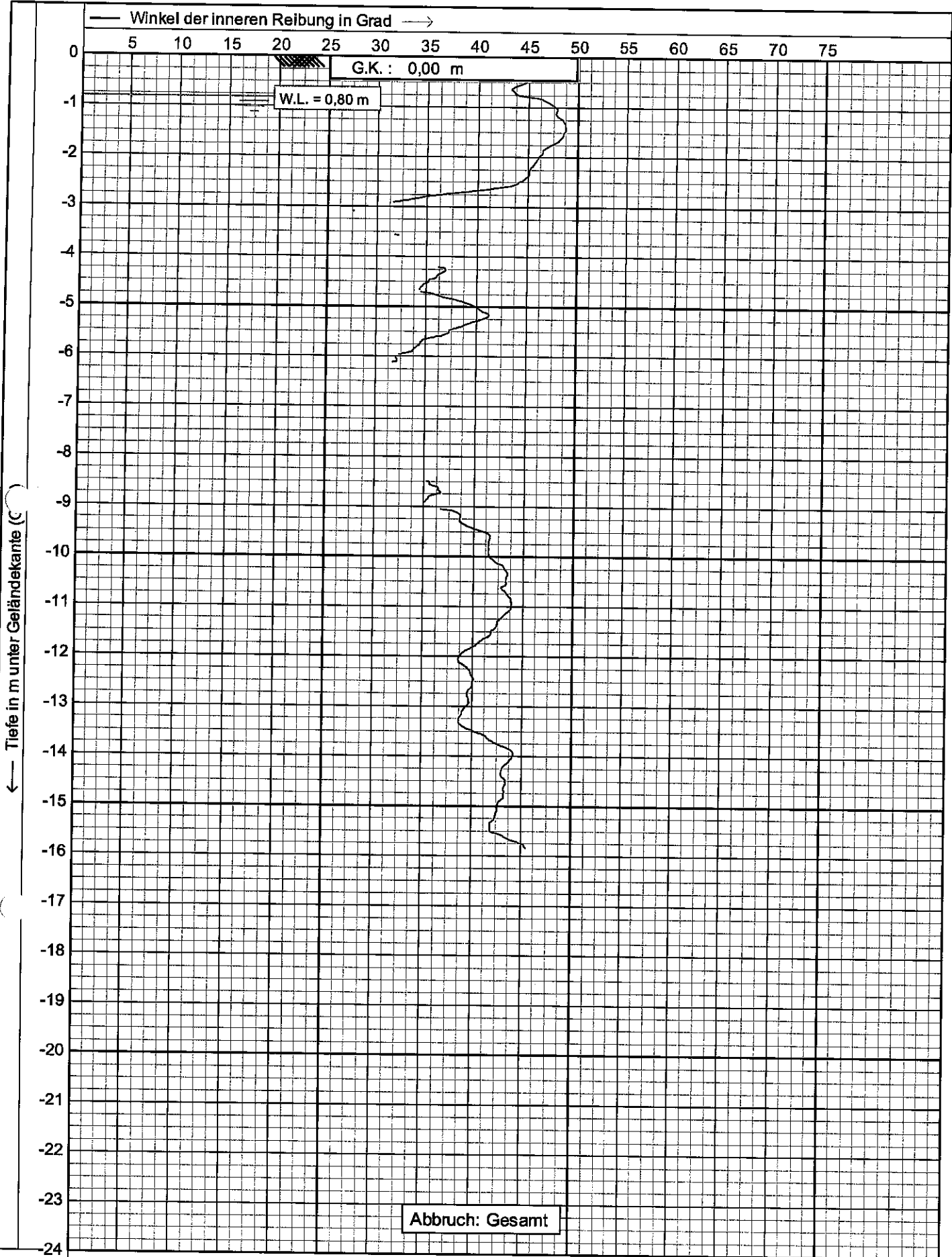
Projekt Nr. : **20190110-10002**

CPT Nr. : **CPT 4**

3/5



- (0) Nicht definiert  
 (1) Plastisch, feinkörnig  
 (2) Organisch  
 (3) Schluffiger Ton  
 (4) Toniger Schluff  
 (5) Sandgemische  
 (6) Sande  
 (7) Kiesiger Sand  
 (8) Toniger Sand  
 (9) Sehr steif



225 am²  
15 am²

## Anlage 6

### Beschreibung des Verfahrens – Aktive MASW und refraktionsseismische Messungen

Die aktive „Multichannel analysis of surface waves“ (kurz MASW; dt: Mehrkanal-Analyse von Oberflächenwellen) ist ein geophysikalisches Verfahren, mit dem die Scherwellengeschwindigkeit seismischer Wellen in verschiedenen Tiefen und geologischen Schichten ermittelt werden können. Mithilfe der Scherwellengeschwindigkeit können die elastischen Parameter des Untergrundes direkt bestimmt werden.

In der aktiven MASW werden die Nutzsignale durch Quellen, wie zum Beispiel einem Hammerschlag erzeugt. Die passive MASW bedient sich lediglich der Analyse seismischen Rauschens welches durch äußere Umgebungsgegebenheiten (z.B. Verkehrsstraßen) erzeugt werden.

Die Refraktionsseismik ist ein geophysikalisches Verfahren, mit dem die Ausbreitungsgeschwindigkeiten seismischer Wellen in verschiedenen Tiefen und geologischen Schichten ermittelt werden können. Mithilfe dieser Geschwindigkeiten können die elastischen Parameter des Untergrundes direkt bestimmt werden.

## 1 Grundlagen der Elastizitätstheorie

In der Seismik wird mit Hilfe einer Quelle ein elastischer Impuls erzeugt, der den Untergrund zum Schwingen anregt. Als Quelle kann zum Beispiel ein Hammerschlag oder eine Sprengung genutzt werden. Viele Gesteine verformen sich unter Einfluss einer mechanischen Belastung elastisch. Eine mechanische Anregung wie ein Hammerschlag kann daher ein Wellenfeld erzeugen, das sich im Untergrund ausbreitet.

Seismische Methoden werden unter anderem zur Erkundung oberflächennaher Schichten eingesetzt. Dafür sind zwei verschiedene Wellentypen von besonderer Bedeutung:

- Raumwellen
- Oberflächenwellen

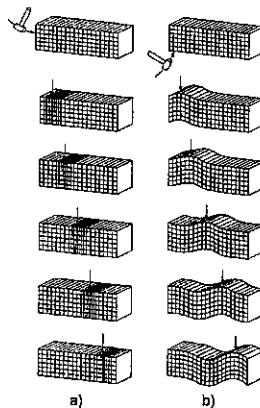
Je nach verwendeter Methodik und Fragestellung werden diese Wellentypen verschieden analysiert.

### Raumwellen:

In Festkörpern gibt es zwei verschiedene Arten elastischer Raumwellen:

- P-Wellen
- S-Wellen

Bei P-Wellen, die auch Kompressionswellen oder Longitudinalwellen genannt werden, bewegen sich die Teilchen in der Ausbreitungsrichtung der Welle. Sie sind also longitudinal polarisiert (Abb. 1a). Bei S-Wellen, die auch als Scherwellen oder Transversalwellen bezeichnet werden, ist die Teilchenbewegung dagegen senkrecht zur Wellenausbreitungsrichtung. Sie sind dementsprechend transversal polarisiert (Abb. 1b). Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Kompressionswelle ist stets höher als die der Scherwelle. Deshalb erreicht die Kompressionswelle jeden Empfänger (Geophon) an jeder beliebigen Position vor der Scherwelle. Aus diesem zeitlich versetzten Eintreffen stammen die Bezeichnungen *P-Welle* (Primärwelle) für die zuerst eintreffende Kompressionswelle und *S-Welle* (Sekundärwelle) für die danach ankommende Scherwelle.



**Abb. 1:** Ausbreitung von Raumwellen in elastischem Material:  
a) Kompressionswelle, b) Scherwelle

(Quelle: Berckhemer, H. (1997): Grundlagen der Geophysik. Wissenschaftliche Buchgesellschaft)

Für isotrope Festkörper ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit elastischer Raumwellen abhängig von der Dichte und dem Elastizitätsmodul des jeweiligen Materials. Wichtige Elastizitätsparameter sind das sogenannte Schermodul  $\mu$ , das die elastische Verformung aufgrund einer Scherkraft beschreibt, und das Kompressionsmodul  $K$ , das beschreibt, wie sich das Volumen eines Körpers unter Einfluss von Druck verändert. Die beiden Module werden wie folgt definiert:

$$\mu = \frac{\text{Scherspannung } \tau}{\text{Scherdeformation } \tan \theta}$$

$$K = \frac{\text{Volumenspannung } P}{\text{relative Volumenänderung } \Delta V / V}$$

Die Scherspannung  $\tau$  beschreibt hierbei die Spannung, die das Material durch das Einwirken äußerer Kräfte erfährt. Der Winkel  $\theta$  beschreibt den Grad der Scherung des Materials unter Einfluss der Scherspannung.

Die Volumenspannung  $P$  beschreibt den Druck, der auf den Festkörper ausgeübt wird. Der Körper reagiert elastisch auf diesen Druck. Es findet eine relative Volumenänderung  $\Delta V / V$  statt, die auch Volumendeformation genannt wird.

Die Beziehungen zwischen der Dichte  $\rho$ , der Ausbreitungsgeschwindigkeit der P-Welle  $v_p$  und der Ausbreitungsgeschwindigkeit der S-Welle  $v_s$  lauten wie folgt:

$$v_p = \left[ \frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho} \right]^{1/2}$$

und

$$v_s = \left[ \frac{\mu}{\rho} \right]^{1/2}.$$

Wenn die seismischen Geschwindigkeiten des Untergrundes bei geophysikalischen Messungen bestimmt werden, können daraus sämtliche dynamischen Module für verschiedene geologische Schichten und Tiefen des Untergrundes bestimmt werden. Eine notwendige Bedingung dafür ist jedoch die Zunahme der seismischen Geschwindigkeiten mit zunehmender Schichttiefe. Weist eine Schicht eine geringere Geschwindigkeit auf als die darüber liegende Schicht, so ist die dazwischen liegende Schichtgrenze bei der Interpretation nicht sichtbar. Allerdings steigt mit zunehmender Tiefe der hydrostatische Druck im Untergrund und die damit verbundene zunehmende Kompaktion und Dichte in größeren Tiefen garantiert in den meisten Fällen ansteigende seismische Geschwindigkeiten.

Ein weiterer relevanter Parameter in der Seismik ist das folgende Verhältnis:

$$\frac{v_p}{v_s} = \left[ \frac{2(1-\sigma)}{1-2\sigma} \right]^{1/2}.$$

Daraus kann die Poissonzahl  $\sigma$  abgeleitet werden, welche das Verhältnis zwischen lateraler und longitudinaler Deformation bei Einwirken einer äußeren Kraft beschreibt:

$$\sigma = \frac{2 - \left( \frac{v_p}{v_s} \right)^2}{2 \left( 1 - \left( \frac{v_p}{v_s} \right)^2 \right)}$$

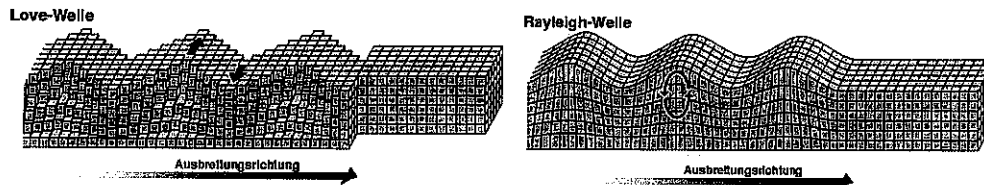
Die Poissonzahl wird auch Querkontraktionszahl genannt. Sie kann lediglich Werte zwischen 0 und 0,5 annehmen.

## Oberflächenwellen:

Es wird im Allgemeinen unter den folgenden Oberflächenwellentypen unterschieden:

- Rayleigh-Wellen
- Love-Wellen
- Scholte-Wellen

Diese breiten sich lediglich an Diskontinuitäten aus und werden exponentiell mit der Tiefe gedämpft. Da sich die Oberflächenwellen im Gegensatz zu Raumwellen lediglich in 2 Dimensionen ausbreiten, ist der Energieverlust durch geometrische Divergenz proportional zu  $1/r$  und nicht wie bei Raumwellen zu  $1/r^2$ . Die Energie, sowie die Amplituden von Oberflächen sind deshalb deutlich höher als von Raumwellen.



**Abb. 2:** Ausbreitung von Oberflächenwellen in elastischem Material:  
a) Love-Welle, b) Rayleigh-Welle

(Quelle: <http://www.erdbebendienst.de/erdbebenkunde/seismische-wellen/>)

Rayleigh-Wellen sind elliptisch polarisiert wobei die Hauptachse der Ellipse senkrecht zur Oberfläche steht. Die Wellen führen dabei eine Art „rollende“ Bewegung wie auch Wasserwellen durch. Rayleigh-Wellen sind aufgrund ihrer Polarisierung und der großen Energie (große Amplituden) für den Großteil der Schäden bei Erdbeben verantwortlich.

Love-Wellen sind senkrecht zur Ausbreitungsrichtung in horizontaler Richtung polarisiert und werden daher auch SH Wellen genannt. Love-Wellen werden durch gängige Energiequellen in der Ingenieur-geologie nur sehr schwach erzeugt und besitzen deshalb keine Bedeutung.

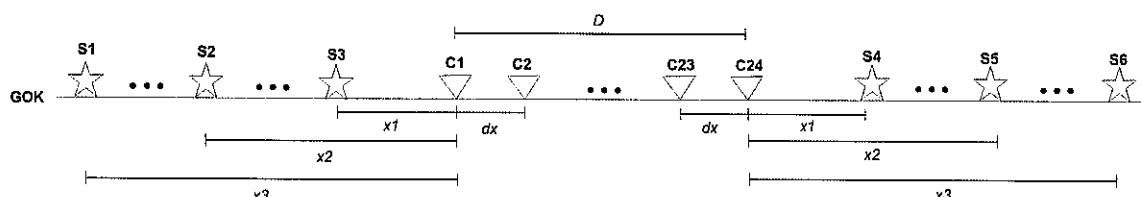
Scholle-Wellen sind wie auch Rayleigh-Wellen elliptisch polarisiert, bilden sich jedoch ausschließlich an Grenzflächen von flüssig zu fest aus.

Alle oben genannten Oberflächenwellenarten verhalten sich dispersiv. D.h. die Ausbreitungsgeschwindigkeiten der seismischen Wellen sind abhängig von der Frequenz. Es werden dabei zwei Geschwindigkeiten unterschieden. Die Phasengeschwindigkeit  $v_p$  ist die Geschwindigkeit, mit der sich eine Phase einer bestimmten Frequenz ausbreitet. Hingegen ist die Gruppengeschwindigkeit  $v_g$  diejenige Geschwindigkeit, mit der sich ein Energieimpuls fortbewegt. Normale Dispersion liegt vor wenn die Phasengeschwindigkeit mit der Frequenz zunimmt. Ein Wellenzug ist anormal dispersiv, wenn die Phasengeschwindigkeit mit der ansteigenden Frequenz zunimmt.

## 2.1 MASW: Durchführung der Messung

Geophysikalische Messungen sollen Erkenntnisse über die physikalischen Eigenschaften der verschiedenen geologischen Schichten im Untergrund liefern. MASW Messungen können die Scherwellengeschwindigkeiten im Untergrund in den einzelnen Schichten liefern.

Der Messaufbau einer MASW Messkampagne ist in Abbildung 3 dargestellt. Die Sterne mit den Kürzeln S bezeichnen dabei seismische Schüsse, welche die Quelle des seismischen Impulses darstellen. Die Dreiecke mit den Bezeichnungen C stellen die Vertikalgeophone bzw. Kanäle dar. Die Größe  $\Delta x$  bezeichnet den Einzelgeophonabstand, welcher über die gesamte Auslagelänge D konstant ist. Bei einem Einzelgeophonabstand von 2 m und 24 Kanälen ergibt sich D zu 46 m. Das Quellenoffset x beträgt je nach Fragestellung (z.B. geforderter Eindringtiefe und Auflösung) zwischen 20% und 80% von D.



**Abb. 3:** Messaufbau 1D-MASW Messkampagne

Zur Anregung der seismischen Wellen wird ein Hammer mit einer Masse zwischen 7 kg und 12 kg verwendet. Die seismischen Wellen werden durch vertikales Schlagen des Hammers auf eine Schlagplatte (engl. shotplate) erzeugt.

Die jeweiligen Signale werden mit Vertikalgeophonen registriert und über einen A/D Wandler an den Seismograph gegeben. Die Aufnahmelänge sollte mind. 1,5 s bei einer Samplingrate von mind. 2000 Hz betragen, um langwellige Signale aufzeichnen zu können. Es sollten stets 4,5 Hz Vertikalgeophone verwendet werden. Eine Qualitätskontrolle der Daten wird direkt vor Ort durchgeführt und je nach Signal/Rausch Verhältnis mehrere Schüsse gestapelt. Dabei wurde die Messapparatur „Terraloc“ von ABEM Instrument AB, Schweden, zur Datenaquisition und die Software „parkseis“ zum Prozessing und zur Auswertung der Daten genutzt.

## 2.2 Refraktionsseismik - Durchführung der Messung

Geophysikalische Messungen sollen Erkenntnisse über die physikalischen Eigenschaften der verschiedenen geologischen Schichten im Untergrund liefern. Refraktionsseismische Messungen können die Ausbreitungsgeschwindigkeiten der Raumwellen im Untergrund in den einzelnen Schichten liefern. Stellt man sich einen (horizontal) geschichteten Untergrund vor, werden die Kompressions- und Scherwellen an den geologischen Schichtgrenzen refraktiert. Abbildung 4 illustriert dieses Prinzip anhand eines einfachen Beispiels.

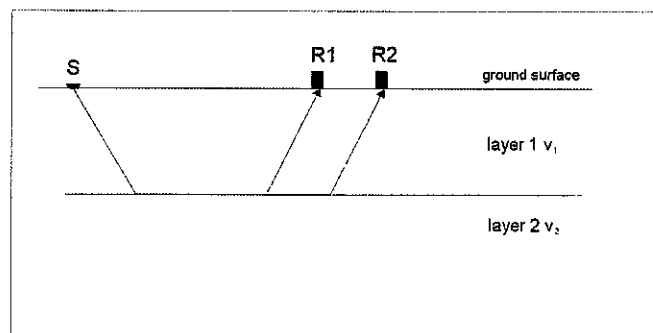


Abb. 4: Messprinzip der Refraktionsseismik

In der Abbildung markiert S die Position der seismischen Quelle, also den Ort, an dem der Hammer Schlag stattfindet. R1 und R2 stellen zwei Empfänger (Geophone) dar, die die seismischen Signale aufzeichnen. Wie bereits erklärt, gilt als Voraussetzung für eine erfolgreiche Auswertung, dass  $v_2$  größer als  $v_1$  ist.

Eine Refraktion der seismischen Wellen findet allerdings nur bis zu einem bestimmten kritischen Einfallswinkel statt. Für größere Einfallswinkel wird die seismische Energie an der Schichtgrenze zurück an die Oberfläche reflektiert. Dies ist vergleichbar mit der Totalreflektion in der Optik. Wird genau der kritische Einfallswinkel erreicht, wird die Welle in die Schichtgrenze „hineingebrochen“ und läuft in der Grenzfläche mit der Geschwindigkeit  $v_2$  weiter. Nach dem Huygensschen Prinzip wird eine sekundäre Welle erzeugt, die als Kopfwelle (auch Mintrop-Welle genannt) an die Erdoberfläche zurück gelangt und dort an den Empfängern registriert werden kann. Da  $v_2$  größer als  $v_1$  ist, und sich die Kopfwelle deshalb schneller ausbreitet als die direkte Welle, welche mit der Geschwindigkeit  $v_1$  auf direktem Weg von Quelle zu Empfänger läuft, überholt die Kopfwelle ab einer gewissen Entfernung die direkte Welle und trifft früher an den Empfängern ein. Dieser Effekt kann in den Laufzeitkurven beobachtet werden.

Die Aufzeichnungen der Geophone werden in einem Laufzeit-Diagramm dargestellt. Bei der Auswertung der Messung werden jeweils die Ersteinsätze der seismischen Wellen an jedem Geophon markiert. Verbindet man die Ersteinsätze der direkten Welle, entsteht im Einschichtfall eine Gerade, deren Anstieg genau  $1/v_1$  beträgt.

Im Zweischichtfall kann bei größeren Entfernungen zwischen Quelle und Empfänger eine zweite Gerade an die Ersteinsätze der Kopfwelle angenähert werden, deren Anstieg  $1/v_2$  beträgt.

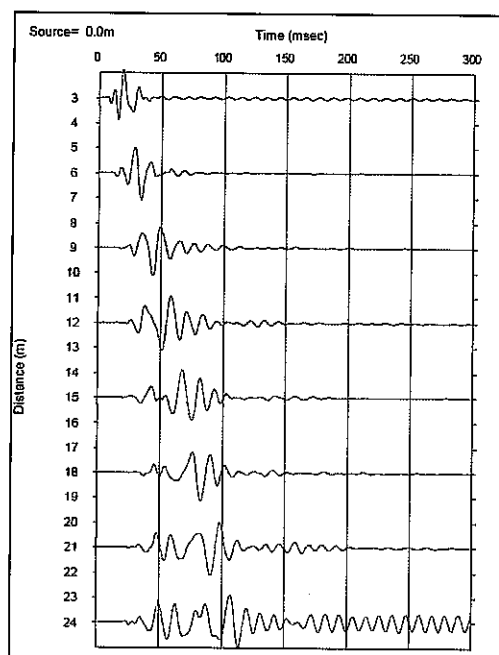
Die Schichtgeschwindigkeiten können so leicht berechnet werden. Daraus können wie bereits beschrieben die elastischen Parameter wie Poissonzahl, Scher- und Kompressionsmodul bestimmt werden. Die Tiefe der Schichtgrenze  $z$  kann zusammen mit dem Schnittpunkt der Geraden wie folgt bestimmt werden:

$$x_{\text{cross}} = 2z \left[ \frac{v_2 + v_1}{v_2 - v_1} \right]^{1/2}.$$

$x_{\text{cross}}$  steht hierbei für die Entfernung, in der sich die beiden Geraden auf der Laufzeitkurve schneiden. Alternativ kann der Achsenabschnitt  $t_i$  auf der Zeitachse des Laufzeitdiagramms abgelesen werden, der zur angenäherten Geraden an der Kopfwelle gehört. Mithilfe der folgenden Formel kann dann ebenfalls die Schichttiefe  $z$  berechnet werden:

$$z = \frac{t_i v_1 v_2}{2(v_2^2 - v_1^2)^{1/2}}.$$

Abbildung 5 zeigt ein Beispiel für eine refraktionsseismische Messung, bei der an 8 Geophonen in verschiedenen Abständen zwischen 3 und 24 m zur Quelle die eintreffenden Kompressionswellen aufgezeichnet wurden. An jedem Empfänger wird ein Seismogramm aufgezeichnet, alle Seismogramme zusammen nennt man Seismogrammsektion.



**Abb. 5:** Seismogrammsektion einer refraktionsseismischen Messung (P-Welle)

Bei jedem Profil wird die Quelle zunächst an einem Ende positioniert (Hinschuss) und danach am anderen Ende (Rückschuss). Sind die Laufzeitkurven des Hin- und Rückschusses unsymmetrisch, weist dies auf einen geneigten Reflektor hin.

Bei realen Messungen werden meist mehrere Hammerschläge an jedem Profilende durchgeführt und hinterher übereinander gestapelt, um das mitregistrierte Hintergrundrauschen zu unterdrücken und so mit das Nutzsignal zu verbessern.

Durch weitere Schusspunkte kann die Informationsdichte gesteigert werden und letztlich über tomographische Inversion ein zwei-dimensionales Geschwindigkeitsmodell erstellt werden.

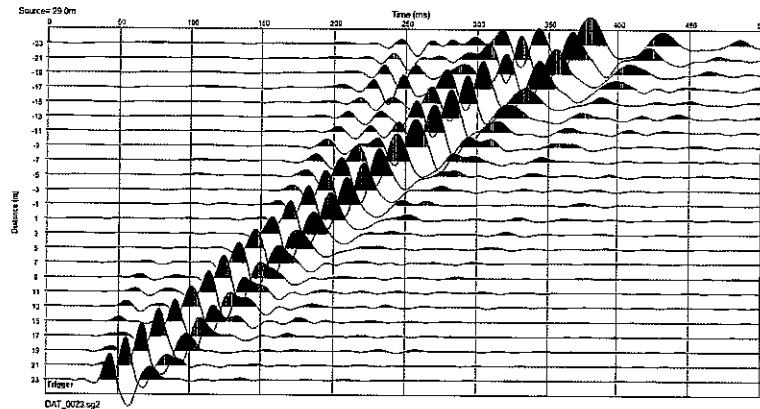
### 3 Einfluss auf die Qualität der Messungen

Die Qualität der gemessenen Daten hängt sehr von den Umgebungsverhältnissen im Messgebiet ab. Starke Erschütterungen wie naher Straßenverkehr, insbesondere von schweren Fahrzeugen wie Traktoren oder Baustellenfahrzeugen, sowie stark befahrenen Straßen wie Autobahnen, können die Daten maßgeblich verändern. Ist das Hintergrundrauschen stärker als die eigentlichen Signale, müssen Teile der Daten oder auch ganze Messungen verworfen werden.

#### 4 MASW – Auswertung der Daten

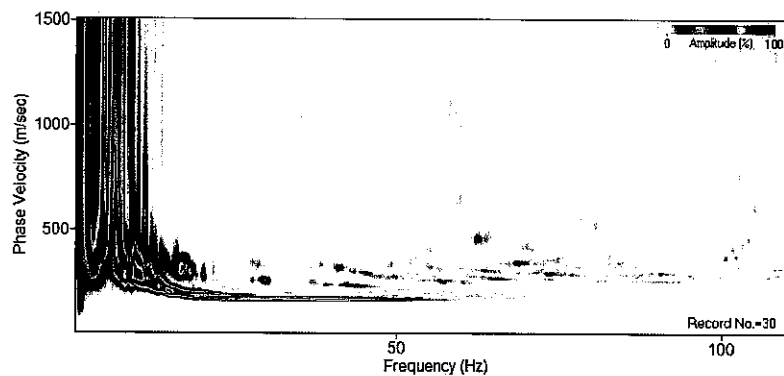
Die seismischen Datensätze werden zuerst in das Format \*.seg2 konvertiert und dann am PC dargestellt. Zuerst werden fehlerhafte Kanäle entfernt, welche sehr große Signal-Rausch Verhältnis aufweisen, und somit keine weitere Nutzung ermöglichen.

Bei schlechtem Signal-Rausch Verhältnis werden gegebenenfalls mehrere Schüsse durchgeführt und die Signale gestapelt. Abbildung 6 zeigt beispielhaft ein Seismogramm. Die Rayleigh-Wellen sind im Seismogramm an den großen Amplituden erkennbar. Außerdem ist eine Aufweitung des Wellenpaketes bei größeren Abständen festzustellen, was durch die dispersive Eigenschaft der Rayleigh-Welle zu erklären ist.



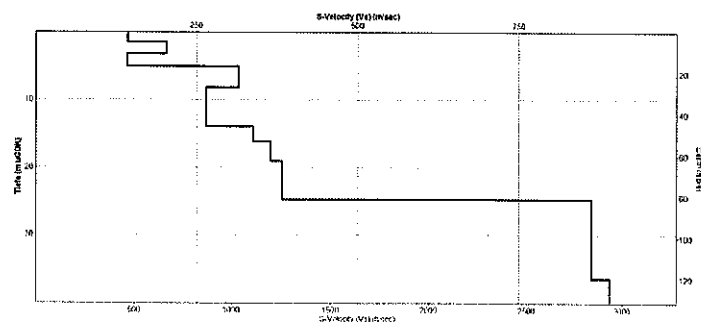
**Abb. 6: Seismogramm einer MASW-Messung**

Als nächster Schritt folgt eine Dispersionsanalyse, wodurch die Phasengeschwindigkeit abhängig von der Frequenz dargestellt wird (siehe Abbildung 7). Die Dispersionskurve wird aus der Darstellung gepickt und invertiert.



**Abb. 7: Dispersionskurve einer MASW-Messung**

Das Resultat der Inversionsrechnung ist ein eindimensionales Scherwellengeschwindigkeits-Tiefen Modell (siehe Abbildung 8) am Mittelpunkt der Geophonauslage.

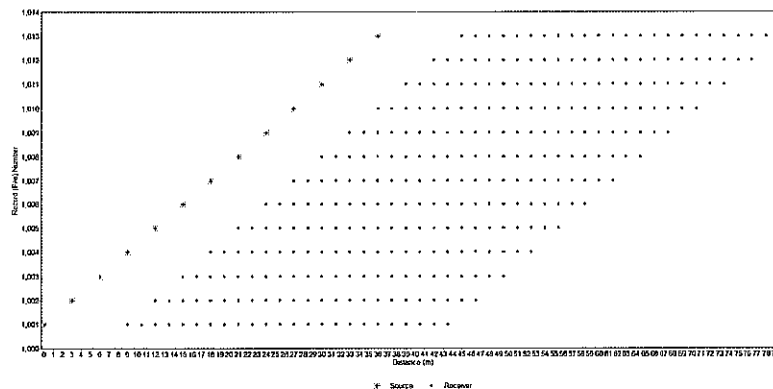


**Abb. 8: 1D Schichtmodell einer MASW-Messung**

Je nach Fragestellung kann dieses Modell interpretiert oder weiter prozessiert werden. Zum Beispiel zur Berechnung der dominierenden Scherwellengeschwindigkeit  $V_{s3-20}$  oder zur Bestimmung dynamischer Bodenkennwerte.

## 5. MASW – Erzeugung von 2D $v_s$ -Modellen

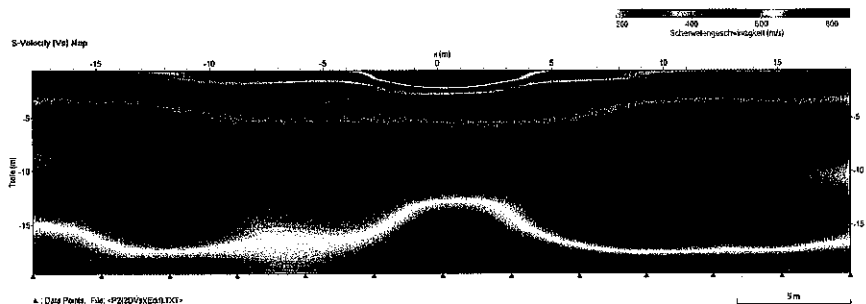
Des Weiteren können zweidimensionale Modell durch Inversion mehrerer Dispersionskurven auf einem Profil erzeugt werden. Bei der Durchführung der Messung wird der gesamte Messaufbau mehrfach um ein Inkrement  $d$  verschoben. Der Messaufbau ist in unten stehender Abbildung 9 schematisch dargestellt.



**Abb. 9: Messaufbau 2D-MASW Messkampagne**

Die Schusspunkte sind durch einen Stern gekennzeichnet und befinden sich bei allen Einzelmessungen (hier 1001 bis 1013) im gleichen Abstand zum ersten Kanal. In oben stehender Graphik beträgt dieser Abstand 9 m. Die Geophone werden äquidistant gesteckt, wobei der Geophonabstand  $\Delta x$  im obigen Beispiel 1.5 m beträgt. Der gesamte Aufbau wird nun sukzessive um ein Inkrement  $\Delta d$  (hier 3 m) in Richtung des ersten Geophons verschoben. Die Messpunkte der Einzelmessungen liegen in der Mitte der Geophonauslage.

Durch die gemeinsame Inversion der Dispersionskurven jeder Einzelmessung entsteht letztendlich ein zweidimensionales  $v_s$ -Geschwindigkeitsmodell (Abb. 10).



**Abb. 10: 2-D  $v_s$ -Modell einer MASW-Messung**

## 6. Datenpost-Processing – Auswertung der Daten

Die seismischen Datensätze werden zuerst in das Format \*.seg2 konvertiert und dann am PC dargestellt. Zuerst werden fehlerhafte Kanäle entfernt, welche sehr große Signal-Rausch Verhältnis aufweisen, und somit keine weitere Nutzung ermöglichen. Danach werden die Ersteinsätze der jeweiligen seismischen Welle (Kompressions- oder Scherwelle) automatisch gepickt und manuell angeglichen.

Aus diesen Daten wird nun für jeden Schuss eine Laufzeitkurve erstellt. Aus den Laufzeitkurven der seismischen Wellen wird über die +/- Methode und eine anschließende tomographische Inversion ein zwei-dimensionales Geschwindigkeitsmodell des Untergrundes geschaffen. Mittels Raytracing kann die Abweichung zwischen den gemessenen Laufzeiten zu den Laufzeiten des Modells bestimmt werden. Dadurch ist eine Qualitätskontrolle des Geschwindigkeitsmodells des Untergrundes möglich.