

- BAUGRUNDUNTERSUCHUNGEN
- BAUGRUNDGUTACHTEN
- GRÜNDUNGSBERATUNG
- ALTLASTERKUNDUNGEN
- KONTAMINATIONS-GUTACHTEN
- GRUNDBAUSTATIK
- BAULEITUNG · PLANUNG

## GEOTECHNISCHER ENTWURFSBERICHT

**108-23EnBW10**

Bauvorhaben:	Windpark Müncheberg - Mittelheide EnBW 10
Auftraggeber:	Naturwind Potsdam GmbH Hegelallee 41 14467 Potsdam
Bearbeiter:	M.Sc. B. Tamme Prof. Dr.-Ing. H. Kleen
Umfang:	11 Seiten 6 Anlagen
Datum:	17.11.2023

## **1. VERANLASSUNG**

Unser Büro wurde am 31.07.2023 durch die Naturwind Potsdam GmbH schriftlich beauftragt, für die im Windpark Müncheberg - Mittelheide geplante Windkraftanlage EnBW 10, einen Geotechnischen Entwurfsbericht, einschließlich der notwendigen Feld- und Laboruntersuchungen, anzufertigen.

## **2. UNTERLAGEN**

Für die Bearbeitung standen die nachfolgend aufgeführten Unterlagen zur Verfügung:

- U 2.1 Geologische Karte, M.: 1 : 25.000, über [www.geo.brandenburg.de/gk25/](http://www.geo.brandenburg.de/gk25/), Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg
- U 2.2 Unser Geotechnischer Entwurfsbericht zum Bauvorhaben „Windpark Müncheberg-Mittelheide WEA5, vom 27.11.2020 nebst Unterlagen
- U 2.3 Prüfbericht für eine Typenprüfung, Vestas V162-5.4/5.6/6.0/6.2 MW mit 169 m Nabenhöhe, D = 24,5 m, Kreisringfundament mit Auftrieb, Prüfnr.: 3108363-23-d Rev.4, der TÜV SÜD Industrie Service GmbH aus München, vom 25.02.2022
- U 2.4 Lageplan zum Projekt Müncheberg-Mittelheide, der naturwind potsdam GmbH, M.: 1 : 12.000, vom 28.07.2023
- U 2.5 Geländeordinaten der Windkraftanlagenmittelpunkte, übersandt am 01.11.2023 durch das zuständige Vermessungsbüro Horst Möhring aus Frankfurt Oder
- U 2.6 Ergebnisse der Drucksondierungen der Firma Fugro Germany Land GmbH aus Berlin, übersandt am 31.10.2023
- U 2.7 Ergebnisse bodenmechanischer Laboruntersuchungen der Fachhochschule Potsdam, Fachgebiet Grundbau und Bodenmechanik, vom 27.10.2023 (L63/23)
- U 2.8 Prüfbericht zur Betonaggressivität des Bodens, WP Müncheberg - Mittelheide / MP10 (EnBW 10), der Agrolab Agrar und Umwelt GmbH aus Kiel, Analysennummer: 211983 vom 23.10.2023

### **3. BAUGRUNDSTÜCK UND BAUWERK**

Der Standort für den Neubau einer Windkraftanlage befindet sich zwischen dem Maxsee und Schönfelde, südlich des Müncheberger Ortsteils Hoppegarten, innerhalb des geplanten Windparks Müncheberg - Mittelheide.

Hier soll, auf der forstwirtschaftlich genutzten Fläche, die Windkraftanlage EnBW 10 vom Typ V162-6.2 MW mit Hybridturm und einer Nabenhöhe von 169 m auf einem Kreisringfundament, mit einem Außendurchmesser von  $D = 24,5$  m, auf einer 0,1 m starken Sauberkeitsschicht in einer Tiefe von ca. 0,24 m unter Gelände, flach gegründet werden.

Die Geländehöhe am Standort der Windkraftanlage EnBW 10 liegt auf einer Ordinate von ca. 57,4 m über NHN.

Die Lage der geplanten Windkraftanlage geht aus der Anlage 1 und der Anlage 2 hervor.

### **4. BAUGRUND**

#### **4.1 Vorkenntnisse**

Der Windpark Müncheberg - Mittelheide befindet sich im Bereich einer im Pleistozän gebildeten Hochfläche.

Hier ist mit Schmelzwasserablagerungen in Form von feinkörnigen, schwach mittelkörnigen Sanden, die zum Teil schwach schluffige Beimengungen beinhalten, zu rechnen (s. Unterlage U 2.1).

Gemäß der Unterlage U 2.2 stehen am Standort der geplanten Windkraftanlage EnBW 10, unterhalb einer ca. 0,3 m starken, sandigen, schwach humosen Oberbodenschicht, Fein-, Mittel- und Grobsande an, die in Tiefen zwischen ca. 10,5 m und 16,5 m von Geschiebemergel durchzogen und ab ca. 20,0 m unter Gelände unterlagert werden.

Die Sande sind bis in eine Tiefe von ca. 7,5 m unter Gelände sehr locker, locker und mitteldicht, darunter mindestens mitteldicht gelagert; der Geschiebemergel besitzt eine halbfeste Zustandsform.

#### **4.2 Baugrunduntersuchungen**

Zur Erkundung der Baugrundverhältnisse wurde im Bereich der geplanten Windkraftanlage EnBW 10 eine Kleinbohrung (S10) bis zu einer Endteufe von 15,0 m unter Gelände abgeteuft.

Zur Feststellung der Lagerungsdichte bzw. der Festigkeit des anstehenden Baugrundes wurden zudem drei Drucksondierungen als CPT-E (DS10-1 bis DS10-3) bis in Tiefen von 20,0 m und 25,0 m unter Gelände angeordnet.

Auf Grund zu hoher Baugrundfestigkeiten musste die Drucksondierung DS10-3 in einer Tiefe von ca. 18,5 m unter Gelände abgebrochen werden.

Die Einmessung und Kennzeichnung des Untersuchungsstandortes erfolgte durch das beauftragte Vermessungsbüro (vgl. Unterlage U 2.5).

Die Lage der genannten Aufschlüsse ist aus der Anlage 1 und der Anlage 2 ersichtlich.

### **4.3 Ergebnisse der Baugrundaufschlüsse**

Auf der Grundlage des, während der Feldarbeiten erstellten Schichtenverzeichnisses und einer durch uns vorgenommenen Bodenansprache, wurde das in der Anlage 3 dokumentierte Schichtenprofil angefertigt. Zudem sind innerhalb der Anlage 3 die Ergebnisse der Drucksondierungen dargestellt.

Im Einzelnen kann damit am Standort der geplanten Windkraftanlage EnBW 10 von folgendem Baugrundaufbau ausgegangen werden:

Unterhalb einer ca. 0,3 m starken, sandigen und humosen Oberbodenschicht (Mutterboden), stehen bis zur Aufschlussendteufe von 15,0 m unter Gelände Fein-, Mittel- und Grobsande an (S10).

Die Drucksondierungen DS10-1 bis DS10-3 bestätigen die erkundeten Baugrundverhältnisse im Wesentlichen und zeigen, dass die Sande bis in eine Tiefe von ca. 6,5 m unter Gelände locker und mitteldicht, darunter mindestens mitteldicht und dicht, lokal locker gelagert sind.

Darüber hinaus zeigen die Drucksondierungen, dass die Sande ab ca. 14,0 m unter Gelände bereichsweise (DS10-2) von Geschiebemergel durchzogen und unterlagert werden, dem auf Grund der ermittelten Spitzenwiderstände von  $q_c \geq 2 \text{ MN/m}^2$  dabei eine mindestens halbfeste Zustandsform zugewiesen werden kann.

Körnungslinien repräsentativer Böden sind in der Anlage 4 dargestellt.

## 5. HOMOGENBEREICHE / BODENKLASSIFIZIERUNG

Die im Bereich des Untersuchungsstandortes anstehenden Böden können gemäß VOB Teil C, Ausgabe 2012 und Ausgabe 2015, DIN 18196:2011-05 sowie ZTV E-StB 17 wie folgt eingestuft und klassifiziert werden:

### Oberboden

Bodengruppe:	OH
Lagerung:	locker
Frostempfindlichkeit:	gering bis mittel frostempfindlich (F2)

Der Oberboden entspricht nach VOB Teil C, Ausgabe 2012 (DIN 18300) der Bodenklasse 1 (Oberboden). Nach DIN 18915:2002-08 kann der Oberboden für vegetationstechnische Zwecke der Bodengruppe 2 zugeordnet werden.

### Homogenbereich A / Sande

Bodengruppe:	SE
Lagerung:	bis ca. 6,5 m: locker und mitteldicht ab ca. 6,5 m: mindestens mitteldicht, lokal locker
Verdichtungsfähigkeit:	gut bis mittel
Frostempfindlichkeit:	nicht frostempfindlich (F1)
Durchlässigkeit [m/s]:	$k_f = 1 \times 10^{-3}$ bis $1 \times 10^{-4}$

Die Sande entsprechen nach VOB, Teil C, Ausgabe 2012 (DIN 18300) der Bodenklasse 3 (leicht lösbare Bodenarten).

### Homogenbereich B / Geschiebemergel

Bodengruppe:	SU*, TL
Festigkeit:	halbfest
Verdichtungsfähigkeit:	SU*: mittel TL: mäßig
Frostempfindlichkeit:	sehr frostempfindlich (F3)
Durchlässigkeit [m/s]:	$k_f < 1 \times 10^{-7}$

Der Geschiebemergel entspricht nach VOB, Teil C, Ausgabe 2012 (DIN 18300) der Bodenklasse 4 (mittelschwer lösbare Bodenarten).

Innerhalb und unmittelbar oberhalb des Geschiebehorizontes ist mit Findlingen zu rechnen.

Werden weiterreichende Angaben zu Körnungsbändern, zur Dichte und zur Festigkeit anstehender Böden erforderlich, sind ggf. zusätzliche Labor- bzw. Feldversuche durchzuführen.

## 6. GRUNDWASSER

Während der Baugrunduntersuchungen im September 2023 wurde kein Grundwasser angeschnitten.

Da im Gründungsbereich kein Grundwasser ansteht, wurde hier ersatzweise eine Bodenprobe hinsichtlich Betonaggressivität untersucht.

Als Ergebnis konnte festgestellt werden, dass der anstehende Boden hier als nicht betonangreifend einzustufen ist, was gemäß DIN EN 206-1 zu der Expositionsklasse XAI führt.

Die Einzelergebnisse der Bodenanalytik können der Unterlage U 2.8, die innerhalb der Anlage 5 dargestellt ist, entnommen werden.

## 7. BODENKENNWERTE

Für erdstatische Berechnungen können, auf Grund der Ansprache der gelieferten Proben, der Bohr- und Sondierergebnisse und unserer Erfahrung die charakteristischen Bodenkennwerte der folgenden Tabelle 1 angesetzt werden.

Die Tiefenlagen der Bodenschichten sind dem Schichtenprofil, welches innerhalb der Anlage 3 dargestellt ist, zu entnehmen.

**Tabelle 1: charakteristische Bodenkennwerte**

Bodenart	Bodenkennwerte				
	Wichte	Reibungswinkel	Kohäsion	Querdehnzahl	Steifeziffer stat. / dyn.
	$\gamma_k / \gamma'_{k}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi'_{k}$ [°]	$c'_{k} / c_{u,k}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\nu$ [-]	$E_{s,k} / E_{sd,k}$ [MN/m <sup>2</sup> ]
Oberboden	17 / 9	30,0	-- / --	-- / --	-- / --
Sand locker (lo) mitteldicht (md) dicht (d)	18 / 10	30,0	-- / --	0,32	40 / 170
	18 / 11	32,5	-- / --	0,32	80 / 260
	19 / 11	35,0	-- / --	0,32	150 / 420
Geschiebeboden halbfest (sth)	21 / 12	30,0	60 / 100	0,35	40 / 170

## **8. ANGABEN ZUR GRÜNDUNG, ZUWEGUNG UND KRANSTELLFLÄCHE**

### **8.1 Gründung**

Der erkundete Baugrundaufbau und die ermittelten Baugrundfestigkeiten erlauben für die Windkraftanlagen EnBW 10 grundsätzlich die Ausführung einer Flachgründung mittels Kreisringfundament.

Zur Gewährleistung der Gebrauchstauglichkeit und Standsicherheit der Anlage werden dazu vorab jedoch Bodenverbesserungen erforderlich, die hier als so genannte Tiefenverdichtung mittels Rüttelstopfverdichtung (RSV) ausgeführt werden sollten.

In Folge der oberflächennah anstehenden bereichsweise locker gelagerten Sande, sind die Rüttelstopfsäulen dabei bis mindestens ca. 6,5 m unter Gelände zu führen.

Nachträglich ist der oberflächennah anstehende Boden bis 0,5 m unter Gründungssohle und damit bis ca. 0,9 m unter Gelände vollständig gegen ein lastverteilendes Gründungspolster zu ersetzen.

Das aus einem Recyclingmaterial der Bodengruppe GW bestehende Polster ist bis zur Gründungssohle bzw. bis zur Sauberkeitsschicht lagenweise verdichtet so einzubringen, dass eine durchgehend dichte Lagerung vorherrscht.

Die, für die Flachgründung mittels Kreisringfundament auf einer Bodenverbesserung erforderlichen grundbautechnischen Nachweise sind, entsprechend der gestellten Anforderungen, im Vorfeld durch die ausführende Firma, unter Zugrundelegung der in Tabelle 1 angegebenen Bodenkennwerte, zu führen.

Für die im Bereich der Rüttelstopfverdichtung anstehenden Böden ist dabei auch auf eine Verbesserung des inneren Reibungswinkels auf durchweg mindestens  $\varphi'_k = 32,5^\circ$  und der Steifeziffer auf mindestens  $E_{s,k} = 80 \text{ MN/m}^2$  zu achten.

Da bereichsweise mit mitteldicht gelagerten Sandschichten sowie Steinhindernissen zu rechnen ist, wird es hier ggf. erforderlich, die Rüttelstopfsäulen vorgebohrt herzustellen.

Der Erfolg der ausgeführten Bodenverbesserung ist nach Fertigstellung durch geeignete Versuche bzw. Probelastungen nachzuweisen.

Für die, unterhalb der Rüttelstopfverdichtung anstehenden Böden können dann die, innerhalb der folgenden Tabelle 2 aufgeführten statischen und dynamischen Drehfedersteifigkeiten angesetzt werden.

**Tabelle 2: EnBW 10 - statische und dynamische Drehfedersteifigkeiten**

Bodenart	Tiefe [m u. GOK]	$r_E$ [ m ]	$\nu$ [ - ]	$E_{S,stat}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$k_{\phi,stat}$ [MNm/rad]	$E_{S,dyn}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$k_{\phi,dyn}$ [MNm/rad]
Sand (md)	> 6,5	16,16	0,32	80	350.400	260	1.138.900
Sand (lo)	> 7,5	16,73	0,32	40	194.400	170	826.200
Sand (md)	> 8,5	17,36	0,32	80	434.400	260	1.411.900

$r_E$	Fundamentradius
$\nu$	Querdehnzahl
$E_{S,stat}$	Steifeziffer, statisch
$E_{S,dyn}$	Steifeziffer, dynamisch
$k_{\phi,stat}$	Drehfedersteifigkeit, statisch
$k_{\phi,dyn}$	Drehfedersteifigkeit, dynamisch

Bei Einhaltung der vor genannten Gründungsempfehlungen und bei sorgfältiger Ausführung der Baugrundverbesserungs- und Gründungsarbeiten werden die Anforderungen für die Windkraftanlage des Typs VESTAS V162-6.2 MW mit einer Nabenhöhe von 169 m, von jeder erkundeten Baugrundschrift erfüllt.

Die vorhandenen statischen und dynamischen Drehfedersteifigkeiten jeder erkundeten Schicht liegen über den geforderten Werten von  $k_{\phi,stat} \geq 40.000$  [MNm/rad] bzw.  $k_{\phi,dyn} \geq 200.000$  [MNm/rad].

Die angegebenen Sohlspannungen können vom Baugrund aufgenommen werden.

Die Absolutsetzung der Windkraftanlage wird maximal ca. 2,5 cm betragen.

In Folge der erfolgten Gründungsertüchtigungen werden damit keine relevanten, baugrundbedingten Setzungsunterschiede auftreten.

Die Standsicherheit der Windkraftanlage ist gegeben; die zum Nachweis geführten Berechnungen für die Bemessungssituationen BS-P und BS-A können der Anlage 6 entnommen werden.



## 8.2 Zuwegung und Kranstellfläche

Unter der Voraussetzung, dass der in Abschnitt 4 beschriebene Baugrundaufbau im Bereich der Verkehrsflächen hier übertragbar ist, kann hierzu zusammenfassend von den nachfolgenden Gegebenheiten und Anforderungen ausgegangen werden:

- Die bis in eine Tiefe von mindestens ca. 0,3 m unter Gelände anstehende Oberbodenschicht ist gänzlich zu entfernen und gegen ein verdichtet eingebrachtes rolliges Material zu ersetzen. Die nach Aushub der Oberböden freiliegenden Sande sind mit einer Tiefenwirkung von mindestens 0,4 m nach zu verdichten.
- Der Einbau von Austausch-, Trag- und Frostschutzschichten hat lagenweise, in Abhängigkeit des eingesetzten Verdichtungsgerätes, mit Stärken von 20 cm bis 30 cm, zu erfolgen.
- Auszuführende Gründungspolster sind immer, sofern nicht durch andere konstruktive Maßnahmen die seitliche Stützung des Polsters erreicht wird, mit einer Verbreiterung entsprechend des Lastverteilungswinkels von ca. 45° bis auf die Solltiefe zu führen.
- Die Verdichtungsanforderungen an die Zuwegung und die Kranstellfläche können grundsätzlich, unter Einhaltung der o.g. Anforderungen, sowohl für den Untergrund mit  $E_{V2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ , den Tragschichtaufbau mit  $E_{V2} \geq 80 \text{ MN/m}^2$  bzw.  $E_{V2} \geq 100 \text{ MN/m}^2$  und die Deckschichten mit  $E_{V2} \geq 100 \text{ MN/m}^2$  bzw.  $E_{V2} \geq 120 \text{ MN/m}^2$  bei einem Verhältniswert  $E_{V2} / E_{V1} \leq 2,3$  nachgewiesen werden.
- Die geforderten Mindesttragfähigkeiten des Planums sind vor Ort durch geeignete Verdichtungskontrollen, wie beispielsweise Plattendruckversuche, zu überprüfen.

## 9. ERGÄNZENDE HINWEISE UND EMPFEHLUNGEN

- Die durchgeführten Untersuchungen liefern lediglich einen stichprobenartigen Aufschluss im Bereich der geplanten Windkraftanlage. Sollte sich bei den Gründungsmaßnahmen die Bodensituation örtlich anders darstellen als von uns bisher erkundet, sind wir darüber zu informieren.

Der Untersuchungsbereich gehört zu keiner Erdbebenzone.

- Der unterhalb der Oberböden überwiegend anstehende gewachsene Sand, mit einer Feuchtwichte von  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ , eignet sich grundsätzlich zur Überschüttung und Wiederanfüllung, auch für die Schnittstellen zwischen Fundamentarbeitsraum und Kranstellfläche. Die Überschüttung muss dabei mindestens 0,5 m betragen.
- Für die im Gründungsbereich der Windkraftanlage anstehenden Sande kann mit einem abgeschätzten spezifischen Erdwiderstand zwischen 300 und 1000  $\Omega\text{m}$  gerechnet werden.
- Die Gründungs- und ggf. erforderlichen Baugrundverbesserungsarbeiten sollten geotechnisch begleitet und überwacht werden.
- Das Bauvorhaben ist in die geotechnische Kategorie GK-3 einzuordnen. Folgerichtig ist nach den Vorgaben der DIN 1054 der Geotechnische Entwurfsbericht zur Fortschreibung zu bringen.
- Für ergänzende Erläuterungen und Beratungen stehen wir gerne zur Verfügung.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'H. Kleen'.

Prof. Dr.-Ing. H. Kleen

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'B. Tamme'.

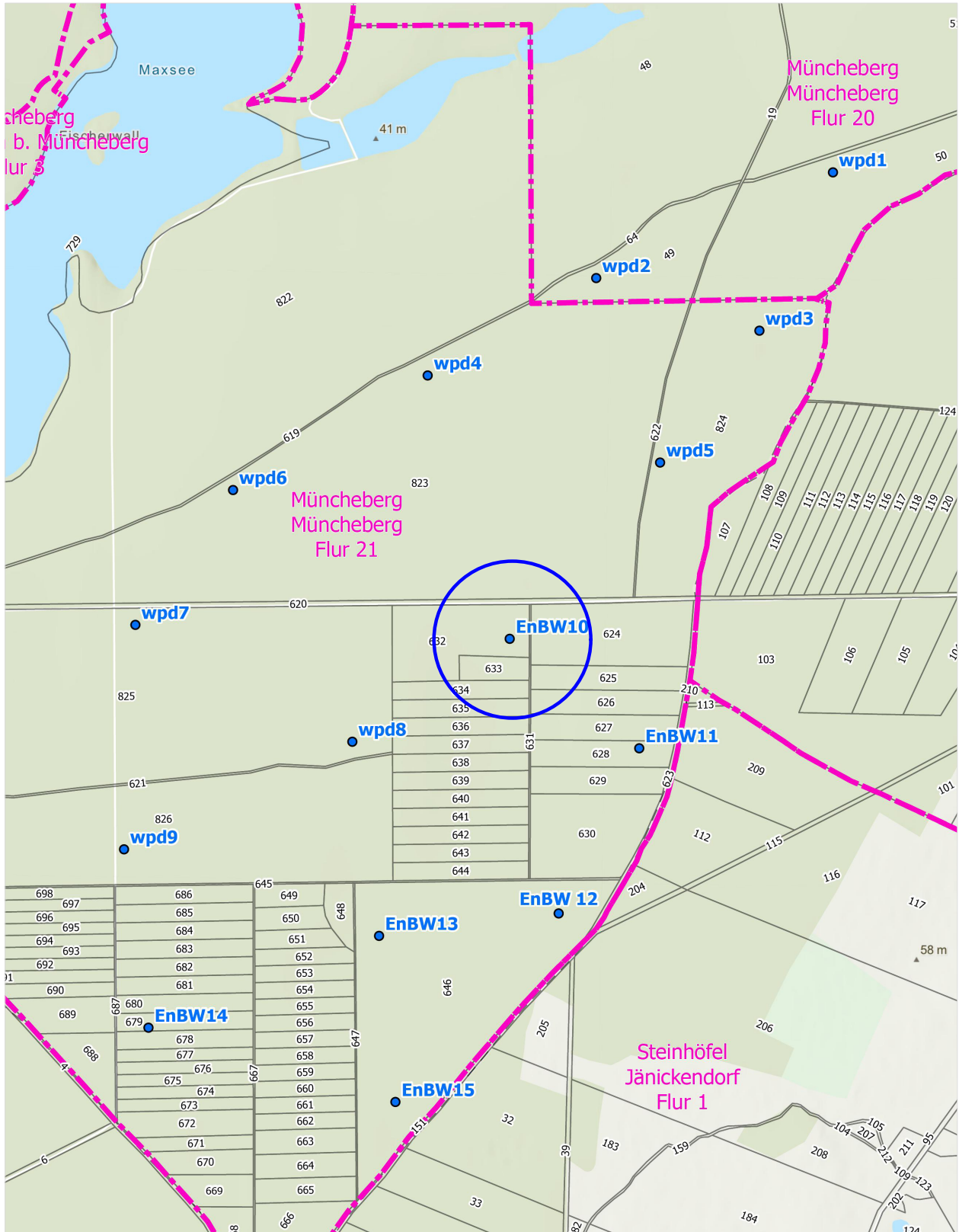
M. Sc. B. Tamme

<b>ANLAGEN</b>	<b>SEITEN</b>
1. Übersicht	1
2. Lageplan mit Aufschlussansatzpunkten	1
3. Ergebnisse der Baugrundaufschlüsse	4
4. Körnungslinien	1
5. Betonaggressivität Boden	2
6. Standsicherheitsnachweise	2

Anlage 1

Übersicht

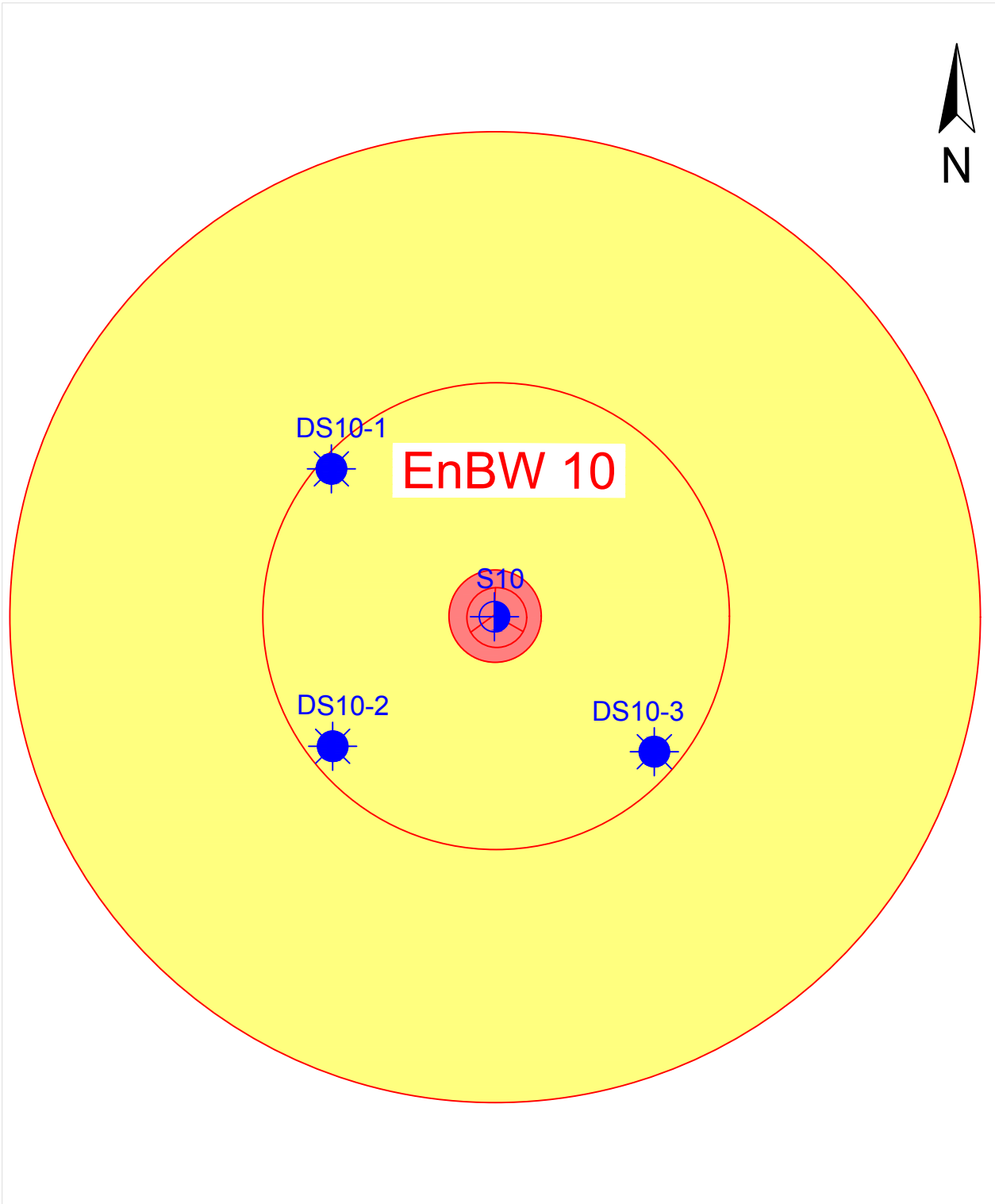
Übersicht



Anlage 2

Lageplanskizze

Lageplanskizze



ohne Maßstab



Kleinbohrung (S)

Drucksondierung CPT-E (DS)

## Anlage 3

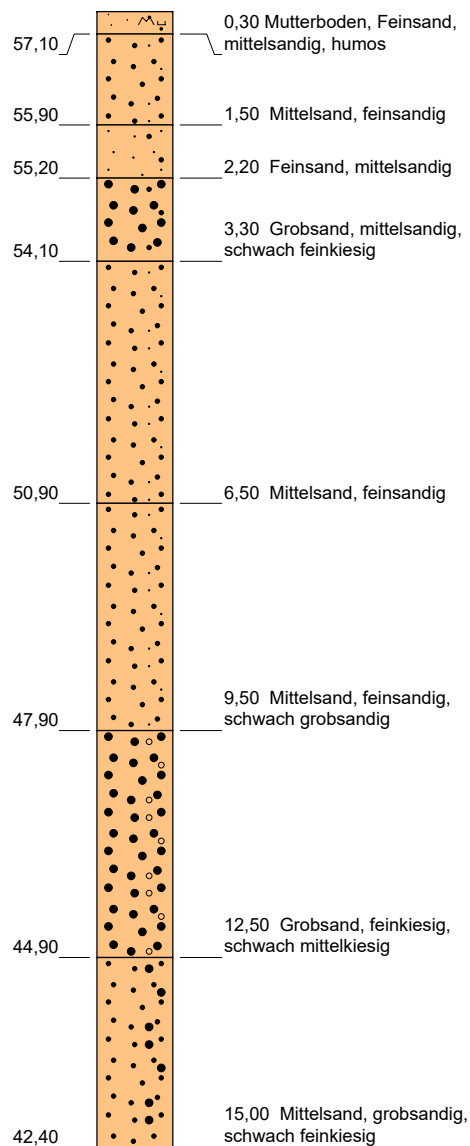
# Ergebnisse der Baugrundaufschlüsse



ERGEBNISSE DER BAUGRUNDAUFSCHLÜSSE

**S10**

57,40 m ü.NHN



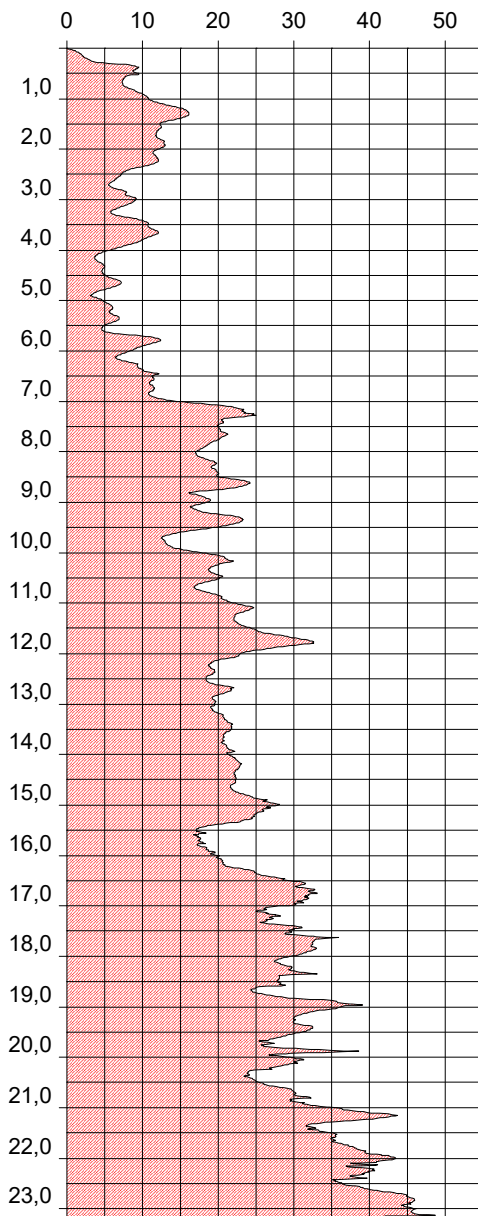
Höhenmaßstab 1:100

ERGEBNISSE DER BAUGRUNDAUFSCHLÜSSE

**DS10-1**

57,40 m ü.NHN

CPT-E

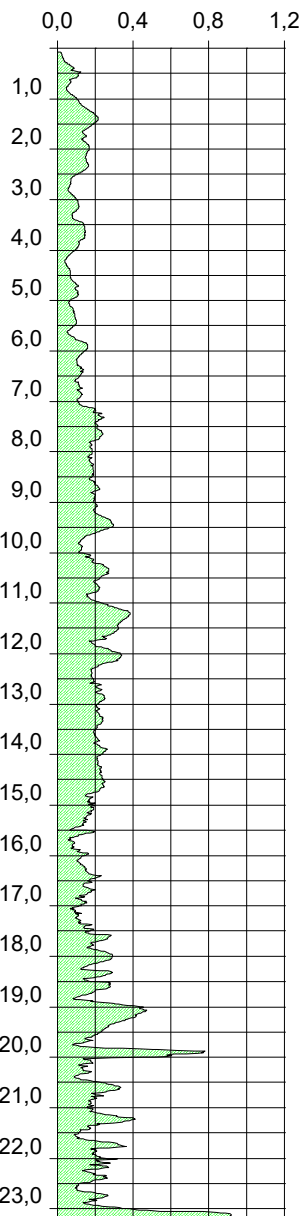


Spitzenwiderstand  $q_c$  [MN/m<sup>2</sup>]

**DS10-1**

57,40 m ü.NHN

CPT-E

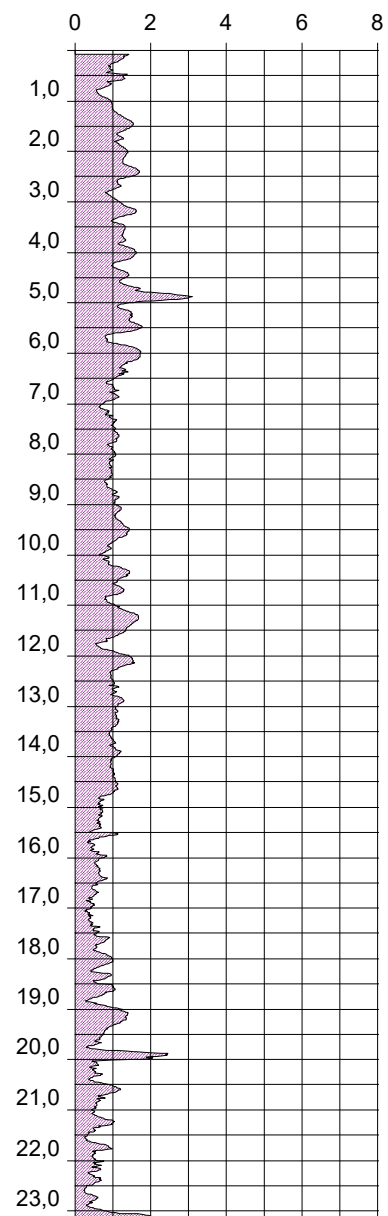


Mantelreibung  $f_s$  [MN/m<sup>2</sup>]

**DS10-1**

57,40 m ü.NHN

CPT-E



Reibungsverhältnis  $r_f$  [%]

Abbruch wegen Stillstand

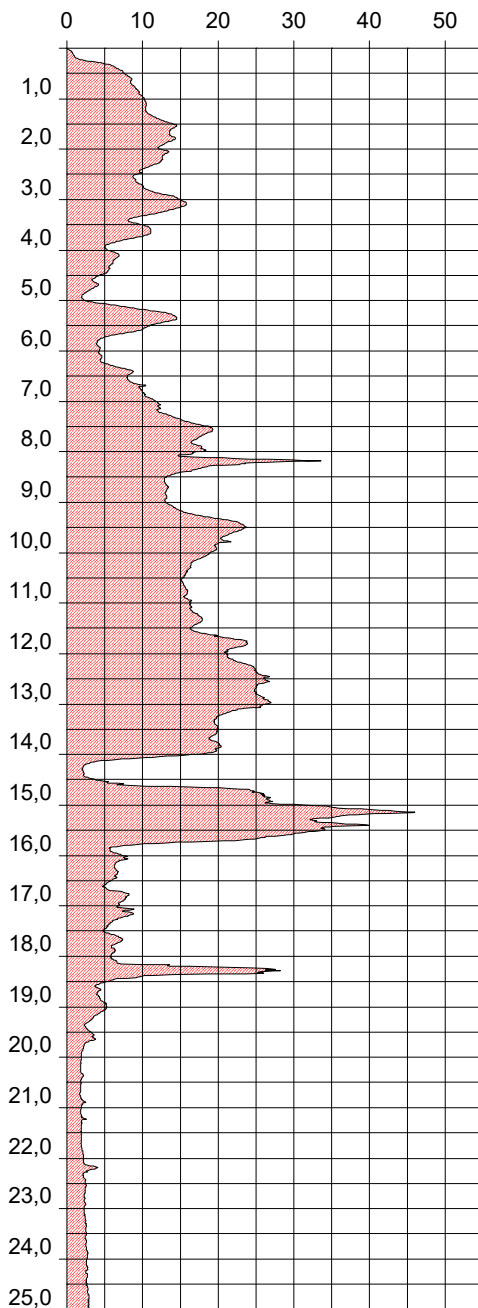
Höhenmaßstab 1:150

ERGEBNISSE DER BAUGRUNDAUFSCHLÜSSE

**DS10-2**

57,40 m ü.NHN

CPT-E

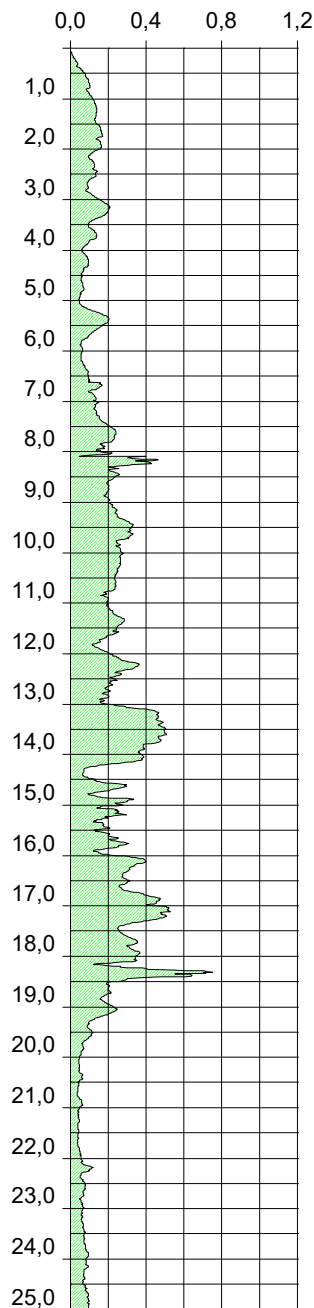


Spitzenwiderstand  $q_c$  [MN/m<sup>2</sup>]

**DS10-2**

57,40 m ü.NHN

CPT-E

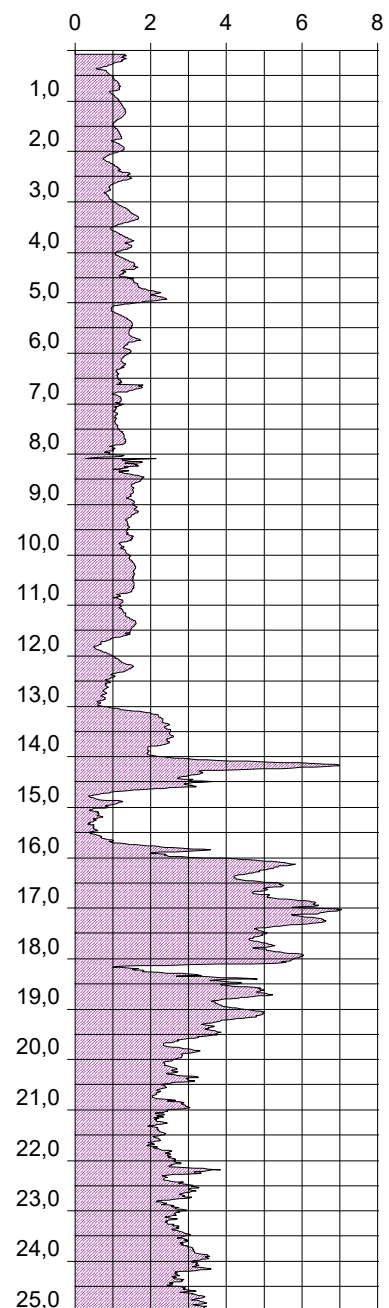


Mantelreibung  $f_s$  [MN/m<sup>2</sup>]

**DS10-2**

57,40 m ü.NHN

CPT-E



Reibungsverhältnis  $r_f$  [%]

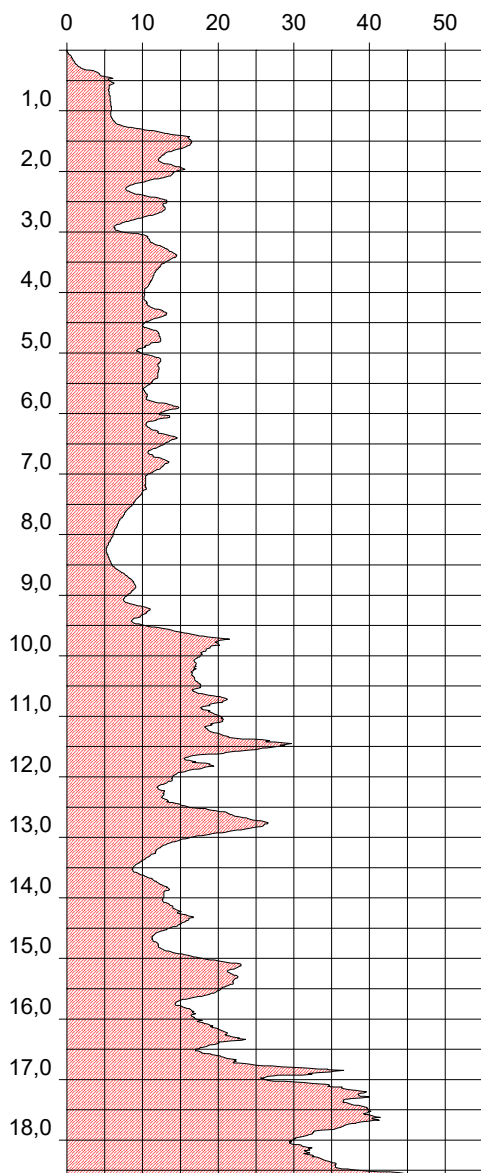
Höhenmaßstab 1:150

ERGEBNISSE DER BAUGRUNDAUFSCHLÜSSE

**DS10-3**

57,40 m ü.NHN

CPT-E

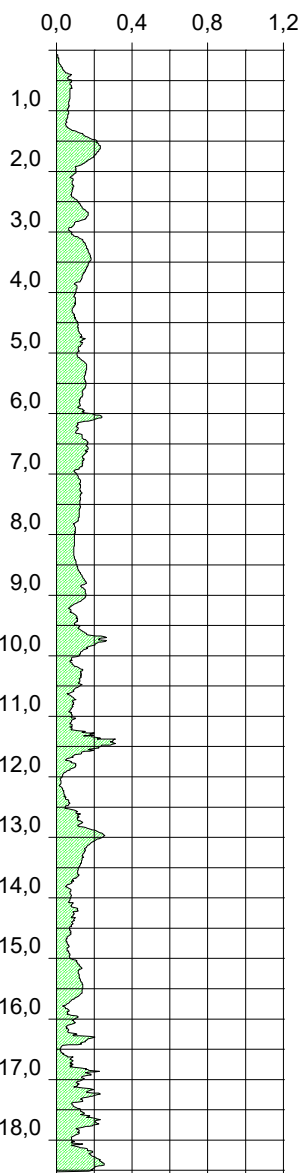


Spitzenwiderstand  $q_c$  [MN/m<sup>2</sup>]

**DS10-3**

57,40 m ü.NHN

CPT-E



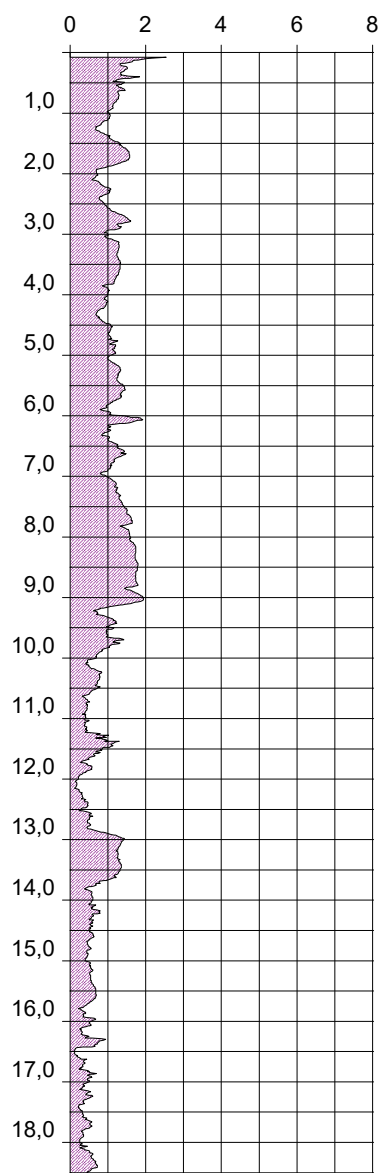
Mantelreibung  $f_s$  [MN/m<sup>2</sup>]

Abbruch wegen Stillstand

**DS10-3**

57,40 m ü.NHN

CPT-E



Reibungsverhältnis  $r_f$  [%]

Höhenmaßstab 1:125

## Anlage 4

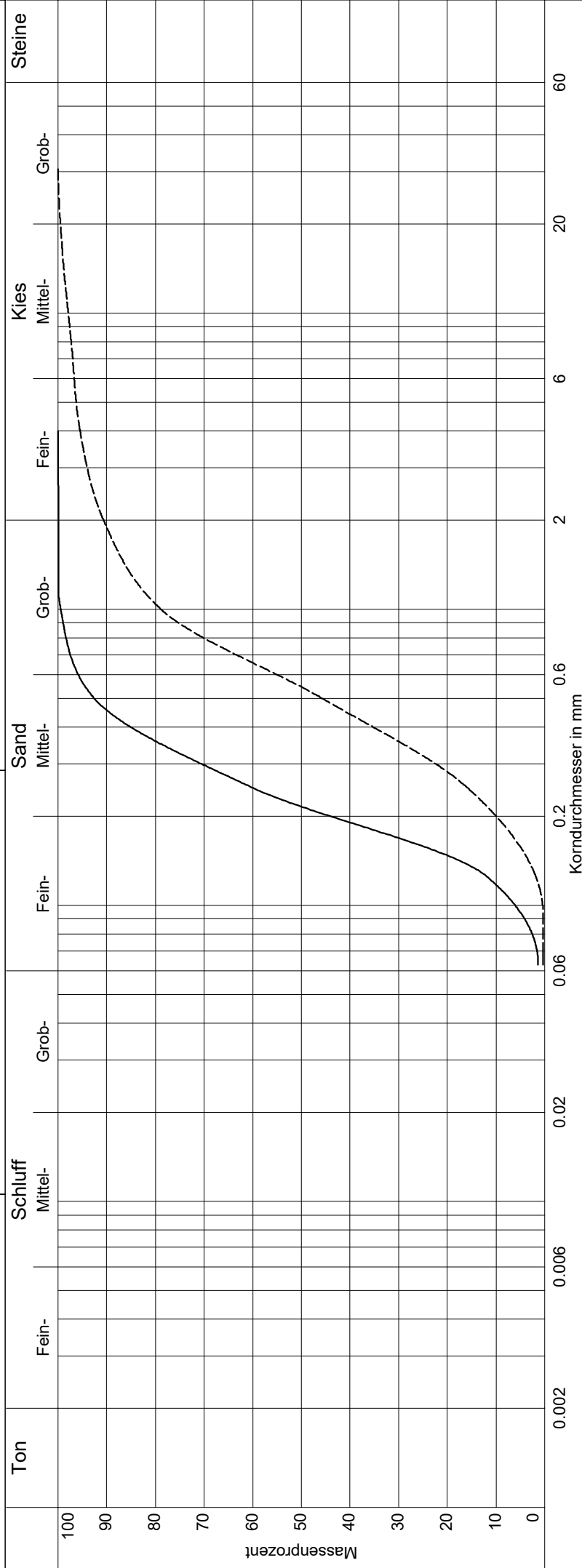
### Kornverteilungen

FH Potsdam  
 FB Bauingenieurwesen  
 FG Grundbau und Bodenmechanik  
 Grundbaulabor

# Kornverteilung

DIN EN ISO 17892-4

Projekt: WP Müncheberg - Mittelheide / EnBW 10  
 Projektnr.: L 62/23  
 Anlage: 27.10.2023  
 Datum: 4



Labornummer	----- s10-3,3
Entnahmestelle	S10
Entnahmetiefe	2,2-3,3 m
Ungleichförm. Cu	3.3
Krümmungszahl Cc	1.0
Bodengruppe	SE
Anteil < 0.063 mm	0.3 %
Frostempfindl.klasse	F1
kf nach Beyer	3.7E-04 m/s
kf nach USBR	- (d10 > 0.02)
kf nach Kaubisch	- (0.063 <= 10%)

## Anlage 5

### Betonaggressivität des Bodens

**AGROLAB Agrar&Umwelt** Dr.-Hell-Str. 6, 24107 Kiel

Ingenieurbüro für Geotechnik Kleen GmbH  
Berliner Straße 124  
14467 Potsdam

Datum 23.10.2023  
Kundennr. 20122596

## PRÜFBERICHT

Auftrag **2311623** Projekt: WP Müncheberg-Mittelheide - Auftrag Boden Betonaggressivität  
 Analysennr. **211983** Mineralisch/Anorganisches Material  
 Probeneingang **11.10.2023**  
 Probenahme **04.10.2023**  
 Probenehmer **Auftraggeber**  
 Kunden-Probenbezeichnung **MP 10**

Einheit Ergebnis Best.-Gr. Methode

### Feststoff

Trockensubstanz	u)	%	°	<b>96,6</b>	0,1	DIN EN 14346 : 2007-03(PL)
Säuregrad n. Baumann-Gully	u)*)	ml/kg		<b>44</b>	0,1	DIN 4030 (mod.)(PL)
Sulfat aus salzsauren Auszug	u)*)	mg/kg	°	<b>556</b>	100	DIN 4030 (mod.)(PL)
Sulfat aus salzsauren Auszug	u)*)	mmol/kg	°	<b>6</b>	1	DIN 4030 (mod.)(PL)
Sulfid leicht freisetzbar	u)*)	mg/kg		<b>&lt;4,0</b>	4	DIN 38405-27 : 1992-07 (mod.)(PL)
Chlorid (Cl)	u)*)	mg/kg		<b>&lt;10</b>	10	DIN 4030-2 : 2008-06(PL)
Sulfid, gesamt	u)*)	mg/kg		<b>&lt;0,10</b>	0,1	DIN 4030-2 : 2008-06 in Verbindung mit DIN EN 1744-1 : 2013-03(PL)

*Erläuterung: Das Zeichen "<" oder n.b. in der Spalte Ergebnis bedeutet, der betreffende Parameter ist bei nebenstehender Bestimmungsgrenze nicht quantifizierbar.*

*Die parameterspezifischen analytischen Messunsicherheiten sowie Informationen zum Berechnungsverfahren sind auf Anfrage verfügbar, sofern die berichteten Ergebnisse oberhalb der parameterspezifischen Bestimmungsgrenze liegen. Die Mindestleistungskriterien der angewandten Verfahren beruhen bezüglich der Messunsicherheit in der Regel auf der Richtlinie 2009/90/EG der Europäischen Kommission.*

*Die Analysenwerte der Feststoffparameter beziehen sich auf die Trockensubstanz, bei den mit ° gekennzeichneten Parametern auf die Originalsubstanz.*

*u) externe Dienstleistung eines AGROLAB GROUP Labors*

### Untersuchung durch

(PL) AWW-Dr. Busse GmbH, Plauen (AGROLAB GROUP), Jölsnitzer Str. 113, 08525 Plauen

#### Methoden

DIN 38405-27 : 1992-07 (mod.); DIN 4030 (mod.); DIN 4030-2 : 2008-06; DIN 4030-2 : 2008-06 in Verbindung mit DIN EN 1744-1 : 2013-03

(PL) AWW-Dr. Busse GmbH, Plauen (AGROLAB GROUP), Jölsnitzer Str. 113, 08525 Plauen, für die zitierte Methode akkreditiert nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018, Akkreditierungsverfahren: D-PL-14087-01-00 DAkkS

#### Methoden

DIN EN 14346 : 2007-03

Hinweis zum Probenahmedatum: Das Probenahmedatum ist eine Kundeninformation.

Die in diesem Dokument berichteten Verfahren sind gemäß DIN EN ISO/IEC 17025:2018 akkreditiert. Ausschließlich nicht akkreditierte Verfahren sind mit dem Symbol "u)" gekennzeichnet.



Datum 23.10.2023  
Kundennr. 20122596

## PRÜFBERICHT

Auftrag **2311623** Projekt: WP Müncheberg-Mittelheide - Auftrag Boden  
Betonaggressivität  
Analysennr. **211983** Mineralisch/Anorganisches Material  
Kunden-Probenbezeichnung **MP 10**

Beginn der Prüfungen: 11.10.2023  
Ende der Prüfungen: 19.10.2023

*Die Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die geprüften Gegenstände. In Fällen, wo das Prüflabor nicht für die Probenahme verantwortlich war, gelten die berichteten Ergebnisse für die Proben wie erhalten. Das Laboratorium ist nicht für die vom Kunden bereitgestellten Informationen verantwortlich. Die ggf. im vorliegenden Prüfbericht dargestellten Kundeninformationen unterliegen nicht der Akkreditierung des Laboratoriums und können sich auf die Validität der Prüfergebnisse auswirken. Die auszugsweise Vervielfältigung des Berichts ohne unsere schriftliche Genehmigung ist nicht zulässig. Die Ergebnisse in diesem Prüfbericht werden gemäß der mit Ihnen schriftlich gemäß Auftragsbestätigung getroffenen Vereinbarung in vereinfachter Weise i.S. der DIN EN ISO/IEC 17025:2018, Abs. 7.8.1.3 berichtet.*



**AGROLAB Agrar&Umwelt Frau Larissa Gorski, Tel. 0431/22138-581**  
**Service Team Umwelt 1, Email: [umwelt1.kiel@agrolab.de](mailto:umwelt1.kiel@agrolab.de)**

Die in diesem Dokument berichteten Verfahren sind gemäß DIN EN ISO/IEC 17025:2018 akkreditiert. Ausschließlich nicht akkreditierte Verfahren sind mit dem Symbol " \* " gekennzeichnet.

## Anlage 6

### Stand sicherheitsnachweise

**Berechnungsgrundlagen:**  
 WP Müncheberg EnBW10-P  
 Norm: EC 7  
 BS: DIN 1054: BS-P  
 Grundbruchformel nach DIN 4017:2006  
 Teilsicherheitskonzept (EC 7)  
 $\gamma_{R,v} = 1.40$   
 $\gamma_G = 1.35$   
 $\gamma_Q = 1.50$   
 $\gamma_{R,h} = 1.10$

**Grenzzustand EQU:**  
 $\gamma_{G,dst} = 1.10$   
 $\gamma_{G,stab} = 0.90$   
 $\gamma_{Q,dst} = 1.50$   
 Gründungssohle = 0.24 m  
 Grundwasser = 10.00 m  
 Grenztiefe mit  $p = 20.0\%$

Boden	Tiefe [m]	$\gamma/\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi$ [°]	c [kN/m <sup>2</sup> ]	E <sub>s</sub> [MN/m <sup>2</sup> ]	$\kappa$ [-]	Bezeichnung
	6.50	18.0/11.0	32.5	0.0	80.0	1.000	RSV
	7.50	18.0/11.0	32.5	0.0	80.0	1.000	Sand, md
	8.50	18.0/10.0	30.0	0.0	40.0	1.000	Sand, lo
	14.00	18.0/11.0	32.5	0.0	80.0	1.000	Sand, md
	>14.00	21.0/12.0	30.0	60.0	40.0	1.000	Mergel, sth

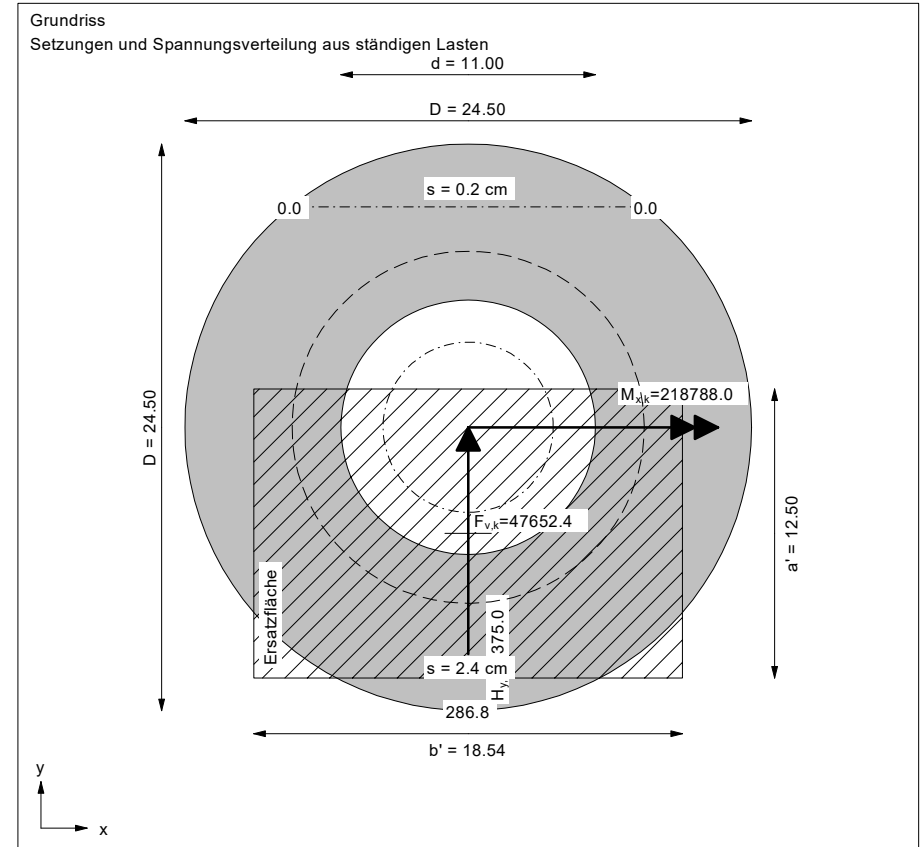
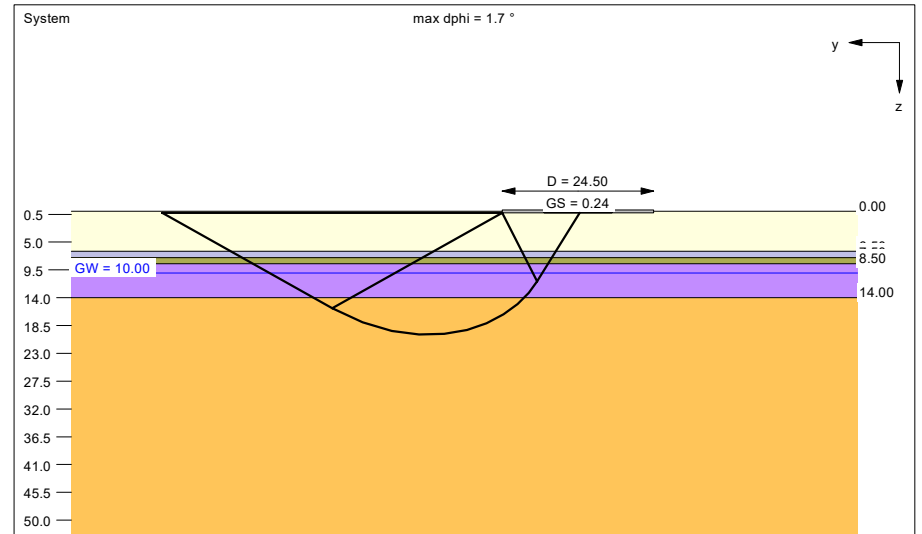
**Ergebnisse Kreisringfundament**  
 Kippnachweis nicht untersucht  
 Lasten = ständig / veränderlich  
 Vertikallast  $F_{v,k} = 47652.40 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,x,k} = 0.00 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,y,k} = 1375.00 / 0.00$  kN  
 Moment  $M_{x,k} = 218788.00 / 0.00$  kN·m  
 Moment  $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$  kN·m  
 Durchmesser D = 24.500 m  
 Durchmesser (innen) d = 11.000 m  
 Unter ständigen Lasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -4.591$  m  
 $a' = 12.502$  m  
 $b' = 18.540$  m  
 Unter Gesamtlasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -4.591$  m  
 $a' = 12.502$  m  
 $b' = 18.540$  m

**Grundbruch:**  
 Teilsicherheit (Grundbruch)  $\gamma_{R,v} = 1.40$   
 $\sigma_{R,k} / \sigma_{R,d} = 3094.2 / 2210.15$  kN/m<sup>2</sup>  
 $R_{n,k} = 717214.99$  kN  
 $R_{n,d} = 512296.42$  kN  
 $V_d = 1.35 \cdot 47652.40 + 1.50 \cdot 0.00$  kN  
 $V_d = 64330.74$  kN  
 $\mu$  (parallel zu y) = 0.126  
 Kohäsionsglied = 273906.19 kN (k)  
 Breitenglied = 415791.50 kN (k)  
 Tiefenglied = 27517.30 kN (k)  
 cal  $\varphi = 31.3^\circ$   
 cal c = 27.14 kN/m<sup>2</sup>  
 cal  $\gamma_2 = 15.71$  kN/m<sup>3</sup>  
 cal  $\sigma_0 = 4.32$  kN/m<sup>2</sup>  
 Tragfähigkeitsbeiwerte (x):  
 $N_{c0} = 32.23$ ;  $N_{d0} = 20.24$ ;  $N_{b0} = 11.48$   
 Formbeiwerte (x):  
 $v_c = 1.364$ ;  $v_d = 1.346$ ;  $v_b = 0.798$

**Neigungsbeiwerte (x):**  
 $i_c = 0.952$ ;  $i_d = 0.954$ ;  $i_b = 0.927$   
**Tragfähigkeitsbeiwerte (y):**  
 $N_{c0} = 33.45$ ;  $N_{d0} = 21.33$ ;  $N_{b0} = 12.35$   
**Formbeiwerte (y):**  
 $v_c = 1.367$ ;  $v_d = 1.350$ ;  $v_b = 0.798$   
**Neigungsbeiwerte (y):**  
 $i_c = 0.952$ ;  $i_d = 0.954$ ;  $i_b = 0.927$

**Gleitwiderstand:**  
 Teilsicherheit (Gleitwiderstand)  $\gamma_{R,h} = 1.10$   
 $N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 47652.40 \cdot \tan(32.50^\circ) / 1.10$   
 $R_{t,d} = N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 27598.12$  kN  
 $T_d = 1856.25$  kN  
 $\mu = T_d / R_{t,d} = 0.067$

**Setzung infolge ständiger Lasten:**  
 Grenztiefe  $t_g = 13.05$  m u. GOK  
 Setzung (Mittel aller KPs) = 1.29 cm  
 Setzungen der KPs:  
 oben = 0.18 cm  
 unten = 2.39 cm  
 Verdrehung(x) (KP) = 1 : 937.5  
 Nachweis EQU:  
 $M_{stab} = 47652.4 \cdot 24.50 \cdot 0.5 \cdot 0.90 = 525367.7$   
 $M_{dst} = 218788.0 \cdot 1.10 = 240666.8$   
 $\mu_{EQU} = 240666.8 / 525367.7 = 0.458$



Berechnungsgrundlagen:  
 WP Müncheberg EnBW10-A  
 Norm: EC 7  
 BS: DIN 1054: BS-A  
 Grundbruchformel nach DIN 4017:2006  
 Teilsicherheitskonzept (EC 7)  
 $\gamma_{R,v} = 1.20$   
 $\gamma_G = 1.10$   
 $\gamma_Q = 1.10$   
 $\gamma_{R,h} = 1.10$

Grenzzustand EQU:  
 $\gamma_{G,dst} = 1.00$   
 $\gamma_{G,stab} = 0.95$   
 $\gamma_{Q,dst} = 1.00$   
 Gründungssohle = 0.24 m  
 Grundwasser = 10.00 m  
 Grenztiefe mit p = 20.0 %

Boden	Tiefe [m]	$\gamma/\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi$ [°]	c [kN/m <sup>2</sup> ]	E <sub>s</sub> [MN/m <sup>2</sup> ]	$\kappa$ [-]	Bezeichnung
	6.50	18.0/11.0	32.5	0.0	80.0	1.000	RSV
	7.50	18.0/11.0	32.5	0.0	80.0	1.000	Sand, md
	8.50	18.0/10.0	30.0	0.0	40.0	1.000	Sand, lo
	14.00	18.0/11.0	32.5	0.0	80.0	1.000	Sand, md
	>14.00	21.0/12.0	30.0	60.0	40.0	1.000	Mergel, sth

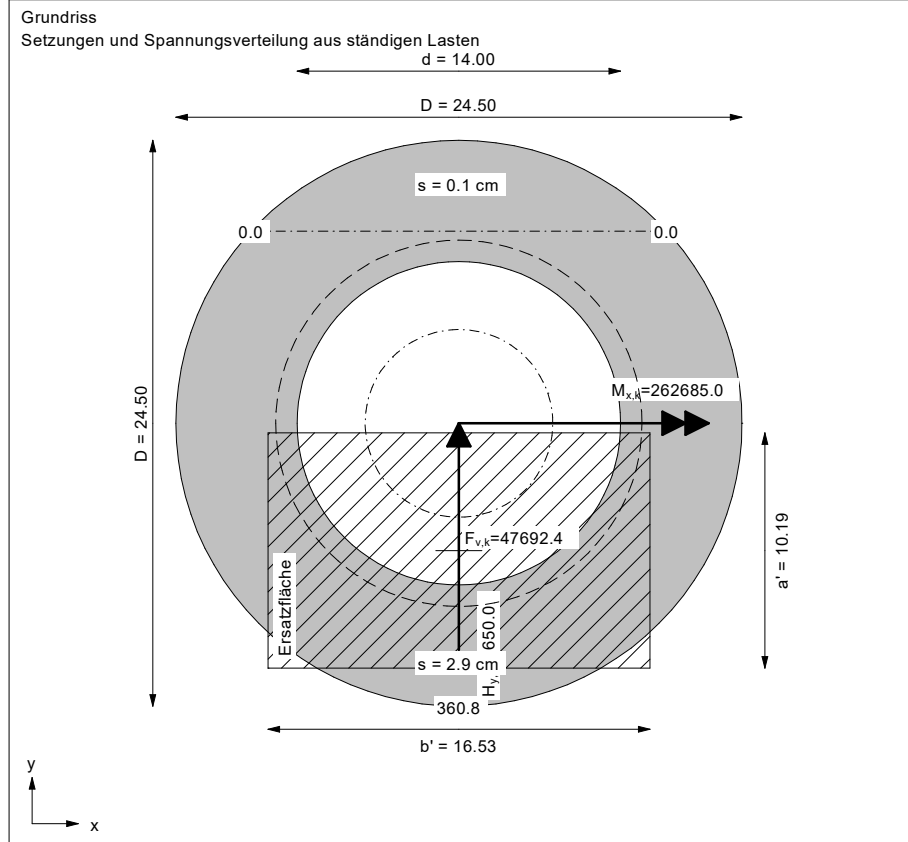
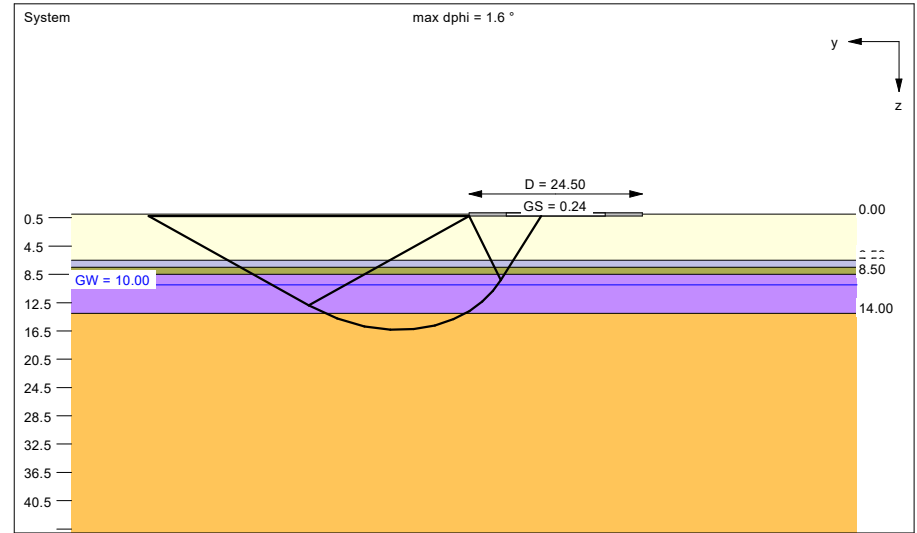
Ergebnisse Kreisringfundament  
 Kippnachweis nicht untersucht.  
 Lasten = ständig / veränderlich  
 Vertikallast F<sub>v,k</sub> = 47692.40 / 0.00 kN  
 Horizontalkraft F<sub>h,x,k</sub> = 0.00 / 0.00 kN  
 Horizontalkraft F<sub>h,y,k</sub> = 1650.00 / 0.00 kN  
 Moment M<sub>x,k</sub> = 262685.00 / 0.00 kN·m  
 Moment M<sub>y,k</sub> = 0.00 / 0.00 kN·m  
 Durchmesser D = 24.500 m  
 Durchmesser (innen) d = 14.000 m  
 Unter ständigen Lasten:  
 Exzentrizität e<sub>x</sub> = 0.000 m  
 Exzentrizität e<sub>y</sub> = -5.508 m  
 a' = 10.185 m  
 b' = 16.530 m  
 Unter Gesamtlasten:  
 Exzentrizität e<sub>x</sub> = 0.000 m  
 Exzentrizität e<sub>y</sub> = -5.508 m  
 a' = 10.185 m  
 b' = 16.530 m

Grundbruch:  
 Teilsicherheit (Grundbruch)  $\gamma_{R,v} = 1.20$   
 $\sigma_{R,k} / \sigma_{R,d} = 2533.2 / 2111.00$  kN/m<sup>2</sup>  
 R<sub>n,k</sub> = 426479.56 kN  
 R<sub>n,d</sub> = 355399.63 kN  
 V<sub>d</sub> = 1.10 · 47692.40 + 1.10 · 0.00 kN  
 V<sub>d</sub> = 52461.64 kN  
 $\mu$  (parallel zu y) = 0.148  
 Kohäsionsglied = 134043.39 kN (k)  
 Breitenglied = 272262.86 kN (k)  
 Tiefenglied = 20173.30 kN (k)  
 cal  $\phi = 31.6^\circ$   
 cal c = 18.35 kN/m<sup>2</sup>  
 cal  $\gamma_2 = 16.36$  kN/m<sup>3</sup>  
 cal  $\sigma_0 = 4.32$  kN/m<sup>2</sup>  
 Tragfähigkeitsbeiwerte (x):  
 N<sub>c0</sub> = 32.49; N<sub>d0</sub> = 20.47; N<sub>b0</sub> = 11.67  
 Formbeiwerte (x):  
 v<sub>c</sub> = 1.333; v<sub>d</sub> = 1.317; v<sub>b</sub> = 0.815

Neigungsbeiwerte (x):  
 i<sub>c</sub> = 0.942; i<sub>d</sub> = 0.945; i<sub>b</sub> = 0.912  
 Tragfähigkeitsbeiwerte (y):  
 N<sub>c0</sub> = 34.41; N<sub>d0</sub> = 22.19; N<sub>b0</sub> = 13.05  
 Formbeiwerte (y):  
 v<sub>c</sub> = 1.338; v<sub>d</sub> = 1.323; v<sub>b</sub> = 0.815  
 Neigungsbeiwerte (y):  
 i<sub>c</sub> = 0.942; i<sub>d</sub> = 0.945; i<sub>b</sub> = 0.912

Gleitwiderstand:  
 Teilsicherheit (Gleitwiderstand)  $\gamma_{R,h} = 1.10$   
 N<sub>k</sub> · tan( $\phi$ ) /  $\gamma_{R,h} = 47692.40 \cdot \tan(32.50^\circ) / 1.10$   
 R<sub>t,d</sub> = N<sub>k</sub> · tan( $\phi$ ) /  $\gamma_{R,h} = 27621.28$  kN  
 T<sub>d</sub> = 1815.00 kN  
 $\mu = T_d / R_{t,d} = 0.066$

Setzung infolge ständiger Lasten:  
 Grenztiefe t<sub>g</sub> = 13.99 m u. GOK  
 Setzung (Mittel aller KPs) = 1.49 cm  
 Setzungen der KPs:  
 oben = 0.12 cm  
 unten = 2.87 cm  
 Verdrehung(x) (KP) = 1 : 754.7  
 Nachweis EQU:  
 M<sub>stab</sub> = 47692.4 · 24.50 · 0.5 · 0.95 = 555020.3  
 M<sub>dst</sub> = 262685.0 · 1.00 = 262685.0  
 $\mu_{EQU} = 262685.0 / 555020.3 = 0.473$



- BAUGRUNDUNTERSUCHUNGEN
- BAUGRUNDGUTACHTEN
- GRÜNDUNGSBERATUNG
- ALTLASTERKUNDUNGEN
- KONTAMINATIONS-GUTACHTEN
- GRUNDBAUSTATIK
- BAULEITUNG · PLANUNG

## GEOTECHNISCHER ENTWURFSBERICHT

108-23EnBW11

Bauvorhaben:	Windpark Müncheberg - Mittelheide EnBW 11
Auftraggeber:	Naturwind Potsdam GmbH Hegelallee 41 14467 Potsdam
Bearbeiter:	M.Sc. B. Tamme Prof. Dr.-Ing. H. Kleen
Umfang:	11 Seiten 8 Anlagen
Datum:	17.11.2023

## **1. VERANLASSUNG**

Unser Büro wurde am 31.07.2023 durch die Naturwind Potsdam GmbH schriftlich beauftragt, für die im Windpark Müncheberg - Mittelheide geplante Windkraftanlage EnBW 11, einen Geotechnischen Entwurfsbericht, einschließlich der notwendigen Feld- und Laboruntersuchungen, anzufertigen.

## **2. UNTERLAGEN**

Für die Bearbeitung standen die nachfolgend aufgeführten Unterlagen zur Verfügung:

- U 2.1 Geologische Karte, M.: 1 : 25.000, über [www.geo.brandenburg.de/gk25/](http://www.geo.brandenburg.de/gk25/), Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg
- U 2.2 Unser Geotechnischer Entwurfsbericht zum Bauvorhaben „Windpark Müncheberg-Mittelheide WEA4, vom 27.11.2020 nebst Unterlagen
- U 2.3 Prüfbericht für eine Typenprüfung, Vestas V162-5.4/5.6/6.0/6.2 MW mit 169 m Nabenhöhe, D = 24,5 m, Kreisringfundament mit Auftrieb, Prüfnr.: 3108363-23-d Rev.4, der TÜV SÜD Industrie Service GmbH aus München, vom 25.02.2022
- U 2.4 Lageplan zum Projekt Müncheberg-Mittelheide, der naturwind potsdam GmbH, M.: 1 : 12.000, vom 28.07.2023
- U 2.5 Geländeordinaten der Windkraftanlagenmittelpunkte, übersandt am 01.11.2023 durch das zuständige Vermessungsbüro Horst Möhring aus Frankfurt Oder
- U 2.6 Ergebnisse der Drucksondierungen der Firma Fugro Germany Land GmbH aus Berlin, übersandt am 31.10.2023
- U 2.7 Ergebnisse bodenmechanischer Laboruntersuchungen der Fachhochschule Potsdam, Fachgebiet Grundbau und Bodenmechanik, vom 27.10.2023 (L63/23)
- U 2.8 Prüfbericht zur Betonaggressivität des Bodens, WP Müncheberg - Mittelheide / MP11 (EnBW 11), der Agrolab Agrar und Umwelt GmbH aus Kiel, Analysennummer: 211984 vom 23.10.2023

### **3. BAUGRUNDSTÜCK UND BAUWERK**

Der Standort für den Neubau einer Windkraftanlage befindet sich zwischen dem Maxsee und Schönfelde, südlich des Müncheberger Ortsteils Hoppegarten, innerhalb des geplanten Windparks Müncheberg - Mittelheide.

Hier soll, auf der forstwirtschaftlich genutzten Fläche, die Windkraftanlage EnBW 11 vom Typ V162-6.2 MW mit Hybridturm und einer Nabenhöhe von 169 m auf einem Kreisringfundament, mit einem Außendurchmesser von  $D = 24,5$  m, auf einer 0,1 m starken Sauberkeitsschicht in einer Tiefe von ca. 0,24 m unter Gelände, flach gegründet werden.

Die Geländehöhe am Standort der Windkraftanlage EnBW 11 liegt auf einer Ordinate von ca. 57,8 m über NHN.

Die Lage der geplanten Windkraftanlage geht aus der Anlage 1 und der Anlage 2 hervor.

### **4. BAUGRUND**

#### **4.1 Vorkenntnisse**

Der Windpark Müncheberg - Mittelheide befindet sich im Bereich einer im Pleistozän gebildeten Hochfläche.

Hier ist mit Schmelzwasserablagerungen in Form von feinkörnigen, schwach mittelkörnigen Sanden, die zum Teil schwach schluffige Beimengungen beinhalten, zu rechnen (s. Unterlage U 2.1).

Gemäß der Unterlage U 2.2 stehen am Standort der geplanten Windkraftanlage EnBW 11, unterhalb einer ca. 0,2 m starken, sandigen, humosen Oberbodenschicht, bis zur Aufschlussendteufe von 15,0 m unter Gelände, Fein-, Mittel- und Grobsande an, die in Tiefen zwischen ca. 8,5 m und 11,4 m unter Gelände von einer sandigen Geschiebemergelschicht durchzogen werden.

Die Sande sind bis in eine Tiefe von ca. 7,0 m unter Gelände sehr locker, locker und mitteldicht, darunter mindestens mitteldicht gelagert; der Geschiebemergel besitzt eine steif-halbfeste und halbfeste Zustandsform.

#### **4.2 Baugrunduntersuchungen**

Zur Erkundung der Baugrundverhältnisse wurde im Bereich der geplanten Windkraftanlage EnBW 11 eine Kleinbohrung (S11) bis zu einer Endteufe von 15,0 m unter Gelände abgeteuft.

Zur Feststellung der Lagerungsdichte bzw. der Festigkeit des anstehenden Baugrundes wurden zudem drei Drucksondierungen als CPT-E (DS11-1 bis DS11-3) bis in Tiefen von 20,0 m und 25,0 m unter Gelände angeordnet.

Auf Grund zu hoher Baugrundfestigkeiten mussten die Drucksondierungen DS11-1 und DS 11-2 in Tiefen von ca. 12,0 m (DS11-1) und ca. 19,0 m unter Gelände (DS11-2) abgebrochen werden.

Die Einmessung und Kennzeichnung des Untersuchungsstandortes erfolgte durch das beauftragte Vermessungsbüro (vgl. Unterlage U 2.5).

Die Lage der genannten Aufschlüsse ist aus der Anlage 1 und der Anlage 2 ersichtlich.

#### **4.3 Ergebnisse der Baugrundaufschlüsse**

Auf der Grundlage des, während der Feldarbeiten erstellten Schichtenverzeichnisses und einer durch uns vorgenommenen Bodenansprache, wurde das in der Anlage 3 dokumentierte Schichtenprofil angefertigt. Zudem sind innerhalb der Anlage 3 die Ergebnisse der Drucksondierungen dargestellt.

Im Einzelnen kann damit am Standort der geplanten Windkraftanlage EnBW 11 von folgendem Baugrundaufbau ausgegangen werden:

Unterhalb einer ca. 0,3 m starken, sandigen, stark humosen Oberbodenschicht (Mutterboden) stehen bis zur Aufschlussendteufe von 15,0 m unter Gelände Mittel- und Grobsande an, die in Tiefen zwischen ca. 7,5 m und 10,5 m unter Gelände von einer sandigen Geschiebemergelschicht durchzogen werden (S11).

Der in S11 erbohrte Geschiebepoden besitzt, auf Grund unserer Ansprachen und der durchgeführten bodenmechanischen Versuche zur Bestimmung der Konsistenzgrenzen und des Wassergehaltes, eine steif-halbfeste Zustandsform.

Die Drucksondierungen DS11-1 bis DS11-3 bestätigen die erkundeten Baugrundverhältnisse im Wesentlichen und zeigen, dass die Sande oberhalb der Geschiebemergelschicht locker und mitteldicht, darunter mindestens mitteldicht gelagert sind.

Darüber hinaus zeigen die Drucksondierungen, dass der anstehenden Geschiebepoden eine mindestens steif-halbfeste, in tieferen Lagen eine halbfeste Konsistenz besitzt.

Körnungslinien repräsentativer Böden sind in der Anlage 4, Konsistenzgrenzen in Anlage 5 und ein Wassergehalt in der Anlage 6 dargestellt.



## 5. HOMOGENBEREICHE / BODENKLASSIFIZIERUNG

Die im Bereich des Untersuchungsstandortes anstehenden Böden können gemäß VOB Teil C, Ausgabe 2012 und Ausgabe 2015, DIN 18196:2011-05 sowie ZTV E-StB 17 wie folgt eingestuft und klassifiziert werden:

### Oberboden

Bodengruppe:	OH
Lagerung:	locker
Frostempfindlichkeit:	gering bis mittel frostempfindlich (F2)

Der Oberboden entspricht nach VOB Teil C, Ausgabe 2012 (DIN 18300) der Bodenklasse 1 (Oberboden). Nach DIN 18915:2002-08 kann der Oberboden für vegetationstechnische Zwecke der Bodengruppe 2 zugeordnet werden.

### Homogenbereich A / Sande

Bodengruppe:	SE
Lagerung:	bis ca. 7,5 m: locker und mitteldicht ab ca. 7,5 m: mindestens mitteldicht
Verdichtungsfähigkeit:	gut bis mittel
Frostempfindlichkeit:	nicht frostempfindlich (F1)
Durchlässigkeit [m/s]:	$k_f = 1 \times 10^{-3}$ bis $1 \times 10^{-4}$

Die Sande entsprechen nach VOB, Teil C, Ausgabe 2012 (DIN 18300) der Bodenklasse 3 (leicht lösbare Bodenarten).

### Homogenbereich B / Geschiebemergel

Bodengruppe:	SU*, TL
Festigkeit:	steif-halbfest, halbfest
Verdichtungsfähigkeit:	SU*: mittel TL: mäßig
Frostempfindlichkeit:	sehr frostempfindlich (F3)
Durchlässigkeit [m/s]:	$k_f < 1 \times 10^{-7}$

Der Geschiebemergel entspricht nach VOB, Teil C, Ausgabe 2012 (DIN 18300) der Bodenklasse 4 (mittelschwer lösbare Bodenarten).

Innerhalb und unmittelbar oberhalb des Geschiebehorizontes ist mit Findlingen zu rechnen.

Werden weiterreichende Angaben zu Körnungsbändern, zur Dichte und zur Festigkeit anstehender Böden erforderlich, sind ggf. zusätzliche Labor- bzw. Feldversuche durchzuführen.

## 6. GRUNDWASSER

Während der Baugrunduntersuchungen im September 2023 wurde Grundwasser in einer Tiefe von ca. 10,5 m unter Gelände und damit auf einer Ordinate von ca. 47,3 m über NHN angeschnitten.

Da im Gründungsbereich kein Grundwasser ansteht, wurde hier ersatzweise eine Bodenprobe hinsichtlich Betonaggressivität untersucht.

Als Ergebnis konnte festgestellt werden, dass der anstehende Boden hier als nicht betonangreifend einzustufen ist, was gemäß DIN EN 206-1 zu der Expositionsklasse XAI führt.

Die Einzelergebnisse der Bodenanalytik können der Unterlage U 2.8, die innerhalb der Anlage 7 dargestellt ist, entnommen werden.

## 7. BODENKENNWERTE

Für erdstatische Berechnungen können, auf Grund der Ansprache der gelieferten Proben, der Bohr- und Sondierergebnisse und unserer Erfahrung die charakteristischen Bodenkennwerte der folgenden Tabelle 1 angesetzt werden.

Die Tiefenlagen der Bodenschichten sind dem Schichtenprofil, welches innerhalb der Anlage 3 dargestellt ist, zu entnehmen.

**Tabelle 1: charakteristische Bodenkennwerte**

Bodenart	Bodenkennwerte					
	Wichte	Reibungswinkel	Kohäsion	Querdehnzahl	Steifeziffer stat. / dyn.	
	$\gamma_k / \gamma'_{k}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi'_{k}$ [°]	$c'_{k} / c_{u,k}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\nu$ [-]	$E_{s,k} / E_{sd,k}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	
Oberboden	17 / 9	30,0	-- / --	-- / --	-- / --	
Sand	locker (lo)	18 / 10	30,0	-- / --	0,32	40 / 170
	mitteldicht (md)	18 / 11	32,5	-- / --	0,32	80 / 260
	dicht (d)	19 / 11	35,0	-- / --	0,32	150 / 420
Geschiebeboden	steif (stf)	20 / 11	30,0	15 / 45	0,35	10 / 80
	halbfest (sth)	21 / 12	30,0	60 / 100	0,35	40 / 170

## **8. ANGABEN ZUR GRÜNDUNG, ZUWEGUNG UND KRANSTELLFLÄCHE**

### **8.1 Gründung**

Der erkundete Baugrundaufbau und die ermittelten Baugrundfestigkeiten erlauben für die Windkraftanlagen EnBW 11 grundsätzlich die Ausführung einer Flachgründung mittels Kreisringfundament.

Zur Gewährleistung der Gebrauchstauglichkeit und Standsicherheit der Anlage werden dazu vorab jedoch Bodenverbesserungen erforderlich, die hier als so genannte Tiefenverdichtung mittels Rüttelstopfverdichtung (RSV) ausgeführt werden sollten.

In Folge der oberflächennah anstehenden bereichsweise locker gelagerten Sande, sind die Rüttelstopfsäulen dabei bis mindestens ca. 7,5 m unter Gelände zu führen.

Nachträglich ist der oberflächennah anstehende Boden bis 0,5 m unter Gründungssohle und damit bis ca. 0,9 m unter Gelände vollständig gegen ein lastverteilendes Gründungspolster zu ersetzen.

Das aus einem Recyclingmaterial der Bodengruppe GW bestehende Polster ist bis zur Gründungssohle bzw. bis zur Sauberkeitsschicht lagenweise verdichtet so einzubringen, dass eine durchgehend dichte Lagerung vorherrscht.

Die, für die Flachgründung mittels Kreisringfundament auf einer Bodenverbesserung erforderlichen grundbautechnischen Nachweise sind, entsprechend der gestellten Anforderungen, im Vorfeld durch die ausführende Firma, unter Zugrundelegung der in Tabelle 1 angegebenen Bodenkennwerte, zu führen.

Für die im Bereich der Rüttelstopfverdichtung anstehenden Böden ist dabei auch auf eine Verbesserung des inneren Reibungswinkels auf durchweg mindestens  $\varphi'_k = 32,5^\circ$  und der Steifeziffer auf mindestens  $E_{s,k} = 80 \text{ MN/m}^2$  zu achten.

Da bereichsweise mit mitteldicht gelagerten Sandschichten und Steinhindernissen zu rechnen ist, wird es hier ggf. erforderlich, die Rüttelstopfsäulen vorgebohrt herzustellen.

Der Erfolg der ausgeführten Bodenverbesserung ist nach Fertigstellung durch geeignete Versuche bzw. Probelastungen nachzuweisen.

Für die, unterhalb der Rüttelstopfverdichtung anstehenden Böden können dann die, innerhalb der folgenden Tabelle 2 aufgeführten statischen und dynamischen Drehfedersteifigkeiten angesetzt werden.

**Tabelle 2: EnBW 11 - statische und dynamische Drehfedersteifigkeiten**

Bodenart	Tiefe [m u. GOK]	$r_E$ [ m ]	$\nu$ [ - ]	$E_{S,stat}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$k_{\phi,stat}$ [MNm/rad]	$E_{S,dyn}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$k_{\phi,dyn}$ [MNm/rad]
Mergel (stf-sth)	> 7,5	16,80	0,35	25	112.700	120	538.700
Sand (md)	> 10,0	18,24	0,32	80	503.900	260	1.637.700

$r_E$	Fundamentradius
$\nu$	Querdehnzahl
$E_{S,stat}$	Steifziffer, statisch
$E_{S,dyn}$	Steifziffer, dynamisch
$k_{\phi,stat}$	Drehfedersteifigkeit, statisch
$k_{\phi,dyn}$	Drehfedersteifigkeit, dynamisch

Bei Einhaltung der vor genannten Gründungsempfehlungen und bei sorgfältiger Ausführung der Baugrundverbesserungs- und Gründungsarbeiten werden die Anforderungen für die Windkraftanlage des Typs VESTAS V162-6.2 MW mit einer Nabenhöhe von 169 m, von jeder erkundeten Baugrundsicht erfüllt.

Die vorhandenen statischen und dynamischen Drehfedersteifigkeiten jeder erkundeten Schicht liegen über den geforderten Werten von  $k_{\phi,stat} \geq 40.000$  [MNm/rad] bzw.  $k_{\phi,dyn} \geq 200.000$  [MNm/rad].

Die angegebenen Sohlspannungen können vom Baugrund aufgenommen werden.

Die Absolutsetzung der Windkraftanlage wird maximal ca. 3,0 cm betragen.

In Folge der erfolgten Gründungsertüchtigungen werden damit keine relevanten, baugrundbedingten Setzungsunterschiede auftreten.

Die Standsicherheit der Windkraftanlage ist gegeben; die zum Nachweis geführten Berechnungen für die Bemessungssituationen BS-P und BS-A können der Anlage 8 entnommen werden.

## 8.2 Zuwegung und Kranstellfläche

Unter der Voraussetzung, dass der in Abschnitt 4 beschriebene Baugrundaufbau im Bereich der Verkehrsflächen hier übertragbar ist, kann hierzu zusammenfassend von den nachfolgenden Gegebenheiten und Anforderungen ausgegangen werden:

- Die bis in eine Tiefe von mindestens ca. 0,3 m unter Gelände anstehende Oberbodenschicht ist gänzlich zu entfernen und gegen ein verdichtet eingebrachtes rolliges Material zu ersetzen. Die nach Aushub der Oberböden freiliegenden Sande sind mit einer Tiefenwirkung von mindestens 0,4 m nach zu verdichten.
- Der Einbau von Austausch-, Trag- und Frostschutzschichten hat lagenweise, in Abhängigkeit des eingesetzten Verdichtungsgerätes, mit Stärken von 20 cm bis 30 cm, zu erfolgen.
- Auszuführende Gründungspolster sind immer, sofern nicht durch andere konstruktive Maßnahmen die seitliche Stützung des Polsters erreicht wird, mit einer Verbreiterung entsprechend des Lastverteilungswinkels von ca. 45° bis auf die Solltiefe zu führen.
- Die Verdichtungsanforderungen an die Zuwegung und die Kranstellfläche können grundsätzlich, unter Einhaltung der o.g. Anforderungen, sowohl für den Untergrund mit  $E_{V2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ , den Tragschichtaufbau mit  $E_{V2} \geq 80 \text{ MN/m}^2$  bzw.  $E_{V2} \geq 100 \text{ MN/m}^2$  und die Deckschichten mit  $E_{V2} \geq 100 \text{ MN/m}^2$  bzw.  $E_{V2} \geq 120 \text{ MN/m}^2$  bei einem Verhältniswert  $E_{V2} / E_{V1} \leq 2,3$  nachgewiesen werden.
- Die geforderten Mindesttragfähigkeiten des Planums sind vor Ort durch geeignete Verdichtungskontrollen, wie beispielsweise Plattendruckversuche, zu überprüfen.

## 9. ERGÄNZENDE HINWEISE UND EMPFEHLUNGEN

- Die durchgeführten Untersuchungen liefern lediglich einen stichprobenartigen Aufschluss im Bereich der geplanten Windkraftanlage. Sollte sich bei den Gründungsmaßnahmen die Bodensituation örtlich anders darstellen als von uns bisher erkundet, sind wir darüber zu informieren.

Der Untersuchungsbereich gehört zu keiner Erdbebenzone.

- Der unterhalb der Oberböden überwiegend anstehende gewachsene Sand, mit einer Feuchtwichte von  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ , eignet sich grundsätzlich zur Überschüttung und Wiederanfüllung, auch für die Schnittstellen zwischen Fundamentarbeitsraum und Kranstellfläche. Die Überschüttung muss dabei mindestens 0,5 m betragen.
- Für die im Gründungsbereich der Windkraftanlage anstehenden Sande kann mit einem abgeschätzten spezifischen Erdwiderstand zwischen 300 und 1000  $\Omega\text{m}$  gerechnet werden.
- Die Gründungs- und ggf. erforderlichen Baugrundverbesserungsarbeiten sollten geotechnisch begleitet und überwacht werden.
- Das Bauvorhaben ist in die geotechnische Kategorie GK-3 einzuordnen. Folgerichtig ist nach den Vorgaben der DIN 1054 der Geotechnische Entwurfsbericht zur Fortschreibung zu bringen.
- Für ergänzende Erläuterungen und Beratungen stehen wir gerne zur Verfügung.



Prof. Dr.-Ing. H. Kleen



M. Sc. B. Tamme

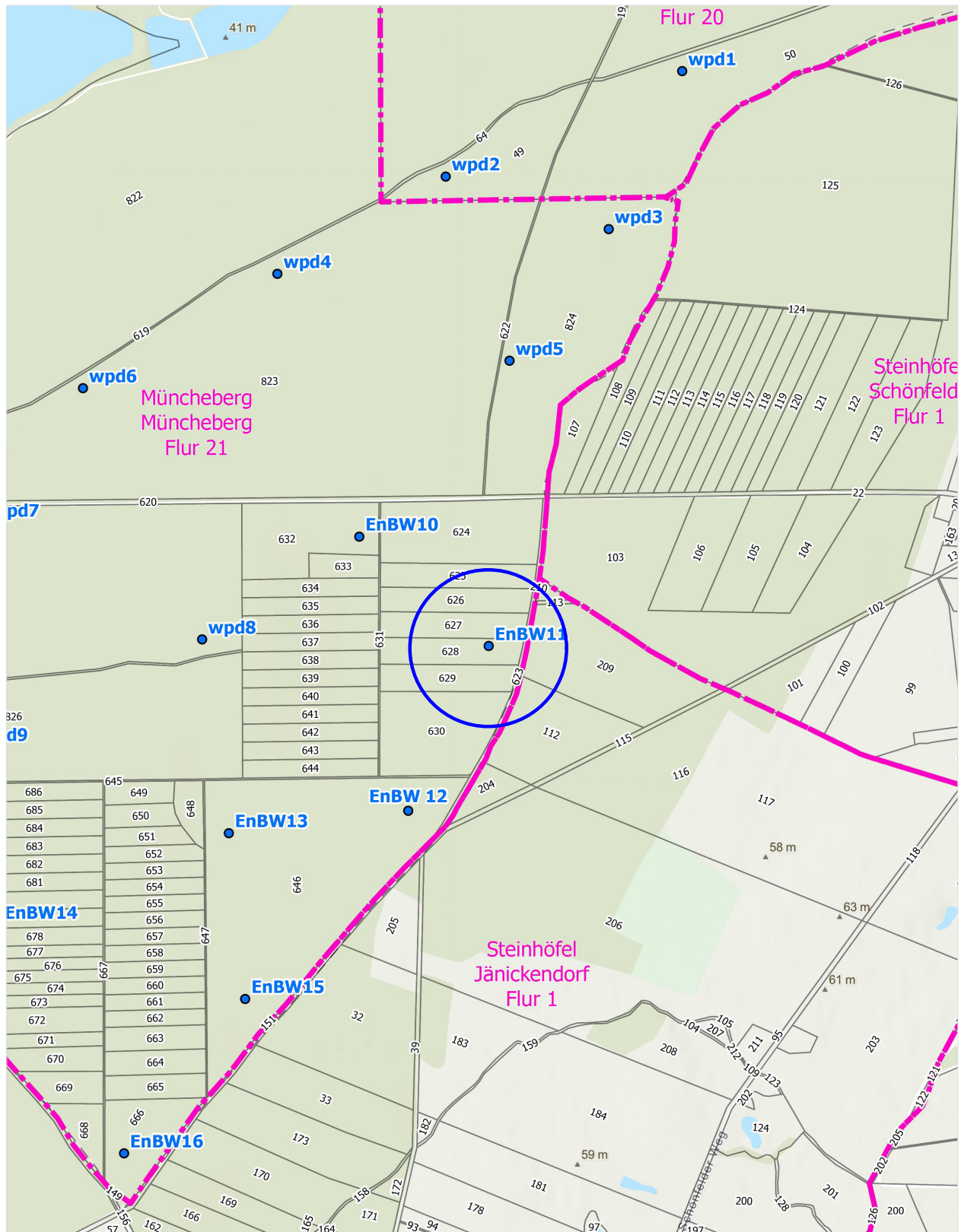
<b>ANLAGEN</b>	<b>SEITEN</b>
1. Übersicht	1
2. Lageplan mit Aufschlussansatzpunkten	1
3. Ergebnisse der Baugrundaufschlüsse	4
4. Körnungslinien	1
5. Zustandsgrenzen	1
6. Wassergehalt	1
7. Betonaggressivität Boden	2
8. Standsicherheitsnachweise	2

Anlage 1

Übersicht



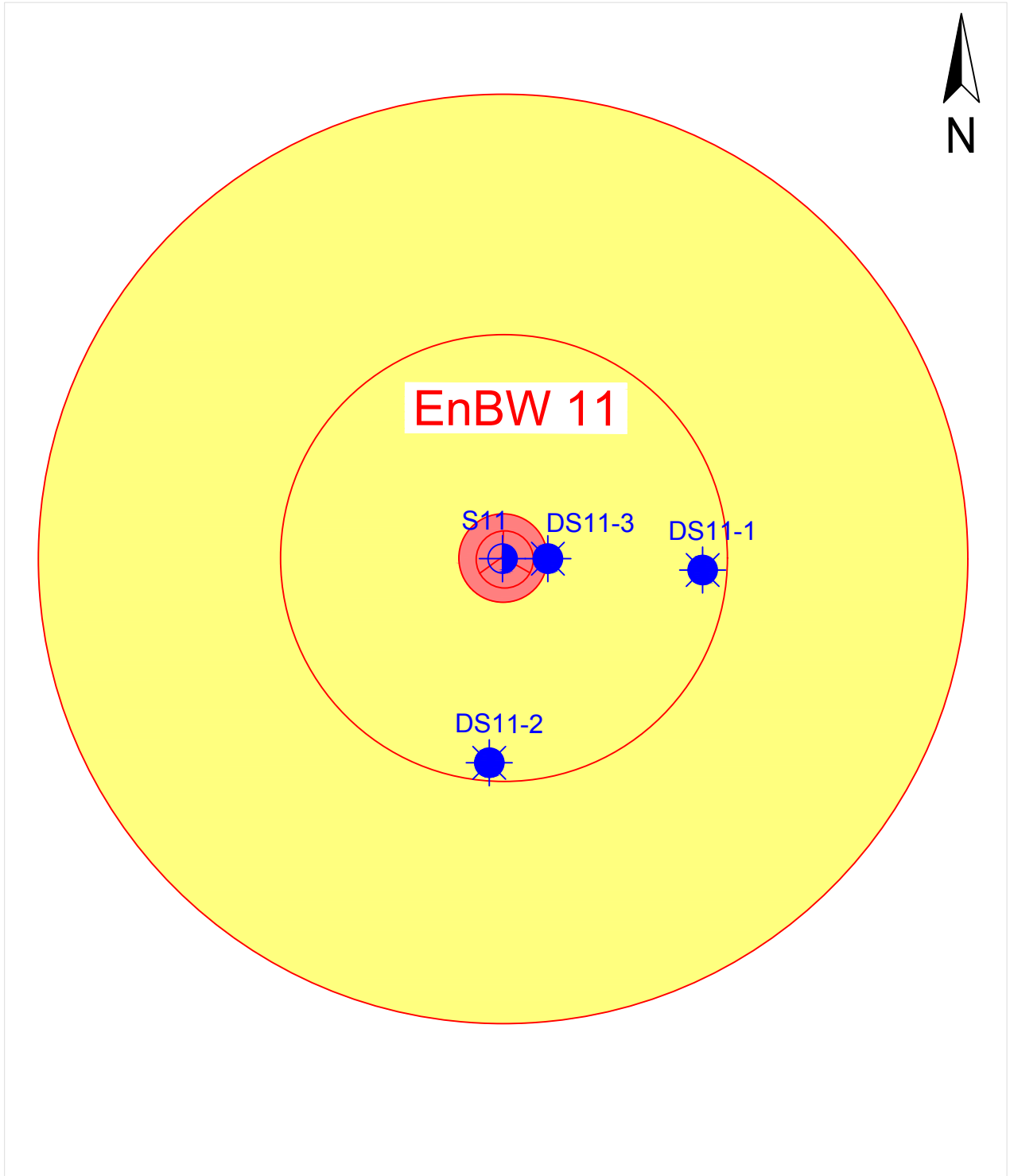
Übersicht



Anlage 2

Lageplanskizze

Lageplanskizze



ohne Maßstab



Kleinbohrung (S)

Drucksondierung CPT-E (DS)

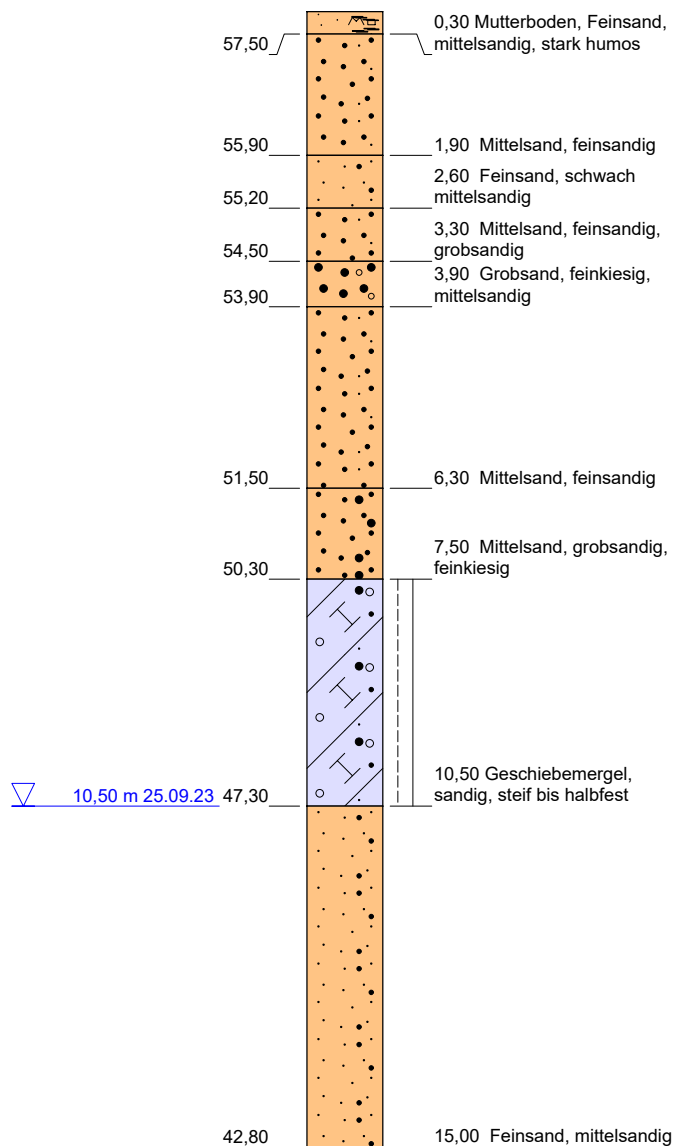
## Anlage 3

# Ergebnisse der Baugrundaufschlüsse

ERGEBNISSE DER BAUGRUNDAUFSCHLÜSSE

**S11**

57,80 m ü.NHN



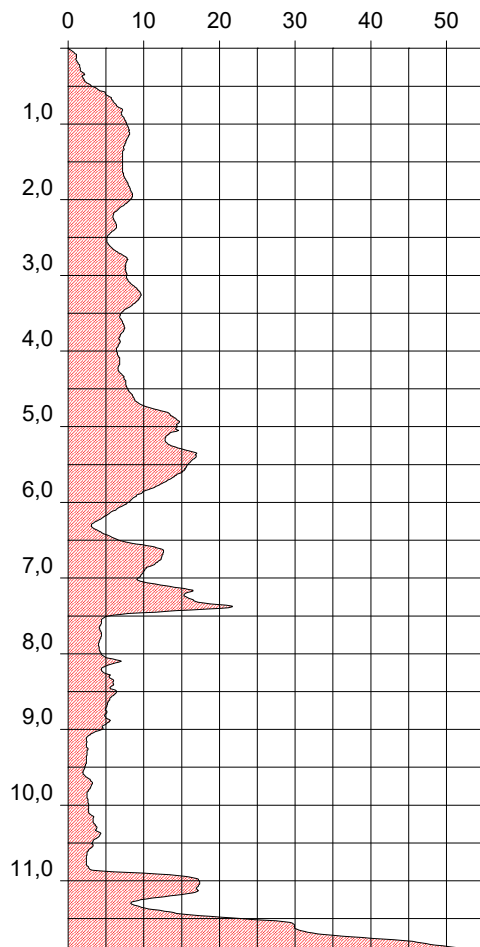
Höhenmaßstab 1:100

ERGEBNISSE DER BAUGRUNDAUFSCHLÜSSE

**DS11-1**

57,80 m ü.NHN

CPT-E

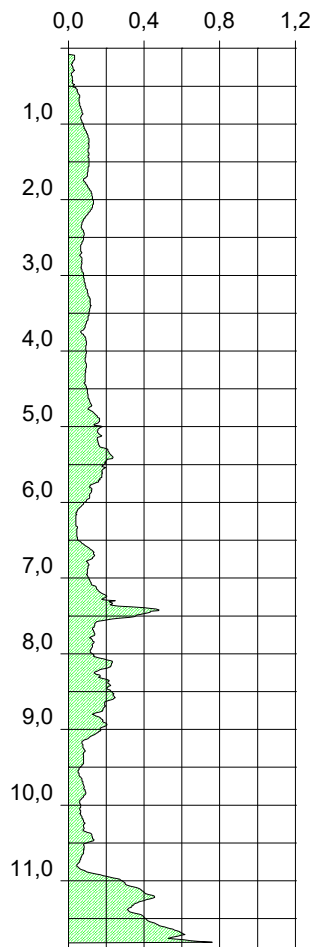


Spitzenwiderstand  $q_c$  [MN/m<sup>2</sup>]

**DS11-1**

57,80 m ü.NHN

CPT-E



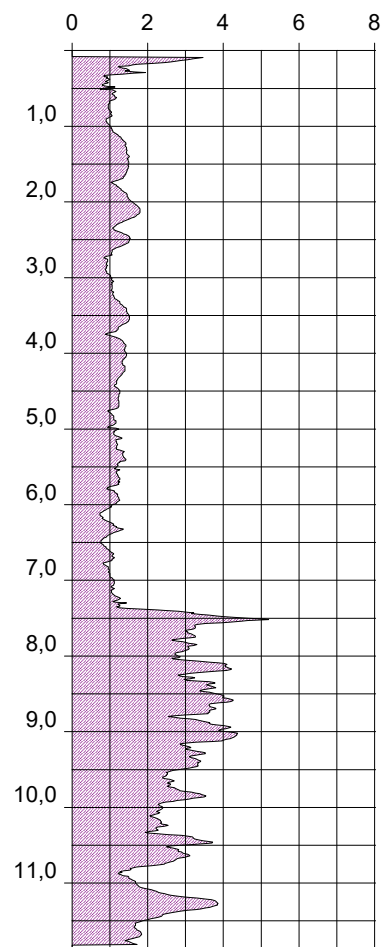
Mantelreibung  $f_s$  [MN/m<sup>2</sup>]

Abbruch wegen Stillstand

**DS11-1**

57,80 m ü.NHN

CPT-E



Reibungsverhältnis  $r_f$  [%]

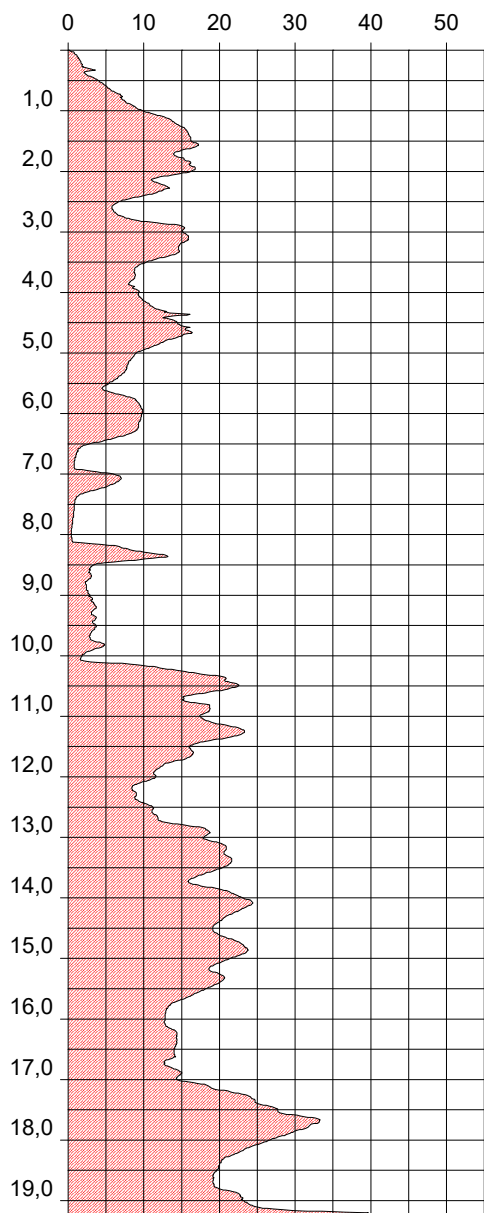
Höhenmaßstab 1:100

ERGEBNISSE DER BAUGRUNDAUFSCHLÜSSE

**DS11-2**

57,80 m ü.NHN

CPT-E

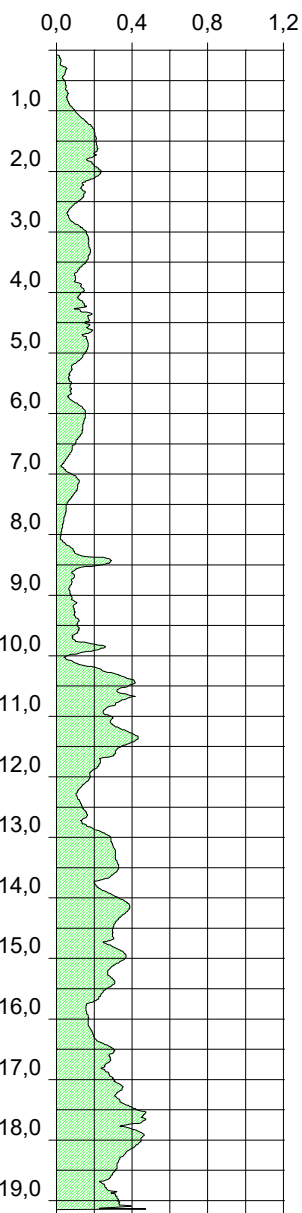


Spitzenwiderstand  $q_c$  [MN/m<sup>2</sup>]

**DS11-2**

57,80 m ü.NHN

CPT-E

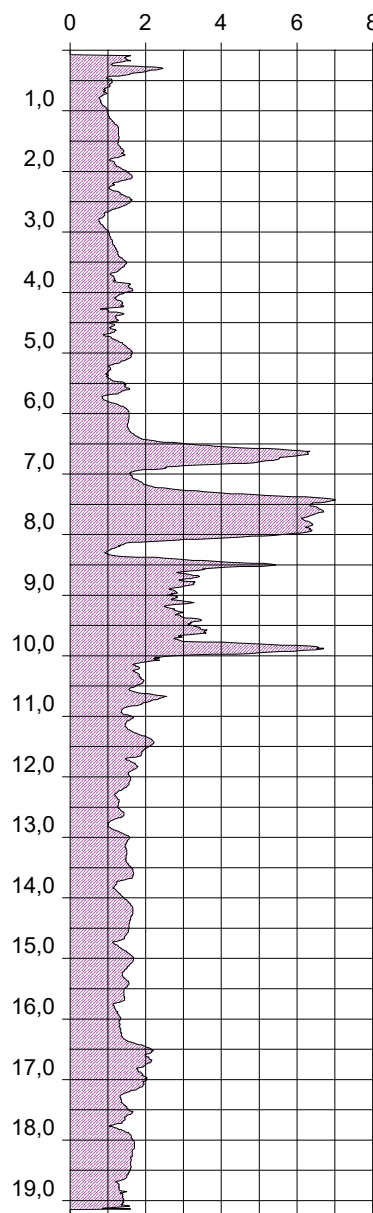


Mantelreibung  $f_s$  [MN/m<sup>2</sup>]

**DS11-2**

57,80 m ü.NHN

CPT-E



Reibungsverhältnis  $r_f$  [%]

Abbruch wegen Stillstand

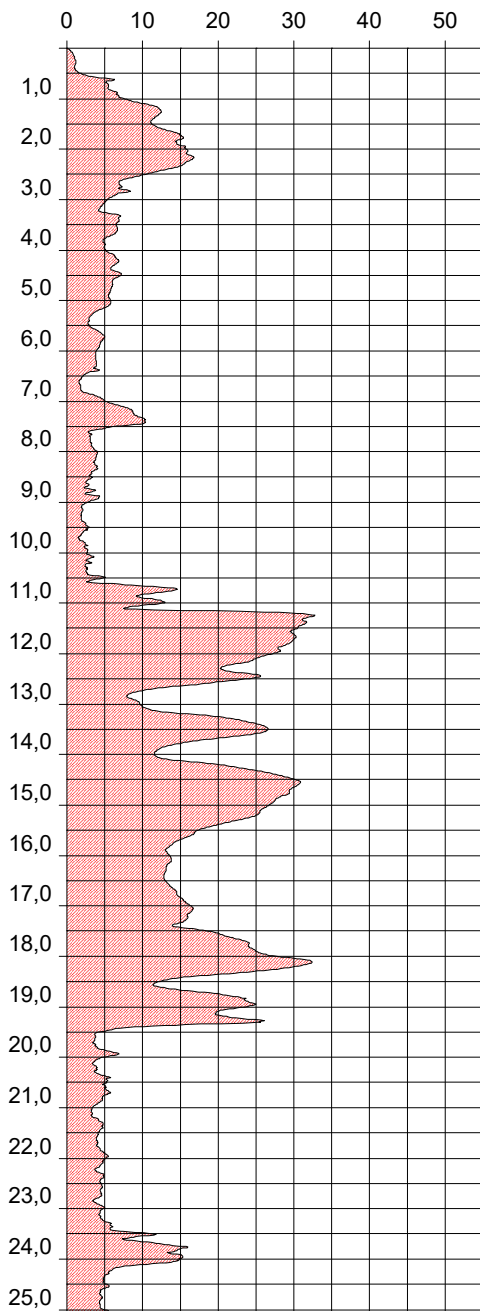
Höhenmaßstab 1:125

ERGEBNISSE DER BAUGRUNDAUFSCHLÜSSE

**DS11-3**

57,80 m ü.NHN

CPT-E

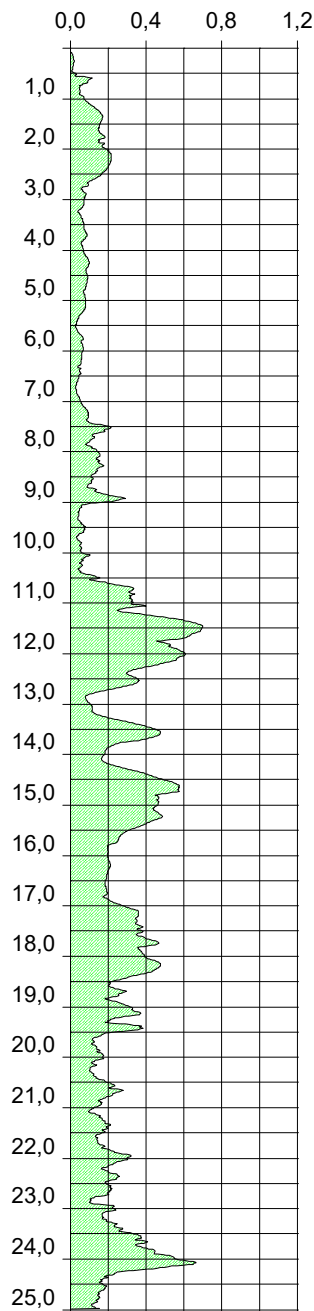


Spitzenwiderstand  $q_c$  [MN/m<sup>2</sup>]

**DS11-3**

57,80 m ü.NHN

CPT-E

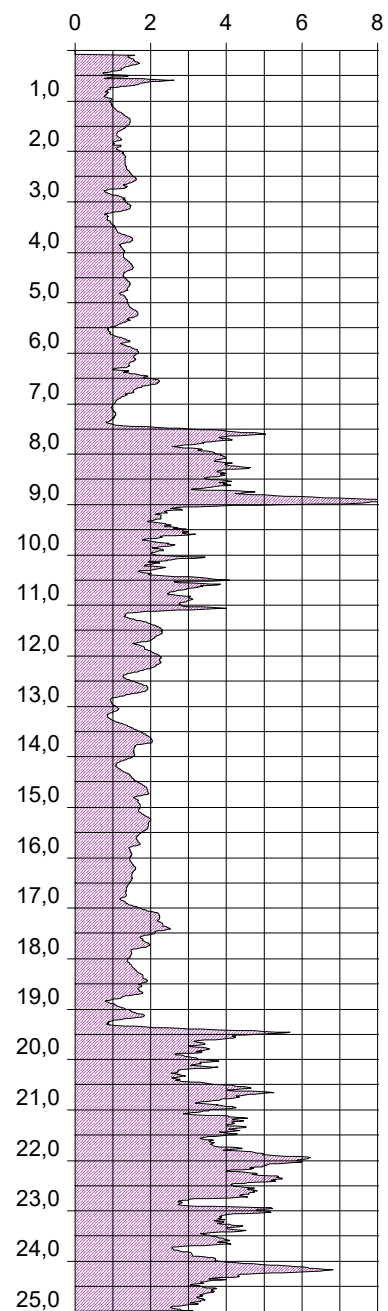


Mantelreibung  $f_s$  [MN/m<sup>2</sup>]

**DS11-3**

57,80 m ü.NHN

CPT-E



Reibungsverhältnis  $r_f$  [%]

Höhenmaßstab 1:150



## Anlage 4

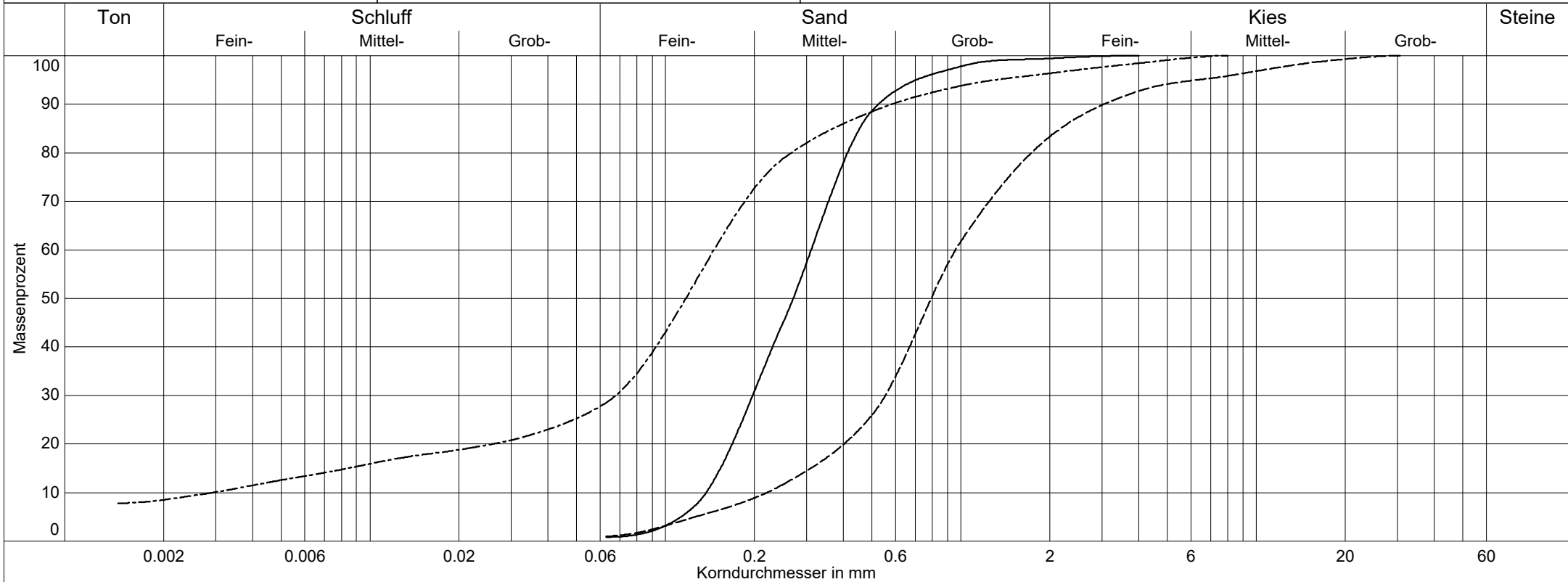
### Kornverteilungen

FH Potsdam
FB Bauingenieurwesen
FG Grundbau und Bodenmechanik
Grundbaulabor

# Kornverteilung

DIN EN ISO 17892-4

Projekt:	WP Müncheberg - Mittelheide / EnBW 11
Projektnr.:	L 62/23
Anlage:	27.10.2023
Datum:	4



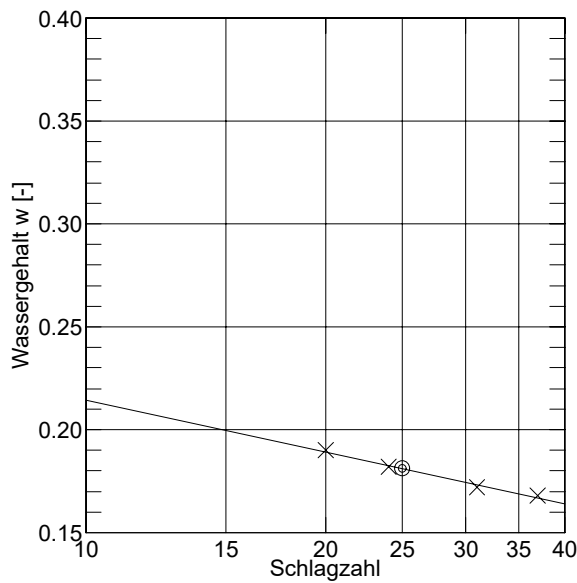
Labornummer	—— s11-1,9	----- s11-3,9	-·-·-· s11-8,5	
Entnahmestelle	S11	S11	S11	
Entnahmetiefe	0,3-1,9 m	3,3-3,9 m	7,5-8,5 m	
Ungleichförm. Cu	2.3	4.3	49.7	
Krümmungszahl Cc	0.9	1.5	10.8	
Bodengruppe	SE	SE	TL	
Anteil < 0.063 mm	0.8 %	1.0 %	28.5 %	
Frostempfindl.klasse	F1	F1	F3	
kf nach Beyer	1.9E-04 m/s	4.3E-04 m/s	-(Cu > 30)	
kf nach USBR	-(d10 > 0.02)	-(d10 > 0.02)	8.1E-07 m/s	
kf nach Kaubisch	-(0.063 <= 10%)	-(0.063 <= 10%)	2.5E-07 m/s	

Anlage 5

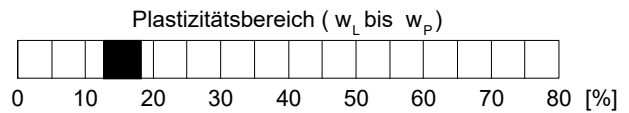
Konsistenzgrenzen

FH Potsdam	Projekt : WP Müncheberg - Mittelheide / EnBW 11
FB Bauingenieurwesen	Projektnr.: L 62/23
FG Grundbau und Bodenmechanik	Anlage : 5
Grundbaulabor	Datum : 27.10.2023
<b>Zustandsgrenzen</b> DIN EN ISO 17892-12	Labornummer: s11-8,5
	Entnahmestelle: S11
	Entnahmetiefe : 7,5-8,5 m

Behälter-Nr.	Fließgrenze				Ausrollgrenze				
	1	W1	P15	W4	1	2	4		
Zahl der Schläge	37	31	24	20					
Feuchte Probe + Behälter	$m_f + m_b$ [g]	62.32	59.26	62.17	62.34	30.92	30.36	31.17	
Trockene Probe + Behälter	$m_t + m_b$ [g]	59.25	56.23	58.79	58.58	29.83	29.31	30.07	
Behälter	$m_b$ [g]	40.99	38.60	40.20	38.84	21.21	21.03	21.37	
Wasser	$m_f - m_t = m_w$ [g]	3.07	3.03	3.38	3.76	1.09	1.05	1.10	
Trockene Probe	$m_t$ [g]	18.26	17.63	18.59	19.74	8.62	8.28	8.70	Mittel
Wassergehalt	$\frac{m_w}{m_t} = w$ [-]	0.168	0.172	0.182	0.190	0.126	0.127	0.126	0.126



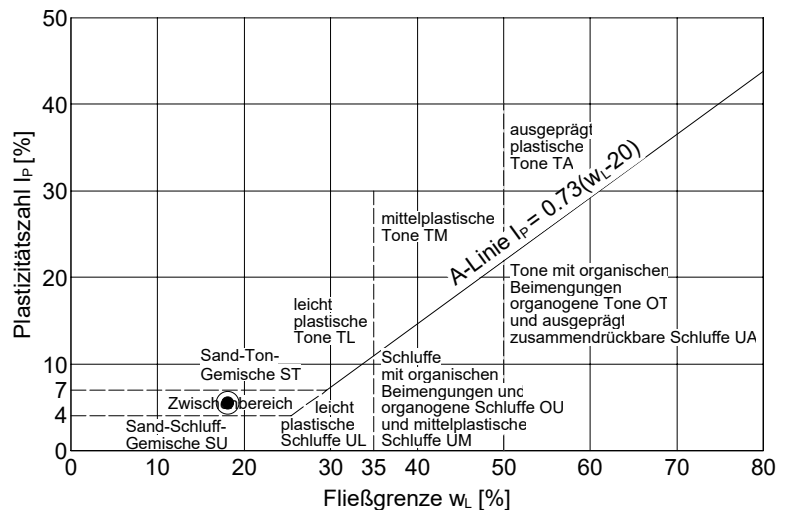
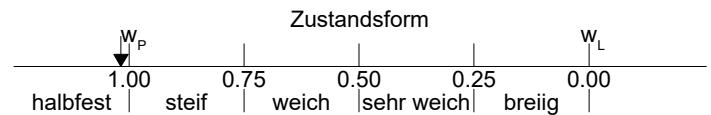
Wassergehalt  $w_N = 0.125$   
 Fließgrenze  $w_L = 0.181$   
 Ausrollgrenze  $w_P = 0.126$



Plastizitätszahl  $I_p = w_L - w_P = 0.055$

Liquiditätsindex  $I_L = \frac{w_N - w_P}{I_p} = -0.018$

Konsistenzzahl  $I_C = \frac{w_L - w_N}{I_p} = 1.018$



Anlage 6

Wassergehalte

FH Potsdam	Projekt : WP Müncheberg - Mittelheide / EnBW 11
FB Bauingenieurwesen	Projektnr.: L 62/23
FG Grundbau und Bodenmechanik	Anlage : 6
Grundbaulabor	Datum : 27.10.2023
<b>Wassergehalt</b> DIN ISO/TS 17892-1	Labor-Nr.: s11-10,0
	Aufschluss-Nr. S11
	Tiefe: 8,5-10,0 m

Schale Nr.  200	Schale u. Probe feucht [g]	= 240.65 g	Schale u. Probe trocken [g]	= 226.25 g
	Schale u. Probe trocken [g]	= 226.25 g	Gewicht Schale [g]	= 109.24 g
	Wassergehalt [g]	= 14.40 g	Probe trocken G [g]	= 117.01 g
			Wassergehalt [%]	= 12.3 %
Schale Nr.	Schale u. Probe feucht [g]	= g	Schale u. Probe trocken [g]	= g
	Schale u. Probe trocken [g]	= g	Gewicht Schale [g]	= g
	Wassergehalt [g]	= g	Probe trocken G [g]	= g
			Wassergehalt [%]	= %
			Mittel	= 12.3 %

## Anlage 7

### Betonaggressivität des Bodens

**AGROLAB Agrar&Umwelt** Dr.-Hell-Str. 6, 24107 Kiel

Ingenieurbüro für Geotechnik Kleen GmbH  
Berliner Straße 124  
14467 Potsdam

Datum 23.10.2023  
Kundennr. 20122596

## PRÜFBERICHT

Auftrag **2311623** Projekt: WP Müncheberg-Mittelheide - Auftrag Boden Betonaggressivität  
 Analysennr. **211984** Mineralisch/Anorganisches Material  
 Probeneingang **11.10.2023**  
 Probenahme **04.10.2023**  
 Probenehmer **Auftraggeber**  
 Kunden-Probenbezeichnung **MP 11**

Einheit Ergebnis Best.-Gr. Methode

### Feststoff

Trockensubstanz	u)	%	°	<b>97,1</b>	0,1	DIN EN 14346 : 2007-03(PL)
Säuregrad n. Baumann-Gully	u)*)	ml/kg		<b>18</b>	0,1	DIN 4030 (mod.)(PL)
Sulfat aus salzsauren Auszug	u)*)	mg/kg	°	<b>117</b>	100	DIN 4030 (mod.)(PL)
Sulfat aus salzsauren Auszug	u)*)	mmol/kg	°	<b>1</b>	1	DIN 4030 (mod.)(PL)
Sulfid leicht freisetzbar	u)*)	mg/kg		<b>&lt;4,0</b>	4	DIN 38405-27 : 1992-07 (mod.)(PL)
Chlorid (Cl)	u)*)	mg/kg		<b>&lt;10</b>	10	DIN 4030-2 : 2008-06(PL)
Sulfid, gesamt	u)*)	mg/kg		<b>0,57</b>	0,1	DIN 4030-2 : 2008-06 in Verbindung mit DIN EN 1744-1 : 2013-03(PL)

*Erläuterung: Das Zeichen "<" oder n.b. in der Spalte Ergebnis bedeutet, der betreffende Parameter ist bei nebenstehender Bestimmungsgrenze nicht quantifizierbar.*

*Die parameterspezifischen analytischen Messunsicherheiten sowie Informationen zum Berechnungsverfahren sind auf Anfrage verfügbar, sofern die berichteten Ergebnisse oberhalb der parameterspezifischen Bestimmungsgrenze liegen. Die Mindestleistungskriterien der angewandten Verfahren beruhen bezüglich der Messunsicherheit in der Regel auf der Richtlinie 2009/90/EG der Europäischen Kommission.*

*Die Analysenwerte der Feststoffparameter beziehen sich auf die Trockensubstanz, bei den mit ° gekennzeichneten Parametern auf die Originalsubstanz.*

*u) externe Dienstleistung eines AGROLAB GROUP Labors*

### Untersuchung durch

(PL) AWW-Dr. Busse GmbH, Plauen (AGROLAB GROUP), Jölsnitzer Str. 113, 08525 Plauen

#### Methoden

DIN 38405-27 : 1992-07 (mod.); DIN 4030 (mod.); DIN 4030-2 : 2008-06; DIN 4030-2 : 2008-06 in Verbindung mit DIN EN 1744-1 : 2013-03

(PL) AWW-Dr. Busse GmbH, Plauen (AGROLAB GROUP), Jölsnitzer Str. 113, 08525 Plauen, für die zitierte Methode akkreditiert nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018, Akkreditierungsverfahren: D-PL-14087-01-00 DAkkS

#### Methoden

DIN EN 14346 : 2007-03

Hinweis zum Probenahmedatum: Das Probenahmedatum ist eine Kundeninformation.

Die in diesem Dokument berichteten Verfahren sind gemäß DIN EN ISO/IEC 17025:2018 akkreditiert. Ausschließlich nicht akkreditierte Verfahren sind mit dem Symbol "u)" gekennzeichnet.



Datum 23.10.2023  
Kundennr. 20122596

## PRÜFBERICHT

Auftrag **2311623** Projekt: WP Müncheberg-Mittelheide - Auftrag Boden  
Betonaggressivität  
Analysennr. **211984** Mineralisch/Anorganisches Material  
Kunden-Probenbezeichnung **MP 11**

Beginn der Prüfungen: 11.10.2023  
Ende der Prüfungen: 19.10.2023

*Die Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die geprüften Gegenstände. In Fällen, wo das Prüflabor nicht für die Probenahme verantwortlich war, gelten die berichteten Ergebnisse für die Proben wie erhalten. Das Laboratorium ist nicht für die vom Kunden bereitgestellten Informationen verantwortlich. Die ggf. im vorliegenden Prüfbericht dargestellten Kundeninformationen unterliegen nicht der Akkreditierung des Laboratoriums und können sich auf die Validität der Prüfergebnisse auswirken. Die auszugsweise Vervielfältigung des Berichts ohne unsere schriftliche Genehmigung ist nicht zulässig. Die Ergebnisse in diesem Prüfbericht werden gemäß der mit Ihnen schriftlich gemäß Auftragsbestätigung getroffenen Vereinbarung in vereinfachter Weise i.S. der DIN EN ISO/IEC 17025:2018, Abs. 7.8.1.3 berichtet.*



**AGROLAB Agrar&Umwelt Frau Larissa Gorski, Tel. 0431/22138-581**  
**Service Team Umwelt 1, Email: [umwelt1.kiel@agrolab.de](mailto:umwelt1.kiel@agrolab.de)**

Die in diesem Dokument berichteten Verfahren sind gemäß DIN EN ISO/IEC 17025:2018 akkreditiert. Ausschließlich nicht akkreditierte Verfahren sind mit dem Symbol " (\*) " gekennzeichnet.

## Anlage 8

### Stand sicherheitsnachweise

Berechnungsgrundlagen:  
 WP Müncheberg EnBW11-P  
 Norm: EC 7  
 BS: DIN 1054: BS-P  
 Grundbruchformel nach DIN 4017:2006  
 Teilsicherheitskonzept (EC 7)  
 $\gamma_{R,v} = 1.40$   
 $\gamma_G = 1.35$   
 $\gamma_Q = 1.50$   
 $\gamma_{R,h} = 1.10$

Grenzzustand EQU:  
 $\gamma_{G,dst} = 1.10$   
 $\gamma_{G,stab} = 0.90$   
 $\gamma_{Q,dst} = 1.50$   
 Gründungssohle = 0.24 m  
 Grundwasser = 8.00 m  
 Grenztiefe mit  $p = 20.0\%$

Boden	Tiefe [m]	$\gamma/\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi$ [°]	c [kN/m <sup>2</sup> ]	E <sub>s</sub> [MN/m <sup>2</sup> ]	$\kappa$ [-]	Bezeichnung
	7.50	18.0/11.0	32.5	0.0	80.0	1.000	RSV
	10.00	21.0/12.0	30.0	40.0	25.0	1.000	Mergel, stf-sth
	>10.00	18.0/11.0	32.5	0.0	80.0	1.000	Sand, md

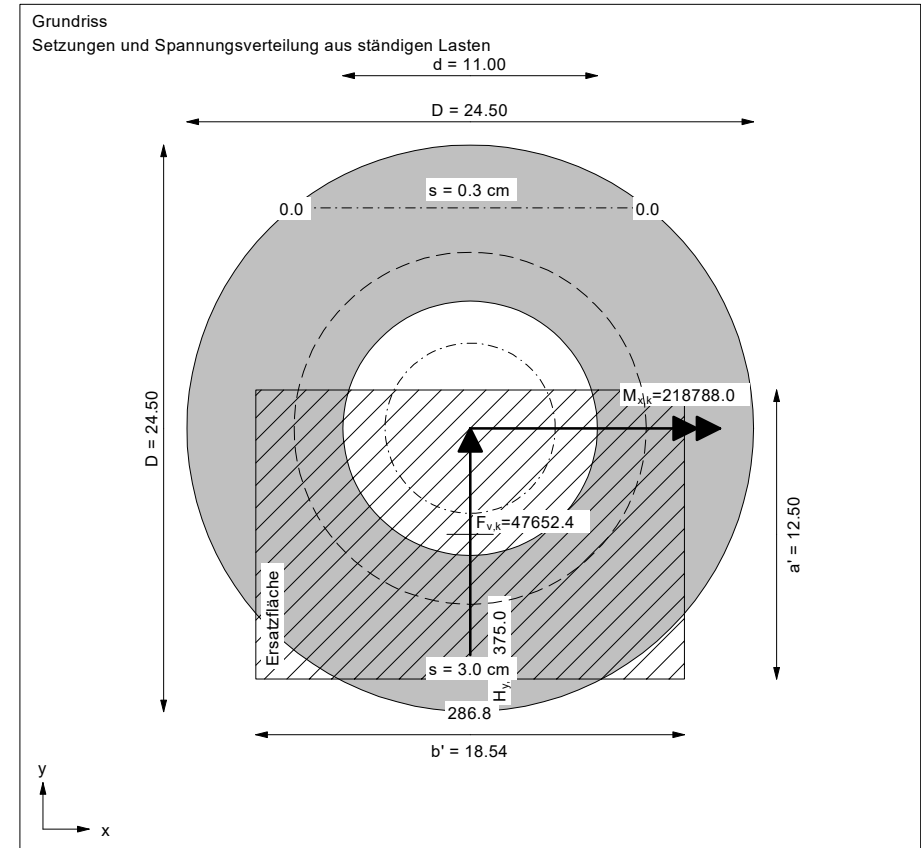
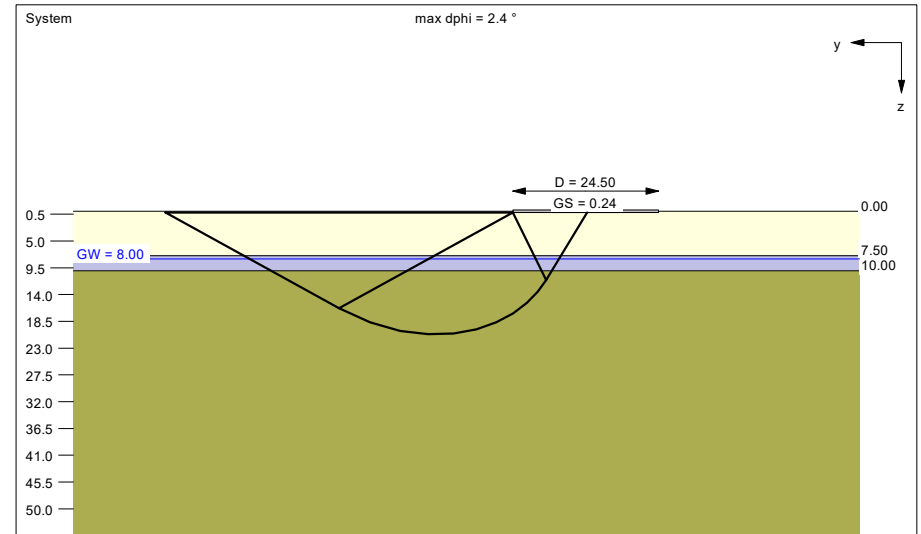
Ergebnisse Kreisringfundament  
 Kippnachweis nicht untersucht  
 Lasten = ständig / veränderlich  
 Vertikallast  $F_{v,k} = 47652.40 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,x,k} = 0.00 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,y,k} = 1375.00 / 0.00$  kN  
 Moment  $M_{x,k} = 218788.00 / 0.00$  kN·m  
 Moment  $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$  kN·m  
 Durchmesser D = 24.500 m  
 Durchmesser (innen) d = 11.000 m  
 Unter ständigen Lasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -4.591$  m  
 $a' = 12.502$  m  
 $b' = 18.540$  m  
 Unter Gesamtlasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -4.591$  m  
 $a' = 12.502$  m  
 $b' = 18.540$  m

Grundbruch:  
 Teilsicherheit (Grundbruch)  $\gamma_{R,v} = 1.40$   
 $\sigma_{R,k} / \sigma_{R,d} = 2302.0 / 1644.27$  kN/m<sup>2</sup>  
 $R_{n,k} = 533581.22$  kN  
 $R_{n,d} = 381129.44$  kN  
 $V_d = 1.35 \cdot 47652.40 + 1.50 \cdot 0.00$  kN  
 $V_d = 64330.74$  kN  
 $\mu$  (parallel zu y) = 0.169  
 Kohäsionsglied = 41986.39 kN (k)  
 Breitenglied = 460509.86 kN (k)  
 Tiefenglied = 31084.97 kN (k)  
 cal  $\varphi = 32.3^\circ$   
 cal c = 3.81 kN/m<sup>2</sup>  
 cal  $\gamma_2 = 14.85$  kN/m<sup>3</sup>  
 cal  $\sigma_0 = 4.32$  kN/m<sup>2</sup>  
 Tragfähigkeitsbeiwerte (x):  
 $N_{c0} = 36.56$ ;  $N_{d0} = 24.16$ ;  $N_{b0} = 14.67$   
 Formbeiwerte (x):  
 $v_c = 1.376$ ;  $v_d = 1.361$ ;  $v_b = 0.798$

Neigungsbeiwerte (x):  
 $i_c = 0.952$ ;  $i_d = 0.954$ ;  $i_b = 0.927$   
 Tragfähigkeitsbeiwerte (y):  
 $N_{c0} = 36.30$ ;  $N_{d0} = 23.92$ ;  $N_{b0} = 14.47$   
 Formbeiwerte (y):  
 $v_c = 1.376$ ;  $v_d = 1.360$ ;  $v_b = 0.798$   
 Neigungsbeiwerte (y):  
 $i_c = 0.952$ ;  $i_d = 0.954$ ;  $i_b = 0.927$

Gleitwiderstand:  
 Teilsicherheit (Gleitwiderstand)  $\gamma_{R,h} = 1.10$   
 $N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 47652.40 \cdot \tan(32.50^\circ) / 1.10$   
 $R_{t,d} = N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 27598.12$  kN  
 $T_d = 1856.25$  kN  
 $\mu = T_d / R_{t,d} = 0.067$

Setzung infolge ständiger Lasten:  
 Grenztiefe  $t_g = 13.50$  m u. GOK  
 Setzung (Mittel aller KPs) = 1.62 cm  
 Setzungen der KPs:  
 oben = 0.27 cm  
 unten = 2.96 cm  
 Verdrehung(x) (KP) = 1 : 768.9  
 Nachweis EQU:  
 $M_{stb} = 47652.4 \cdot 24.50 \cdot 0.5 \cdot 0.90 = 525367.7$   
 $M_{dst} = 218788.0 \cdot 1.10 = 240666.8$   
 $\mu_{EQU} = 240666.8 / 525367.7 = 0.458$



**Berechnungsgrundlagen:**  
 WP Müncheberg EnBW11-A  
 Norm: EC 7  
 BS: DIN 1054: BS-A  
 Grundbruchformel nach DIN 4017:2006  
 Teilsicherheitskonzept (EC 7)  
 $\gamma_{R,v} = 1.20$   
 $\gamma_G = 1.10$   
 $\gamma_Q = 1.10$   
 $\gamma_{R,h} = 1.10$

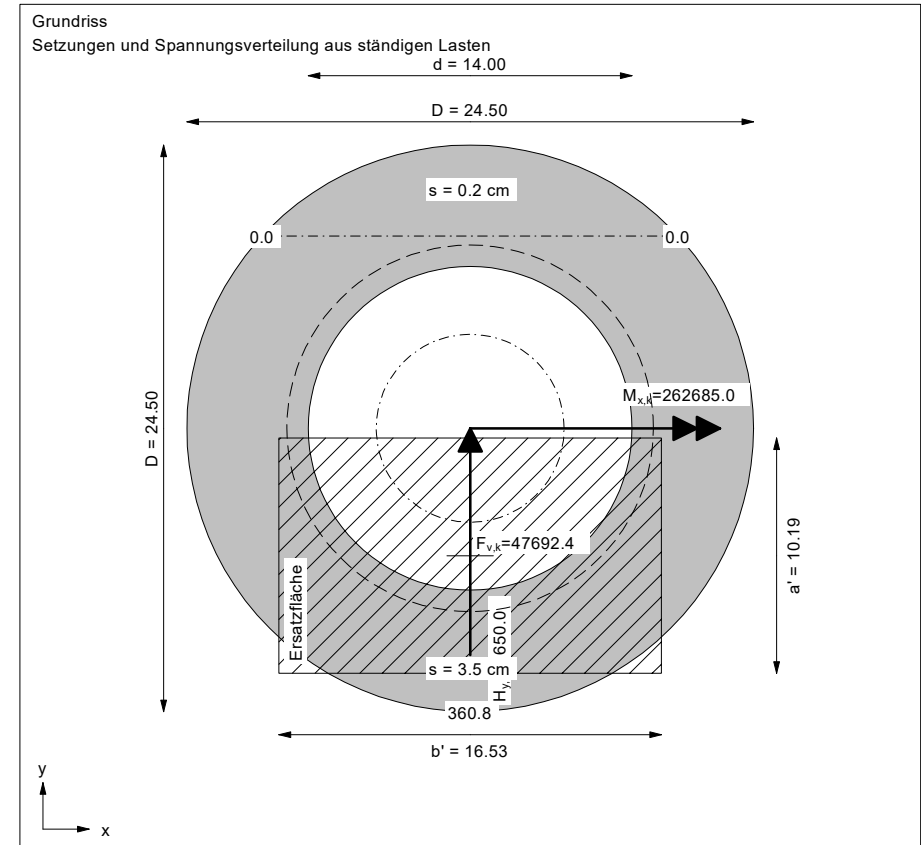
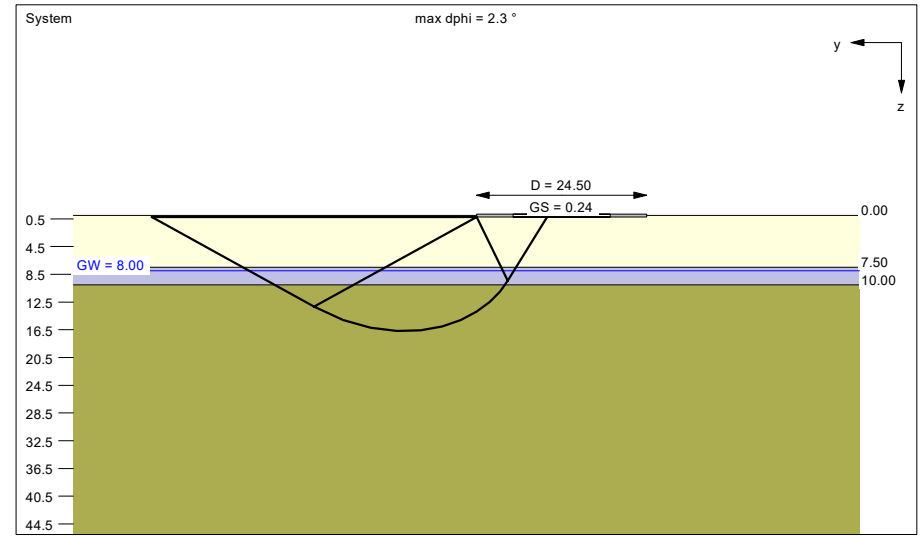
**Grenzzustand EQU:**  
 $\gamma_{G,dst} = 1.00$   
 $\gamma_{G,stb} = 0.95$   
 $\gamma_{Q,dst} = 1.00$   
 Gründungssohle = 0.24 m  
 Grundwasser = 8.00 m  
 Grenztiefe mit  $p = 20.0\%$

Boden	Tiefe [m]	$\gamma/\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi$ [°]	c [kN/m <sup>2</sup> ]	$E_s$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$\kappa$ [-]	Bezeichnung
■	7.50	18.0/11.0	32.5	0.0	80.0	1.000	RSV
■	10.00	21.0/12.0	30.0	40.0	25.0	1.000	Mergel, stf-sth
■	>10.00	18.0/11.0	32.5	0.0	80.0	1.000	Sand, md

**Ergebnisse Kreisringfundament**  
 Kippnachweis nicht untersucht.  
 Lasten = ständig / veränderlich  
 Vertikallast  $F_{v,k} = 47692.40 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,x,k} = 0.00 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,y,k} = 1650.00 / 0.00$  kN  
 Moment  $M_{x,k} = 262685.00 / 0.00$  kN·m  
 Moment  $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$  kN·m  
 Durchmesser  $D = 24.500$  m  
 Durchmesser (innen)  $d = 14.000$  m  
 Unter ständigen Lasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -5.508$  m  
 $a' = 10.185$  m  
 $b' = 16.530$  m  
 Unter Gesamtlasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -5.508$  m  
 $a' = 10.185$  m  
 $b' = 16.530$  m

**Grundbruch:**  
 Teilsicherheit (Grundbruch)  $\gamma_{R,v} = 1.20$   
 $\sigma_{R,k} / \sigma_{R,d} = 2039.4 / 1699.47$  kN/m<sup>2</sup>  
 $R_{n,k} = 343338.24$  kN  
 $R_{n,d} = 286115.20$  kN  
 $V_d = 1.10 \cdot 47692.40 + 1.10 \cdot 0.00$  kN  
 $V_d = 52461.64$  kN  
 $\mu$  (parallel zu y) = 0.183  
 Kohäsionsglied = 36617.78 kN (k)  
 Breitenglied = 285040.85 kN (k)  
 Tiefenglied = 21679.61 kN (k)  
 cal  $\varphi = 32.2^\circ$   
 cal c = 4.76 kN/m<sup>2</sup>  
 cal  $\gamma_2 = 15.60$  kN/m<sup>3</sup>  
 cal  $\sigma_0 = 4.32$  kN/m<sup>2</sup>  
 Tragfähigkeitsbeiwerte (x):  
 $N_{c0} = 36.50$ ;  $N_{d0} = 24.11$ ;  $N_{b0} = 14.63$   
 Formbeiwerte (x):  
 $v_c = 1.344$ ;  $v_d = 1.330$ ;  $v_b = 0.815$

**Neigungsbeiwerte (x):**  
 $i_c = 0.942$ ;  $i_d = 0.945$ ;  $i_b = 0.912$   
**Tragfähigkeitsbeiwerte (y):**  
 $N_{c0} = 36.12$ ;  $N_{d0} = 23.75$ ;  $N_{b0} = 14.33$   
**Formbeiwerte (y):**  
 $v_c = 1.343$ ;  $v_d = 1.328$ ;  $v_b = 0.815$   
**Neigungsbeiwerte (y):**  
 $i_c = 0.942$ ;  $i_d = 0.945$ ;  $i_b = 0.912$   
**Gleitwiderstand:**  
 Teilsicherheit (Gleitwiderstand)  $\gamma_{R,h} = 1.10$   
 $N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 47692.40 \cdot \tan(32.50^\circ) / 1.10$   
 $R_{t,d} = N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 27621.28$  kN  
 $T_d = 1815.00$  kN  
 $\mu = T_d / R_{t,d} = 0.066$   
**Setzung infolge ständiger Lasten:**  
 Grenztiefe  $t_g = 14.42$  m u. GOK  
 Setzung (Mittel aller KPs) = 1.83 cm  
 Setzungen der KPs:  
 oben = 0.18 cm  
 unten = 3.49 cm  
 Verdrehung(x) (KP) = 1 : 626.1  
**Nachweis EQU:**  
 $M_{stb} = 47692.4 \cdot 24.50 \cdot 0.5 \cdot 0.95 = 555020.3$   
 $M_{dst} = 262685.0 \cdot 1.00 = 262685.0$   
 $\mu_{EQU} = 262685.0 / 555020.3 = 0.473$



- BAUGRUNDUNTERSUCHUNGEN
- BAUGRUNDGUTACHTEN
- GRÜNDUNGSBERATUNG
- ALTLASTERKUNDUNGEN
- KONTAMINATIONS-GUTACHTEN
- GRUNDBAUSTATIK
- BAULEITUNG · PLANUNG

## GEOTECHNISCHER ENTWURFSBERICHT

108-23EnBW12

Bauvorhaben:	Windpark Müncheberg - Mittelheide EnBW 12
Auftraggeber:	Naturwind Potsdam GmbH Hegelallee 41 14467 Potsdam
Bearbeiter:	M.Sc. B. Tamme Prof. Dr.-Ing. H. Kleen
Umfang:	11 Seiten 6 Anlagen
Datum:	17.11.2023

## 1. VERANLASSUNG

Unser Büro wurde am 31.07.2023 durch die Naturwind Potsdam GmbH schriftlich beauftragt, für die im Windpark Müncheberg - Mittelheide geplante Windkraftanlage EnBW 12, einen Geotechnischen Entwurfsbericht, einschließlich der notwendigen Feld- und Laboruntersuchungen, anzufertigen.

## 2. UNTERLAGEN

Für die Bearbeitung standen die nachfolgend aufgeführten Unterlagen zur Verfügung:

- U 2.1 Geologische Karte, M.: 1 : 25.000, über [www.geo.brandenburg.de/gk25/](http://www.geo.brandenburg.de/gk25/), Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg
- U 2.2 Unser Geotechnischer Entwurfsbericht zum Bauvorhaben „Windpark Müncheberg-Mittelheide WEA3, vom 27.11.2020 nebst Unterlagen
- U 2.3 Prüfbericht für eine Typenprüfung, Vestas V162-5.4/5.6/6.0/6.2 MW mit 169 m Nabenhöhe, D = 24,5 m, Kreisringfundament mit Auftrieb, Prüfnr.: 3108363-23-d Rev.4, der TÜV SÜD Industrie Service GmbH aus München, vom 25.02.2022
- U 2.4 Lageplan zum Projekt Müncheberg-Mittelheide, der naturwind potsdam GmbH, M.: 1 : 12.000, vom 28.07.2023
- U 2.5 Geländeordinaten der Windkraftanlagenmittelpunkte, übersandt am 01.11.2023 durch das zuständige Vermessungsbüro Horst Möhring aus Frankfurt Oder
- U 2.6 Ergebnisse der Drucksondierungen der Firma Fugro Germany Land GmbH aus Berlin, übersandt am 31.10.2023
- U 2.7 Ergebnisse bodenmechanischer Laboruntersuchungen der Fachhochschule Potsdam, Fachgebiet Grundbau und Bodenmechanik, vom 27.10.2023 (L63/23)
- U 2.8 Prüfbericht zur Betonaggressivität des Bodens, WP Müncheberg - Mittelheide / MP12 (EnBW 12), der Agrolab Agrar und Umwelt GmbH aus Kiel, Analysennummer: 211985 vom 23.10.2023

### **3. BAUGRUNDSTÜCK UND BAUWERK**

Der Standort für den Neubau einer Windkraftanlage befindet sich zwischen dem Maxsee und Schönfelde, südlich des Müncheberger Ortsteils Hoppegarten, innerhalb des geplanten Windparks Müncheberg - Mittelheide.

Hier soll, auf der forstwirtschaftlich genutzten Fläche, die Windkraftanlage EnBW 12 vom Typ V162-6.2 MW mit Hybridturm und einer Nabenhöhe von 169 m auf einem Kreisringfundament, mit einem Außendurchmesser von  $D = 24,5$  m, auf einer 0,1 m starken Sauberkeitsschicht in einer Tiefe von ca. 0,24 m unter Gelände, flach gegründet werden.

Die Geländehöhe am Standort der Windkraftanlage EnBW 12 liegt auf einer Ordinate von ca. 55,9 m über NHN.

Die Lage der geplanten Windkraftanlage geht aus der Anlage 1 und der Anlage 2 hervor.

### **4. BAUGRUND**

#### **4.1 Vorkenntnisse**

Der Windpark Müncheberg - Mittelheide befindet sich im Bereich einer im Pleistozän gebildeten Hochfläche.

Hier ist mit Schmelzwasserablagerungen in Form von feinkörnigen, schwach mittelkörnigen Sanden, die zum Teil schwach schluffige Beimengungen beinhalten, zu rechnen (s. Unterlage U 2.1).

Gemäß der Unterlage U 2.2 stehen am Untersuchungsstandort, unterhalb einer ca. 0,1 m starken, sandigen, stark humosen Oberbodenschicht, bis zur Aufschlussendteufe von 15,0 m unter Gelände, Fein-, Mittel- und Grobsande an.

Die Sande sind durchweg mindestens mitteldicht, lokal locker gelagert; darüber hinaus stellenweise anstehende dünne Geschiebemergellagen besitzen eine mindestens halbfeste Zustandsform.

#### **4.2 Baugrunduntersuchungen**

Zur Erkundung der Baugrundverhältnisse wurde im Bereich der geplanten Windkraftanlage EnBW 12 eine Kleinbohrung (S12) bis zu einer Endteufe von 15,0 m unter Gelände abgeteuft.

Zur Feststellung der Lagerungsdichte bzw. der Festigkeit des anstehenden Baugrundes wurden zudem drei Drucksondierungen als CPT-E (DS12-1 bis DS12-3) bis in Tiefen von 20,0 m und 25,0 m unter Gelände angeordnet.

Auf Grund zu hoher Baugrundfestigkeiten musste die Drucksondierung DS12-2 wegen Auslastung in einer Tiefe von ca. 17,5 m unter Gelände abgebrochen werden.

Die Einmessung und Kennzeichnung des Untersuchungsstandortes erfolgte durch das beauftragte Vermessungsbüro (vgl. Unterlage U 2.5).

Die Lage der genannten Aufschlüsse ist aus der Anlage 1 und der Anlage 2 ersichtlich.

### **4.3 Ergebnisse der Baugrundaufschlüsse**

Auf der Grundlage des, während der Feldarbeiten erstellten Schichtenverzeichnisses und einer durch uns vorgenommenen Bodenansprache, wurde das in der Anlage 3 dokumentierte Schichtenprofil angefertigt. Zudem sind innerhalb der Anlage 3 die Ergebnisse der Drucksondierungen dargestellt.

Im Einzelnen kann damit am Standort der geplanten Windkraftanlage EnBW 12 von folgendem Baugrundaufbau ausgegangen werden:

Unterhalb einer ca. 0,2 m starken, sandigen, stark humosen Oberbodenschicht (Mutterboden) stehen bis zur Aufschlussendteufe von 15,0 m unter Gelände Fein-, Mittel- und Grobsande an.

Die Drucksondierungen DS12-1 bis DS12-3 bestätigen die erkundeten Baugrundverhältnisse im Wesentlichen und ergeben für die Sande bis maximal ca. 2,2 m unter Gelände eine lockere, darunter eine mindestens mitteldichte, lokal eine lockere Lagerung.

Darüber hinaus deuten die Reibungsverhältnisse  $R_f$  und die Spitzenwiderstände  $q_s$  der Drucksondierungen darauf hin, dass die Sande stellenweise von dünnen Geschiebemergellagen durchzogen werden, denen überwiegend eine steif-halbfeste und halbfeste Konsistenz zugeordnet werden kann.

Zudem zeigen die Drucksondierungen ab ca. 15,0 m unter Gelände kompakte, mindestens halbfeste und feste Geschiebemergelschichten.

Körnungslinien repräsentativer Böden sind der Anlage 4 zu entnehmen.



## 5. HOMOGENBEREICHE / BODENKLASSIFIZIERUNG

Die im Bereich des Untersuchungsstandortes anstehenden Böden können gemäß VOB Teil C, Ausgabe 2012 und Ausgabe 2015, DIN 18196:2011-05 sowie ZTV E-StB 17 wie folgt eingestuft und klassifiziert werden:

### Oberboden

Bodengruppe:	OH
Lagerung:	locker
Frostempfindlichkeit:	gering bis mittel frostempfindlich (F2)

Der Oberboden entspricht nach VOB Teil C, Ausgabe 2012 (DIN 18300) der Bodenklasse 1 (Oberboden). Nach DIN 18915:2002-08 kann der Oberboden für vegetationstechnische Zwecke der Bodengruppe 2 zugeordnet werden.

### Homogenbereich A / Sande

Bodengruppe:	SE
Lagerung:	bis ca. 2,2 m: locker ab ca. 2,2 m: mindestens mitteldicht
Verdichtungsfähigkeit:	gut bis mittel
Frostempfindlichkeit:	nicht frostempfindlich (F1)
Durchlässigkeit [m/s]:	$k_f = 1 \times 10^{-3}$ bis $1 \times 10^{-4}$

Die Sande entsprechen nach VOB, Teil C, Ausgabe 2012 (DIN 18300) der Bodenklasse 3 (leicht lösbare Bodenarten).

### Homogenbereich B / Geschiebemergel

Bodengruppe:	SU*, TL
Festigkeit:	steif bis halbfest, halbfest
Verdichtungsfähigkeit:	SU*: mittel TL: mäßig
Frostempfindlichkeit:	sehr frostempfindlich (F3)
Durchlässigkeit [m/s]:	$k_f < 1 \times 10^{-7}$

Der Geschiebemergel entspricht nach VOB, Teil C, Ausgabe 2012 (DIN 18300) der Bodenklasse 4 (mittelschwer lösbare Bodenarten).

Innerhalb und unmittelbar oberhalb des Geschiebehorizontes ist mit Findlingen zu rechnen.

Werden weiterreichende Angaben zu Körnungsbändern, zur Dichte und zur Festigkeit anstehender Böden erforderlich, sind ggf. zusätzliche Labor- bzw. Feldversuche durchzuführen.

## 6. GRUNDWASSER

Während der Baugrunduntersuchungen im September 2023 wurde Grundwasser in einer Tiefe von ca. 8,3 m unter Gelände und damit auf einer Ordinate von ca. 47,6 m über NHN angeschnitten.

Da im Gründungsbereich kein Grundwasser ansteht, wurde hier ersatzweise eine Bodenprobe hinsichtlich Betonaggressivität untersucht.

Als Ergebnis konnte festgestellt werden, dass der anstehende Boden hier als nicht betonangreifend einzustufen ist, was gemäß DIN EN 206-1 zu der Expositionsklasse XAI führt.

Die Einzelergebnisse der Bodenanalytik können der Unterlage U 2.8, die innerhalb der Anlage 5 dargestellt ist, entnommen werden.

## 7. BODENKENNWERTE

Für erdstatische Berechnungen können, auf Grund der Ansprache der gelieferten Proben, der Bohr- und Sondierergebnisse und unserer Erfahrung die charakteristischen Bodenkennwerte der folgenden Tabelle 1 angesetzt werden.

Die Tiefenlagen der Bodenschichten sind dem Schichtenprofil, welches innerhalb der Anlage 3 dargestellt ist, zu entnehmen.

**Tabelle 1: charakteristische Bodenkennwerte**

Bodenart	Bodenkennwerte					
	Wichte	Reibungswinkel	Kohäsion	Querdehnzahl	Steifeziffer stat. / dyn.	
	$\gamma_k / \gamma'_{k}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi'_{k}$ [°]	$c'_{k} / c_{u,k}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\nu$ [-]	$E_{s,k} / E_{sd,k}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	
Oberboden	17 / 9	30,0	-- / --	-- / --	-- / --	
Sand	locker (lo)	18 / 10	30,0	-- / --	0,32	40 / 170
	mitteldicht (md)	18 / 11	32,5	-- / --	0,32	80 / 260
	dicht (d)	19 / 11	35,0	-- / --	0,32	150 / 420
Geschiebeboden	steif (stf)	20 / 11	30,0	15 / 45	0,35	10 / 80
	halbfest (sth)	21 / 12	30,0	60 / 100	0,35	40 / 170

## **8. ANGABEN ZUR GRÜNDUNG, ZUWEGUNG UND KRANSTELLFLÄCHE**

### **8.1 Gründung**

Der erkundete Baugrundaufbau und die ermittelten Baugrundfestigkeiten erlauben für die Windkraftanlage EnBW 12 die Ausführung einer Flachgründung mittels Kreisringfundament.

Zur Gewährleistung der Gebrauchstauglichkeit und Standsicherheit der Anlage werden dazu vorab jedoch Bodenverbesserungen erforderlich, die hier über ein einzubauendes Gründungspolster realisiert werden können.

Im Einzelnen sind hierzu folgende Voraussetzungen einzuhalten:

Die im Gründungsbereich anstehenden weniger tragfähigen, locker gelagerten Sande sind bis in eine Tiefe von ca. 1,8 m unter Gelände vollständig gegen mindestens mitteldicht gelagertes rolliges Material auszutauschen.

Hierbei ist zu beachten, dass nach Freilegung der Austauschenebene, die gewachsenen Sande mit einer Tiefenwirkung von mindestens 0,4 m nach verdichtet werden.

Das nachfolgend einzubringende rollige Polstermaterial hat zur besseren Verdichtbarkeit eine Ungleichförmigkeit von  $U > 6$  aufzuweisen. Die Polsterlagen sollten bis zur geplanten Gründungssohle, mit maximalen Stärken von 0,3 m unter Berücksichtigung eines Ausbreitungswinkels von  $45^\circ$ , so verdichtet eingebracht werden, dass durchweg eine mindestens mitteldichte Lagerung vorherrscht.

Die Güte des Austauschbodens und der Sohle sind durch geeignete Versuche, wie Plattendruck- oder Proctorversuche nachzuweisen.

Bei Einhaltung der o.g. Gründungshinweise und unter Zugrundelegung der in Tabelle 1 angegebenen Bodenkennwerte, werden die Anforderungen an die Windkraftanlage des Typs V162-6.2 MW mit einer Nabenhöhe von 169 m mit einem Fundamentdurchmesser  $D = 24,5$  m, von jeder erkundeten Baugrundsicht erfüllt.

Die ermittelten statischen und dynamischen Drehfedersteifigkeiten gemäß der Unterlage U 2.5 für die anstehenden Bodenschichten können der folgenden Tabelle 2 entnommen werden.

**Tabelle 2: EnBW 12 - statische und dynamische Drehfedersteifigkeiten**

Bodenart	Tiefe [m u. GOK]	$r_E$ [ m ]	$\nu$ [ - ]	$E_{S,stat.}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$k_{\phi,stat}$ [MNm/rad]	$E_{S,dyn.}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$k_{\phi,dyn}$ [MNm/rad]
Polster Sand (md)	> 0,35	12,25	0,32	80	152.600	260	496.100
Sand (lo)	> 4,5	14,89	0,32	40	137.000	170	582.500
Sand (md)	> 5,0	15,17	0,32	80	289.800	260	942.100

$r_E$	Ersatzradius
$\nu$	Querdehnzahl
$E_{S,stat.}$	Steifziffer, statisch
$E_{S,dyn.}$	Steifziffer, dynamisch
$k_{\phi,stat}$	Drehfedersteifigkeit, statisch
$k_{\phi,dyn}$	Drehfedersteifigkeit, dynamisch

Damit liegen die vorhandenen statischen und dynamischen Drehfedersteifigkeiten jeder erkundeten Schicht über den geforderten Werten von  $k_{\phi,stat} \geq 40.000$  bzw.  $k_{\phi,dyn} \geq 200.000$  [MNm/rad].

Die angegebenen Sohlspannungen können vom Baugrund aufgenommen werden. Bei sorgfältiger Ausführung der Gründungsarbeiten und Einhaltung der vor genannten Voraussetzungen wird die Absolutsetzung der Windkraftanlage 2,5 cm nicht überschreiten. In Folge der erfolgten Gründungsertüchtigungen werden damit keine relevanten, baugrundbedingten Setzungsunterschiede auftreten.

Die Standsicherheit der Windkraftanlage ist gegeben; die zum Nachweis geführten Berechnungen für die Bemessungssituationen BS-P und BS-A können der Anlage 6 entnommen werden.

## 8.2 Zuwegung und Kranstellfläche

Unter der Voraussetzung, dass der in Abschnitt 4 beschriebene Baugrundaufbau im Bereich der Verkehrsflächen hier übertragbar ist, kann hierzu zusammenfassend von den nachfolgenden Gegebenheiten und Anforderungen ausgegangen werden:

- Die bis in eine Tiefe von mindestens ca. 0,2 m unter Gelände anstehende Oberbodenschicht ist gänzlich zu entfernen und gegen ein verdichtet eingebrachtes rolliges Material zu ersetzen. Die nach Aushub der Oberböden freiliegenden Sande sind mit einer Tiefenwirkung von mindestens 0,4 m nach zu verdichten.
- Der Einbau von Austausch-, Trag- und Frostschutzschichten hat lagenweise, in Abhängigkeit des eingesetzten Verdichtungsgerätes, mit Stärken von 20 cm bis 30 cm, zu erfolgen.
- Auszuführende Gründungspolster sind immer, sofern nicht durch andere konstruktive Maßnahmen die seitliche Stützung des Polsters erreicht wird, mit einer Verbreiterung entsprechend des Lastverteilungswinkels von ca. 45° bis auf die Solltiefe zu führen.
- Die Verdichtungsanforderungen an die Zuwegung und die Kranstellfläche können grundsätzlich, unter Einhaltung der o.g. Anforderungen, sowohl für den Untergrund mit  $E_{V2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ , den Tragschichtaufbau mit  $E_{V2} \geq 80 \text{ MN/m}^2$  bzw.  $E_{V2} \geq 100 \text{ MN/m}^2$  und die Deckschichten mit  $E_{V2} \geq 100 \text{ MN/m}^2$  bzw.  $E_{V2} \geq 120 \text{ MN/m}^2$  bei einem Verhältniswert  $E_{V2} / E_{V1} \leq 2,3$  nachgewiesen werden.
- Die geforderten Mindesttragfähigkeiten des Planums sind vor Ort durch geeignete Verdichtungskontrollen, wie beispielsweise Plattendruckversuche, zu überprüfen.

## 9. ERGÄNZENDE HINWEISE UND EMPFEHLUNGEN

- Die durchgeführten Untersuchungen liefern lediglich einen stichprobenartigen Aufschluss im Bereich der geplanten Windkraftanlage. Sollte sich bei den Gründungsmaßnahmen die Bodensituation örtlich anders darstellen als von uns bisher erkundet, sind wir darüber zu informieren.

Der Untersuchungsbereich gehört zu keiner Erdbebenzone.

- Der unterhalb der Oberböden überwiegend anstehende gewachsene Sand, mit einer Feuchtwichte von  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ , eignet sich grundsätzlich zur Überschüttung und Wiederanfüllung, auch für die Schnittstellen zwischen Fundamentarbeitsraum und Kranstellfläche. Die Überschüttung muss dabei mindestens 0,5 m betragen.
- Für die im Gründungsbereich der Windkraftanlage anstehenden Sande kann mit einem abgeschätzten spezifischen Erdwiderstand zwischen 300 und 1000  $\Omega\text{m}$  gerechnet werden.
- Die Gründungs- und ggf. erforderlichen Baugrundverbesserungsarbeiten sollten geotechnisch begleitet und überwacht werden.
- Das Bauvorhaben ist in die geotechnische Kategorie GK-3 einzuordnen. Folgerichtig ist nach den Vorgaben der DIN 1054 der Geotechnische Entwurfsbericht zur Fortschreibung zu bringen.
- Für ergänzende Erläuterungen und Beratungen stehen wir gerne zur Verfügung.



Prof. Dr.-Ing. H. Kleen



M. Sc. B. Tamme

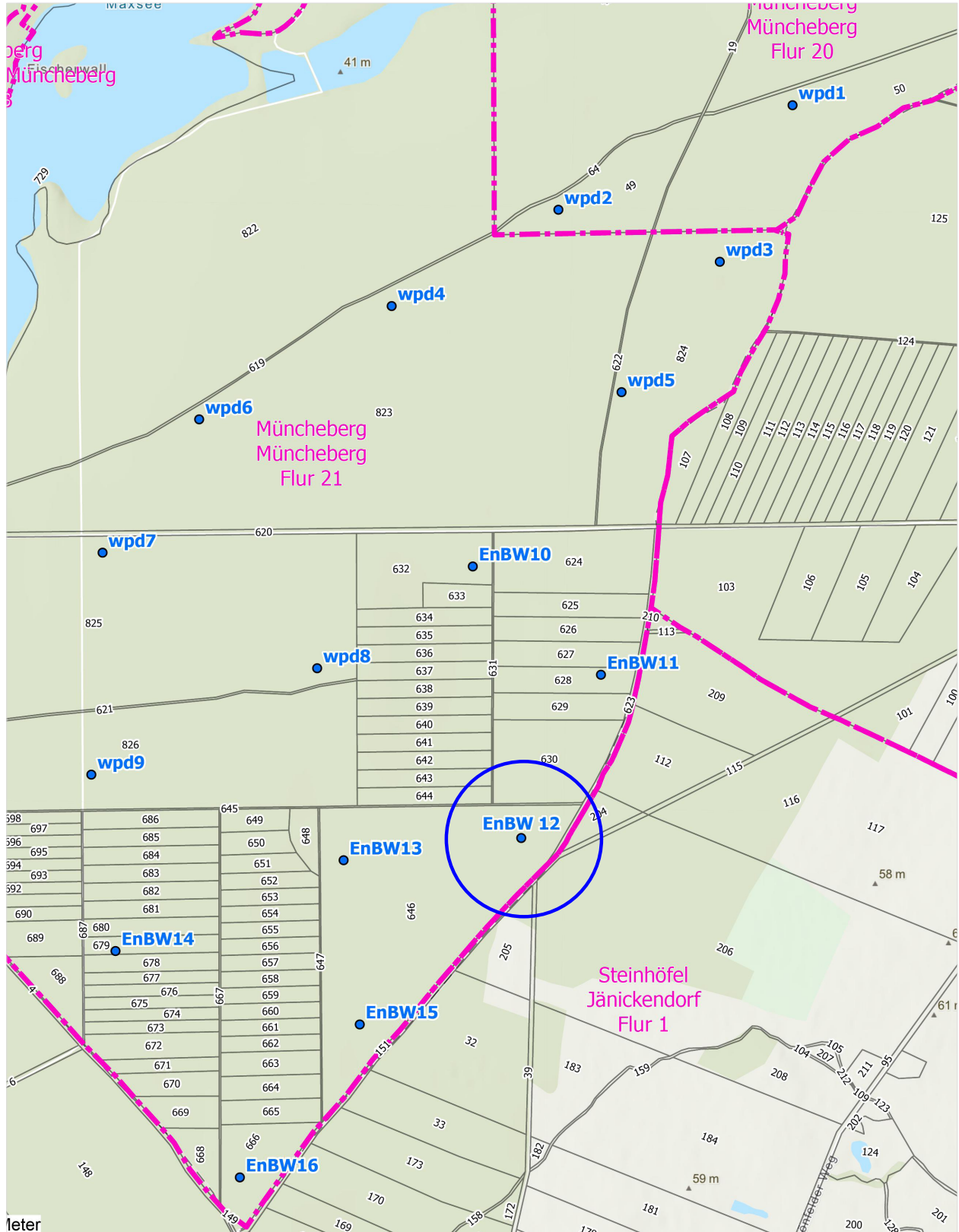
<b>ANLAGEN</b>	<b>SEITEN</b>
1. Übersicht	1
2. Lageplan mit Aufschlussansatzpunkten	1
3. Ergebnisse der Baugrundaufschlüsse	4
4. Körnungslinien	1
5. Betonaggressivität Boden	2
6. Standsicherheitsnachweise	2

Anlage 1

Übersicht



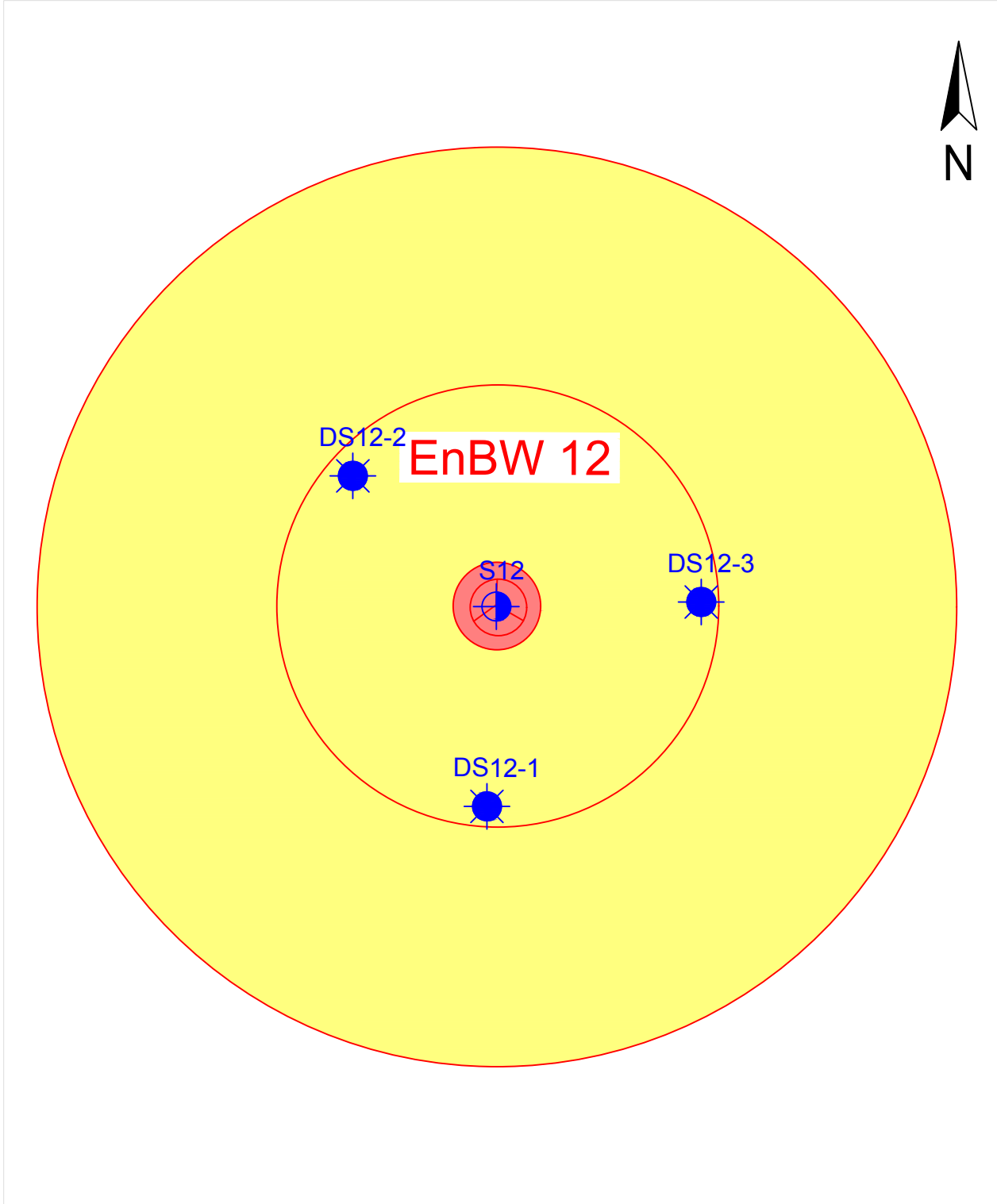
Übersicht



Anlage 2

Lageplanskizze

Lageplanskizze



ohne Maßstab



Kleinbohrung (S)

Drucksondierung CPT-E (DS)

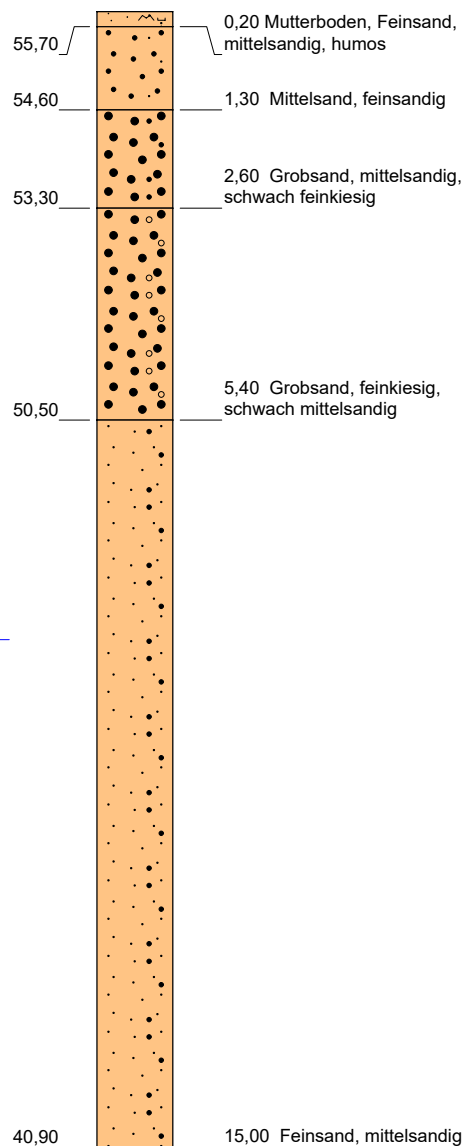
## Anlage 3

# Ergebnisse der Baugrundaufschlüsse

ERGEBNISSE DER BAUGRUNDAUFSCHLÜSSE

**S12**

55,90 m ü.NHN



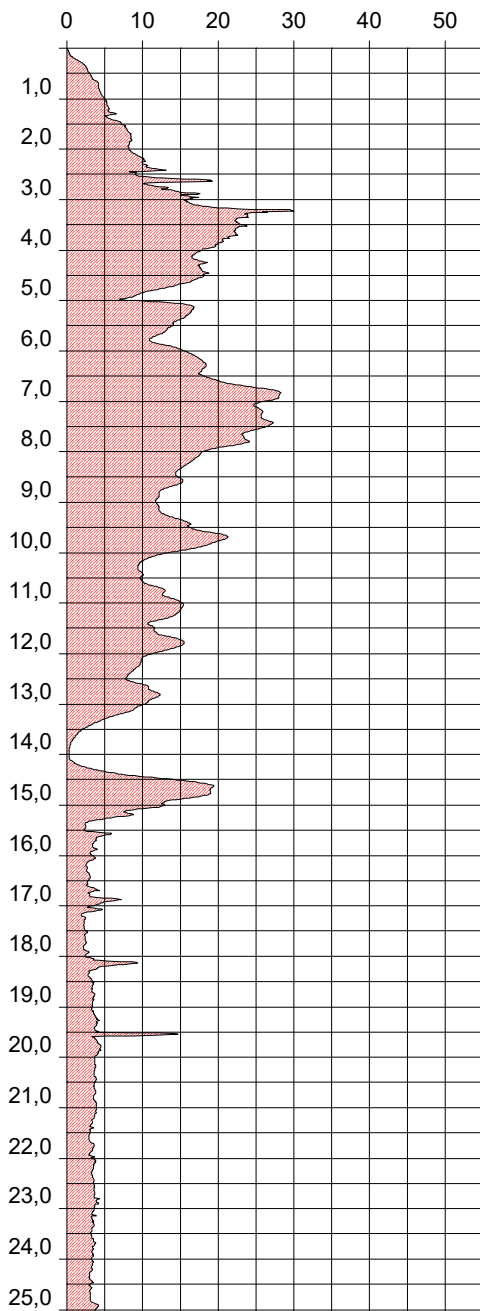
Höhenmaßstab 1:100

**ERGEBNISSE DER BAUGRUNDAUFSCHLÜSSE**

DS12-1

55,90 m ü.NHN

CPT-E

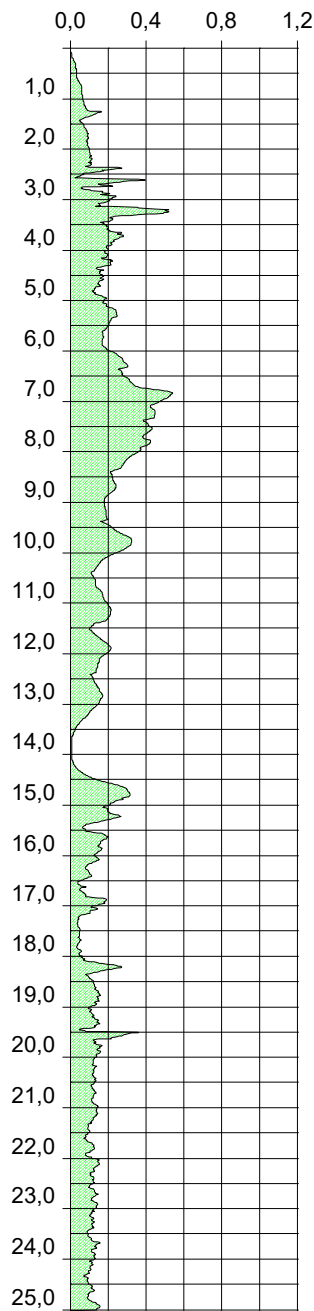


Spitzenwiderstand  $q_c$  [MN/m<sup>2</sup>]

DS12-1

55,90 m ü.NHN

CPT-E

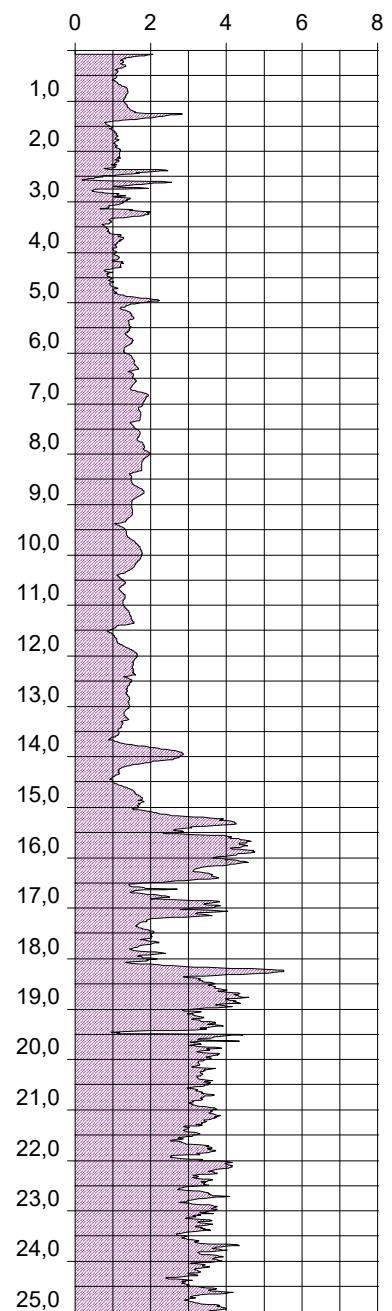


Mantelreibung  $f_s$  [MN/m<sup>2</sup>]

DS12-1

55,90 m ü.NHN

CPT-E



Reibungsverhältnis  $r_f$  [%]

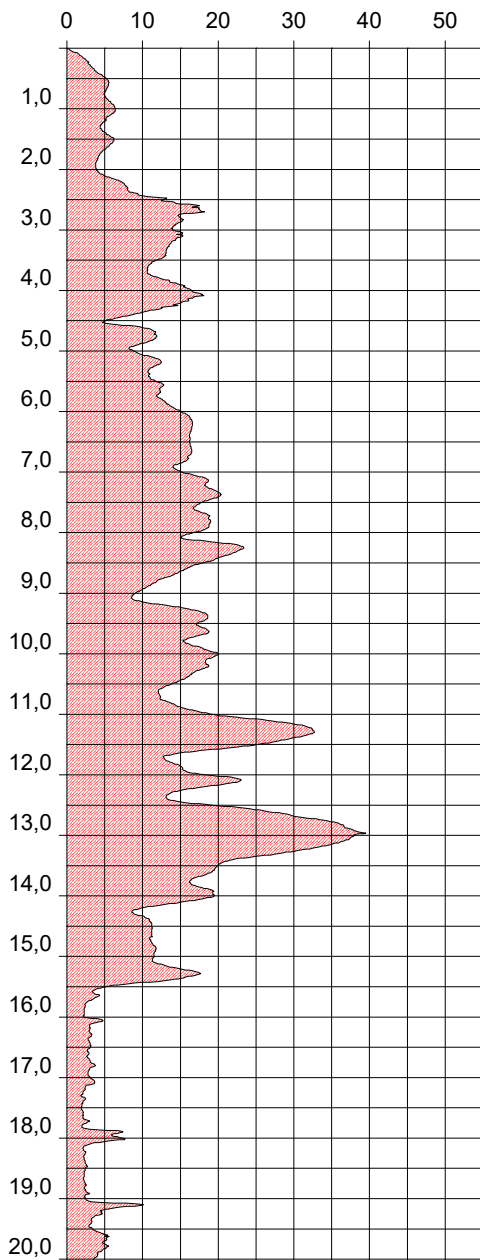
Höhenmaßstab 1:150

ERGEBNISSE DER BAUGRUNDAUFSCHLÜSSE

**DS12-2**

55,90 m ü.NHN

CPT-E

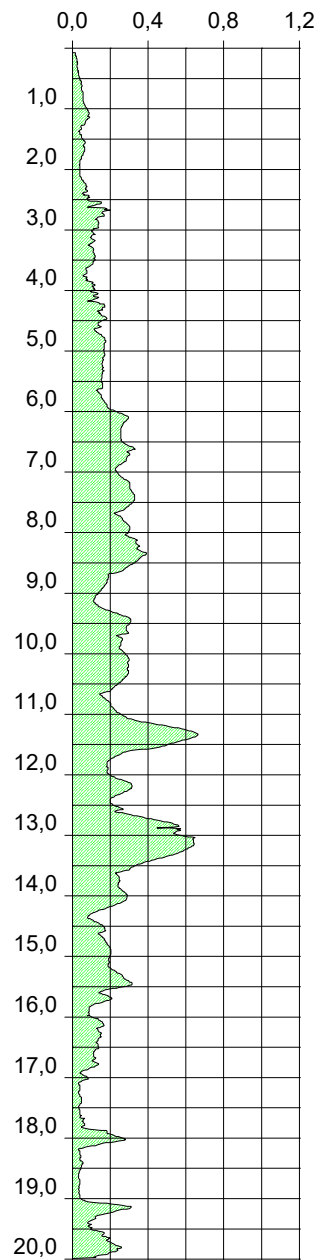


Spitzenwiderstand  $q_c$  [MN/m<sup>2</sup>]

**DS12-2**

55,90 m ü.NHN

CPT-E

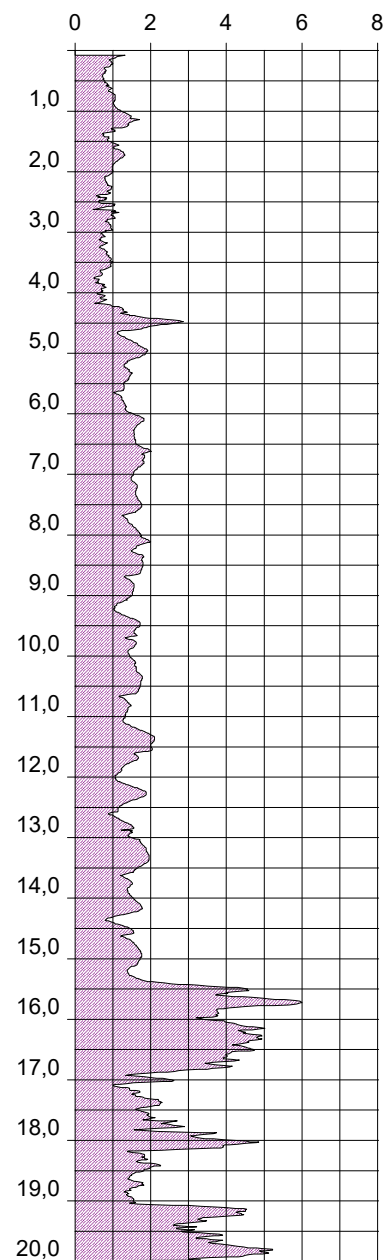


Mantelreibung  $f_s$  [MN/m<sup>2</sup>]

**DS12-2**

55,90 m ü.NHN

CPT-E



Reibungsverhältnis  $r_f$  [%]

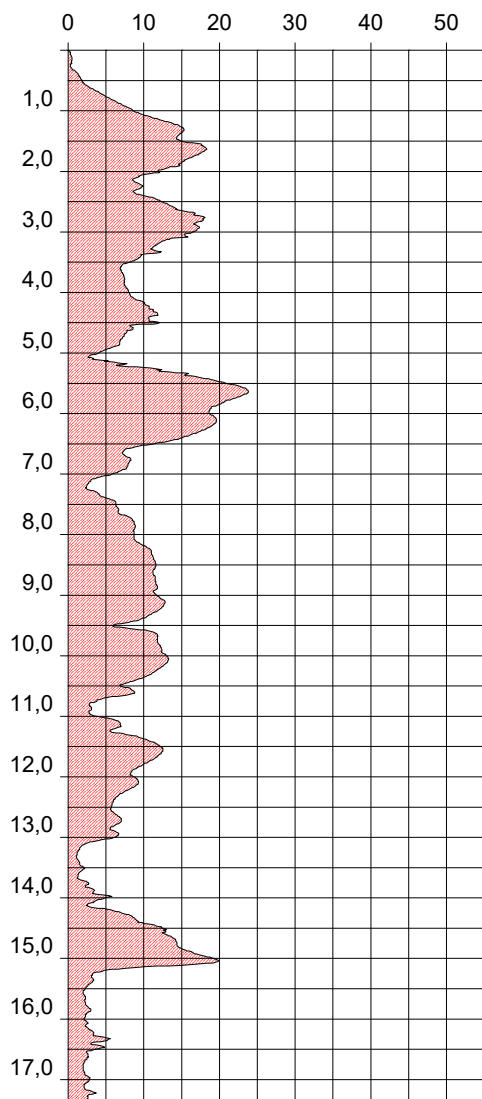
Höhenmaßstab 1:125

ERGEBNISSE DER BAUGRUNDAUFSCHLÜSSE

**DS12-3**

55,90 m ü.NHN

CPT-E

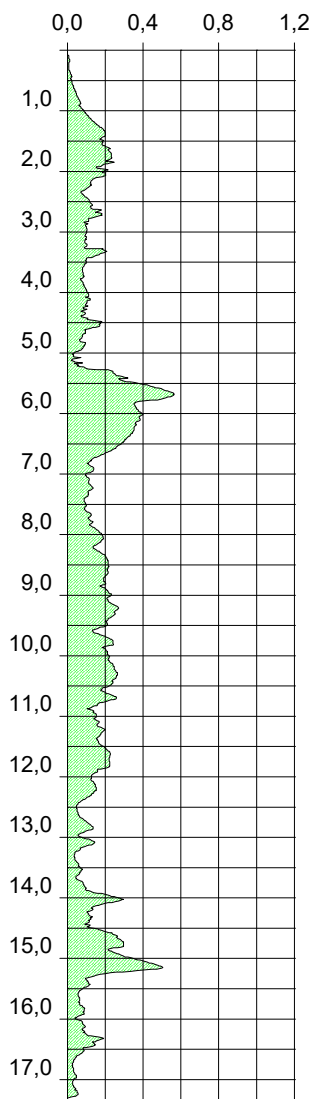


Spitzenwiderstand  $q_c$  [MN/m<sup>2</sup>]

**DS12-3**

55,90 m ü.NHN

CPT-E



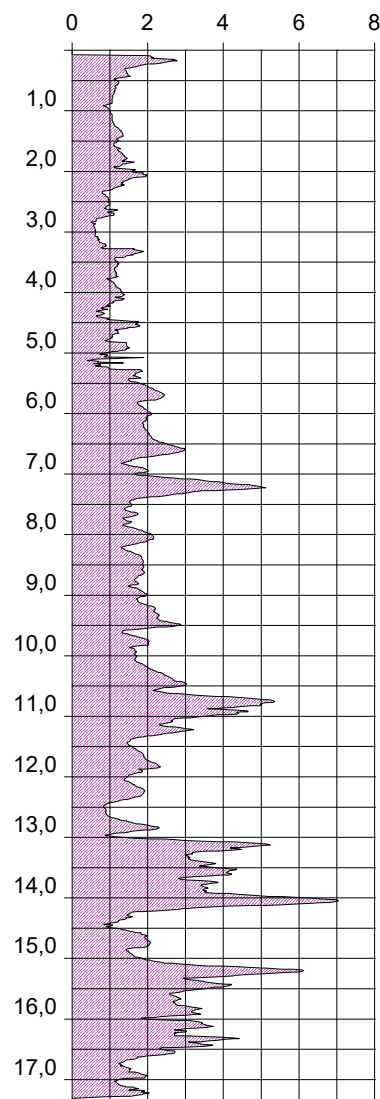
Mantelreibung  $f_s$  [MN/m<sup>2</sup>]

Abbruch wegen Stillstand

**DS12-3**

55,90 m ü.NHN

CPT-E



Reibungsverhältnis  $r_f$  [%]

Höhenmaßstab 1:125



## Anlage 4

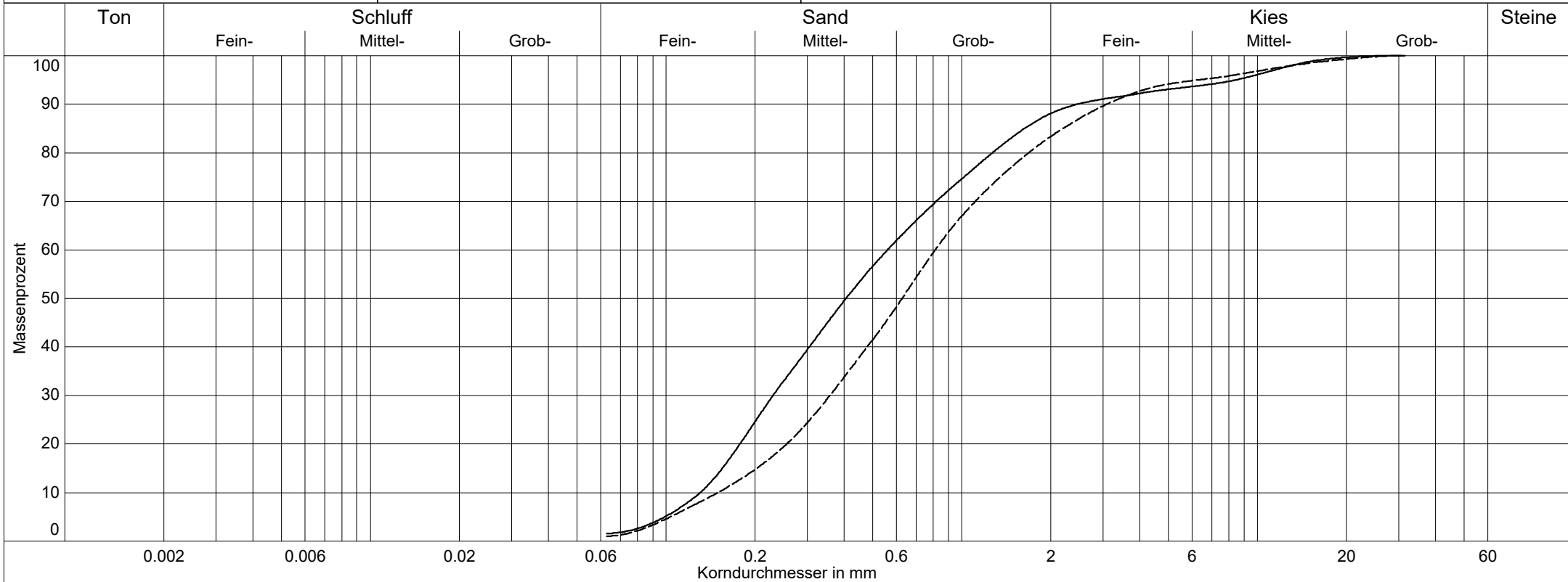
### Kornverteilungen

FH Potsdam
FB Bauingenieurwesen
FG Grundbau und Bodenmechanik
Grundbaulabor

# Kornverteilung

DIN EN ISO 17892-4

Projekt:	WP Müncheberg - Mittelheide / EnBW 12
Projektnr.:	L 62/23
Anlage:	27.10.2023
Datum:	4



Labornummer	— s12-2,6	---- s12-5,4		
Entnahmestelle	S12	S12		
Entnahmetiefe	1,3-2,6 m	2,6-5,4 m		
Ungleichförm. Cu	4.3	5.4		
Krümmungszahl Cc	0.7	1.1		
Bodengruppe	SE	SE		
Anteil < 0.063 mm	1.6 %	1.0 %		
Frostempfindl.klasse	F1	F1		
kf nach Beyer	1.5E-04 m/s	1.9E-04 m/s		
kf nach USBR	- (d10 > 0.02)	- (d10 > 0.02)		
kf nach Kaubisch	- (0.063 <= 10%)	- (0.063 <= 10%)		

## Anlage 5

### Betonaggressivität des Bodens

**AGROLAB Agrar&Umwelt** Dr.-Hell-Str. 6, 24107 Kiel

Ingenieurbüro für Geotechnik Kleen GmbH  
Berliner Straße 124  
14467 Potsdam

Datum 23.10.2023  
Kundennr. 20122596

## PRÜFBERICHT

Auftrag **2311623** Projekt: WP Müncheberg-Mittelheide - Auftrag Boden Betonaggressivität  
 Analysennr. **211985** Mineralisch/Anorganisches Material  
 Probeneingang **11.10.2023**  
 Probenahme **04.10.2023**  
 Probenehmer **Auftraggeber**  
 Kunden-Probenbezeichnung **MP 12**

Einheit Ergebnis Best.-Gr. Methode

### Feststoff

Trockensubstanz	u) %	°	<b>97,7</b>	0,1	DIN EN 14346 : 2007-03(PL)
Säuregrad n. Baumann-Gully	u)*) ml/kg		<b>34</b>	0,1	DIN 4030 (mod.)(PL)
Sulfat aus salzsauren Auszug	u)*) mg/kg	°	<b>539</b>	100	DIN 4030 (mod.)(PL)
Sulfat aus salzsauren Auszug	u)*) mmol/kg	°	<b>6</b>	1	DIN 4030 (mod.)(PL)
Sulfid leicht freisetzbar	u)*) mg/kg		<b>&lt;4,0</b>	4	DIN 38405-27 : 1992-07 (mod.)(PL)
Chlorid (Cl)	u)*) mg/kg		<b>&lt;10</b>	10	DIN 4030-2 : 2008-06(PL)
Sulfid, gesamt	u)*) mg/kg		<b>&lt;0,10</b>	0,1	DIN 4030-2 : 2008-06 in Verbindung mit DIN EN 1744-1 : 2013-03(PL)

*Erläuterung: Das Zeichen "<" oder n.b. in der Spalte Ergebnis bedeutet, der betreffende Parameter ist bei nebenstehender Bestimmungsgrenze nicht quantifizierbar.*

*Die parameterspezifischen analytischen Messunsicherheiten sowie Informationen zum Berechnungsverfahren sind auf Anfrage verfügbar, sofern die berichteten Ergebnisse oberhalb der parameterspezifischen Bestimmungsgrenze liegen. Die Mindestleistungskriterien der angewandten Verfahren beruhen bezüglich der Messunsicherheit in der Regel auf der Richtlinie 2009/90/EG der Europäischen Kommission.*

*Die Analysenwerte der Feststoffparameter beziehen sich auf die Trockensubstanz, bei den mit ° gekennzeichneten Parametern auf die Originalsubstanz.*

*u) externe Dienstleistung eines AGROLAB GROUP Labors*

### Untersuchung durch

(PL) AWW-Dr. Busse GmbH, Plauen (AGROLAB GROUP), Jölsnitzer Str. 113, 08525 Plauen

#### Methoden

DIN 38405-27 : 1992-07 (mod.); DIN 4030 (mod.); DIN 4030-2 : 2008-06; DIN 4030-2 : 2008-06 in Verbindung mit DIN EN 1744-1 : 2013-03

(PL) AWW-Dr. Busse GmbH, Plauen (AGROLAB GROUP), Jölsnitzer Str. 113, 08525 Plauen, für die zitierte Methode akkreditiert nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018, Akkreditierungsverfahren: D-PL-14087-01-00 DAkkS

#### Methoden

DIN EN 14346 : 2007-03

Hinweis zum Probenahmedatum: Das Probenahmedatum ist eine Kundeninformation.

Die in diesem Dokument berichteten Verfahren sind gemäß DIN EN ISO/IEC 17025:2018 akkreditiert. Ausschließlich nicht akkreditierte Verfahren sind mit dem Symbol "u)" gekennzeichnet.

Datum 23.10.2023  
Kundennr. 20122596

## PRÜFBERICHT

Auftrag **2311623** Projekt: WP Müncheberg-Mittelheide - Auftrag Boden Betonaggressivität  
Analysennr. **211985** Mineralisch/Anorganisches Material  
Kunden-Probenbezeichnung **MP 12**

Beginn der Prüfungen: 11.10.2023  
Ende der Prüfungen: 19.10.2023

*Die Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die geprüften Gegenstände. In Fällen, wo das Prüflabor nicht für die Probenahme verantwortlich war, gelten die berichteten Ergebnisse für die Proben wie erhalten. Das Laboratorium ist nicht für die vom Kunden bereitgestellten Informationen verantwortlich. Die ggf. im vorliegenden Prüfbericht dargestellten Kundeninformationen unterliegen nicht der Akkreditierung des Laboratoriums und können sich auf die Validität der Prüfergebnisse auswirken. Die auszugsweise Vervielfältigung des Berichts ohne unsere schriftliche Genehmigung ist nicht zulässig. Die Ergebnisse in diesem Prüfbericht werden gemäß der mit Ihnen schriftlich gemäß Auftragsbestätigung getroffenen Vereinbarung in vereinfachter Weise i.S. der DIN EN ISO/IEC 17025:2018, Abs. 7.8.1.3 berichtet.*



**AGROLAB Agrar&Umwelt Frau Larissa Gorski, Tel. 0431/22138-581**  
**Service Team Umwelt 1, Email: [umwelt1.kiel@agrolab.de](mailto:umwelt1.kiel@agrolab.de)**

Die in diesem Dokument berichteten Verfahren sind gemäß DIN EN ISO/IEC 17025:2018 akkreditiert. Ausschließlich nicht akkreditierte Verfahren sind mit dem Symbol " (\*) " gekennzeichnet.

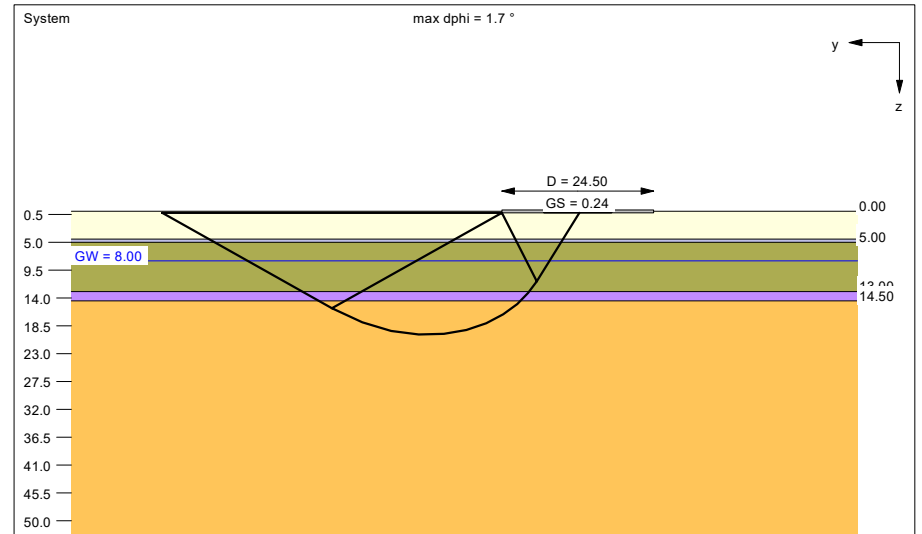
## Anlage 6

### Stand sicherheitsnachweise

**Berechnungsgrundlagen:**  
 WP Müncheberg EnBW12-P  
 Norm: EC 7  
 BS: DIN 1054: BS-P  
 Grundbruchformel nach DIN 4017:2006  
 Teilsicherheitskonzept (EC 7)  
 $\gamma_{R,v} = 1.40$   
 $\gamma_G = 1.35$   
 $\gamma_Q = 1.50$   
 $\gamma_{R,h} = 1.10$

**Grenzzustand EQU:**  
 $\gamma_{G,dst} = 1.10$   
 $\gamma_{G,stab} = 0.90$   
 $\gamma_{Q,dst} = 1.50$   
 Gründungssohle = 0.24 m  
 Grundwasser = 8.00 m  
 Grenztiefe mit  $p = 20.0 \%$

Boden	Tiefe [m]	$\gamma/\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi$ [°]	c [kN/m <sup>2</sup> ]	E <sub>s</sub> [MN/m <sup>2</sup> ]	$\kappa$ [-]	Bezeichnung
	4.50	18.0/11.0	32.5	0.0	80.0	1.000	Sand, md (Polster)
	5.00	18.0/10.0	30.0	0.0	40.0	1.000	Sand, lo
	13.00	18.0/11.0	32.5	0.0	80.0	1.000	Sand, md
	14.50	21.0/12.0	30.0	40.0	25.0	1.000	Mergel, stf-sth
	>14.50	21.0/12.0	30.0	60.0	40.0	1.000	Mergel, sth



**Ergebnisse Kreisringfundament**  
 Kippnachweis nicht untersucht  
 Lasten = ständig / veränderlich  
 Vertikallast  $F_{v,k} = 47652.40 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,x,k} = 0.00 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,y,k} = 1375.00 / 0.00$  kN  
 Moment  $M_{x,k} = 218788.00 / 0.00$  kN·m  
 Moment  $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$  kN·m  
 Durchmesser  $D = 24.500$  m  
 Durchmesser (innen)  $d = 11.000$  m  
 Unter ständigen Lasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -4.591$  m  
 $a' = 12.502$  m  
 $b' = 18.540$  m  
 Unter Gesamtlasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -4.591$  m  
 $a' = 12.502$  m  
 $b' = 18.540$  m

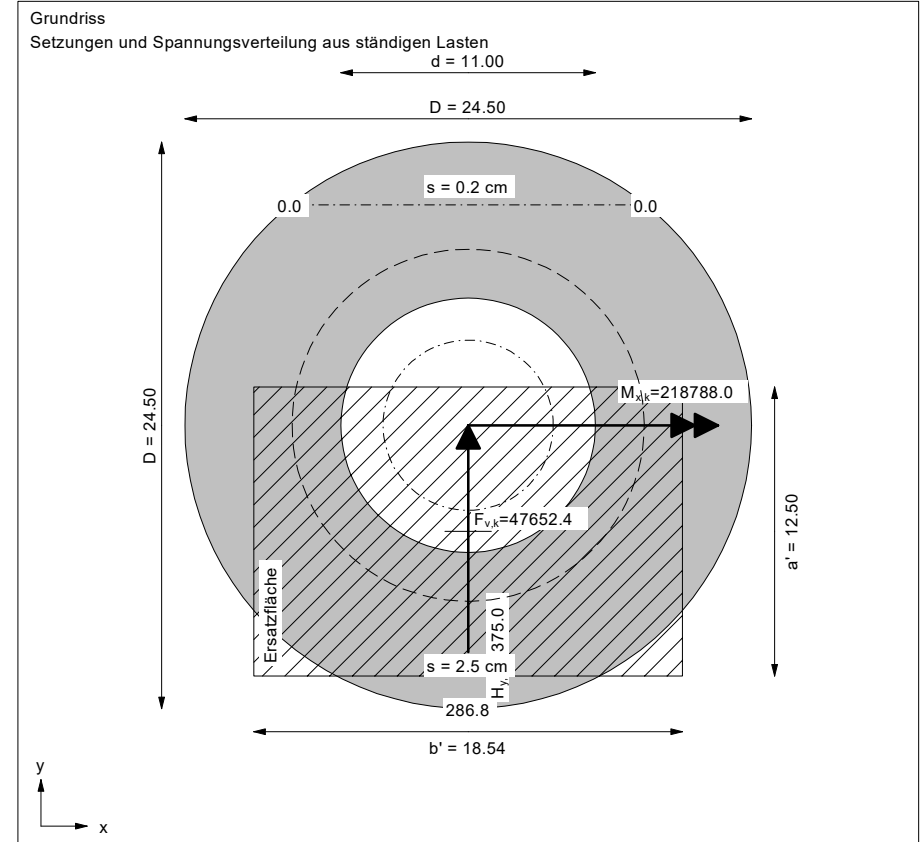
**Neigungsbeiwerte (x):**  
 $i_c = 0.952$ ;  $i_d = 0.954$ ;  $i_b = 0.927$   
**Tragfähigkeitsbeiwerte (y):**  
 $N_{c0} = 33.30$ ;  $N_{d0} = 21.20$ ;  $N_{b0} = 12.25$   
**Formbeiwerte (y):**  
 $v_c = 1.367$ ;  $v_d = 1.350$ ;  $v_b = 0.798$   
**Neigungsbeiwerte (y):**  
 $i_c = 0.952$ ;  $i_d = 0.954$ ;  $i_b = 0.927$

**Gleitwiderstand:**  
 Teilsicherheit (Gleitwiderstand)  $\gamma_{R,h} = 1.10$   
 $N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 47652.40 \cdot \tan(32.50^\circ) / 1.10$   
 $R_{t,d} = N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 27598.12$  kN  
 $T_d = 1856.25$  kN  
 $\mu = T_d / R_{t,d} = 0.067$

**Setzung infolge ständiger Lasten:**  
 Grenztiefe  $t_g = 13.63$  m u. GOK  
 Setzung (Mittel aller KPs) = 1.36 cm  
 Setzungen der KPs:  
 oben = 0.21 cm  
 unten = 2.51 cm

**Verdrehung(x) (KP) = 1 : 901.1**  
**Nachweis EQU:**  
 $M_{stab} = 47652.4 \cdot 24.50 \cdot 0.5 \cdot 0.90 = 525367.7$   
 $M_{dst} = 218788.0 \cdot 1.10 = 240666.8$   
 $\mu_{EQU} = 240666.8 / 525367.7 = 0.458$

**Grundbruch:**  
 Teilsicherheit (Grundbruch)  $\gamma_{R,v} = 1.40$   
 $\sigma_{R,k} / \sigma_{R,d} = 3041.6 / 2172.59$  kN/m<sup>2</sup>  
 $R_{n,k} = 705027.03$  kN  
 $R_{n,d} = 503590.73$  kN  
 $V_d = 1.35 \cdot 47652.40 + 1.50 \cdot 0.00$  kN  
 $V_d = 64330.74$  kN  
 $\mu$  (parallel zu y) = 0.128  
 Kohäsionsglied = 284573.93 kN (k)  
 Breitenglied = 393115.31 kN (k)  
 Tiefenglied = 27337.78 kN (k)  
 cal  $\varphi = 31.2^\circ$   
 cal c = 28.33 kN/m<sup>2</sup>  
 cal  $\gamma_2 = 14.98$  kN/m<sup>3</sup>  
 cal  $\sigma_0 = 4.32$  kN/m<sup>2</sup>  
**Tragfähigkeitsbeiwerte (x):**  
 $N_{c0} = 32.15$ ;  $N_{d0} = 20.17$ ;  $N_{b0} = 11.43$   
**Formbeiwerte (x):**  
 $v_c = 1.363$ ;  $v_d = 1.345$ ;  $v_b = 0.798$



**Berechnungsgrundlagen:**  
 WP Müncheberg EnBW12-A  
 Norm: EC 7  
 BS: DIN 1054: BS-A  
 Grundbruchformel nach DIN 4017:2006  
 Teilsicherheitskonzept (EC 7)  
 $\gamma_{R,v} = 1.20$   
 $\gamma_G = 1.10$   
 $\gamma_Q = 1.10$   
 $\gamma_{R,h} = 1.10$

**Grenzzustand EQU:**  
 $\gamma_{G,dst} = 1.00$   
 $\gamma_{G,stab} = 0.95$   
 $\gamma_{Q,dst} = 1.00$   
 Gründungssohle = 0.24 m  
 Grundwasser = 8.00 m  
 Grenztiefe mit  $p = 20.0\%$

Boden	Tiefe [m]	$\gamma/\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi$ [°]	c [kN/m <sup>2</sup> ]	$E_s$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$\kappa$ [-]	Bezeichnung
	4.50	18.0/11.0	32.5	0.0	80.0	1.000	Sand, md (Polster)
	5.00	18.0/10.0	30.0	0.0	40.0	1.000	Sand, lo
	13.00	18.0/11.0	32.5	0.0	80.0	1.000	Sand, md
	14.50	21.0/12.0	30.0	40.0	25.0	1.000	Mergel, stf-sth
	>14.50	21.0/12.0	30.0	60.0	40.0	1.000	Mergel, sth

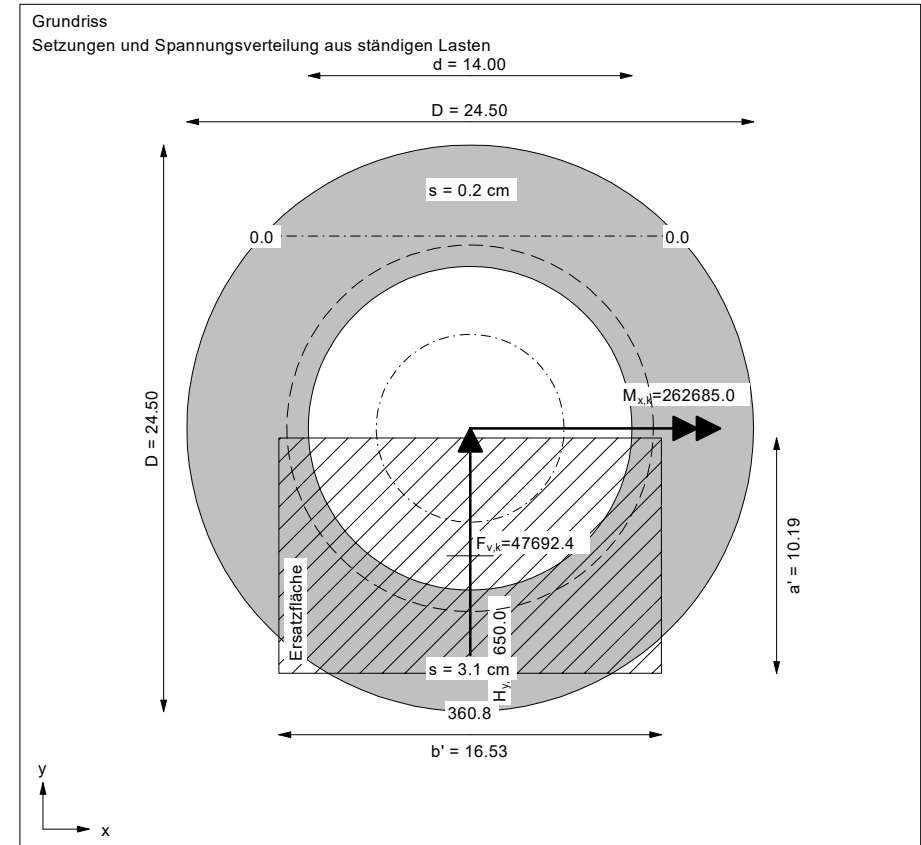
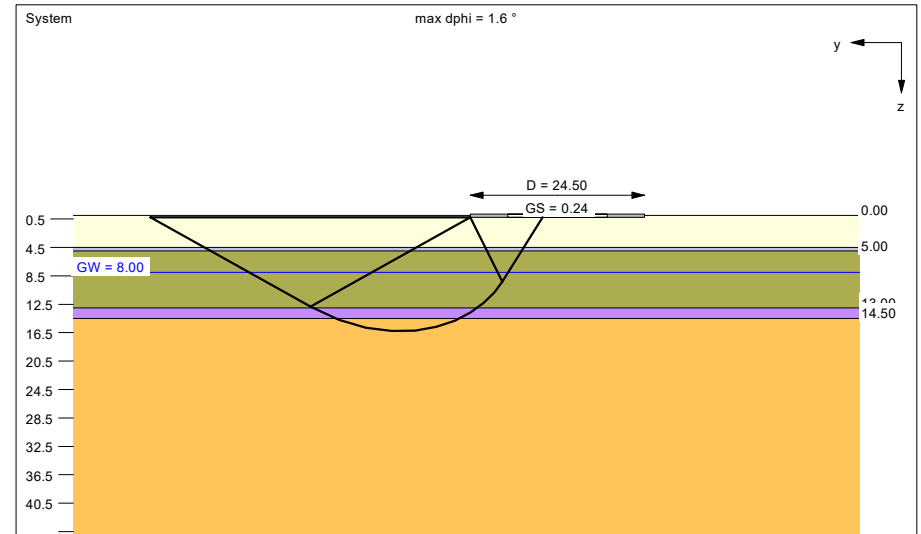
**Ergebnisse Kreisringfundament**  
 Kippnachweis nicht untersucht.  
 Lasten = ständig / veränderlich  
 Vertikallast  $F_{v,k} = 47692.40 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,x,k} = 0.00 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,y,k} = 1650.00 / 0.00$  kN  
 Moment  $M_{x,k} = 262685.00 / 0.00$  kN·m  
 Moment  $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$  kN·m  
 Durchmesser  $D = 24.500$  m  
 Durchmesser (innen)  $d = 14.000$  m  
 Unter ständigen Lasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -5.508$  m  
 $a' = 10.185$  m  
 $b' = 16.530$  m  
 Unter Gesamtlasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -5.508$  m  
 $a' = 10.185$  m  
 $b' = 16.530$  m

**Grundbruch:**  
 Teilsicherheit (Grundbruch)  $\gamma_{R,v} = 1.20$   
 $\sigma_{R,k} / \sigma_{R,d} = 2495.8 / 2079.86$  kN/m<sup>2</sup>  
 $R_{n,k} = 420187.73$  kN  
 $R_{n,d} = 350156.44$  kN  
 $V_d = 1.10 \cdot 47692.40 + 1.10 \cdot 0.00$  kN  
 $V_d = 52461.64$  kN  
 $\mu$  (parallel zu y) = 0.150  
 Kohäsionsglied = 145145.75 kN (k)  
 Breitenglied = 255093.88 kN (k)  
 Tiefenglied = 19948.11 kN (k)  
 cal  $\varphi = 31.5^\circ$   
 cal c = 20.04 kN/m<sup>2</sup>  
 cal  $\gamma_2 = 15.56$  kN/m<sup>3</sup>  
 cal  $\sigma_0 = 4.32$  kN/m<sup>2</sup>  
 Tragfähigkeitsbeiwerte (x):  
 $N_{c0} = 32.40$ ;  $N_{d0} = 20.39$ ;  $N_{b0} = 11.60$   
 Formbeiwerte (x):  
 $v_c = 1.333$ ;  $v_d = 1.316$ ;  $v_b = 0.815$

**Neigungsbeiwerte (x):**  
 $i_c = 0.942$ ;  $i_d = 0.945$ ;  $i_b = 0.912$   
**Tragfähigkeitsbeiwerte (y):**  
 $N_{c0} = 34.15$ ;  $N_{d0} = 21.96$ ;  $N_{b0} = 12.86$   
**Formbeiwerte (y):**  
 $v_c = 1.338$ ;  $v_d = 1.322$ ;  $v_b = 0.815$   
**Neigungsbeiwerte (y):**  
 $i_c = 0.942$ ;  $i_d = 0.945$ ;  $i_b = 0.912$

**Gleitwiderstand:**  
 Teilsicherheit (Gleitwiderstand)  $\gamma_{R,h} = 1.10$   
 $N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 47692.40 \cdot \tan(32.50^\circ) / 1.10$   
 $R_{t,d} = N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 27621.28$  kN  
 $T_d = 1815.00$  kN  
 $\mu = T_d / R_{t,d} = 0.066$

**Setzung infolge ständiger Lasten:**  
 Grenztiefe  $t_g = 14.50$  m u. GOK  
 Setzung (Mittel aller KPs) = 1.66 cm  
 Setzungen der KPs:  
 oben = 0.18 cm  
 unten = 3.14 cm  
 Verdrehung(x) (KP) = 1 : 699.5  
**Nachweis EQU:**  
 $M_{stab} = 47692.4 \cdot 24.50 \cdot 0.5 \cdot 0.95 = 555020.3$   
 $M_{dst} = 262685.0 \cdot 1.00 = 262685.0$   
 $\mu_{EQU} = 262685.0 / 555020.3 = 0.473$





- BAUGRUNDUNTERSUCHUNGEN
- BAUGRUNDGUTACHTEN
- GRÜNDUNGSBERATUNG
- ALTLASTERKUNDUNGEN
- KONTAMINATIONS-GUTACHTEN
- GRUNDBAUSTATIK
- BAULEITUNG · PLANUNG

## GEOTECHNISCHER ENTWURFSBERICHT

108-23EnBW13

Bauvorhaben:	Windpark Müncheberg - Mittelheide EnBW 13
Auftraggeber:	Naturwind Potsdam GmbH Hegelallee 41 14467 Potsdam
Bearbeiter:	M.Sc. B. Tamme Prof. Dr.-Ing. H. Kleen
Umfang:	11 Seiten 6 Anlagen
Datum:	17.11.2023

Berliner Volksbank  
IBAN DE92 1009 0000 5431 2700 07  
BIC BEVODE33

Steuer Nr. 046/111/01630

Handelsregister  
Nr. HRB 100073 Potsdam

Geschäftsführer:  
Prof. Dr.-Ing. Hermann Kleen

## 1. VERANLASSUNG

Unser Büro wurde am 31.07.2023 durch die Naturwind Potsdam GmbH schriftlich beauftragt, für die im Windpark Müncheberg - Mittelheide geplante Windkraftanlage EnBW 13, einen Geotechnischen Entwurfsbericht, einschließlich der notwendigen Feld- und Laboruntersuchungen, anzufertigen.

## 2. UNTERLAGEN

Für die Bearbeitung standen die nachfolgend aufgeführten Unterlagen zur Verfügung:

- U 2.1 Geologische Karte, M.: 1 : 25.000, über [www.geo.brandenburg.de/gk25/](http://www.geo.brandenburg.de/gk25/), Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg
- U 2.2 Unser Geotechnischer Entwurfsbericht zum Bauvorhaben „Windpark Müncheberg-Mittelheide WEA2, vom 27.11.2020 nebst Unterlagen
- U 2.3 Prüfbericht für eine Typenprüfung, Vestas V162-5.4/5.6/6.0/6.2 MW mit 169 m Nabenhöhe, D = 24,5 m, Kreisringfundament mit Auftrieb, Prüfnr.: 3108363-23-d Rev.4, der TÜV SÜD Industrie Service GmbH aus München, vom 25.02.2022
- U 2.4 Lageplan zum Projekt Müncheberg-Mittelheide, der naturwind potsdam GmbH, M.: 1 : 12.000, vom 28.07.2023
- U 2.5 Geländeordinaten der Windkraftanlagenmittelpunkte, übersandt am 01.11.2023 durch das zuständige Vermessungsbüro Horst Möhring aus Frankfurt Oder
- U 2.6 Ergebnisse der Drucksondierungen der Firma Fugro Germany Land GmbH aus Berlin, übersandt am 31.10.2023
- U 2.7 Ergebnisse bodenmechanischer Laboruntersuchungen der Fachhochschule Potsdam, Fachgebiet Grundbau und Bodenmechanik, vom 27.10.2023 (L63/23)
- U 2.8 Prüfbericht zur Betonaggressivität des Bodens, WP Müncheberg - Mittelheide / MP13 (EnBW 13), der Agrolab Agrar und Umwelt GmbH aus Kiel, Analysennummer: 211986 vom 23.10.2023

### **3. BAUGRUNDSTÜCK UND BAUWERK**

Der Standort für den Neubau einer Windkraftanlage befindet sich zwischen dem Maxsee und Schönfelde, südlich des Müncheberger Ortsteils Hoppegarten, innerhalb des geplanten Windparks Müncheberg - Mittelheide.

Hier soll, auf der forstwirtschaftlich genutzten Fläche, die Windkraftanlage EnBW 13 vom Typ V162-6.2 MW mit Hybridturm und einer Nabenhöhe von 169 m auf einem Kreisringfundament, mit einem Außendurchmesser von  $D = 24,5$  m, auf einer 0,1 m starken Sauberkeitsschicht in einer Tiefe von ca. 0,24 m unter Gelände, flach gegründet werden.

Die Geländehöhe am Standort der Windkraftanlage EnBW 13 liegt auf einer Ordinate von ca. 53,3 m über NHN.

Die Lage der geplanten Windkraftanlage geht aus der Anlage 1 und der Anlage 2 hervor.

### **4. BAUGRUND**

#### **4.1 Vorkenntnisse**

Der Windpark Müncheberg - Mittelheide befindet sich im Bereich einer im Pleistozän gebildeten Hochfläche.

Hier ist mit Schmelzwasserablagerungen in Form von feinkörnigen, schwach mittelkörnigen Sanden, die zum Teil schwach schluffige Beimengungen beinhalten, zu rechnen (s. Unterlage U 2.1).

Gemäß der Unterlage U 2.2 stehen im Bereich der geplanten Windenergieanlage EnBW 13, unterhalb einer ca. 0,1 m starken, sandigen, stark humosen Oberbodenschicht, bis zur Aufschlussentiefe von 15,0 m unter Gelände mittelsandige Fein- und feinsandige Mittelsande an, die lokal, in einer Tiefenlage von ca. 6,3 m unter Gelände, von einer ca. 0,2 m starken, sandigen Geschiebemergelschicht durchzogen werden.

Die Sande sind bis in eine Tiefe von ca. 7,5 m unter Gelände stellenweise sehr locker, überwiegend locker und mitteldicht, darunter mindestens mitteldicht und dicht gelagert.

Der lokal erbohrte Geschiebeboden besitzt eine halbfeste Zustandsform.

## **4.2 Baugrunduntersuchungen**

Zur Erkundung der Baugrundverhältnisse wurde im Bereich der geplanten Windkraftanlage EnBW 13 eine Kleinbohrung (S13) bis zu einer Endteufe von 15,0 m unter Gelände abgeteuft.

Zur Feststellung der Lagerungsdichte bzw. der Festigkeit des anstehenden Baugrundes wurden zudem drei Drucksondierungen als CPT-E (DS13-1 bis DS13-3) bis in Tiefen von 20,0 m und 25,0 m unter Gelände vorgesehen.

Auf Grund zu hoher Baugrundfestigkeiten mussten die Drucksondierungen wegen Auslastung in Tiefen von ca. 4,0 m mehrfach umgesetzt (DS13-1 und DS13-3) und zwischen ca. 13,5 m und 16,5 m unter Gelände abgebrochen werden.

Die Einmessung und Kennzeichnung des Untersuchungsstandortes erfolgte durch das beauftragte Vermessungsbüro (vgl. Unterlage U 2.5).

Die Lage der genannten Aufschlüsse ist aus der Anlage 1 und der Anlage 2 ersichtlich.

## **4.3 Ergebnisse der Baugrundaufschlüsse**

Auf der Grundlage des, während der Feldarbeiten erstellten Schichtenverzeichnisses und einer durch uns vorgenommenen Bodenansprache, wurde das in der Anlage 3 dokumentierte Schichtenprofil angefertigt. Zudem sind innerhalb der Anlage 3 die Ergebnisse der Drucksondierungen dargestellt.

Im Einzelnen kann damit am Standort der geplanten Windkraftanlage EnBW 13 von folgendem Baugrundaufbau ausgegangen werden:

Unterhalb einer ca. 0,2 m starken, sandigen und humosen Oberbodenschicht (Mutterboden) stehen bis zur Aufschlussendteufe von 15,0 m unter Gelände Fein-, Mittel- und Grobsande an.

Die Drucksondierungen DS13-1 bis DS13-3 sowie DS13-1a und DS 13-3a bestätigen die erkundeten Baugrundverhältnisse im Wesentlichen und ergeben für die Sande eine überwiegend mitteldichte, lokal lockere, ab einer Tiefe von ca. 10,0 m unter Gelände, dichte Lagerung.

Körnungslinien repräsentativer Böden sind in der Anlage 4 dargestellt.

## 5. HOMOGENBEREICHE / BODENKLASSIFIZIERUNG

Die im Bereich des Untersuchungsstandortes anstehenden Böden können gemäß VOB Teil C, Ausgabe 2012 und Ausgabe 2015, DIN 18196:2011-05 sowie ZTV E-StB 17 wie folgt eingestuft und klassifiziert werden:

### Oberboden

Bodengruppe:	OH
Lagerung:	locker
Frostempfindlichkeit:	gering bis mittel frostempfindlich (F2)

Der Oberboden entspricht nach VOB Teil C, Ausgabe 2012 (DIN 18300) der Bodenklasse 1 (Oberboden). Nach DIN 18915:2002-08 kann der Oberboden für vegetationstechnische Zwecke der Bodengruppe 2 zugeordnet werden.

### Homogenbereich A / Sande

Bodengruppe:	SE
Lagerung:	bis ca. 2,8 m: locker ab ca. 2,8 m: mindestens mitteldicht, lokal locker
Verdichtungsfähigkeit:	gut bis mittel
Frostempfindlichkeit:	nicht frostempfindlich (F1)
Durchlässigkeit [m/s]:	$k_f = 1 \times 10^{-3}$ bis $1 \times 10^{-4}$

Die Sande entsprechen nach VOB, Teil C, Ausgabe 2012 (DIN 18300) der Bodenklasse 3 (leicht lösbare Bodenarten).

## 6. GRUNDWASSER

Während der Baugrunduntersuchungen im September 2023 wurde das Grundwasser in einer Tiefe von ca. 9,5 m unter Gelände und damit auf einer Ordinate von ca. 43,8 m über NHN angeschnitten.

Da im Gründungsbereich kein Grundwasser ansteht, wurde hier ersatzweise eine Bodenprobe hinsichtlich Betonaggressivität untersucht.

Als Ergebnis konnte festgestellt werden, dass der anstehende Boden hier als nicht betonangreifend einzustufen ist, was gemäß DIN EN 206-1 zu der Expositionsklasse XAI führt.

Die Einzelergebnisse der Bodenanalytik können der Unterlage U 2.8, die innerhalb der Anlage 5 dargestellt ist, entnommen werden.

## 7. BODENKENNWERTE

Für erdstatische Berechnungen können, auf Grund der Ansprache der gelieferten Proben, der Bohr- und Sondierergebnisse und unserer Erfahrung die charakteristischen Bodenkennwerte der folgenden Tabelle 1 angesetzt werden.

Die Tiefenlagen der Bodenschichten sind dem Schichtenprofil, welches innerhalb der Anlage 3 dargestellt ist, zu entnehmen.

**Tabelle 1: charakteristische Bodenkennwerte**

Bodenart	Bodenkennwerte				
	Wichte	Reibungs- winkel	Kohäsion	Querdehnzahl	Steifeziffer stat. / dyn.
	$\gamma_k / \gamma'_{k}$	$\phi'_{k}$	$c'_{k} / c_{u,k}$	$\nu$	$E_{s,k} / E_{sd,k}$
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[°]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[-]	[MN/m <sup>2</sup> ]
Oberboden	17 / 9	30,0	-- / --	-- / --	-- / --
Sand					
locker (lo)	18 / 10	30,0	-- / --	0,32	40 / 170
mitteldicht (md)	18 / 11	32,5	-- / --	0,32	80 / 260
dicht (d)	19 / 11	35,0	-- / --	0,32	150 / 420

## **8. ANGABEN ZUR GRÜNDUNG, ZUWEGUNG UND KRANSTELLFLÄCHE**

### **8.1 Gründung**

Der erkundete Baugrundaufbau und die ermittelten Baugrundfestigkeiten erlauben für die Windkraftanlage EnBW 13 die Ausführung einer Flachgründung mittels Kreisringfundament.

Zur Gewährleistung der Gebrauchstauglichkeit und Standsicherheit der Anlage werden dazu vorab jedoch Bodenverbesserungen erforderlich, die hier über ein einzubauendes Gründungspolster realisiert werden können.

Im Einzelnen sind hierzu folgende Voraussetzungen einzuhalten:

Die im Gründungsbereich anstehenden weniger tragfähigen, locker gelagerten Sande sind bis in eine Tiefe von ca. 2,4 m unter Gelände vollständig gegen mindestens mitteldicht gelagertes rolliges Material auszutauschen.

Hierbei ist zu beachten, dass nach Freilegung der Austauschenebene, die gewachsenen Sande mit einer Tiefenwirkung von mindestens 0,4 m nach verdichtet werden.

Das nachfolgend einzubringende rollige Polstermaterial hat zur besseren Verdichtbarkeit eine Ungleichförmigkeit von  $U > 6$  aufzuweisen. Die Polsterlagen sollten bis zur geplanten Gründungssohle, mit maximalen Stärken von 0,3 m unter Berücksichtigung eines Ausbreitungswinkels von  $45^\circ$ , so verdichtet eingebracht werden, dass durchweg eine mindestens mitteldichte Lagerung vorherrscht.

Die Güte des Austauschbodens und der Sohle sind durch geeignete Versuche, wie Plattendruck- oder Proctorversuche nachzuweisen.

Bei Einhaltung der o.g. Gründungshinweise und unter Zugrundelegung der in Tabelle 1 angegebenen Bodenkennwerte, werden die Anforderungen an die Windkraftanlage des Typs V162-6.2 MW mit einer Nabenhöhe von 169 m mit einem Fundamentdurchmesser  $D = 24,5$  m, von jeder erkundeten Baugrundsicht erfüllt.

Die ermittelten statischen und dynamischen Drehfedersteifigkeiten gemäß der Unterlage U 2.5 für die anstehenden Bodenschichten können der folgenden Tabelle 2 entnommen werden.

**Tabelle 2: EnBW 13 - statische und dynamische Drehfedersteifigkeiten**

Bodenart	Tiefe [m u. GOK]	$r_E$ [ m ]	$\nu$ [ - ]	$E_{S,stat.}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$k_{\phi,stat}$ [MNm/rad]	$E_{S,dyn.}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$k_{\phi,dyn}$ [MNm/rad]
Polster Sand (md)	> 0,35	12,25	0,32	80	152.600	260	496.100
Sand (lo)	> 3,0	13,93	0,32	40	112.200	170	476.900
Sand (md)	> 3,5	14,21	0,32	80	238.200	260	774.300

$r_E$	Ersatzradius
$\nu$	Querdehnzahl
$E_{S,stat.}$	Steifziffer, statisch
$E_{S,dyn.}$	Steifziffer, dynamisch
$k_{\phi,stat}$	Drehfedersteifigkeit, statisch
$k_{\phi,dyn}$	Drehfedersteifigkeit, dynamisch

Damit liegen die vorhandenen statischen und dynamischen Drehfedersteifigkeiten jeder erkundeten Schicht über den geforderten Werten von  $k_{\phi,stat} \geq 40.000$  bzw.  $k_{\phi,dyn} \geq 200.000$  [MNm/rad].

Die angegebenen Sohlspannungen können vom Baugrund aufgenommen werden.

Bei sorgfältiger Ausführung der Gründungsarbeiten und Einhaltung der vor genannten Voraussetzungen wird die Absolutsetzung der Windkraftanlage 2,5 cm nicht überschreiten.

In Folge der erfolgten Baugrundverbesserung werden damit keine relevanten, baugrundbedingten Setzungsunterschiede auftreten.

Die Standsicherheit der Windkraftanlage ist gegeben; die zum Nachweis geführten Berechnungen für die Bemessungssituationen BS-P und BS-A können der Anlage 6 entnommen werden.



## 8.2 Zuwegung und Kranstellfläche

Unter der Voraussetzung, dass der in Abschnitt 4 beschriebene Baugrundaufbau im Bereich der Verkehrsflächen hier übertragbar ist, kann hierzu zusammenfassend von den nachfolgenden Gegebenheiten und Anforderungen ausgegangen werden:

- Die bis in eine Tiefe von mindestens ca. 0,2 m unter Gelände anstehende Oberbodenschicht ist gänzlich zu entfernen und gegen ein verdichtet eingebrachtes rolliges Material zu ersetzen. Die nach Aushub der Oberböden freiliegenden Sande sind mit einer Tiefenwirkung von mindestens 0,4 m nach zu verdichten.
- Der Einbau von Austausch-, Trag- und Frostschutzschichten hat lagenweise, in Abhängigkeit des eingesetzten Verdichtungsgerätes, mit Stärken von 20 cm bis 30 cm, zu erfolgen.
- Auszuführende Gründungspolster sind immer, sofern nicht durch andere konstruktive Maßnahmen die seitliche Stützung des Polsters erreicht wird, mit einer Verbreiterung entsprechend des Lastverteilungswinkels von ca. 45° bis auf die Solltiefe zu führen.
- Die Verdichtungsanforderungen an die Zuwegung und die Kranstellfläche können grundsätzlich, unter Einhaltung der o.g. Anforderungen, sowohl für den Untergrund mit  $E_{V2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ , den Tragschichtaufbau mit  $E_{V2} \geq 80 \text{ MN/m}^2$  bzw.  $E_{V2} \geq 100 \text{ MN/m}^2$  und die Deckschichten mit  $E_{V2} \geq 100 \text{ MN/m}^2$  bzw.  $E_{V2} \geq 120 \text{ MN/m}^2$  bei einem Verhältniswert  $E_{V2} / E_{V1} \leq 2,3$  nachgewiesen werden.
- Die geforderten Mindesttragfähigkeiten des Planums sind vor Ort durch geeignete Verdichtungskontrollen, wie beispielsweise Plattendruckversuche, zu überprüfen.

## 9. ERGÄNZENDE HINWEISE UND EMPFEHLUNGEN

- Die durchgeführten Untersuchungen liefern lediglich einen stichprobenartigen Aufschluss im Bereich der geplanten Windkraftanlage. Sollte sich bei den Gründungsmaßnahmen die Bodensituation örtlich anders darstellen als von uns bisher erkundet, sind wir darüber zu informieren.

Der Untersuchungsbereich gehört zu keiner Erdbebenzone.

- Der unterhalb der Oberböden überwiegend anstehende gewachsene Sand, mit einer Feuchtwichte von  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ , eignet sich grundsätzlich zur Überschüttung und Wiederanfüllung, auch für die Schnittstellen zwischen Fundamentarbeitsraum und Kranstellfläche. Die Überschüttung muss dabei mindestens 0,5 m betragen.
- Für die im Gründungsbereich der Windkraftanlage anstehenden Sande kann mit einem abgeschätzten spezifischen Erdwiderstand zwischen 300 und 1000  $\Omega\text{m}$  gerechnet werden.
- Die Gründungs- und ggf. erforderlichen Baugrundverbesserungsarbeiten sollten geotechnisch begleitet und überwacht werden.
- Das Bauvorhaben ist in die geotechnische Kategorie GK-3 einzuordnen. Folgerichtig ist nach den Vorgaben der DIN 1054 der Geotechnische Entwurfsbericht zur Fortschreibung zu bringen.
- Für ergänzende Erläuterungen und Beratungen stehen wir gerne zur Verfügung.



Prof. Dr.-Ing. H. Kleen



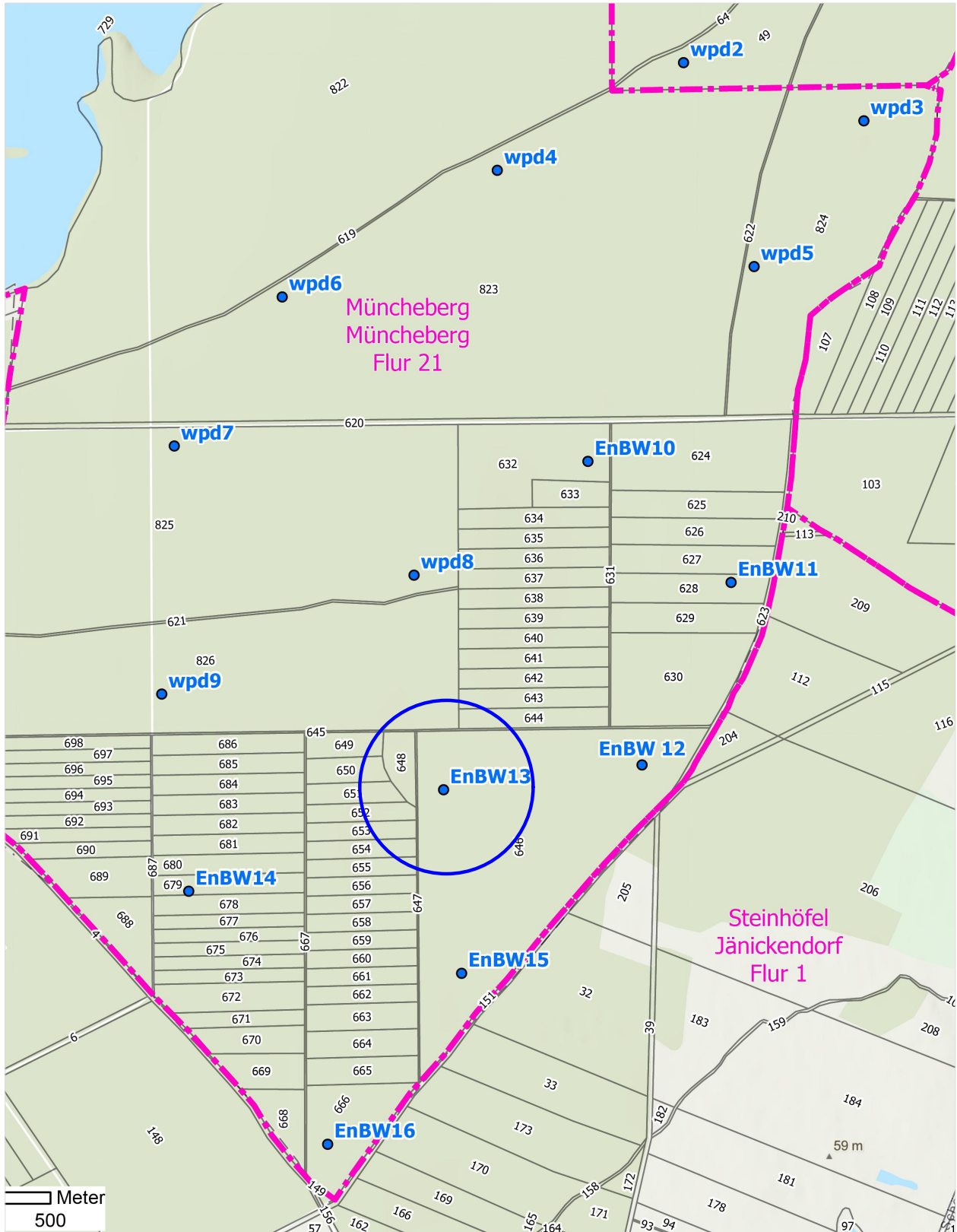
M. Sc. B. Tamme

<b>ANLAGEN</b>	<b>SEITEN</b>
1. Übersicht	1
2. Lageplan mit Aufschlussansatzpunkten	1
3. Ergebnisse der Baugrundaufschlüsse	6
4. Körnungslinien	1
5. Betonaggressivität Boden	2
6. Standsicherheitsnachweise	2

Anlage 1

Übersicht

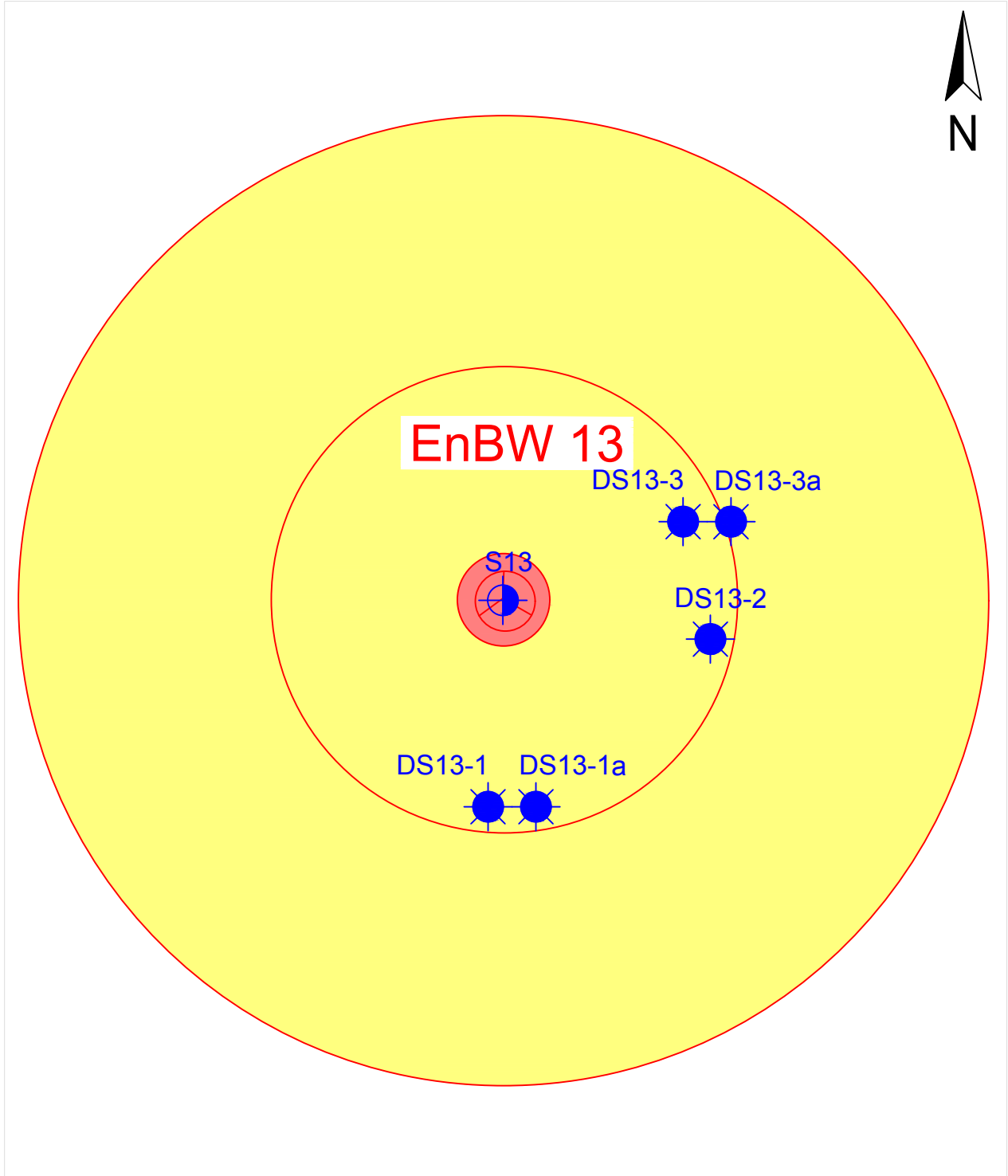
Übersicht



Anlage 2

Lageplanskizze

Lageplanskizze



ohne Maßstab



Kleinbohrung (S)

Drucksondierung CPT-E (DS)

## Anlage 3

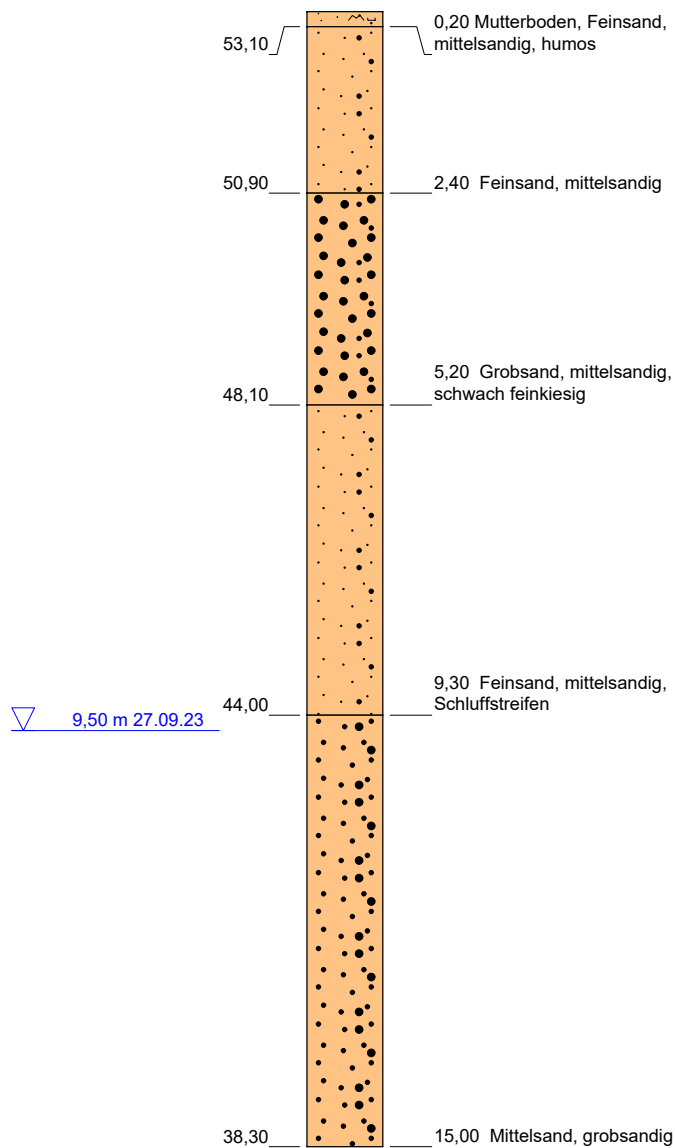
# Ergebnisse der Baugrundaufschlüsse



ERGEBNISSE DER BAUGRUNDAUFSCHLÜSSE

**S13**

53,30 m ü.NHN



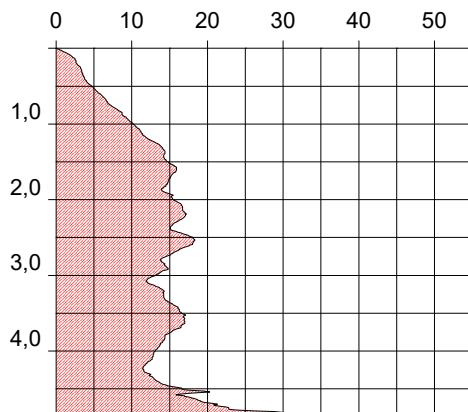
Höhenmaßstab 1:100

ERGEBNISSE DER BAUGRUNDAUFSCHLÜSSE

**DS13-1**

53,30 m ü.NHN

CPT-E

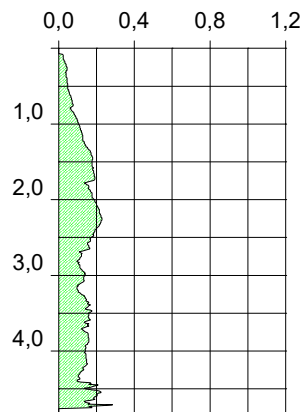


Spitzenwiderstand  $q_c$  [MN/m<sup>2</sup>]

**DS13-1**

53,30 m ü.NHN

CPT-E

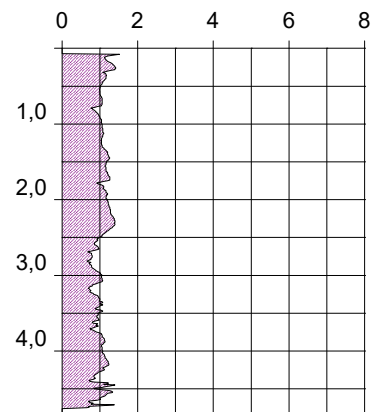


Mantelreibung  $f_s$  [MN/m<sup>2</sup>]

**DS13-1**

53,30 m ü.NHN

CPT-E



Reibungsverhältnis  $r_f$  [%]

Abbruch wegen Stillstand

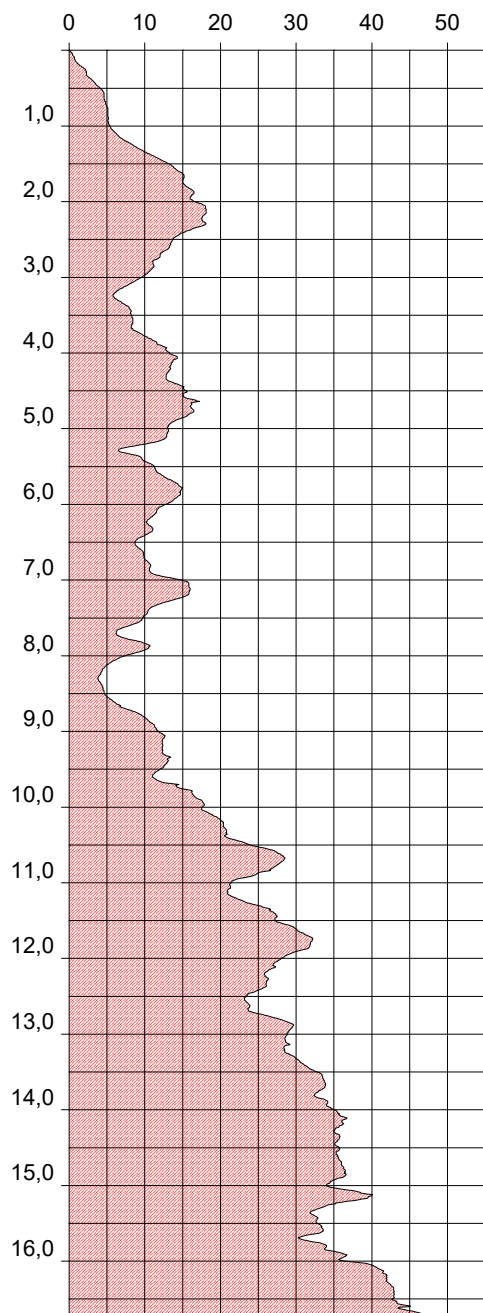
Höhenmaßstab 1:100

ERGEBNISSE DER BAUGRUNDAUFSCHLÜSSE

**DS13-1a**

53,30 m ü.NHN

CPT-E

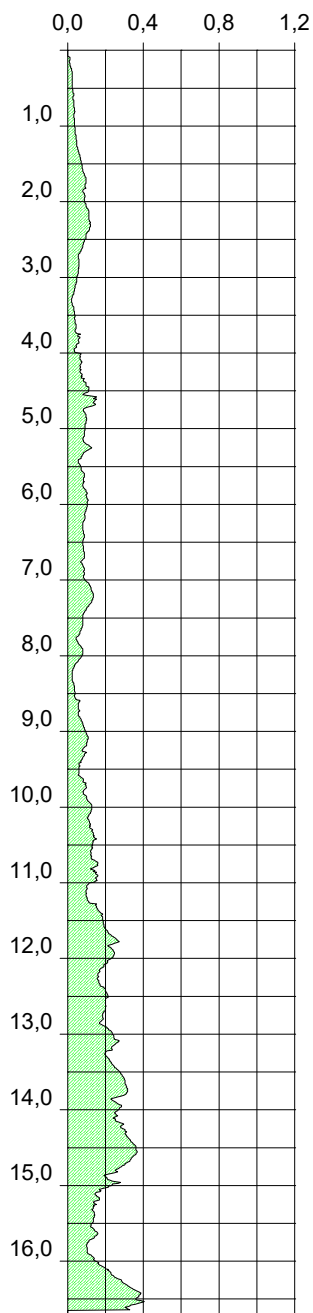


Spitzenwiderstand  $q_c$  [MN/m<sup>2</sup>]

**DS13-1a**

53,30 m ü.NHN

CPT-E

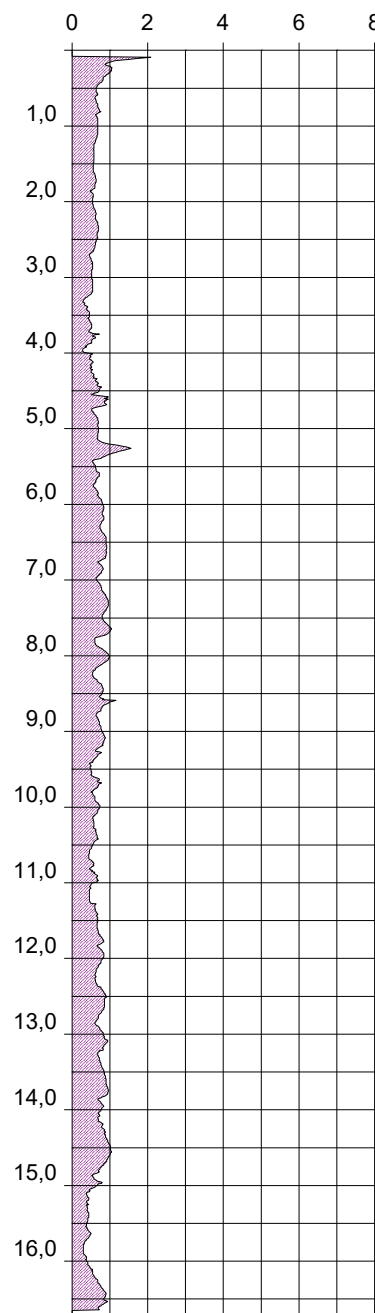


Mantelreibung  $f_s$  [MN/m<sup>2</sup>]

**DS13-1a**

53,30 m ü.NHN

CPT-E



Reibungsverhältnis  $r_f$  [%]

Abbruch wegen Stillstand

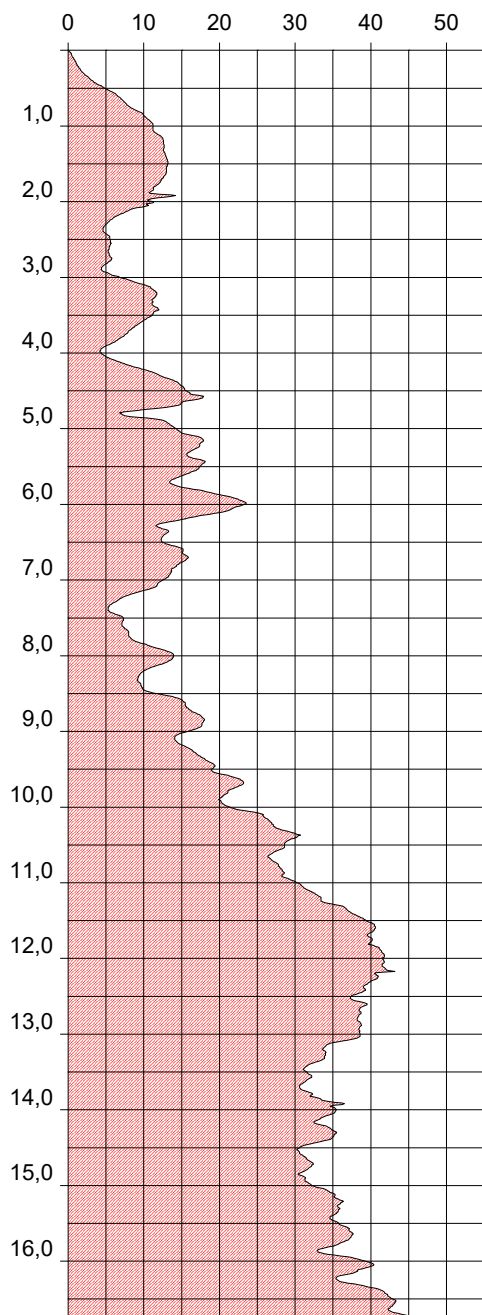
Höhenmaßstab 1:100

ERGEBNISSE DER BAUGRUNDAUFSCHLÜSSE

**DS13-2**

53,30 m ü.NHN

CPT-E

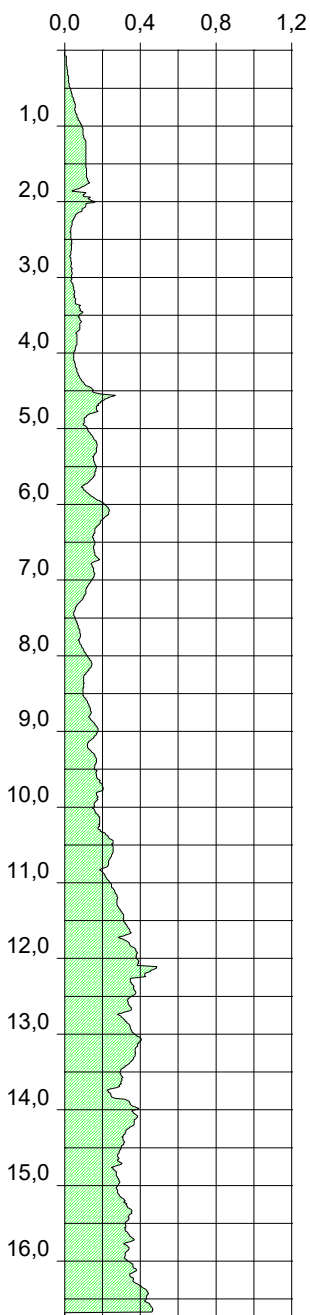


Spitzenwiderstand  $q_c$  [MN/m<sup>2</sup>]

**DS13-2**

53,30 m ü.NHN

CPT-E

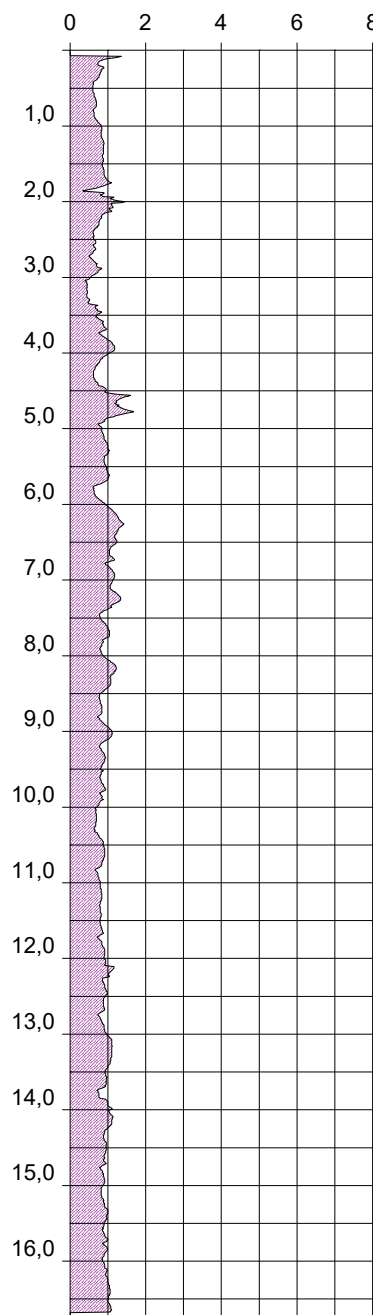


Mantelreibung  $f_s$  [MN/m<sup>2</sup>]

**DS13-2**

53,30 m ü.NHN

CPT-E



Reibungsverhältnis  $r_f$  [%]

Abbruch wegen Stillstand

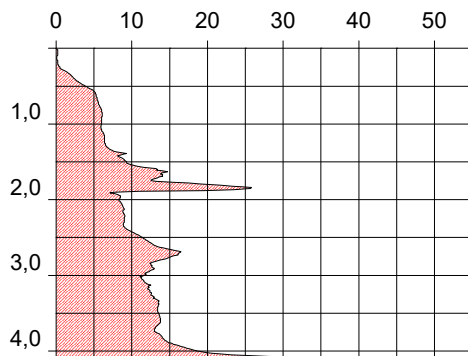
Höhenmaßstab 1:100

ERGEBNISSE DER BAUGRUNDAUFSCHLÜSSE

**DS13-3**

53,30 m ü.NHN

CPT-E

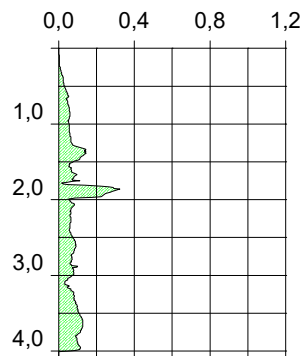


Spitzenwiderstand  $q_c$  [MN/m<sup>2</sup>]

**DS13-3**

53,30 m ü.NHN

CPT-E



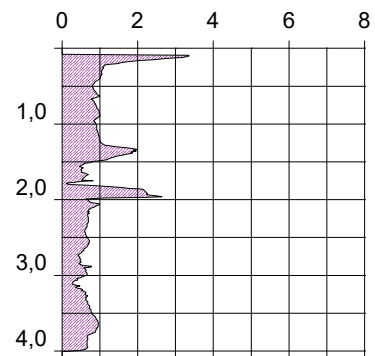
Mantelreibung  $f_s$  [MN/m<sup>2</sup>]

Abbruch wegen Stillstand

**DS13-3**

53,30 m ü.NHN

CPT-E



Reibungsverhältnis  $r_f$  [%]

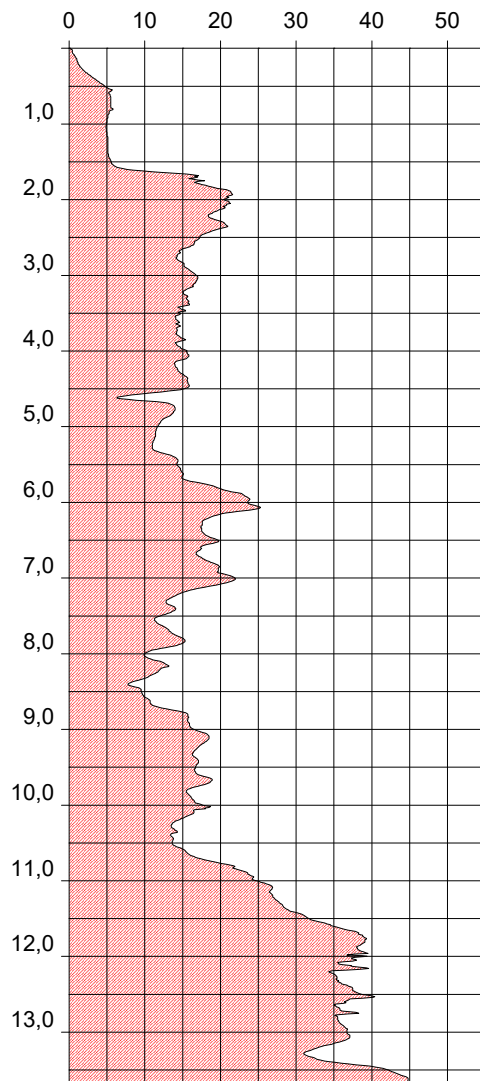
Höhenmaßstab 1:100

ERGEBNISSE DER BAUGRUNDAUFSCHLÜSSE

**DS13-3a**

53,30 m ü.NHN

CPT-E

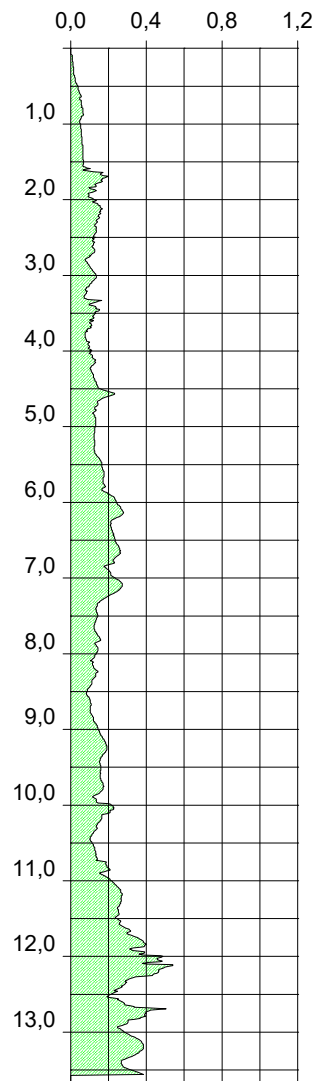


Spitzenwiderstand  $q_c$  [MN/m<sup>2</sup>]

**DS13-3a**

53,30 m ü.NHN

CPT-E

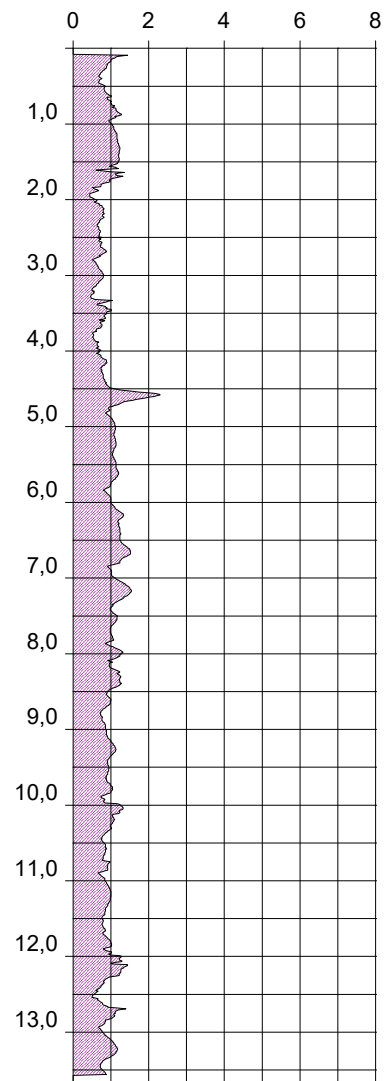


Mantelreibung  $f_s$  [MN/m<sup>2</sup>]

**DS13-3a**

53,30 m ü.NHN

CPT-E



Reibungsverhältnis  $r_f$  [%]

Abbruch wegen Stillstand

Höhenmaßstab 1:100

## Anlage 4

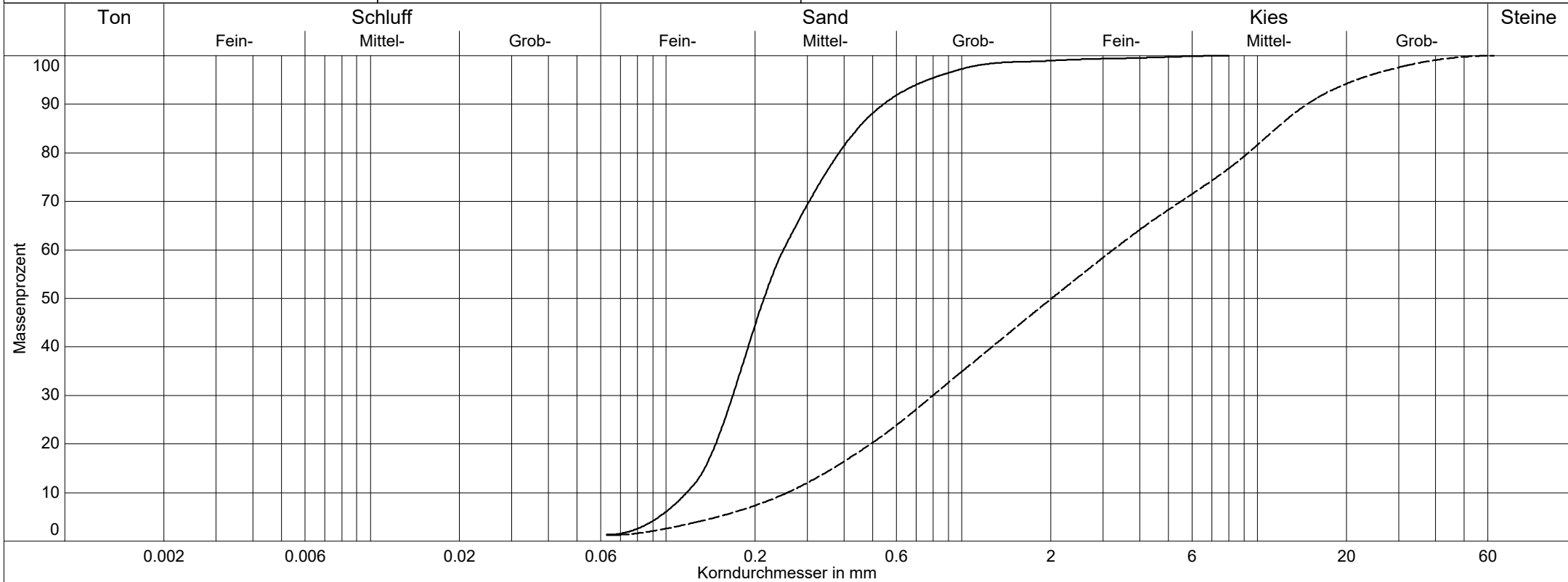
### Kornverteilungen

FH Potsdam
FB Bauingenieurwesen
FG Grundbau und Bodenmechanik
Grundbaulabor

# Kornverteilung

DIN EN ISO 17892-4

Projekt:	WP Müncheberg - Mittelheide / EnBW 13
Projektnr.:	L 62/23
Anlage:	27.10.2023
Datum:	4



Labornummer	—— s13-2,4	----- s13-3,5		
Entnahmestelle	S13	S13		
Entnahmetiefe	1,0 -2,4 m	2,4-3,5 m		
Ungleichförm. Cu	2.1	12.6		
Krümmungszahl Cc	1.0	0.8		
Bodengruppe	SE	GI		
Anteil < 0.063 mm	1.3 %	1.2 %		
Frostempfindl.klasse	F1	F1		
kf nach Beyer	1.4E-04 m/s	4.5E-04 m/s		
kf nach USBR	- (d10 > 0.02)	- (d10 > 0.02)		
kf nach Kaubisch	- (0.063 <= 10%)	- (0.063 <= 10%)		



## Anlage 5

### Betonaggressivität des Bodens

**AGROLAB Agrar&Umwelt** Dr.-Hell-Str. 6, 24107 Kiel

Ingenieurbüro für Geotechnik Kleen GmbH  
Berliner Straße 124  
14467 Potsdam

Datum 23.10.2023  
Kundennr. 20122596

## PRÜFBERICHT

Auftrag **2311623** Projekt: WP Müncheberg-Mittelheide - Auftrag Boden Betonaggressivität  
 Analysennr. **211986** Mineralisch/Anorganisches Material  
 Probeneingang **11.10.2023**  
 Probenahme **04.10.2023**  
 Probenehmer **Auftraggeber**  
 Kunden-Probenbezeichnung **MP 13**

Einheit Ergebnis Best.-Gr. Methode

### Feststoff

Trockensubstanz	u)	%	°	<b>97,5</b>	0,1	DIN EN 14346 : 2007-03(PL)
Säuregrad n. Baumann-Gully	u)*)	ml/kg		<b>12</b>	0,1	DIN 4030 (mod.)(PL)
Sulfat aus salzsauren Auszug	u)*)	mg/kg	°	<b>536</b>	100	DIN 4030 (mod.)(PL)
Sulfat aus salzsauren Auszug	u)*)	mmol/kg	°	<b>6</b>	1	DIN 4030 (mod.)(PL)
Sulfid leicht freisetzbar	u)*)	mg/kg		<b>&lt;4,0</b>	4	DIN 38405-27 : 1992-07 (mod.)(PL)
Chlorid (Cl)	u)*)	mg/kg		<b>&lt;10</b>	10	DIN 4030-2 : 2008-06(PL)
Sulfid, gesamt	u)*)	mg/kg		<b>0,54</b>	0,1	DIN 4030-2 : 2008-06 in Verbindung mit DIN EN 1744-1 : 2013-03(PL)

*Erläuterung: Das Zeichen "<" oder n.b. in der Spalte Ergebnis bedeutet, der betreffende Parameter ist bei nebenstehender Bestimmungsgrenze nicht quantifizierbar.*

*Die parameterspezifischen analytischen Messunsicherheiten sowie Informationen zum Berechnungsverfahren sind auf Anfrage verfügbar, sofern die berichteten Ergebnisse oberhalb der parameterspezifischen Bestimmungsgrenze liegen. Die Mindestleistungskriterien der angewandten Verfahren beruhen bezüglich der Messunsicherheit in der Regel auf der Richtlinie 2009/90/EG der Europäischen Kommission.*

*Die Analysenwerte der Feststoffparameter beziehen sich auf die Trockensubstanz, bei den mit ° gekennzeichneten Parametern auf die Originalsubstanz.*

*u) externe Dienstleistung eines AGROLAB GROUP Labors*

### Untersuchung durch

(PL) AWW-Dr. Busse GmbH, Plauen (AGROLAB GROUP), Jölsnitzer Str. 113, 08525 Plauen

#### Methoden

DIN 38405-27 : 1992-07 (mod.); DIN 4030 (mod.); DIN 4030-2 : 2008-06; DIN 4030-2 : 2008-06 in Verbindung mit DIN EN 1744-1 : 2013-03

(PL) AWW-Dr. Busse GmbH, Plauen (AGROLAB GROUP), Jölsnitzer Str. 113, 08525 Plauen, für die zitierte Methode akkreditiert nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018, Akkreditierungsverfahren: D-PL-14087-01-00 DAkkS

#### Methoden

DIN EN 14346 : 2007-03

Hinweis zum Probenahmedatum: Das Probenahmedatum ist eine Kundeninformation.

Die in diesem Dokument berichteten Verfahren sind gemäß DIN EN ISO/IEC 17025:2018 akkreditiert. Ausschließlich nicht akkreditierte Verfahren sind mit dem Symbol "u)" gekennzeichnet.

Datum 23.10.2023  
Kundennr. 20122596

## PRÜFBERICHT

Auftrag **2311623** Projekt: WP Müncheberg-Mittelheide - Auftrag Boden Betonaggressivität  
Analysennr. **211986** Mineralisch/Anorganisches Material  
Kunden-Probenbezeichnung **MP 13**

Beginn der Prüfungen: 11.10.2023  
Ende der Prüfungen: 20.10.2023

*Die Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die geprüften Gegenstände. In Fällen, wo das Prüflabor nicht für die Probenahme verantwortlich war, gelten die berichteten Ergebnisse für die Proben wie erhalten. Das Laboratorium ist nicht für die vom Kunden bereitgestellten Informationen verantwortlich. Die ggf. im vorliegenden Prüfbericht dargestellten Kundeninformationen unterliegen nicht der Akkreditierung des Laboratoriums und können sich auf die Validität der Prüfergebnisse auswirken. Die auszugsweise Vervielfältigung des Berichts ohne unsere schriftliche Genehmigung ist nicht zulässig. Die Ergebnisse in diesem Prüfbericht werden gemäß der mit Ihnen schriftlich gemäß Auftragsbestätigung getroffenen Vereinbarung in vereinfachter Weise i.S. der DIN EN ISO/IEC 17025:2018, Abs. 7.8.1.3 berichtet.*



**AGROLAB Agrar&Umwelt Frau Larissa Gorski, Tel. 0431/22138-581**  
**Service Team Umwelt 1, Email: [umwelt1.kiel@agrolab.de](mailto:umwelt1.kiel@agrolab.de)**

Die in diesem Dokument berichteten Verfahren sind gemäß DIN EN ISO/IEC 17025:2018 akkreditiert. Ausschließlich nicht akkreditierte Verfahren sind mit dem Symbol " \* " gekennzeichnet.

## Anlage 6

### Stand sicherheitsnachweise

**Berechnungsgrundlagen:**  
 WP Müncheberg EnBW13-P  
 Norm: EC 7  
 BS: DIN 1054: BS-P  
 Grundbruchformel nach DIN 4017:2006  
 Teilsicherheitskonzept (EC 7)  
 $\gamma_{R,v} = 1.40$   
 $\gamma_G = 1.35$   
 $\gamma_Q = 1.50$   
 $\gamma_{R,h} = 1.10$

**Grenzzustand EQU:**  
 $\gamma_{G,dst} = 1.10$   
 $\gamma_{G,stab} = 0.90$   
 $\gamma_{Q,dst} = 1.50$   
 Gründungssohle = 0.24 m  
 Grundwasser = 9.00 m  
 Grenztiefe mit  $p = 20.0\%$

Boden	Tiefe [m]	$\gamma/\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi$ [°]	c [kN/m <sup>2</sup> ]	E <sub>s</sub> [MN/m <sup>2</sup> ]	$\kappa$ [-]	Bezeichnung
	3.00	18.0/11.0	32.5	0.0	80.0	1.000	Sand, md (Polster)
	3.50	18.0/10.0	30.0	0.0	40.0	1.000	Sand, lo
	8.00	18.0/11.0	32.5	0.0	80.0	1.000	Sand, md
	8.50	18.0/10.0	30.0	0.0	40.0	1.000	Sand, lo
	10.00	18.0/11.0	32.5	0.0	80.0	1.000	Sand, md
	>10.00	19.0/11.0	35.0	0.0	150.0	1.000	Sand, d

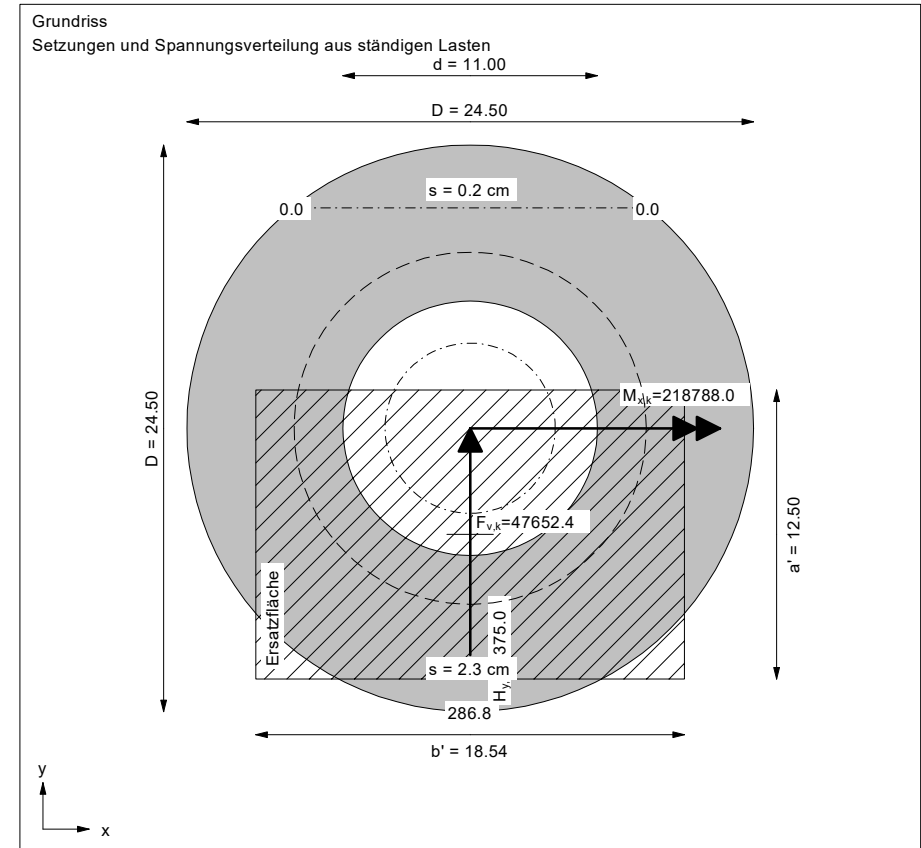
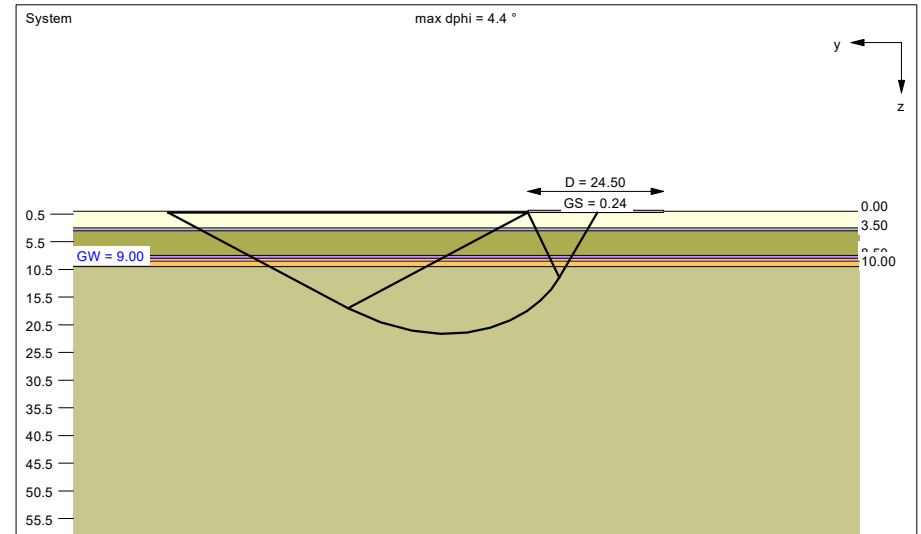
**Ergebnisse Kreisringfundament**  
 Kippnachweis nicht untersucht  
 Lasten = ständig / veränderlich  
 Vertikallast  $F_{v,k} = 47652.40 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,x,k} = 0.00 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,y,k} = 1375.00 / 0.00$  kN  
 Moment  $M_{x,k} = 218788.00 / 0.00$  kN·m  
 Moment  $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$  kN·m  
 Durchmesser D = 24.500 m  
 Durchmesser (innen) d = 11.000 m  
 Unter ständigen Lasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -4.591$  m  
 $a' = 12.502$  m  
 $b' = 18.540$  m  
 Unter Gesamtlasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -4.591$  m  
 $a' = 12.502$  m  
 $b' = 18.540$  m

**Grundbruch:**  
 Teilsicherheit (Grundbruch)  $\gamma_{R,v} = 1.40$   
 $\sigma_{R,k} / \sigma_{R,d} = 2826.8 / 2019.13$  kN/m<sup>2</sup>  
 $R_{n,k} = 655225.76$  kN  
 $R_{n,d} = 468018.40$  kN  
 $V_d = 1.35 \cdot 47652.40 + 1.50 \cdot 0.00$  kN  
 $V_d = 64330.74$  kN  
 $\mu$  (parallel zu y) = 0.137  
 Kohäsionsglied = 0.00 kN (k)  
 Breitenglied = 616147.62 kN (k)  
 Tiefenglied = 39078.14 kN (k)  
 cal  $\varphi = 34.1^\circ$   
 cal c = 0.00 kN/m<sup>2</sup>  
 cal  $\gamma_2 = 14.83$  kN/m<sup>3</sup>  
 cal  $\sigma_0 = 4.32$  kN/m<sup>2</sup>  
 Tragfähigkeitsbeiwerte (x):  
 $N_{c0} = 43.75$ ;  $N_{d0} = 30.97$ ;  $N_{b0} = 20.53$   
 Formbeiwerte (x):  
 $v_c = 1.394$ ;  $v_d = 1.381$ ;  $v_b = 0.798$

**Neigungsbeiwerte (x):**  
 $i_c = 0.953$ ;  $i_d = 0.954$ ;  $i_b = 0.927$   
**Tragfähigkeitsbeiwerte (y):**  
 $N_{c0} = 42.42$ ;  $N_{d0} = 29.68$ ;  $N_{b0} = 19.40$   
**Formbeiwerte (y):**  
 $v_c = 1.391$ ;  $v_d = 1.378$ ;  $v_b = 0.798$   
**Neigungsbeiwerte (y):**  
 $i_c = 0.953$ ;  $i_d = 0.954$ ;  $i_b = 0.927$

**Gleitwiderstand:**  
 Teilsicherheit (Gleitwiderstand)  $\gamma_{R,h} = 1.10$   
 $N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 47652.40 \cdot \tan(32.50^\circ) / 1.10$   
 $R_{t,d} = N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 27598.12$  kN  
 $T_d = 1856.25$  kN  
 $\mu = T_d / R_{t,d} = 0.067$

**Setzung infolge ständiger Lasten:**  
 Grenztiefe  $t_g = 13.35$  m u. GOK  
 Setzung (Mittel aller KPs) = 1.24 cm  
 Setzungen der KPs:  
 oben = 0.15 cm  
 unten = 2.33 cm  
 Verdrehung(x) (KP) = 1 : 952.6  
 Nachweis EQU:  
 $M_{stab} = 47652.4 \cdot 24.50 \cdot 0.5 \cdot 0.90 = 525367.7$   
 $M_{dst} = 218788.0 \cdot 1.10 = 240666.8$   
 $\mu_{EQU} = 240666.8 / 525367.7 = 0.458$



**Berechnungsgrundlagen:**  
 WP Müncheberg EnBW13-A  
 Norm: EC 7  
 BS: DIN 1054: BS-A  
 Grundbruchformel nach DIN 4017:2006  
 Teilsicherheitskonzept (EC 7)  
 $\gamma_{R,v} = 1.20$   
 $\gamma_G = 1.10$   
 $\gamma_Q = 1.10$   
 $\gamma_{R,h} = 1.10$

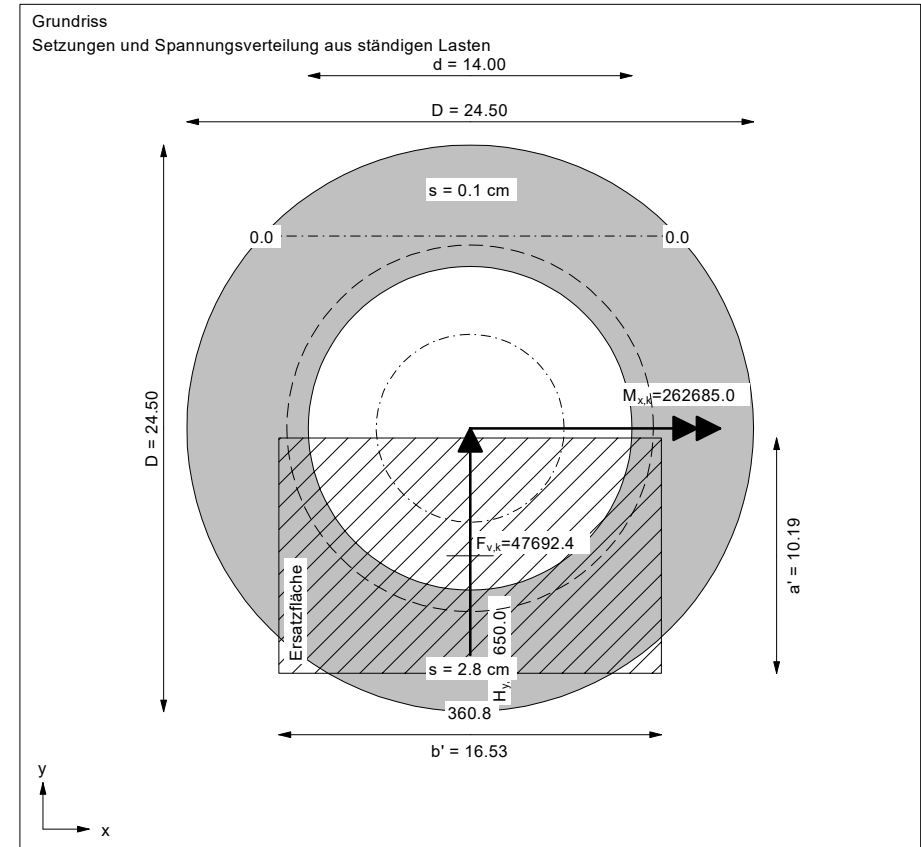
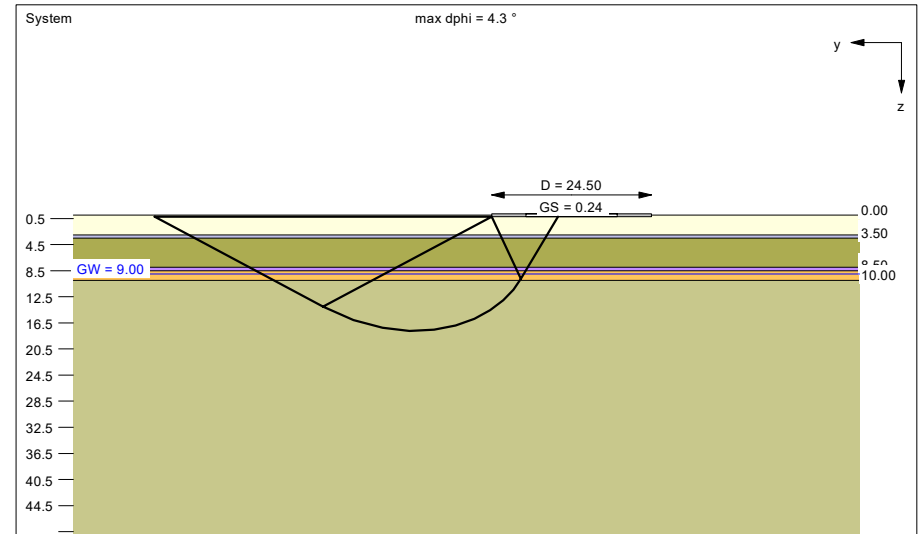
**Grenzzustand EQU:**  
 $\gamma_{G,dst} = 1.00$   
 $\gamma_{G,stb} = 0.95$   
 $\gamma_{Q,dst} = 1.00$   
 Gründungssohle = 0.24 m  
 Grundwasser = 9.00 m  
 Grenztiefe mit  $p = 20.0\%$

Boden	Tiefe [m]	$\gamma/\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi$ [°]	c [kN/m <sup>2</sup> ]	$E_s$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$\kappa$ [-]	Bezeichnung
	3.00	18.0/11.0	32.5	0.0	80.0	1.000	Sand, md (Polster)
	3.50	18.0/10.0	30.0	0.0	40.0	1.000	Sand, lo
	8.00	18.0/11.0	32.5	0.0	80.0	1.000	Sand, md
	8.50	18.0/10.0	30.0	0.0	40.0	1.000	Sand, lo
	10.00	18.0/11.0	32.5	0.0	80.0	1.000	Sand, md
	>10.00	19.0/11.0	35.0	0.0	150.0	1.000	Sand, d

**Ergebnisse Kreisringfundament**  
 Kippnachweis nicht untersucht.  
 Lasten = ständig / veränderlich  
 Vertikallast  $F_{v,k} = 47692.40 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,x,k} = 0.00 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,y,k} = 1650.00 / 0.00$  kN  
 Moment  $M_{x,k} = 262685.00 / 0.00$  kN·m  
 Moment  $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$  kN·m  
 Durchmesser  $D = 24.500$  m  
 Durchmesser (innen)  $d = 14.000$  m  
 Unter ständigen Lasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -5.508$  m  
 $a' = 10.185$  m  
 $b' = 16.530$  m  
 Unter Gesamtlasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -5.508$  m  
 $a' = 10.185$  m  
 $b' = 16.530$  m

**Grundbruch:**  
 Teilsicherheit (Grundbruch)  $\gamma_{R,v} = 1.20$   
 $\sigma_{R,k} / \sigma_{R,d} = 2360.0 / 1966.70$  kN/m<sup>2</sup>  
 $R_{n,k} = 397326.58$  kN  
 $R_{n,d} = 331105.48$  kN  
 $V_d = 1.10 \cdot 47692.40 + 1.10 \cdot 0.00$  kN  
 $V_d = 52461.64$  kN  
 $\mu$  (parallel zu y) = 0.158  
 Kohäsionsglied = 0.00 kN (k)  
 Breitenglied = 370729.33 kN (k)  
 Tiefenglied = 26597.25 kN (k)  
 cal  $\varphi = 33.8^\circ$   
 cal c = 0.00 kN/m<sup>2</sup>  
 cal  $\gamma_2 = 15.60$  kN/m<sup>3</sup>  
 cal  $\sigma_u = 4.32$  kN/m<sup>2</sup>  
 Tragfähigkeitsbeiwerte (x):  
 $N_{c0} = 43.46$ ;  $N_{d0} = 30.69$ ;  $N_{b0} = 20.28$   
 Formbeiwerte (x):  
 $v_c = 1.359$ ;  $v_d = 1.348$ ;  $v_b = 0.815$

**Neigungsbeiwerte (x):**  
 $i_c = 0.943$ ;  $i_d = 0.945$ ;  $i_b = 0.912$   
**Tragfähigkeitsbeiwerte (y):**  
 $N_{c0} = 41.52$ ;  $N_{d0} = 28.83$ ;  $N_{b0} = 18.65$   
**Formbeiwerte (y):**  
 $v_c = 1.355$ ;  $v_d = 1.343$ ;  $v_b = 0.815$   
**Neigungsbeiwerte (y):**  
 $i_c = 0.943$ ;  $i_d = 0.945$ ;  $i_b = 0.912$   
**Gleitwiderstand:**  
 Teilsicherheit (Gleitwiderstand)  $\gamma_{R,h} = 1.10$   
 $N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 47692.40 \cdot \tan(32.50^\circ) / 1.10$   
 $R_{t,d} = N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 27621.28$  kN  
 $T_d = 1815.00$  kN  
 $\mu = T_d / R_{t,d} = 0.066$   
**Setzung infolge ständiger Lasten:**  
 Grenztiefe  $t_g = 14.28$  m u. GOK  
 Setzung (Mittel aller KPs) = 1.43 cm  
 Setzungen der KPs:  
 oben = 0.09 cm  
 unten = 2.77 cm  
 Verdrehung(x) (KP) = 1 : 772.7  
**Nachweis EQU:**  
 $M_{stb} = 47692.4 \cdot 24.50 \cdot 0.5 \cdot 0.95 = 555020.3$   
 $M_{dst} = 262685.0 \cdot 1.00 = 262685.0$   
 $\mu_{EQU} = 262685.0 / 555020.3 = 0.473$



- BAUGRUNDUNTERSUCHUNGEN
- BAUGRUNDGUTACHTEN
- GRÜNDUNGSBERATUNG
- ALTASTERKUNDUNGEN
- KONTAMINATIONS-GUTACHTEN
- GRUNDBAUSTATIK
- BAULEITUNG · PLANUNG

## GEOTECHNISCHER ENTWURFSBERICHT

**108-23EnBW14**

Bauvorhaben: Windpark Müncheberg - Mittelheide  
EnBW 14

Auftraggeber: Naturwind Potsdam GmbH  
Hegelallee 41  
14467 Potsdam

Bearbeiter: M.Sc. B. Tamme  
Prof. Dr.-Ing. H. Kleen

Umfang: 11 Seiten  
8 Anlagen

Datum: 17.11.2023

Berliner Volksbank  
IBAN DE92 1009 0000 5431 2700 07  
BIC BEVODEBB

Steuer Nr. 046/111/01630

Handelsregister  
Nr. HRB 100073 Potsdam

Geschäftsführer:  
Prof. Dr.-Ing. Hermann Kleen

## **1. VERANLASSUNG**

Unser Büro wurde am 31.07.2023 durch die Naturwind Potsdam GmbH schriftlich beauftragt, für die im Windpark Müncheberg - Mittelheide geplante Windkraftanlage EnBW 14, einen Geotechnischen Entwurfsbericht, einschließlich der notwendigen Feld- und Laboruntersuchungen, anzufertigen.

## **2. UNTERLAGEN**

Für die Bearbeitung standen die nachfolgend aufgeführten Unterlagen zur Verfügung:

- U 2.1 Geologische Karte, M.: 1 : 25.000, über [www.geo.brandenburg.de/gk25/](http://www.geo.brandenburg.de/gk25/), Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg
- U 2.2 Unser Geotechnischer Entwurfsbericht zum Bauvorhaben „Windpark Müncheberg-Mittelheide WEA1, vom 27.11.2020 nebst Unterlagen
- U 2.3 Prüfbericht für eine Typenprüfung, Vestas V162-5.4/5.6/6.0/6.2 MW mit 169 m Nabenhöhe, D = 24,5 m, Kreisringfundament mit Auftrieb, Prüfnr.: 3108363-23-d Rev.4, der TÜV SÜD Industrie Service GmbH aus München, vom 25.02.2022
- U 2.4 Lageplan zum Projekt Müncheberg-Mittelheide, der naturwind potsdam GmbH, M.: 1 : 12.000, vom 28.07.2023
- U 2.5 Geländeordinaten der Windkraftanlagenmittelpunkte, übersandt am 01.11.2023 durch das zuständige Vermessungsbüro Horst Möhring aus Frankfurt Oder
- U 2.6 Ergebnisse der Drucksondierungen der Firma Fugro Germany Land GmbH aus Berlin, übersandt am 31.10.2023
- U 2.7 Ergebnisse bodenmechanischer Laboruntersuchungen der Fachhochschule Potsdam, Fachgebiet Grundbau und Bodenmechanik, vom 27.10.2023 (L63/23)
- U 2.8 Prüfbericht zur Betonaggressivität des Bodens, WP Müncheberg - Mittelheide / MP14 (EnBW 14), der Agrolab Agrar und Umwelt GmbH aus Kiel, Analysennummer: 211987 vom 23.10.2023



### **3. BAUGRUNDSTÜCK UND BAUWERK**

Der Standort für den Neubau einer Windkraftanlage befindet sich zwischen dem Maxsee und Schönfelde, südlich des Müncheberger Ortsteils Hoppegarten, innerhalb des geplanten Windparks Müncheberg - Mittelheide.

Hier soll, auf der forstwirtschaftlich genutzten Fläche, die Windkraftanlage EnBW 14 vom Typ V162-6.2 MW mit Hybridturm und einer Nabenhöhe von 169 m auf einem Kreisringfundament, mit einem Außendurchmesser von  $D = 24,5$  m, auf einer 0,1 m starken Sauberkeitsschicht in einer Tiefe von ca. 0,24 m unter Gelände, flach gegründet werden.

Die Geländehöhe am Standort der Windkraftanlage EnBW 14 liegt auf einer Ordinate von ca. 51,4 m über NHN.

Die Lage der geplanten Windkraftanlage geht aus der Anlage 1 und der Anlage 2 hervor.

### **4. BAUGRUND**

#### **4.1 Vorkenntnisse**

Der Windpark Müncheberg - Mittelheide befindet sich im Bereich einer im Pleistozän gebildeten Hochfläche.

Hier ist mit Schmelzwasserablagerungen in Form von feinkörnigen, schwach mittelkörnigen Sanden, die zum Teil schwach schluffige Beimengungen beinhalten, zu rechnen (s. Unterlage U 2.1).

Gemäß der Unterlage U 2.2 stehen am Standort der geplanten Windkraftanlage, unterhalb einer ca. 0,1 m starken, sandigen, stark humosen Oberbodenschicht, bis zur Aufschlussendteufe von 15,0 m unter Gelände, Mittel- und Grobsande an, die in Tiefen zwischen ca. 9,1 m und 10,2 m unter Gelände, von einer sandigen Geschiebemergelschicht durchzogen werden.

Die Sande sind durchweg mindestens mitteldicht und dicht gelagert; der Geschiebemergel besitzt eine mindestens halbfeste Zustandsform.

#### **4.2 Baugrunduntersuchungen**

Zur Erkundung der Baugrundverhältnisse wurde im Bereich der geplanten Windkraftanlage EnBW 14 eine Kleinbohrung (S14) bis zu einer Endteufe von 15,0 m unter Gelände abgeteuft.

Zur Feststellung der Lagerungsdichte bzw. der Festigkeit des anstehenden Baugrundes wurden zudem drei Drucksondierungen als CPT-E (DS14-1 bis DS14-3) bis in Tiefen von 20,0 m und 25,0 m unter Gelände angeordnet.

Auf Grund zu hoher Baugrundfestigkeiten mussten die Drucksondierungen wegen Auslastung in Tiefen zwischen 9,5 m und 12,0 m unter Gelände abgebrochen werden.

Die Einmessung und Kennzeichnung des Untersuchungsstandortes erfolgte durch das beauftragte Vermessungsbüro (vgl. Unterlage U 2.5).

Die Lage der genannten Aufschlüsse ist aus der Anlage 1 und der Anlage 2 ersichtlich.

#### **4.3 Ergebnisse der Baugrundaufschlüsse**

Auf der Grundlage des, während der Feldarbeiten erstellten Schichtenverzeichnisses und einer durch uns vorgenommenen Bodenansprache, wurde das in der Anlage 3 dokumentierte Schichtenprofil angefertigt. Zudem sind innerhalb der Anlage 3 die Ergebnisse der Drucksondierungen dargestellt.

Im Einzelnen kann damit am Standort der geplanten Windkraftanlage EnBW 14 von folgendem Baugrundaufbau ausgegangen werden:

Unterhalb einer ca. 0,3 m starken, sandigen, stark humosen Oberbodenschicht (Mutterboden) stehen bis zur Aufschlussendteufe von 15,0 m unter Gelände Mittel- und Grobsande an, die in Tiefen zwischen ca. 7,7 m und 9,6 m unter Gelände von einer sandigen Geschiebemergelschicht durchzogen werden (S14).

Der in S14 erbohrte Geschiebeboden besitzt, auf Grund unserer Ansprachen und der durchgeführten bodenmechanischen Versuche zur Bestimmung der Konsistenzgrenzen und des Wassergehaltes, eine halbfeste Zustandsform.

Die Drucksondierungen DS14-1 bis DS14-3 bestätigen die erkundeten Baugrundverhältnisse im Wesentlichen und ergeben für die Sande bis ca. 2,0 m unter Gelände eine lockere mitteldichte, darunter eine mindestens mitteldichte, lokal lockere Lagerung.

Darüber hinaus zeigen die Drucksondierungen, dass der anstehenden Geschiebeboden eine vornehmlich halbfeste Konsistenz besitzt.

Körnungslinien repräsentativer Böden sind in der Anlage 4, Konsistenzgrenzen in Anlage 5 und ein Wassergehalt in der Anlage 6 dargestellt.

## 5. HOMOGENBEREICHE / BODENKLASSIFIZIERUNG

Die im Bereich des Untersuchungsstandortes anstehenden Böden können gemäß VOB Teil C, Ausgabe 2012 und Ausgabe 2015, DIN 18196:2011-05 sowie ZTV E-StB 17 wie folgt eingestuft und klassifiziert werden:

### Oberboden

Bodengruppe:	OH
Lagerung:	locker
Frostempfindlichkeit:	gering bis mittel frostempfindlich (F2)

Der Oberboden entspricht nach VOB Teil C, Ausgabe 2012 (DIN 18300) der Bodenklasse 1 (Oberboden). Nach DIN 18915:2002-08 kann der Oberboden für vegetationstechnische Zwecke der Bodengruppe 2 zugeordnet werden.

### Homogenbereich A / Sande

Bodengruppe:	SE
Lagerung:	bis ca. 0,5 m: locker ab ca. 0,5 m: mindestens mitteldicht
Verdichtungsfähigkeit:	gut bis mittel
Frostempfindlichkeit:	nicht frostempfindlich (F1)
Durchlässigkeit [m/s]:	$k_f = 1 \times 10^{-3}$ bis $1 \times 10^{-4}$

Die Sande entsprechen nach VOB, Teil C, Ausgabe 2012 (DIN 18300) der Bodenklasse 3 (leicht lösbare Bodenarten).

### Homogenbereich B / Geschiebemergel

Bodengruppe:	SU*, TL
Festigkeit:	halbfest
Verdichtungsfähigkeit:	SU*: mittel TL: mäßig
Frostempfindlichkeit:	sehr frostempfindlich (F3)
Durchlässigkeit [m/s]:	$k_f < 1 \times 10^{-7}$

Der Geschiebemergel entspricht nach VOB, Teil C, Ausgabe 2012 (DIN 18300) der Bodenklasse 4 (mittelschwer lösbare Bodenarten).

Innerhalb und unmittelbar oberhalb des Geschiebehorizontes ist mit Findlingen zu rechnen.

Werden weiterreichende Angaben zu Körnungsbändern, zur Dichte und zur Festigkeit anstehender Böden erforderlich, sind ggf. zusätzliche Labor- bzw. Feldversuche durchzuführen.

## 6. GRUNDWASSER

Während der Baugrunduntersuchungen im September 2023 wurde Grundwasser in einer Tiefe von ca. 9,6 m unter Gelände und damit auf einer Ordinate von ca. 41,8 m über NHN angeschnitten.

Da im Gründungsbereich kein Grundwasser ansteht, wurde hier ersatzweise eine Bodenprobe hinsichtlich Betonaggressivität untersucht.

Als Ergebnis konnte festgestellt werden, dass der anstehende Boden hier als nicht betonangreifend einzustufen ist, was gemäß DIN EN 206-1 zu der Expositionsklasse XAI führt.

Die Einzelergebnisse der Bodenanalytik können der Unterlage U 2.8, die innerhalb der Anlage 7 dargestellt ist, entnommen werden.

## 7. BODENKENNWERTE

Für erdstatische Berechnungen können, auf Grund der Ansprache der gelieferten Proben, der Bohr- und Sondierergebnisse und unserer Erfahrung die charakteristischen Bodenkennwerte der folgenden Tabelle 1 angesetzt werden.

Die Tiefenlagen der Bodenschichten sind dem Schichtenprofil, welches innerhalb der Anlage 3 dargestellt ist, zu entnehmen.

**Tabelle 1: charakteristische Bodenkennwerte**

Bodenart	Bodenkennwerte				
	Wichte	Reibungswinkel	Kohäsion	Querdehnzahl	Steifeziffer stat. / dyn.
	$\gamma_k / \gamma'_{k}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi'_{k}$ [°]	$c'_{k} / c_{u,k}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\nu$ [-]	$E_{s,k} / E_{sd,k}$ [MN/m <sup>2</sup> ]
Oberboden	17 / 9	30,0	-- / --	-- / --	-- / --
Sand locker (lo) mitteldicht (md) dicht (d)	18 / 10	30,0	-- / --	0,32	40 / 170
	18 / 11	32,5	-- / --	0,32	80 / 260
	19 / 11	35,0	-- / --	0,32	150 / 420
Geschiebeboden halbfest (sth)	21 / 12	30,0	60 / 100	0,35	40 / 170

## **8. ANGABEN ZUR GRÜNDUNG, ZUWEGUNG UND KRANSTELLFLÄCHE**

### **8.1 Gründung**

Der erkundete Baugrundaufbau und die ermittelten Baugrundfestigkeiten erlauben für die Windkraftanlage EnBW 14 die Ausführung einer Flachgründung mittels Kreisringfundament.

Zur Gewährleistung der Gebrauchstauglichkeit und Standsicherheit der Anlage werden dazu vorab jedoch Bodenverbesserungen erforderlich, die hier über ein einzubauendes Gründungspolster realisiert werden können.

Im Einzelnen sind hierzu folgende Voraussetzungen einzuhalten:

Die im Gründungsbereich anstehenden weniger tragfähigen, locker gelagerten Sande sind bis in eine Tiefe von ca. 1,6 m unter Gelände vollständig gegen mindestens mitteldicht gelagertes rolliges Material auszutauschen.

Hierbei ist zu beachten, dass nach Freilegung der Austauschenebene, die gewachsenen Sande mit einer Tiefenwirkung von mindestens 0,4 m nach verdichtet werden.

Das nachfolgend einzubringende rollige Polstermaterial hat zur besseren Verdichtbarkeit eine Ungleichförmigkeit von  $U > 6$  aufzuweisen. Die Polsterlagen sollten bis zur geplanten Gründungssohle, mit maximalen Stärken von 0,3 m unter Berücksichtigung eines Ausbreitungswinkels von  $45^\circ$ , so verdichtet eingebracht werden, dass durchweg eine mindestens mitteldichte Lagerung vorherrscht.

Die Güte des Austauschbodens und der Sohle sind durch geeignete Versuche, wie Plattendruck- oder Proctorversuche nachzuweisen.

Bei Einhaltung der o.g. Gründungshinweise und unter Zugrundelegung der in Tabelle 1 angegebenen Bodenkennwerte, werden die Anforderungen an die Windkraftanlage des Typs V162-6.2 MW mit einer Nabenhöhe von 169 m mit einem Fundamentdurchmesser  $D = 24,5$  m, von jeder erkundeten Baugrundsicht erfüllt.

Die ermittelten statischen und dynamischen Drehfedersteifigkeiten gemäß der Unterlage U 2.5 für die anstehenden Bodenschichten können der folgenden Tabelle 2 entnommen werden.

**Tabelle 2: EnBW 14 - statische und dynamische Drehfedersteifigkeiten**

Bodenart	Tiefe [m u. GOK]	$r_E$ [ m ]	$\nu$ [ - ]	$E_{S,stat.}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$k_{\phi,stat}$ [MNm/rad]	$E_{S,dyn.}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$k_{\phi,dyn}$ [MNm/rad]
Polster Sand (md)	> 0,35	12,25	0,32	80	152.600	260	496.100
Sand (lo)	> 5,0	15,21	0,32	40	146.000	170	620.900
Sand (md)	> 5,5	15,49	0,32	80	308.600	260	1.003.000

$r_E$	Ersatzradius
$\nu$	Querdehnzahl
$E_{S,stat.}$	Steifziffer, statisch
$E_{S,dyn.}$	Steifziffer, dynamisch
$k_{\phi,stat}$	Drehfedersteifigkeit, statisch
$k_{\phi,dyn}$	Drehfedersteifigkeit, dynamisch

Damit liegen die vorhandenen statischen und dynamischen Drehfedersteifigkeiten jeder erkundeten Schicht über den geforderten Werten von  $k_{\phi,stat} \geq 40.000$  bzw.  $k_{\phi,dyn} \geq 200.000$  [MNm/rad].

Die angegebenen Sohlspannungen können vom Baugrund aufgenommen werden. Bei sorgfältiger Ausführung der Gründungsarbeiten und Einhaltung der vor genannten Voraussetzungen wird die Absolutsetzung der Windkraftanlage 2,5 cm nicht überschreiten. In Folge der erfolgten Gründungsertüchtigungen werden damit keine relevanten, baugrundbedingten Setzungsunterschiede auftreten.

Die Standsicherheit der Windkraftanlage ist gegeben; die zum Nachweis geführten Berechnungen für die Bemessungssituationen BS-P und BS-A können der Anlage 8 entnommen werden.

## 8.2 Zuwegung und Kranstellfläche

Unter der Voraussetzung, dass der in Abschnitt 4 beschriebene Baugrundaufbau im Bereich der Verkehrsflächen hier übertragbar ist, kann hierzu zusammenfassend von den nachfolgenden Gegebenheiten und Anforderungen ausgegangen werden:

- Die bis in eine Tiefe von mindestens ca. 0,3 m unter Gelände anstehende Oberbodenschicht ist gänzlich zu entfernen und gegen ein verdichtet eingebrachtes rolliges Material zu ersetzen. Die nach Aushub der Oberböden freiliegenden Sande sind mit einer Tiefenwirkung von mindestens 0,4 m nach zu verdichten.
- Der Einbau von Austausch-, Trag- und Frostschutzschichten hat lagenweise, in Abhängigkeit des eingesetzten Verdichtungsgerätes, mit Stärken von 20 cm bis 30 cm, zu erfolgen.
- Auszuführende Gründungspolster sind immer, sofern nicht durch andere konstruktive Maßnahmen die seitliche Stützung des Polsters erreicht wird, mit einer Verbreiterung entsprechend des Lastverteilungswinkels von ca. 45° bis auf die Solltiefe zu führen.
- Die Verdichtungsanforderungen an die Zuwegung und die Kranstellfläche können grundsätzlich, unter Einhaltung der o.g. Anforderungen, sowohl für den Untergrund mit  $E_{V2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ , den Tragschichtaufbau mit  $E_{V2} \geq 80 \text{ MN/m}^2$  bzw.  $E_{V2} \geq 100 \text{ MN/m}^2$  und die Deckschichten mit  $E_{V2} \geq 100 \text{ MN/m}^2$  bzw.  $E_{V2} \geq 120 \text{ MN/m}^2$  bei einem Verhältniswert  $E_{V2} / E_{V1} \leq 2,3$  nachgewiesen werden.
- Die geforderten Mindesttragfähigkeiten des Planums sind vor Ort durch geeignete Verdichtungskontrollen, wie beispielsweise Plattendruckversuche, zu überprüfen.

## 9. ERGÄNZENDE HINWEISE UND EMPFEHLUNGEN

- Die durchgeführten Untersuchungen liefern lediglich einen stichprobenartigen Aufschluss im Bereich der geplanten Windkraftanlage. Sollte sich bei den Gründungsmaßnahmen die Bodensituation örtlich anders darstellen als von uns bisher erkundet, sind wir darüber zu informieren.

Der Untersuchungsbereich gehört zu keiner Erdbebenzone.

- Der unterhalb der Oberböden überwiegend anstehende gewachsene Sand, mit einer Feuchtwichte von  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ , eignet sich grundsätzlich zur Überschüttung und Wiederanfüllung, auch für die Schnittstellen zwischen Fundamentarbeitsraum und Kranstellfläche. Die Überschüttung muss dabei mindestens 0,5 m betragen.
- Für die im Gründungsbereich der Windkraftanlage anstehenden Sande kann mit einem abgeschätzten spezifischen Erdwiderstand zwischen 300 und 1000  $\Omega\text{m}$  gerechnet werden.
- Die Gründungs- und ggf. erforderlichen Baugrundverbesserungsarbeiten sollten geotechnisch begleitet und überwacht werden.
- Das Bauvorhaben ist in die geotechnische Kategorie GK-3 einzuordnen. Folgerichtig ist nach den Vorgaben der DIN 1054 der Geotechnische Entwurfsbericht zur Fortschreibung zu bringen.
- Für ergänzende Erläuterungen und Beratungen stehen wir gerne zur Verfügung.



Prof. Dr.-Ing. H. Kleen



M. Sc. B. Tammé

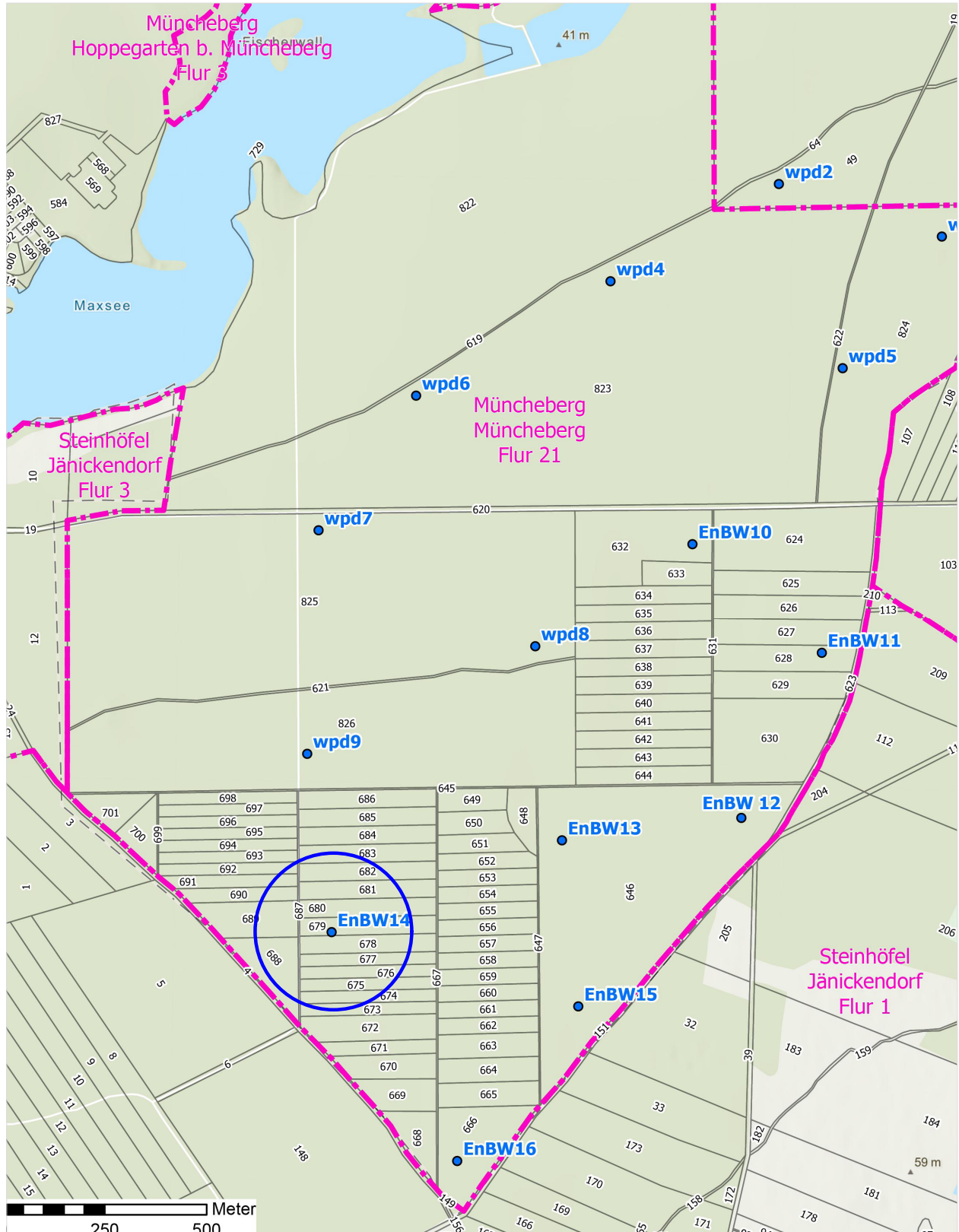


<b>ANLAGEN</b>	<b>SEITEN</b>
1. Übersicht	1
2. Lageplan mit Aufschlussansatzpunkten	1
3. Ergebnisse der Baugrundaufschlüsse	4
4. Körnungslinien	1
5. Zustandsgrenzen	1
6. Wassergehalt	1
7. Betonaggressivität Boden	2
8. Standsicherheitsnachweise	2

Anlage 1

Übersicht

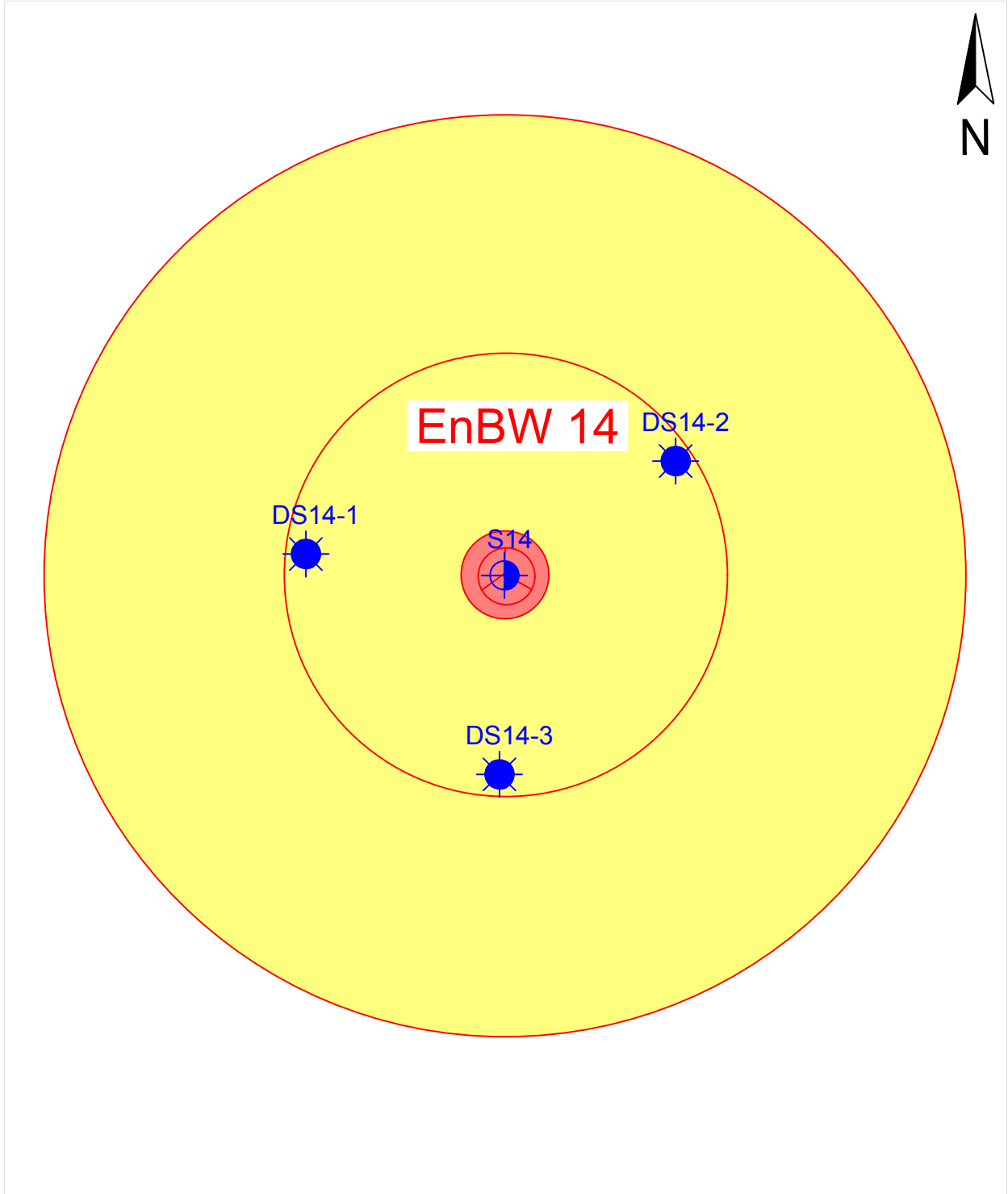
Übersicht



Anlage 2

Lageplanskizze

Lageplanskizze



ohne Maßstab



Kleinbohrung (S)

Drucksondierung CPT-E (DS)

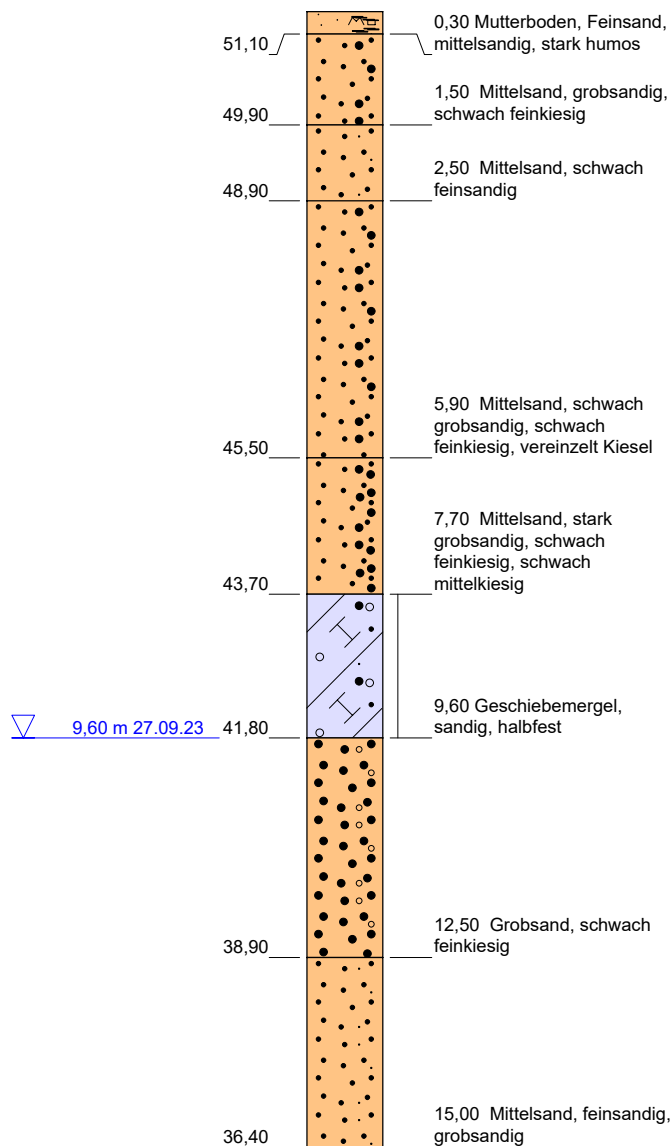
## Anlage 3

# Ergebnisse der Baugrundaufschlüsse

ERGEBNISSE DER BAUGRUNDAUFSCHLÜSSE

**S14**

51,40 m ü.NHN



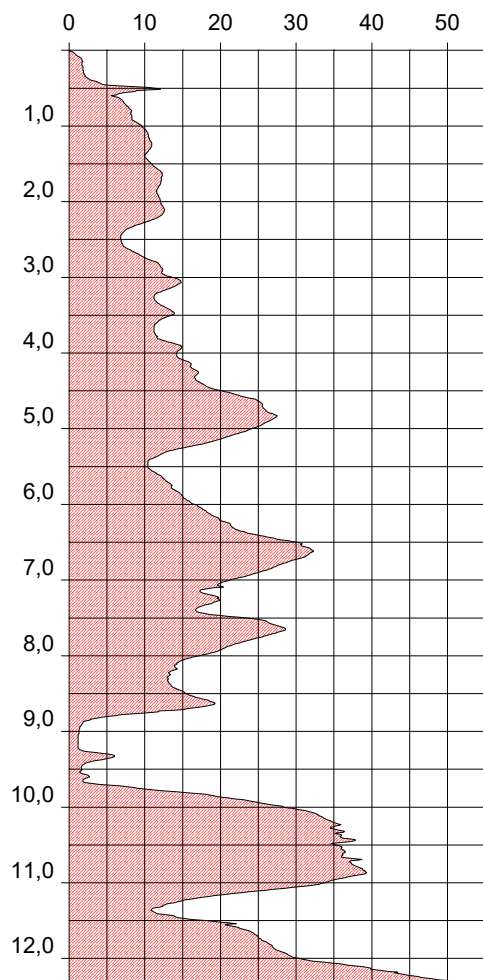
Höhenmaßstab 1:100

ERGEBNISSE DER BAUGRUNDAUFSCHLÜSSE

**DS14-1**

51,40 m ü.NHN

CPT-E

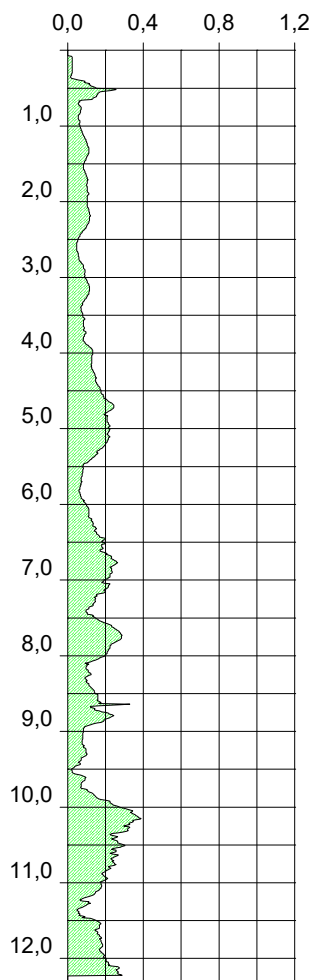


Spitzenwiderstand  $q_c$  [MN/m<sup>2</sup>]

**DS14-1**

51,40 m ü.NHN

CPT-E

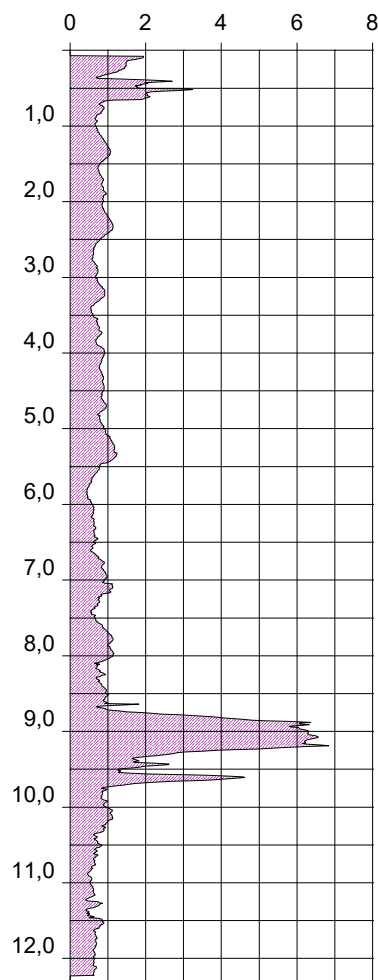


Mantelreibung  $f_s$  [MN/m<sup>2</sup>]

**DS14-1**

51,40 m ü.NHN

CPT-E



Reibungsverhältnis  $r_f$  [%]

Abbruch wegen Stillstand

Höhenmaßstab 1:100

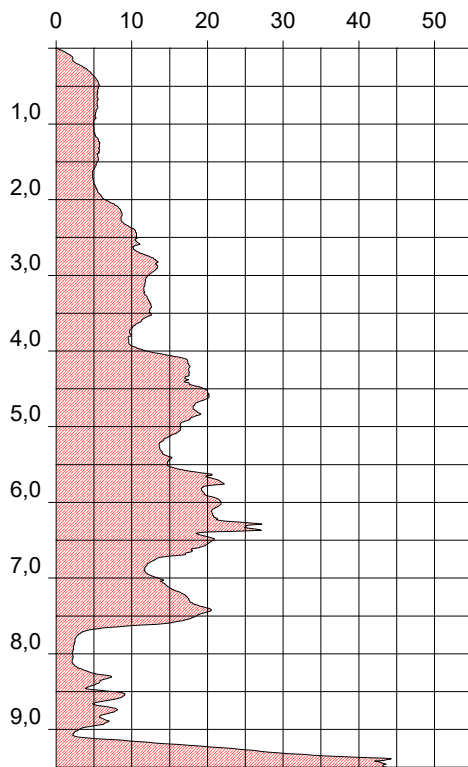


ERGEBNISSE DER BAUGRUNDAUFSCHLÜSSE

**DS14-2**

51,40 m ü.NHN

CPT-E

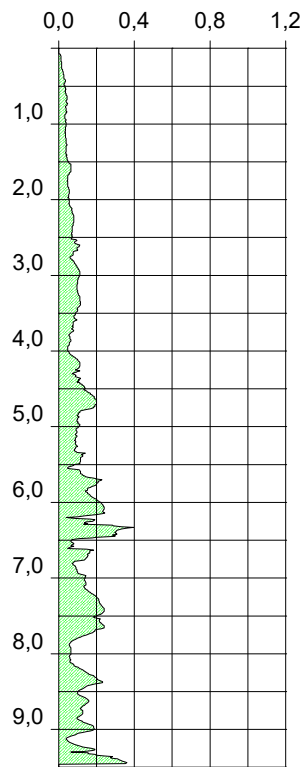


Spitzenwiderstand  $q_c$  [MN/m<sup>2</sup>]

**DS14-2**

51,40 m ü.NHN

CPT-E



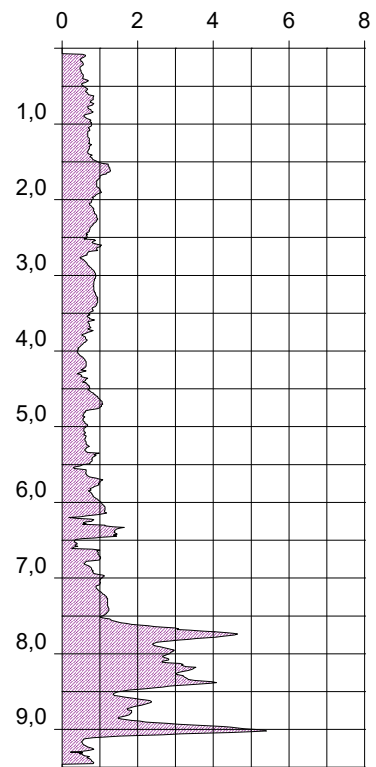
Mantelreibung  $f_s$  [MN/m<sup>2</sup>]

Abbruch wegen Stillstand

**DS14-2**

51,40 m ü.NHN

CPT-E



Reibungsverhältnis  $r_f$  [%]

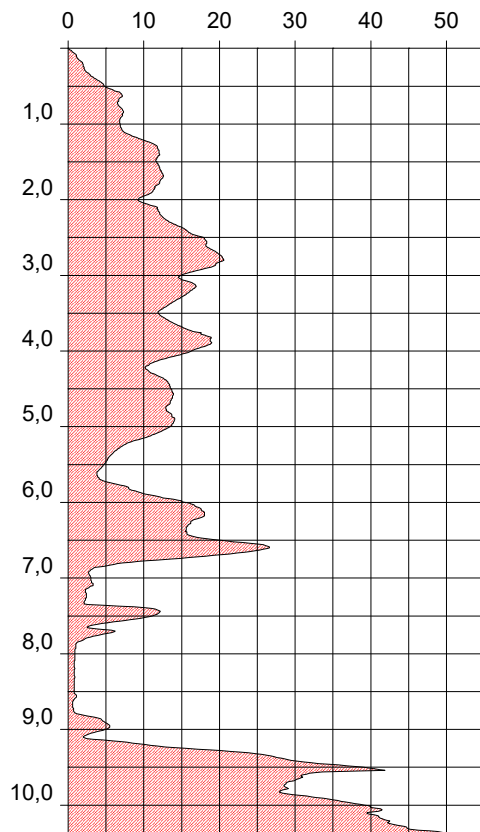
Höhenmaßstab 1:100

ERGEBNISSE DER BAUGRUNDAUFSCHLÜSSE

**DS14-3**

51,40 m ü.NHN

CPT-E

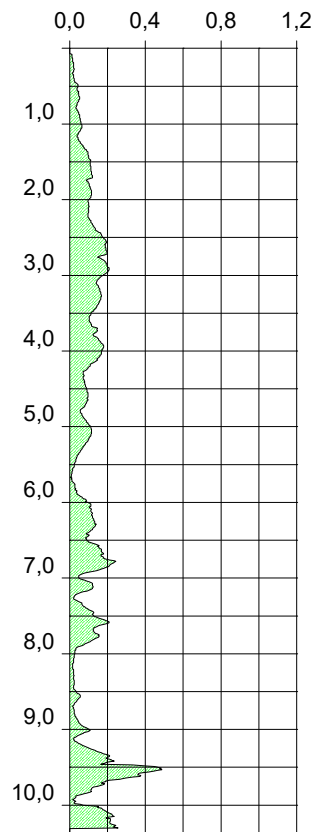


Spitzenwiderstand  $q_c$  [MN/m<sup>2</sup>]

**DS14-3**

51,40 m ü.NHN

CPT-E

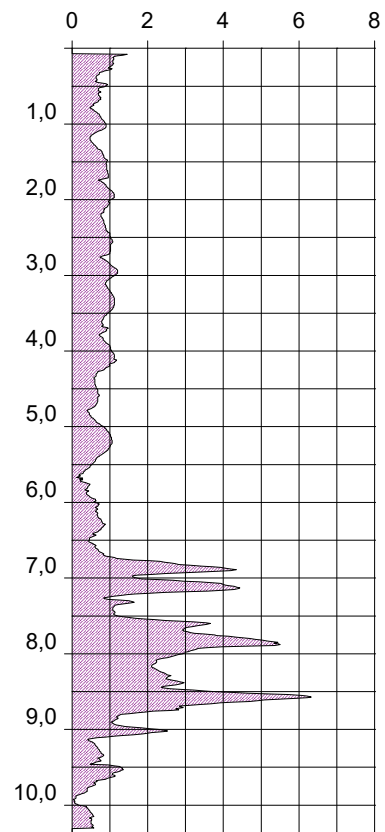


Mantelreibung  $f_s$  [MN/m<sup>2</sup>]

**DS14-3**

51,40 m ü.NHN

CPT-E



Reibungsverhältnis  $r_f$  [%]

Abbruch wegen Stillstand

Höhenmaßstab 1:100

## Anlage 4

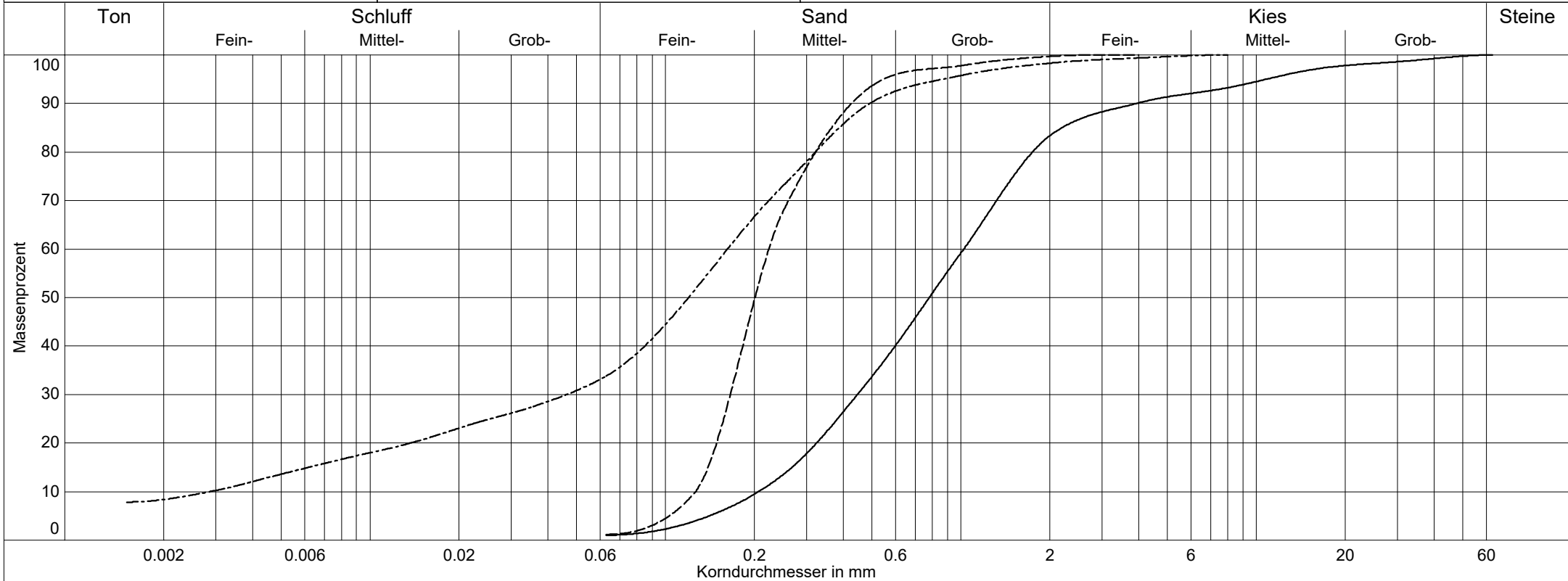
### Kornverteilungen

FH Potsdam
FB Bauingenieurwesen
FG Grundbau und Bodenmechanik
Grundbaulabor

# Kornverteilung

DIN EN ISO 17892-4

Projekt:	WP Müncheberg - Mittelheide / EnBW 14
Projektnr.:	L 62/23
Anlage:	27.10.2023
Datum:	4



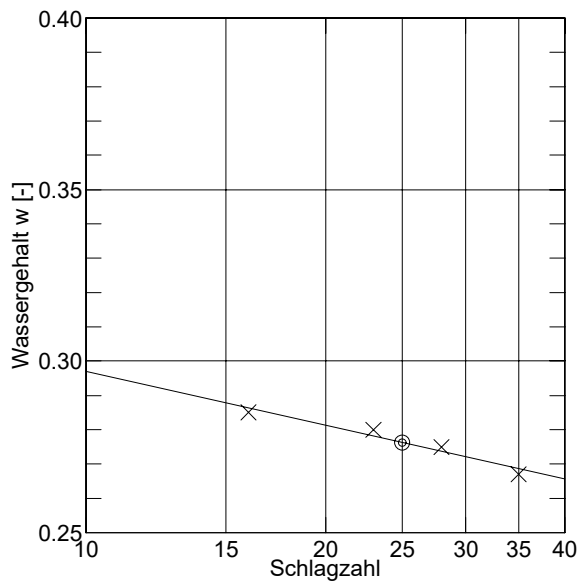
Labornummer	—— s14-1,5	----- s14-2,5	-.-.-.- s14-8,5	
Entnahmestelle	S14	S14	S14	
Entnahmetiefe	0,3-1,5 m	1,5-2,5 m	7,7-8,5 m	
Ungleichförm. Cu	4.9	1.8	56.5	
Krümmungszahl Cc	0.9	1.0	4.6	
Bodengruppe	SE	SE	SU	
Anteil < 0.063 mm	1.0 %	1.2 %	33.8 %	
Frostempfindl.klasse	F1	F1	F3	
kf nach Beyer	3.7E-04 m/s	1.6E-04 m/s	-(Cu > 30)	
kf nach USBR	-(d10 > 0.02)	-(d10 > 0.02)	1.9E-07 m/s	
kf nach Kaubisch	-(0.063 <= 10%)	-(0.063 <= 10%)	8.4E-08 m/s	

Anlage 5

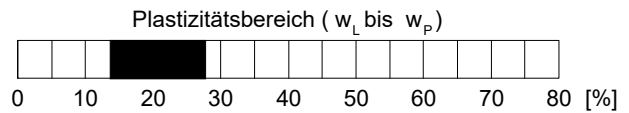
Konsistenzgrenzen

FH Potsdam	Projekt : WP Müncheberg - Mittelheide / EnBW 14
FB Bauingenieurwesen	Projektnr.: L 62/23
FG Grundbau und Bodenmechanik	Anlage : 5
Grundbaulabor	Datum : 27.10.2023
<b>Zustandsgrenzen</b> DIN EN ISO 17892-12	Labornummer: s14-8,5
	Entnahmestelle: S14
	Entnahmetiefe : 7,7-8,5 m

Behälter-Nr.	Fließgrenze				Ausrollgrenze			
	1	2	3	4	1	2	3	
Zahl der Schläge	16	28	35	23				
Feuchte Probe + Behälter	$m_f + m_B$ [g]	46.66	47.39	44.46	44.69	21.80	23.50	24.79
Trockene Probe + Behälter	$m_t + m_B$ [g]	41.01	41.70	39.62	39.59	19.98	21.55	22.60
Behälter	$m_B$ [g]	21.17	21.02	21.51	21.36	6.77	7.28	6.56
Wasser	$m_f - m_t = m_w$ [g]	5.65	5.69	4.84	5.10	1.82	1.95	2.19
Trockene Probe	$m_t$ [g]	19.84	20.68	18.11	18.23	13.21	14.27	16.04
Wassergehalt $\frac{m_w}{m_t} = w$	[-]	0.285	0.275	0.267	0.280	0.138	0.137	0.137



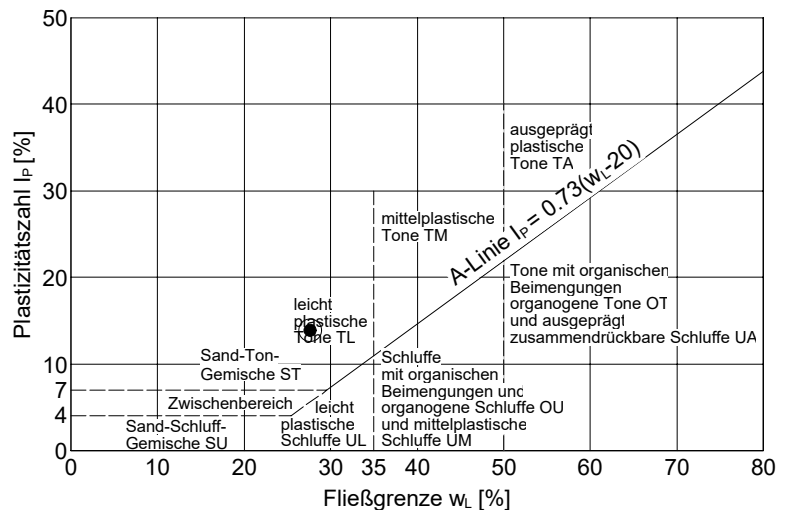
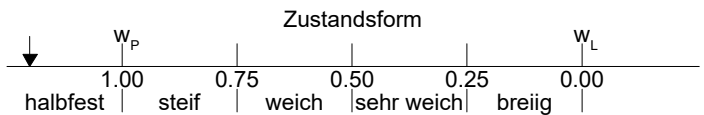
Wassergehalt  $w_N = 0.109$   
 Fließgrenze  $w_L = 0.276$   
 Ausrollgrenze  $w_P = 0.137$



Plastizitätszahl  $I_P = w_L - w_P = 0.139$

Liquiditätsindex  $I_L = \frac{w_N - w_P}{I_P} = -0.201$

Konsistenzzahl  $I_C = \frac{w_L - w_N}{I_P} = 1.201$



Anlage 6

Wassergehalte

FH Potsdam	Projekt : WP Müncheberg - Mittelheide / EnBW 14
FB Bauingenieurwesen	Projektnr.: L 62/23
FG Grundbau und Bodenmechanik	Anlage : 6
Grundbaulabor	Datum : 27.10.2023
<b>Wassergehalt</b> DIN ISO/TS 17892-1	Labor-Nr.: s14-9,6
	Aufschluss-Nr. S14
	Tiefe: 8,5-9,6 m

Schale Nr.  T2	Schale u. Probe feucht [g]	= 129.12 g	Schale u. Probe trocken [g]	= 121.48 g
	Schale u. Probe trocken [g]	= 121.48 g	Gewicht Schale [g]	= 57.80 g
	Wassergehalt [g]	= 7.64 g	Probe trocken G [g]	= 63.68 g
			Wassergehalt [%]	= 12.0 %
Schale Nr.	Schale u. Probe feucht [g]	= g	Schale u. Probe trocken [g]	= g
	Schale u. Probe trocken [g]	= g	Gewicht Schale [g]	= g
	Wassergehalt [g]	= g	Probe trocken G [g]	= g
			Wassergehalt [%]	= %
			Mittel	= 12.0 %



## Anlage 7

# Betonaggressivität des Bodens

**AGROLAB Agrar&Umwelt** Dr.-Hell-Str. 6, 24107 Kiel

Ingenieurbüro für Geotechnik Kleen GmbH  
Berliner Straße 124  
14467 Potsdam

Datum 23.10.2023  
Kundennr. 20122596

## PRÜFBERICHT

Auftrag **2311623** Projekt: WP Müncheberg-Mittelheide - Auftrag Boden Betonaggressivität  
 Analysennr. **211987** Mineralisch/Anorganisches Material  
 Probeneingang **11.10.2023**  
 Probenahme **04.10.2023**  
 Probenehmer **Auftraggeber**  
 Kunden-Probenbezeichnung **MP 14**

Einheit Ergebnis Best.-Gr. Methode

### Feststoff

Trockensubstanz	u)	%	°	<b>97,8</b>	0,1	DIN EN 14346 : 2007-03(PL)
Säuregrad n. Baumann-Gully	u)*)	ml/kg		<b>38</b>	0,1	DIN 4030 (mod.)(PL)
Sulfat aus salzsauren Auszug	u)*)	mg/kg	°	<b>186</b>	100	DIN 4030 (mod.)(PL)
Sulfat aus salzsauren Auszug	u)*)	mmol/kg	°	<b>2</b>	1	DIN 4030 (mod.)(PL)
Sulfid leicht freisetzbar	u)*)	mg/kg		<b>&lt;4,0</b>	4	DIN 38405-27 : 1992-07 (mod.)(PL)
Chlorid (Cl)	u)*)	mg/kg		<b>&lt;10</b>	10	DIN 4030-2 : 2008-06(PL)
Sulfid, gesamt	u)*)	mg/kg		<b>1,2</b>	0,1	DIN 4030-2 : 2008-06 in Verbindung mit DIN EN 1744-1 : 2013-03(PL)

*Erläuterung: Das Zeichen "<" oder n.b. in der Spalte Ergebnis bedeutet, der betreffende Parameter ist bei nebenstehender Bestimmungsgrenze nicht quantifizierbar.*

*Die parameterspezifischen analytischen Messunsicherheiten sowie Informationen zum Berechnungsverfahren sind auf Anfrage verfügbar, sofern die berichteten Ergebnisse oberhalb der parameterspezifischen Bestimmungsgrenze liegen. Die Mindestleistungskriterien der angewandten Verfahren beruhen bezüglich der Messunsicherheit in der Regel auf der Richtlinie 2009/90/EG der Europäischen Kommission.*

*Die Analysenwerte der Feststoffparameter beziehen sich auf die Trockensubstanz, bei den mit ° gekennzeichneten Parametern auf die Originalsubstanz.*

*u) externe Dienstleistung eines AGROLAB GROUP Labors*

### Untersuchung durch

(PL) AWW-Dr. Busse GmbH, Plauen (AGROLAB GROUP), Jölsnitzer Str. 113, 08525 Plauen

#### Methoden

DIN 38405-27 : 1992-07 (mod.); DIN 4030 (mod.); DIN 4030-2 : 2008-06; DIN 4030-2 : 2008-06 in Verbindung mit DIN EN 1744-1 : 2013-03

(PL) AWW-Dr. Busse GmbH, Plauen (AGROLAB GROUP), Jölsnitzer Str. 113, 08525 Plauen, für die zitierte Methode akkreditiert nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018, Akkreditierungsverfahren: D-PL-14087-01-00 DAkkS

#### Methoden

DIN EN 14346 : 2007-03

Hinweis zum Probenahmedatum: Das Probenahmedatum ist eine Kundeninformation.

Die in diesem Dokument berichteten Verfahren sind gemäß DIN EN ISO/IEC 17025:2018 akkreditiert. Ausschließlich nicht akkreditierte Verfahren sind mit dem Symbol "u)" gekennzeichnet.

Datum 23.10.2023  
Kundennr. 20122596

## PRÜFBERICHT

Auftrag **2311623** Projekt: WP Müncheberg-Mittelheide - Auftrag Boden Betonaggressivität  
Analysennr. **211987** Mineralisch/Anorganisches Material  
Kunden-Probenbezeichnung **MP 14**

Beginn der Prüfungen: 11.10.2023  
Ende der Prüfungen: 20.10.2023

*Die Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die geprüften Gegenstände. In Fällen, wo das Prüflabor nicht für die Probenahme verantwortlich war, gelten die berichteten Ergebnisse für die Proben wie erhalten. Das Laboratorium ist nicht für die vom Kunden bereitgestellten Informationen verantwortlich. Die ggf. im vorliegenden Prüfbericht dargestellten Kundeninformationen unterliegen nicht der Akkreditierung des Laboratoriums und können sich auf die Validität der Prüfergebnisse auswirken. Die auszugsweise Vervielfältigung des Berichts ohne unsere schriftliche Genehmigung ist nicht zulässig. Die Ergebnisse in diesem Prüfbericht werden gemäß der mit Ihnen schriftlich gemäß Auftragsbestätigung getroffenen Vereinbarung in vereinfachter Weise i.S. der DIN EN ISO/IEC 17025:2018, Abs. 7.8.1.3 berichtet.*



**AGROLAB Agrar&Umwelt Frau Larissa Gorski, Tel. 0431/22138-581**  
**Service Team Umwelt 1, Email: [umwelt1.kiel@agrolab.de](mailto:umwelt1.kiel@agrolab.de)**

Die in diesem Dokument berichteten Verfahren sind gemäß DIN EN ISO/IEC 17025:2018 akkreditiert. Ausschließlich nicht akkreditierte Verfahren sind mit dem Symbol " \* " gekennzeichnet.

## Anlage 8

### Stand sicherheitsnachweise

**Berechnungsgrundlagen:**  
 WP Müncheberg EnBW14-P  
 Norm: EC 7  
 BS: DIN 1054: BS-P  
 Grundbruchformel nach DIN 4017:2006  
 Teilsicherheitskonzept (EC 7)  
 $\gamma_{R,v} = 1.40$   
 $\gamma_G = 1.35$   
 $\gamma_Q = 1.50$   
 $\gamma_{R,h} = 1.10$

**Grenzzustand EQU:**  
 $\gamma_{G,dst} = 1.10$   
 $\gamma_{G,stab} = 0.90$   
 $\gamma_{Q,dst} = 1.50$   
 Gründungssohle = 0.24 m  
 Grundwasser = 7.00 m  
 Grenztiefe mit  $p = 20.0\%$

Boden	Tiefe [m]	$\gamma/\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi$ [°]	c [kN/m <sup>2</sup> ]	$E_s$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$\kappa$ [-]	Bezeichnung
	5.00	18.0/11.0	32.5	0.0	80.0	1.000	Sand, md (Polster)
	5.50	18.0/10.0	30.0	0.0	40.0	1.000	Sand, lo
	7.00	19.0/11.0	35.0	0.0	150.0	1.000	Sand, d
	9.00	21.0/12.0	30.0	60.0	40.0	1.000	Mergel, sth
	>9.00	19.0/11.0	35.0	0.0	150.0	1.000	Sand, d

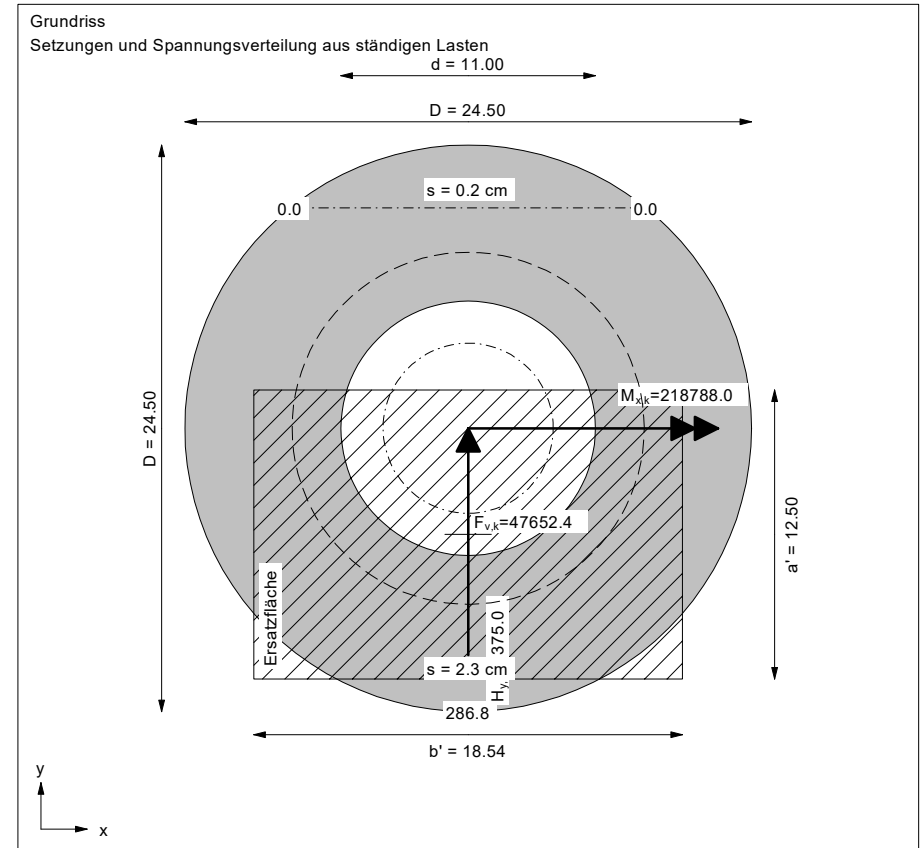
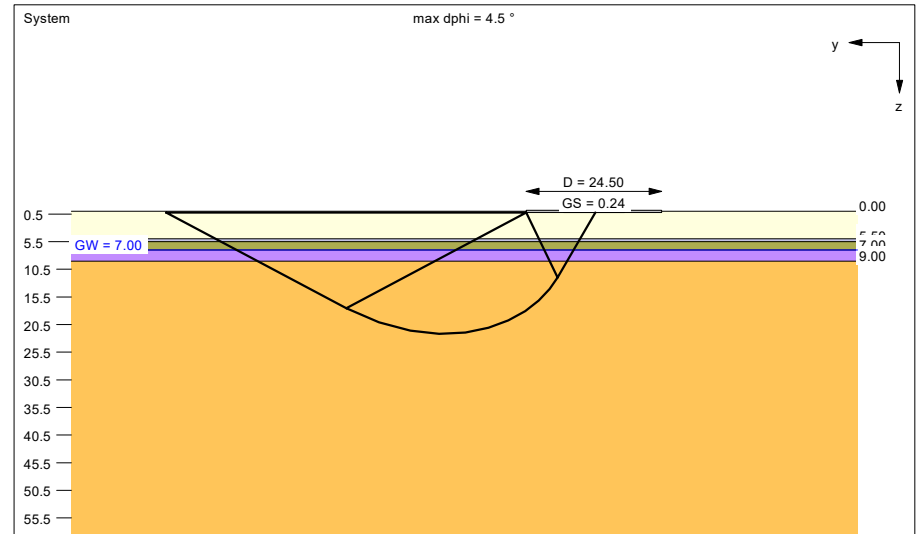
**Ergebnisse Kreisringfundament**  
 Kippnachweis nicht untersucht  
 Lasten = ständig / veränderlich  
 Vertikallast  $F_{v,k} = 47652.40 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,x,k} = 0.00 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,y,k} = 1375.00 / 0.00$  kN  
 Moment  $M_{x,k} = 218788.00 / 0.00$  kN·m  
 Moment  $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$  kN·m  
 Durchmesser  $D = 24.500$  m  
 Durchmesser (innen)  $d = 11.000$  m  
 Unter ständigen Lasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -4.591$  m  
 $a' = 12.502$  m  
 $b' = 18.540$  m  
 Unter Gesamtlasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -4.591$  m  
 $a' = 12.502$  m  
 $b' = 18.540$  m

**Grundbruch:**  
 Teilsicherheit (Grundbruch)  $\gamma_{R,v} = 1.40$   
 $\sigma_{R,k} / \sigma_{R,d} = 3008.3 / 2148.81$  kN/m<sup>2</sup>  
 $R_{n,k} = 697308.03$  kN  
 $R_{n,d} = 498077.17$  kN  
 $V_d = 1.35 \cdot 47652.40 + 1.50 \cdot 0.00$  kN  
 $V_d = 64330.74$  kN  
 $\mu$  (parallel zu y) = 0.129  
 Kohäsionsglied = 55907.73 kN (k)  
 Breitenglied = 601831.10 kN (k)  
 Tiefenglied = 39569.21 kN (k)  
 cal  $\varphi = 34.2^\circ$   
 cal  $c = 4.25$  kN/m<sup>2</sup>  
 cal  $\gamma_2 = 14.26$  kN/m<sup>3</sup>  
 cal  $\sigma_0 = 4.32$  kN/m<sup>2</sup>  
 Tragfähigkeitsbeiwerte (x):  
 $N_{c0} = 43.99$ ;  $N_{d0} = 31.20$ ;  $N_{b0} = 20.74$   
 Formbeiwerte (x):  
 $v_c = 1.394$ ;  $v_d = 1.382$ ;  $v_b = 0.798$

**Neigungsbeiwerte (x):**  
 $i_c = 0.953$ ;  $i_d = 0.954$ ;  $i_b = 0.927$   
**Tragfähigkeitsbeiwerte (y):**  
 $N_{c0} = 42.78$ ;  $N_{d0} = 30.03$ ;  $N_{b0} = 19.70$   
**Formbeiwerte (y):**  
 $v_c = 1.392$ ;  $v_d = 1.379$ ;  $v_b = 0.798$   
**Neigungsbeiwerte (y):**  
 $i_c = 0.953$ ;  $i_d = 0.954$ ;  $i_b = 0.927$

**Gleitwiderstand:**  
 Teilsicherheit (Gleitwiderstand)  $\gamma_{R,h} = 1.10$   
 $N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 47652.40 \cdot \tan(32.50^\circ) / 1.10$   
 $R_{t,d} = N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 27598.12$  kN  
 $T_d = 1856.25$  kN  
 $\mu = T_d / R_{t,d} = 0.067$

**Setzung infolge ständiger Lasten:**  
 Grenztiefe  $t_g = 13.81$  m u. GOK  
 Setzung (Mittel aller KPs) = 1.26 cm  
 Setzungen der KPs:  
 oben = 0.17 cm  
 unten = 2.35 cm  
 Verdrehung(x) (KP) = 1 : 948.6  
 Nachweis EQU:  
 $M_{stab} = 47652.4 \cdot 24.50 \cdot 0.5 \cdot 0.90 = 525367.7$   
 $M_{dst} = 218788.0 \cdot 1.10 = 240666.8$   
 $\mu_{EQU} = 240666.8 / 525367.7 = 0.458$



**Berechnungsgrundlagen:**  
 WP Müncheberg EnBW14-A  
 Norm: EC 7  
 BS: DIN 1054: BS-A  
 Grundbruchformel nach DIN 4017:2006  
 Teilsicherheitskonzept (EC 7)  
 $\gamma_{R,v} = 1.20$   
 $\gamma_G = 1.10$   
 $\gamma_Q = 1.10$   
 $\gamma_{R,h} = 1.10$

**Grenzzustand EQU:**  
 $\gamma_{G,dst} = 1.00$   
 $\gamma_{G,stb} = 0.95$   
 $\gamma_{Q,dst} = 1.00$   
 Gründungssohle = 0.24 m  
 Grundwasser = 7.00 m  
 Grenztiefe mit  $p = 20.0\%$

Boden	Tiefe [m]	$\gamma/\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi$ [°]	c [kN/m <sup>2</sup> ]	E <sub>s</sub> [MN/m <sup>2</sup> ]	$\kappa$ [-]	Bezeichnung
	5.00	18.0/11.0	32.5	0.0	80.0	1.000	Sand, md (Polster)
	5.50	18.0/10.0	30.0	0.0	40.0	1.000	Sand, lo
	7.00	19.0/11.0	35.0	0.0	150.0	1.000	Sand, d
	9.00	21.0/12.0	30.0	60.0	40.0	1.000	Mergel, sth
	>9.00	19.0/11.0	35.0	0.0	150.0	1.000	Sand, d

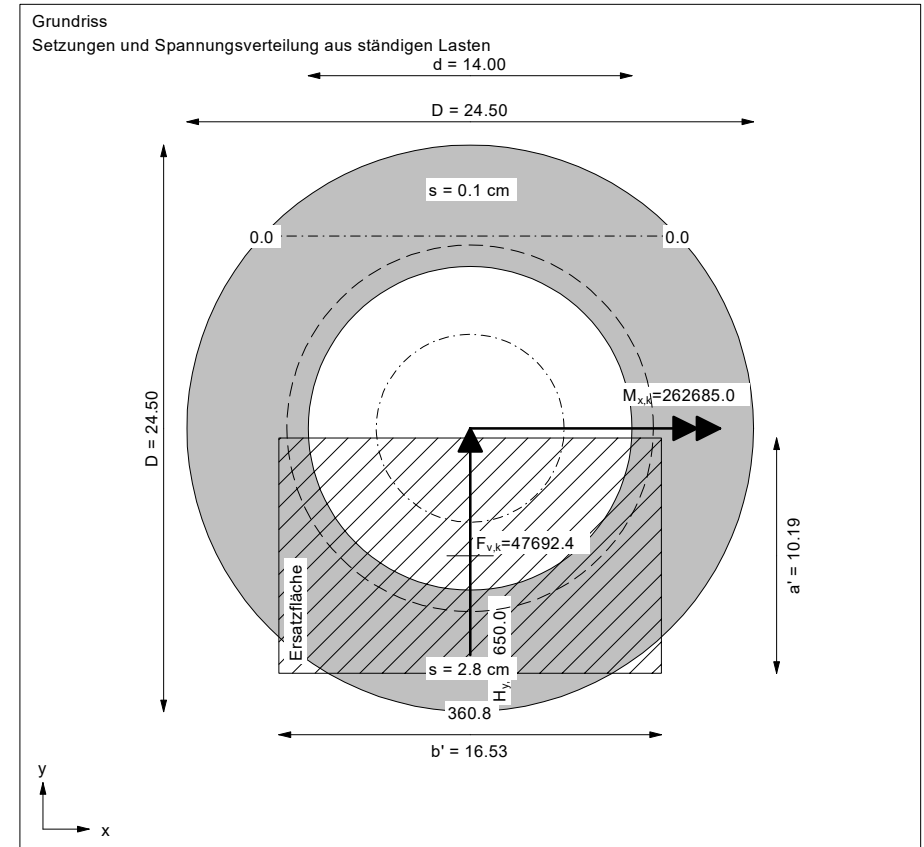
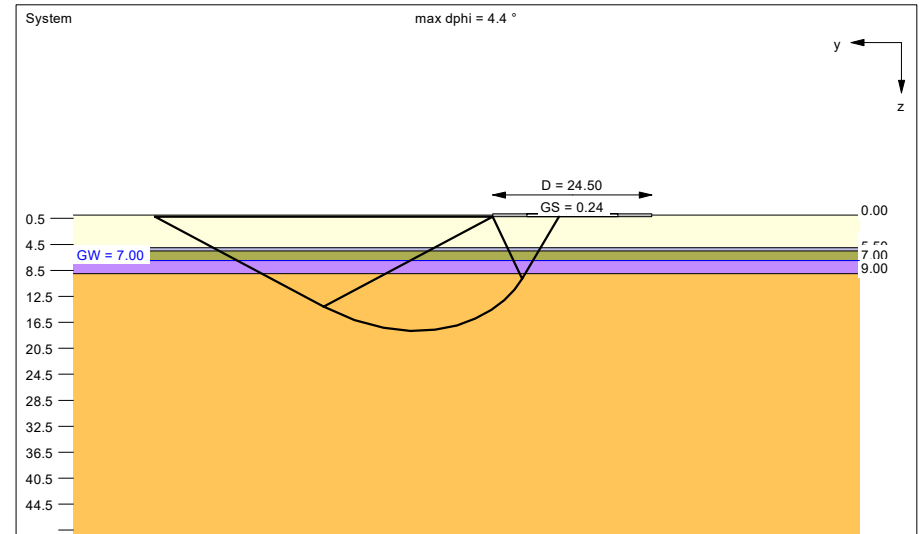
**Ergebnisse Kreisringfundament**  
 Kippnachweis nicht untersucht.  
 Lasten = ständig / veränderlich  
 Vertikallast  $F_{v,k} = 47692.40 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,x,k} = 0.00 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,y,k} = 1650.00 / 0.00$  kN  
 Moment  $M_{x,k} = 262685.00 / 0.00$  kN·m  
 Moment  $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$  kN·m  
 Durchmesser D = 24.500 m  
 Durchmesser (innen) d = 14.000 m  
 Unter ständigen Lasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -5.508$  m  
 $a' = 10.185$  m  
 $b' = 16.530$  m  
 Unter Gesamtlasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -5.508$  m  
 $a' = 10.185$  m  
 $b' = 16.530$  m

**Grundbruch:**  
 Teilsicherheit (Grundbruch)  $\gamma_{R,v} = 1.20$   
 $\sigma_{R,k} / \sigma_{R,d} = 2597.7 / 2164.79$  kN/m<sup>2</sup>  
 $R_{n,k} = 437345.67$  kN  
 $R_{n,d} = 364454.73$  kN  
 $V_d = 1.10 \cdot 47692.40 + 1.10 \cdot 0.00$  kN  
 $V_d = 52461.64$  kN  
 $\mu$  (parallel zu y) = 0.144  
 Kohäsionsglied = 48001.76 kN (k)  
 Breitenglied = 362314.13 kN (k)  
 Tiefenglied = 27029.78 kN (k)  
 cal  $\varphi = 34.0^\circ$   
 cal c = 5.31 kN/m<sup>2</sup>  
 cal  $\gamma_2 = 14.93$  kN/m<sup>3</sup>  
 cal  $\sigma_u = 4.32$  kN/m<sup>2</sup>  
 Tragfähigkeitsbeiwerte (x):  
 $N_{c0} = 43.73$ ;  $N_{d0} = 30.95$ ;  $N_{b0} = 20.51$   
 Formbeiwerte (x):  
 $v_c = 1.360$ ;  $v_d = 1.348$ ;  $v_b = 0.815$

**Neigungsbeiwerte (x):**  
 $i_c = 0.943$ ;  $i_d = 0.945$ ;  $i_b = 0.912$   
**Tragfähigkeitsbeiwerte (y):**  
 $N_{c0} = 41.99$ ;  $N_{d0} = 29.27$ ;  $N_{b0} = 19.04$   
**Formbeiwerte (y):**  
 $v_c = 1.356$ ;  $v_d = 1.344$ ;  $v_b = 0.815$   
**Neigungsbeiwerte (y):**  
 $i_c = 0.943$ ;  $i_d = 0.945$ ;  $i_b = 0.912$

**Gleitwiderstand:**  
 Teilsicherheit (Gleitwiderstand)  $\gamma_{R,h} = 1.10$   
 $N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 47692.40 \cdot \tan(32.50^\circ) / 1.10$   
 $R_{t,d} = N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 27621.28$  kN  
 $T_d = 1815.00$  kN  
 $\mu = T_d / R_{t,d} = 0.066$

**Setzung infolge ständiger Lasten:**  
 Grenztiefe  $t_g = 14.71$  m u. GOK  
 Setzung (Mittel aller KPs) = 1.44 cm  
 Setzungen der KPs:  
 oben = 0.10 cm  
 unten = 2.78 cm  
 Verdrehung(x) (KP) = 1 : 772.0  
 Nachweis EQU:  
 $M_{stb} = 47692.4 \cdot 24.50 \cdot 0.5 \cdot 0.95 = 555020.3$   
 $M_{dst} = 262685.0 \cdot 1.00 = 262685.0$   
 $\mu_{EQU} = 262685.0 / 555020.3 = 0.473$



- BAUGRUNDUNTERSUCHUNGEN
- BAUGRUNDGUTACHTEN
- GRÜNDUNGSBERATUNG
- ALTLASTERKUNDUNGEN
- KONTAMINATIONS-GUTACHTEN
- GRUNDBAUSTATIK
- BAULEITUNG · PLANUNG

## GEOTECHNISCHER ENTWURFSBERICHT

**108-23EnBW15**

Bauvorhaben: Windpark Müncheberg - Mittelheide  
EnBW 15

Auftraggeber: Naturwind Potsdam GmbH  
Hegelallee 41  
14467 Potsdam

Bearbeiter: M.Sc. B. Tamme  
Prof. Dr.-Ing. H. Kleen

Umfang: 11 Seiten  
8 Anlagen

Datum: 17.11.2023

Berliner Volksbank  
IBAN DE92 1009 0000 5431 2700 07  
BIC BEVODE33

Steuer Nr. 046/111/01630

Handelsregister  
Nr. HRB 100073 Potsdam

Geschäftsführer:  
Prof. Dr.-Ing. Hermann Kleen

## **1. VERANLASSUNG**

Unser Büro wurde am 31.07.2023 durch die Naturwind Potsdam GmbH schriftlich beauftragt, für die im Windpark Müncheberg - Mittelheide geplante Windkraftanlage EnBW 15, einen Geotechnischen Entwurfsbericht, einschließlich der notwendigen Feld- und Laboruntersuchungen, anzufertigen.

## **2. UNTERLAGEN**

Für die Bearbeitung standen die nachfolgend aufgeführten Unterlagen zur Verfügung:

- U 2.1 Geologische Karte, M.: 1 : 25.000, über [www.geo.brandenburg.de/gk25/](http://www.geo.brandenburg.de/gk25/), Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg
- U 2.2 Unser Geotechnischer Entwurfsbericht zum Bauvorhaben „Windpark Müncheberg-Mittelheide WEA1, vom 27.11.2020 nebst Unterlagen
- U 2.3 Prüfbericht für eine Typenprüfung, Vestas V162-5.4/5.6/6.0/6.2 MW mit 169 m Nabenhöhe, D = 24,5 m, Kreisringfundament mit Auftrieb, Prüfnr.: 3108363-23-d Rev.4, der TÜV SÜD Industrie Service GmbH aus München, vom 25.02.2022
- U 2.4 Lageplan zum Projekt Müncheberg-Mittelheide, der naturwind potsdam GmbH, M.: 1 : 12.000, vom 28.07.2023
- U 2.5 Geländeordinaten der Windkraftanlagenmittelpunkte, übersandt am 01.11.2023 durch das zuständige Vermessungsbüro Horst Möhring aus Frankfurt Oder
- U 2.6 Ergebnisse der Drucksondierungen der Firma Fugro Germany Land GmbH aus Berlin, übersandt am 31.10.2023
- U 2.7 Ergebnisse bodenmechanischer Laboruntersuchungen der Fachhochschule Potsdam, Fachgebiet Grundbau und Bodenmechanik, vom 27.10.2023 (L63/23)
- U 2.8 Prüfbericht zur Betonaggressivität des Bodens, WP Müncheberg - Mittelheide / MP15 (EnBW 15), der Agrolab Agrar und Umwelt GmbH aus Kiel, Analysennummer: 211988 vom 23.10.2023



### **3. BAUGRUNDSTÜCK UND BAUWERK**

Der Standort für den Neubau einer Windkraftanlage befindet sich zwischen dem Maxsee und Schönfelde, südlich des Müncheberger Ortsteils Hoppegarten, innerhalb des geplanten Windparks Müncheberg - Mittelheide.

Hier soll, auf der forstwirtschaftlich genutzten Fläche, die Windkraftanlage EnBW 15 vom Typ V162-6.2 MW mit Hybridturm und einer Nabenhöhe von 169 m auf einem Kreisringfundament, mit einem Außendurchmesser von  $D = 24,5$  m, auf einer 0,1 m starken Sauberkeitsschicht in einer Tiefe von ca. 0,24 m unter Gelände, flach gegründet werden.

Die Geländehöhe am Standort der Windkraftanlage EnBW 15 liegt auf einer Ordinate von ca. 51,3 m über NHN.

Die Lage der geplanten Windkraftanlage geht aus der Anlage 1 und der Anlage 2 hervor.

### **4. BAUGRUND**

#### **4.1 Vorkenntnisse**

Der Windpark Müncheberg - Mittelheide befindet sich im Bereich einer im Pleistozän gebildeten Hochfläche.

Hier ist mit Schmelzwasserablagerungen in Form von feinkörnigen, schwach mittelkörnigen Sanden, die zum Teil schwach schluffige Beimengungen beinhalten, zu rechnen (s. Unterlage U 2.1).

Gemäß der Unterlage U 2.2 stehen nordwestlich der geplanten Windenergieanlage, unterhalb einer ca. 0,1 m starken, sandigen, stark humosen Oberbodenschicht, bis in eine Tiefe von ca. 8,2 m unter Gelände Fein-, Mittel- und Grobsande an, die von sandigem Geschiebemergel unterlagert werden.

Die Sande sind bis in eine Tiefe von ca. 6,5 m unter Gelände sehr locker, locker und mitteldicht, darunter mitteldicht gelagert; der Geschiebeboden weist eine halb feste Zustandsform auf.

#### **4.2 Baugrunduntersuchungen**

Zur Erkundung der Baugrundverhältnisse wurde im Bereich der geplanten Windkraftanlage EnBW 15 eine Kleinbohrung (S15) bis zu einer Endteufe von 15,0 m unter Gelände abgeteuft.

Zur Feststellung der Lagerungsdichte bzw. der Festigkeit des anstehenden Baugrundes wurden zudem drei Drucksondierungen als CPT-E (DS15-1 bis DS15-3) bis in Tiefen von 20,0 m und 25,0 m unter Gelände vorgesehen.

Auf Grund zu hoher Baugrundfestigkeiten musste die Drucksondierung DS15-1 wegen Auslastung in einer Tiefe von ca. 8,0 m unter Gelände abgebrochen werden.

Die Einmessung und Kennzeichnung des Untersuchungsstandortes erfolgte durch das beauftragte Vermessungsbüro (vgl. Unterlage U 2.5).

Die Lage der genannten Aufschlüsse ist aus der Anlage 1 und der Anlage 2 ersichtlich.

#### **4.3 Ergebnisse der Baugrundaufschlüsse**

Auf der Grundlage des, während der Feldarbeiten erstellten Schichtenverzeichnisses und einer durch uns vorgenommenen Bodenansprache, wurde das in der Anlage 3 dokumentierte Schichtenprofil angefertigt. Zudem sind innerhalb der Anlage 3 die Ergebnisse der Drucksondierungen dargestellt.

Im Einzelnen kann damit am Standort der geplanten Windkraftanlage EnBW 15 von folgendem Baugrundaufbau ausgegangen werden:

Unterhalb einer ca. 0,2 m starken, sandigen und schwach humosen Oberbodenschicht (Mutterboden) stehen bis in eine Tiefe von ca. 11,8 m unter Gelände Fein- und Mittelsande an, die bis zur Aufschlussentiefe von sandigem Geschiebemergel unterlagert werden.

Der in S15 erbohrte Geschiebeboden besitzt, auf Grund unserer Ansprachen und der durchgeführten bodenmechanischen Versuche zur Bestimmung der Konsistenzgrenzen und des Wassergehaltes, eine halbfeste Zustandsform.

Die Drucksondierungen DS15-1 bis DS15-3 bestätigen die erkundeten Baugrundverhältnisse im Wesentlichen und ergeben für die Sande oberhalb des Geschiebemergels, bis in eine Tiefe von maximal 2,4 m unter Gelände (DS15-1) eine lockere und mitteldichte, darunter eine mitteldichte und dichte, lokal, in Tiefen zwischen 3,0 m und 5,5 m unter Gelände, eine lockere Lagerung.

Körnungslinien repräsentativer Böden sind in der Anlage 4, Konsistenzgrenzen in Anlage 5 und ein Wassergehalt in der Anlage 6 dargestellt.

## 5. HOMOGENBEREICHE / BODENKLASSIFIZIERUNG

Die im Bereich des Untersuchungsstandortes anstehenden Böden können gemäß VOB Teil C, Ausgabe 2012 und Ausgabe 2015, DIN 18196:2011-05 sowie ZTV E-StB 17 wie folgt eingestuft und klassifiziert werden:

### Oberboden

Bodengruppe:	OH
Lagerung:	locker
Frostempfindlichkeit:	gering bis mittel frostempfindlich (F2)

Der Oberboden entspricht nach VOB Teil C, Ausgabe 2012 (DIN 18300) der Bodenklasse 1 (Oberboden). Nach DIN 18915:2002-08 kann der Oberboden für vegetationstechnische Zwecke der Bodengruppe 2 zugeordnet werden.

### Homogenbereich A / Sande

Bodengruppe:	SE
Lagerung:	bis ca. 2,4 m: locker und mitteldicht ab ca. 2,4 m: mindestens mitteldicht, bereichsweise locker
Verdichtungsfähigkeit:	gut bis mittel
Frostempfindlichkeit:	nicht frostempfindlich (F1)
Durchlässigkeit [m/s]:	$k_f = 1 \times 10^{-3}$ bis $1 \times 10^{-4}$

Die Sande entsprechen nach VOB, Teil C, Ausgabe 2012 (DIN 18300) der Bodenklasse 3 (leicht lösbare Bodenarten).

### Homogenbereich B / Geschiebemergel

Bodengruppe:	SU*, TL
Festigkeit:	halbfest
Verdichtungsfähigkeit:	SU*: mittel TL: mäßig
Frostempfindlichkeit:	sehr frostempfindlich (F3)
Durchlässigkeit [m/s]:	$k_f < 1 \times 10^{-7}$

Der Geschiebemergel entspricht nach VOB, Teil C, Ausgabe 2012 (DIN 18300) der Bodenklasse 4 (mittelschwer lösbare Bodenarten).

Innerhalb und unmittelbar oberhalb des Geschiebehorizontes ist mit Findlingen zu rechnen.

Werden weiterreichende Angaben zu Körnungsbändern, zur Dichte und zur Festigkeit anstehender Böden erforderlich, sind ggf. zusätzliche Labor- bzw. Feldversuche durchzuführen.

## 6. GRUNDWASSER

Während der Baugrunduntersuchungen im September 2023 wurde kein Grundwasser angeschnitten.

Da im Gründungsbereich kein Grundwasser ansteht, wurde hier ersatzweise eine Bodenprobe hinsichtlich Betonaggressivität untersucht.

Als Ergebnis konnte festgestellt werden, dass der anstehende Boden hier als nicht betonangreifend einzustufen ist, was gemäß DIN EN 206-1 zu der Expositionsklasse XAI führt.

Die Einzelergebnisse der Bodenanalytik können der Unterlage U 2.8, die innerhalb der Anlage 7 dargestellt ist, entnommen werden.

## 7. BODENKENNWERTE

Für erdstatische Berechnungen können, auf Grund der Ansprache der gelieferten Proben, der Bohr- und Sondierergebnisse und unserer Erfahrung die charakteristischen Bodenkennwerte der folgenden Tabelle 1 angesetzt werden.

Die Tiefenlagen der Bodenschichten sind dem Schichtenprofil, welches innerhalb der Anlage 3 dargestellt ist, zu entnehmen.

**Tabelle 1: charakteristische Bodenkennwerte**

Bodenart	Bodenkennwerte				
	Wichte	Reibungswinkel	Kohäsion	Querdehnzahl	Steifeziffer stat. / dyn.
	$\gamma_k / \gamma'_{k}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi'_{k}$ [°]	$c'_{k} / c_{u,k}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\nu$ [-]	$E_{s,k} / E_{sd,k}$ [MN/m <sup>2</sup> ]
Oberboden	17 / 9	30,0	-- / --	-- / --	-- / --
Sand locker (lo) mitteldicht (md) dicht (d)	18 / 10	30,0	-- / --	0,32	40 / 170
	18 / 11	32,5	-- / --	0,32	80 / 260
	19 / 11	35,0	-- / --	0,32	150 / 420
Geschiebeboden halbfest (sth)	21 / 12	30,0	60 / 100	0,35	40 / 170

## **8. ANGABEN ZUR GRÜNDUNG, ZUWEGUNG UND KRANSTELLFLÄCHE**

### **8.1 Gründung**

Der erkundete Baugrundaufbau und die ermittelten Baugrundfestigkeiten erlauben für die Windkraftanlage EnBW 15 die Ausführung einer Flachgründung mittels Kreisringfundament.

Zur Gewährleistung der Gebrauchstauglichkeit und Standsicherheit der Anlage werden dazu vorab jedoch Bodenverbesserungen erforderlich, die hier über ein einzubauendes Gründungspolster realisiert werden können.

Im Einzelnen sind hierzu folgende Voraussetzungen einzuhalten:

Die im Gründungsbereich anstehenden weniger tragfähigen, locker gelagerten Sande sind bis in eine Tiefe von ca. 2,0 m unter Gelände vollständig gegen mindestens mitteldicht gelagertes rolliges Material auszutauschen.

Hierbei ist zu beachten, dass nach Freilegung der Austauschenebene, die gewachsenen Sande mit einer Tiefenwirkung von mindestens 0,4 m nach verdichtet werden.

Das nachfolgend einzubringende rollige Polstermaterial hat zur besseren Verdichtbarkeit eine Ungleichförmigkeit von  $U > 6$  aufzuweisen. Die Polsterlagen sollten bis zur geplanten Gründungssohle, mit maximalen Stärken von 0,3 m unter Berücksichtigung eines Ausbreitungswinkels von  $45^\circ$ , so verdichtet eingebracht werden, dass durchweg eine mindestens mitteldichte Lagerung vorherrscht.

Die Güte des Austauschbodens und der Sohle sind durch geeignete Versuche, wie Plattendruck- oder Proctorversuche nachzuweisen.

Bei Einhaltung der o.g. Gründungshinweise und unter Zugrundelegung der in Tabelle 1 angegebenen Bodenkennwerte, werden die Anforderungen an die Windkraftanlage des Typs V162-6.2 MW mit einer Nabenhöhe von 169 m mit einem Fundamentdurchmesser  $D = 24,5$  m, von jeder erkundeten Baugrundsicht erfüllt.

Die ermittelten statischen und dynamischen Drehfedersteifigkeiten gemäß der Unterlage U 2.5 für die anstehenden Bodenschichten können der folgenden Tabelle 2 entnommen werden.

**Tabelle 2: EnBW 15 - statische und dynamische Drehfedersteifigkeiten**

Bodenart	Tiefe [m u. GOK]	$r_E$ [ m ]	$\nu$ [ - ]	$E_{S,stat.}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$k_{\phi,stat}$ [MNm/rad]	$E_{S,dyn.}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$k_{\phi,dyn}$ [MNm/rad]
Polster Sand (md)	> 0,35	12,25	0,32	80	152.600	260	496.100
Sand (lo)	> 3,0	13,93	0,32	40	112.200	170	476.900
Sand (md)	> 4,0	14,50	0,32	80	253.100	260	822.700

$r_E$	Ersatzradius
$\nu$	Querdehnzahl
$E_{S,stat.}$	Steifziffer, statisch
$E_{S,dyn.}$	Steifziffer, dynamisch
$k_{\phi,stat}$	Drehfedersteifigkeit, statisch
$k_{\phi,dyn}$	Drehfedersteifigkeit, dynamisch

Damit liegen die vorhandenen statischen und dynamischen Drehfedersteifigkeiten jeder erkundeten Schicht über den geforderten Werten von  $k_{\phi,stat} \geq 40.000$  bzw.  $k_{\phi,dyn} \geq 200.000$  [MNm/rad].

Die angegebenen Sohlspannungen können vom Baugrund aufgenommen werden.

Bei sorgfältiger Ausführung der Gründungsarbeiten und Einhaltung der vor genannten Voraussetzungen wird die Absolutsetzung der Windkraftanlage 2,5 cm nicht überschreiten.

In Folge der erfolgten Baugrundverbesserung werden damit keine relevanten, baugrundbedingten Setzungsunterschiede auftreten.

Die Standsicherheit der Windkraftanlage ist gegeben; die zum Nachweis geführten Berechnungen für die Bemessungssituationen BS-P und BS-A können der Anlage 8 entnommen werden.

## 8.2 Zuwegung und Kranstellfläche

Unter der Voraussetzung, dass der in Abschnitt 4 beschriebene Baugrundaufbau im Bereich der Verkehrsflächen hier übertragbar ist, kann hierzu zusammenfassend von den nachfolgenden Gegebenheiten und Anforderungen ausgegangen werden:

- Die bis in eine Tiefe von mindestens ca. 0,2 m unter Gelände anstehende Oberbodenschicht ist gänzlich zu entfernen und gegen ein verdichtet eingebrachtes rolliges Material zu ersetzen. Die nach Aushub der Oberböden freiliegenden Sande sind mit einer Tiefenwirkung von mindestens 0,4 m nach zu verdichten.
- Der Einbau von Austausch-, Trag- und Frostschutzschichten hat lagenweise, in Abhängigkeit des eingesetzten Verdichtungsgerätes, mit Stärken von 20 cm bis 30 cm, zu erfolgen.
- Auszuführende Gründungspolster sind immer, sofern nicht durch andere konstruktive Maßnahmen die seitliche Stützung des Polsters erreicht wird, mit einer Verbreiterung entsprechend des Lastverteilungswinkels von ca. 45° bis auf die Solltiefe zu führen.
- Die Verdichtungsanforderungen an die Zuwegung und die Kranstellfläche können grundsätzlich, unter Einhaltung der o.g. Anforderungen, sowohl für den Untergrund mit  $E_{V2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ , den Tragschichtaufbau mit  $E_{V2} \geq 80 \text{ MN/m}^2$  bzw.  $E_{V2} \geq 100 \text{ MN/m}^2$  und die Deckschichten mit  $E_{V2} \geq 100 \text{ MN/m}^2$  bzw.  $E_{V2} \geq 120 \text{ MN/m}^2$  bei einem Verhältniswert  $E_{V2} / E_{V1} \leq 2,3$  nachgewiesen werden.
- Die geforderten Mindesttragfähigkeiten des Planums sind vor Ort durch geeignete Verdichtungskontrollen, wie beispielsweise Plattendruckversuche, zu überprüfen.

## 9. ERGÄNZENDE HINWEISE UND EMPFEHLUNGEN

- Die durchgeführten Untersuchungen liefern lediglich einen stichprobenartigen Aufschluss im Bereich der geplanten Windkraftanlage. Sollte sich bei den Gründungsmaßnahmen die Bodensituation örtlich anders darstellen als von uns bisher erkundet, sind wir darüber zu informieren.

Der Untersuchungsbereich gehört zu keiner Erdbebenzone.

- Der unterhalb der Oberböden überwiegend anstehende gewachsene Sand, mit einer Feuchtwichte von  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ , eignet sich grundsätzlich zur Überschüttung und Wiederanfüllung, auch für die Schnittstellen zwischen Fundamentarbeitsraum und Kranstellfläche. Die Überschüttung muss dabei mindestens 0,5 m betragen.
- Für die im Gründungsbereich der Windkraftanlage anstehenden Sande kann mit einem abgeschätzten spezifischen Erdwiderstand zwischen 300 und 1000  $\Omega\text{m}$  gerechnet werden.
- Die Gründungs- und ggf. erforderlichen Baugrundverbesserungsarbeiten sollten geotechnisch begleitet und überwacht werden.
- Das Bauvorhaben ist in die geotechnische Kategorie GK-3 einzuordnen. Folgerichtig ist nach den Vorgaben der DIN 1054 der Geotechnische Entwurfsbericht zur Fortschreibung zu bringen.
- Für ergänzende Erläuterungen und Beratungen stehen wir gerne zur Verfügung.



Prof. Dr.-Ing. H. Kleen



M. Sc. B. Tamme

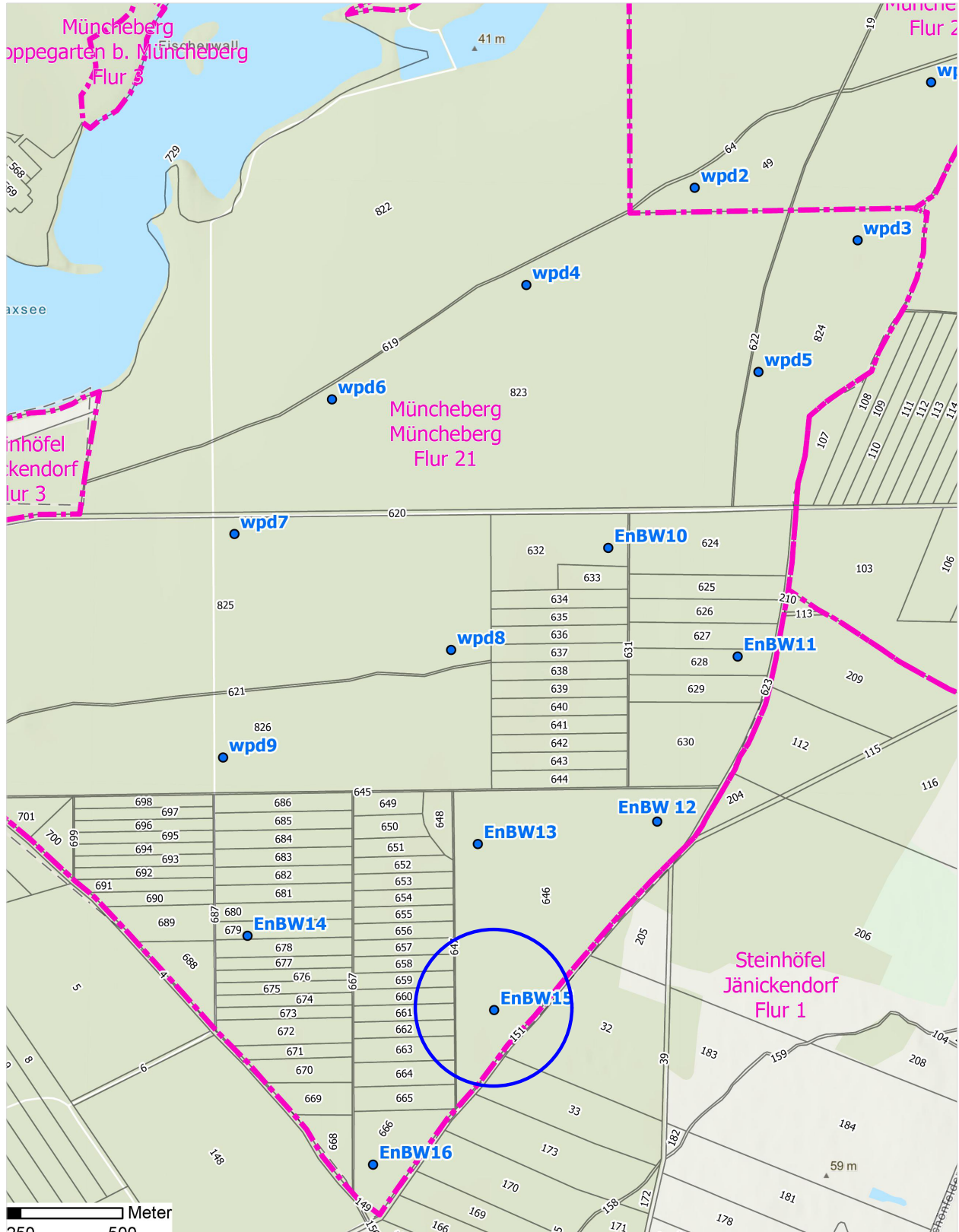


<b>ANLAGEN</b>	<b>SEITEN</b>
1. Übersicht	1
2. Lageplan mit Aufschlussansatzpunkten	1
3. Ergebnisse der Baugrundaufschlüsse	4
4. Körnungslinien	1
5. Zustandsgrenzen	1
6. Wassergehalt	1
7. Betonaggressivität Boden	2
8. Standsicherheitsnachweise	2

Anlage 1

Übersicht

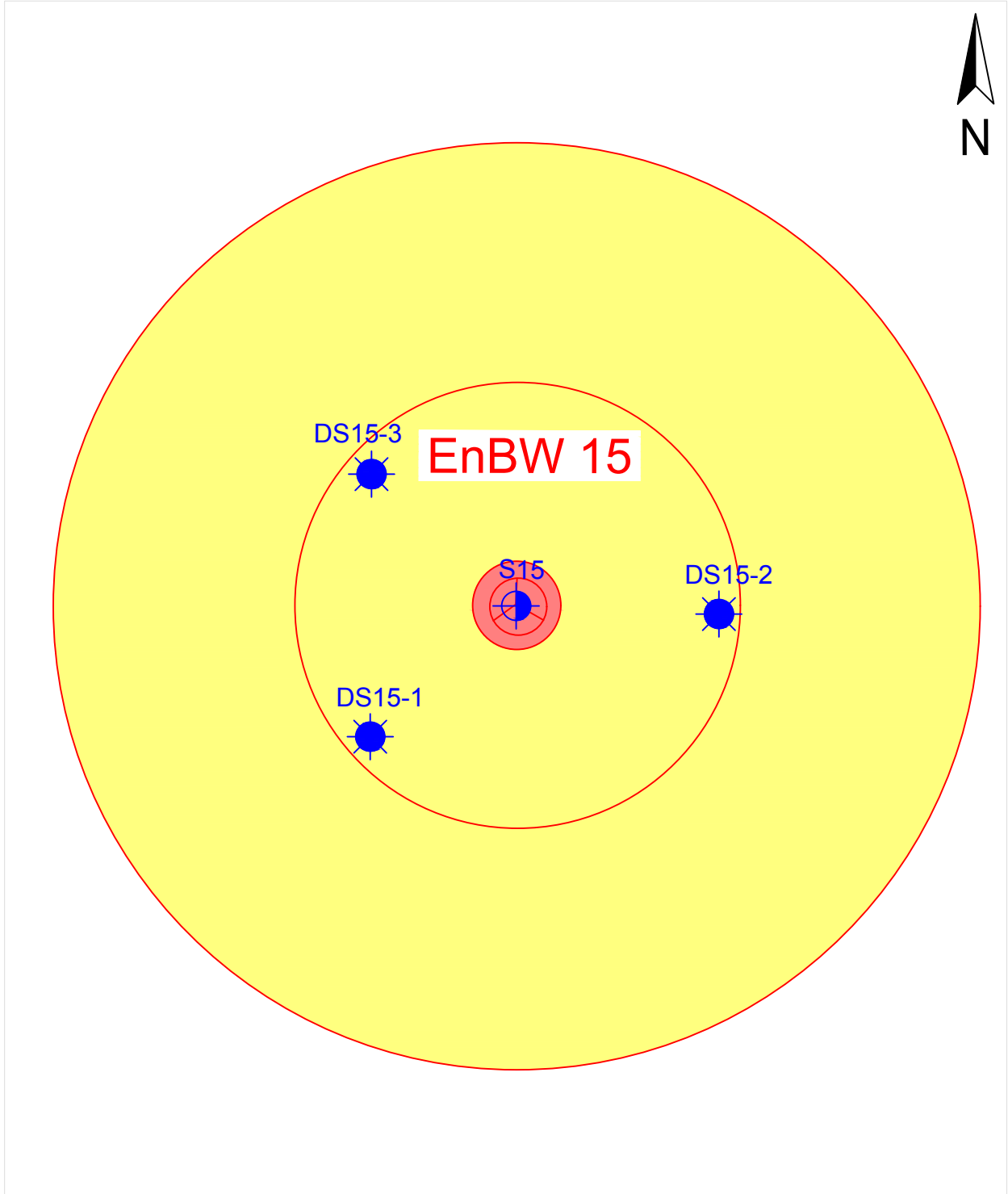
Übersicht



Anlage 2

Lageplanskizze

Lageplanskizze



ohne Maßstab



Kleinbohrung (S)

Drucksondierung CPT-E (DS)

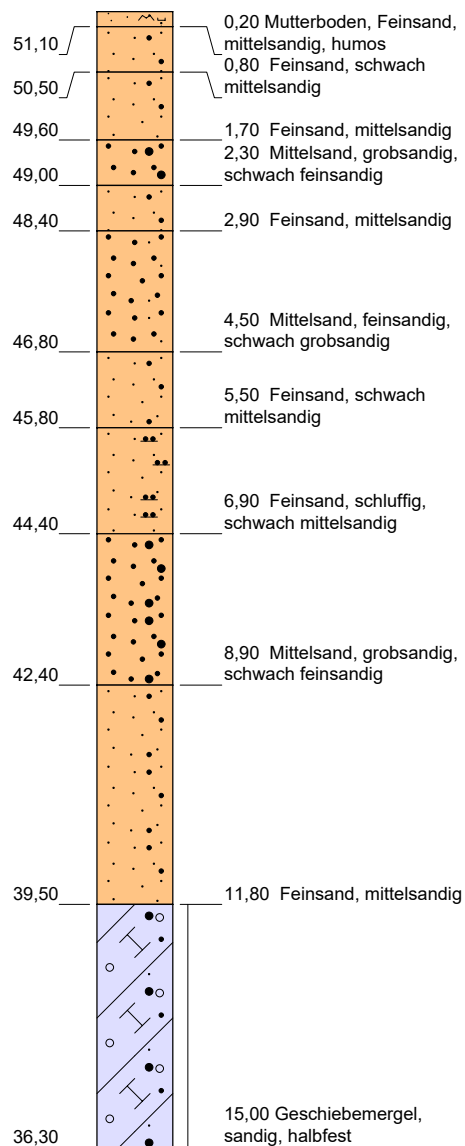
## Anlage 3

# Ergebnisse der Baugrundaufschlüsse

ERGEBNISSE DER BAUGRUNDAUFSCHLÜSSE

**S15**

51,30 m ü.NHN



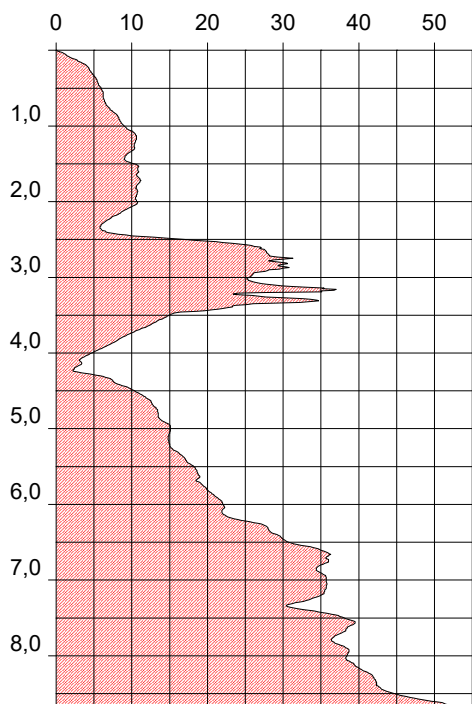
Höhenmaßstab 1:100

ERGEBNISSE DER BAUGRUNDAUFSCHLÜSSE

**DS15-1**

51,30 m ü.NHN

CPT-E

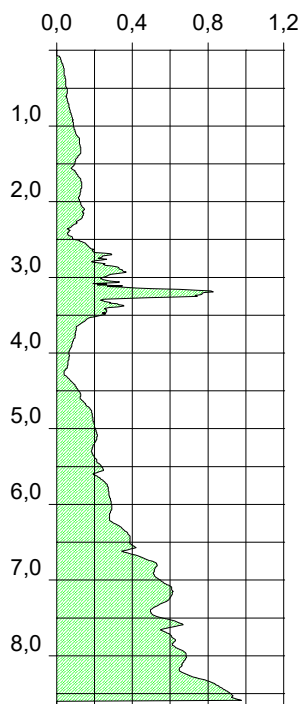


Spitzenwiderstand  $q_c$  [MN/m<sup>2</sup>]

**DS15-1**

51,30 m ü.NHN

CPT-E



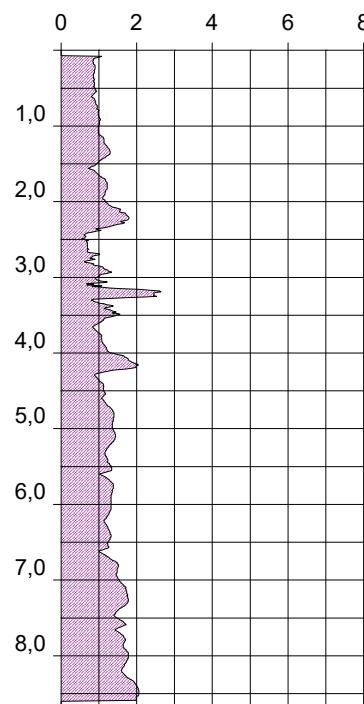
Mantelreibung  $f_s$  [MN/m<sup>2</sup>]

Abbruch wegen Stillstand

**DS15-1**

51,30 m ü.NHN

CPT-E



Reibungsverhältnis  $r_f$  [%]

Höhenmaßstab 1:100

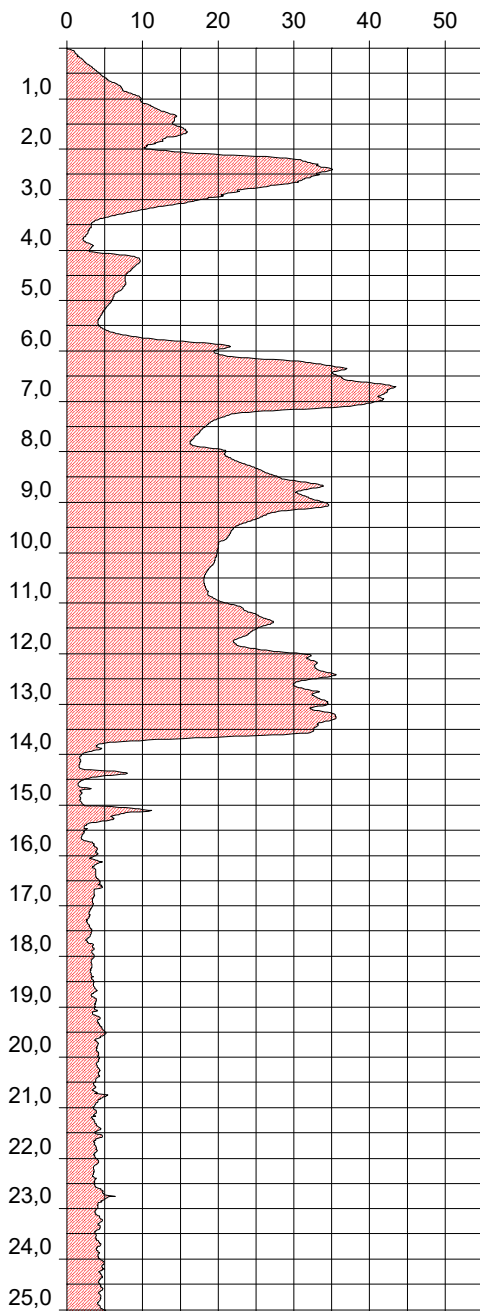


ERGEBNISSE DER BAUGRUNDAUFSCHLÜSSE

**DS15-2**

51,30 m ü.NHN

CPT-E

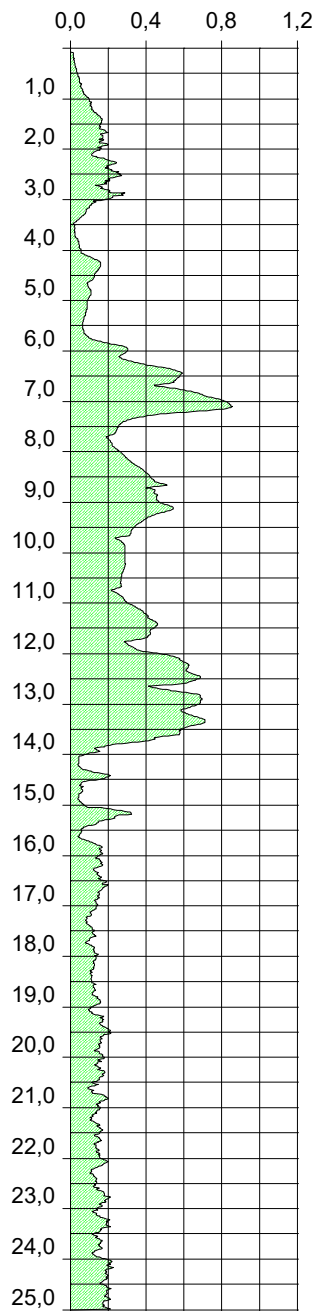


Spitzenwiderstand  $q_c$  [MN/m<sup>2</sup>]

**DS15-2**

51,30 m ü.NHN

CPT-E

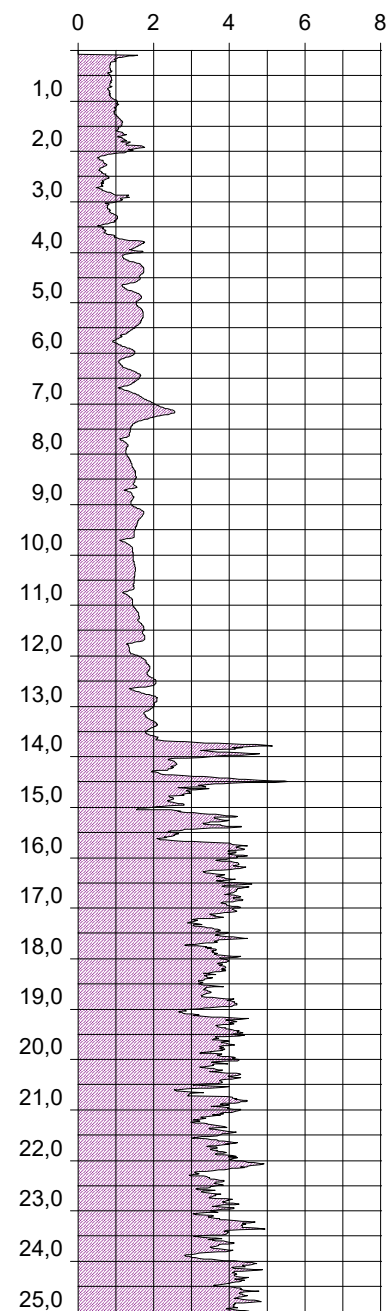


Mantelreibung  $f_s$  [MN/m<sup>2</sup>]

**DS15-2**

51,30 m ü.NHN

CPT-E



Reibungsverhältnis  $r_f$  [%]

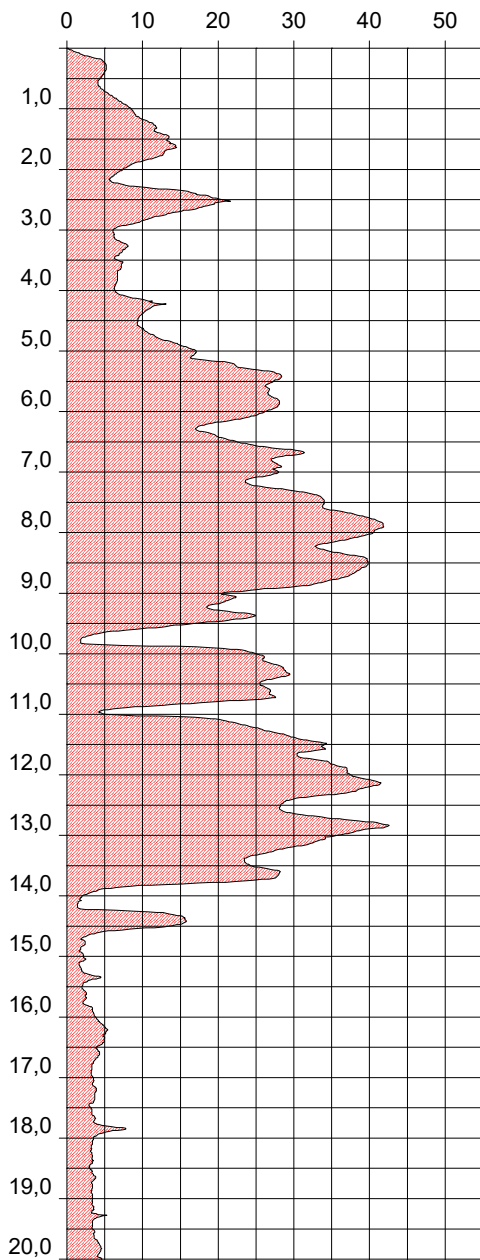
Höhenmaßstab 1:150

ERGEBNISSE DER BAUGRUNDAUFSCHLÜSSE

**DS15-3**

51,30 m ü.NHN

CPT-E

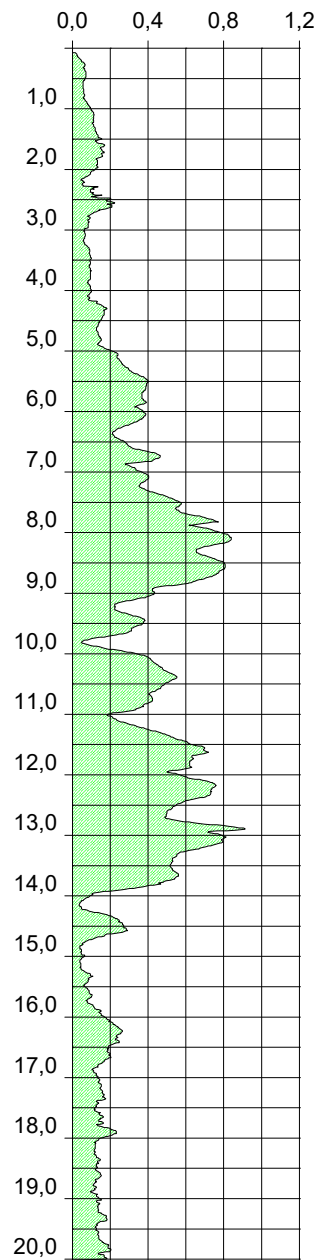


Spitzenwiderstand  $q_c$  [MN/m<sup>2</sup>]

**DS15-3**

51,30 m ü.NHN

CPT-E

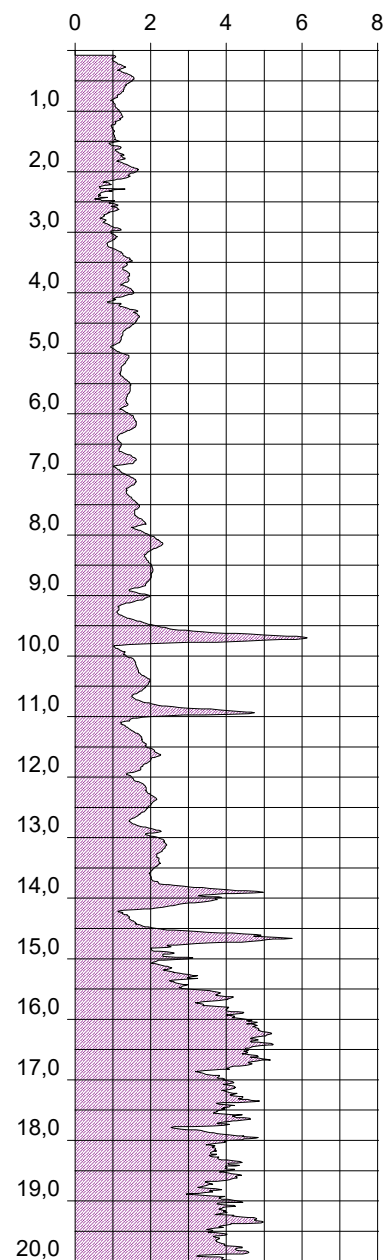


Mantelreibung  $f_s$  [MN/m<sup>2</sup>]

**DS15-3**

51,30 m ü.NHN

CPT-E



Reibungsverhältnis  $r_f$  [%]

Höhenmaßstab 1:125

## Anlage 4

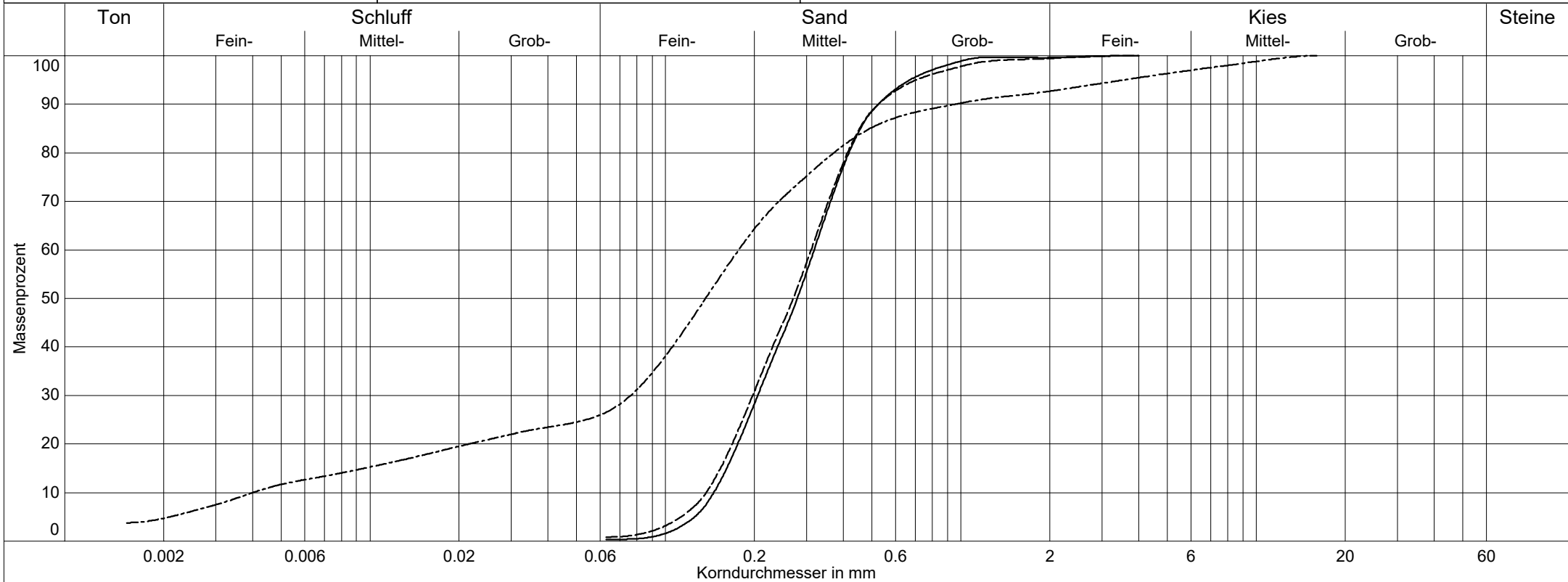
### Kornverteilungen

FH Potsdam
FB Bauingenieurwesen
FG Grundbau und Bodenmechanik
Grundbaulabor

# Kornverteilung

DIN EN ISO 17892-4

Projekt:	WP Müncheberg - Mittelheide / EnBW 15
Projektnr.:	L 62/23
Anlage:	4
Datum:	27.10.2023



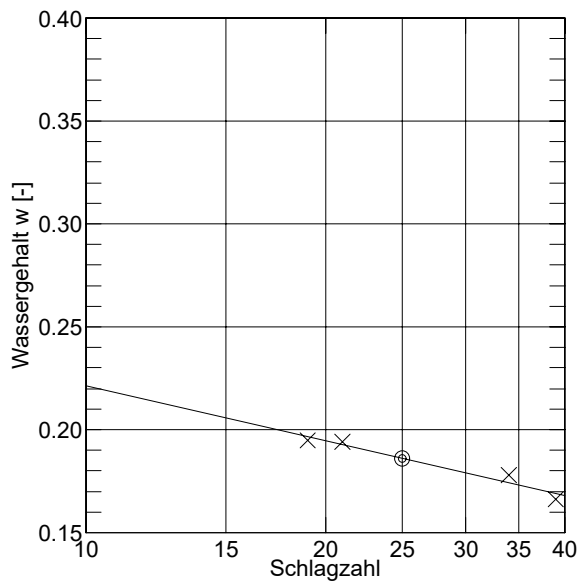
Labornummer	— s15-1,7	--- s15-10,0	-·-·- s15-13,0	
Entnahmestelle	S15	S15	S15	
Entnahmetiefe	0,8-1,7 m	8,9-10,0 m	11,8-13,0 m	
Ungleichförm. Cu	2.2	2.3	44.1	
Krümmungszahl Cc	0.9	0.9	8.2	
Bodengruppe	SE	SE	SÜ	
Anteil < 0.063 mm	0.4 %	0.8 %	26.5 %	
Frostempfindl.klasse	F1	F1	F3	
kf nach Beyer	2.1E-04 m/s	1.9E-04 m/s	-(Cu > 30)	
kf nach USBR	-(d10 > 0.02)	-(d10 > 0.02)	5.3E-07 m/s	
kf nach Kaubisch	-(0.063 <= 10%)	-(0.063 <= 10%)	3.8E-07 m/s	

Anlage 5

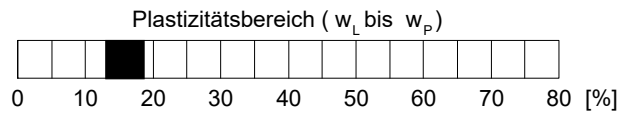
Konsistenzgrenzen

FH Potsdam	Projekt : WP Müncheberg - Mittelheide / EnBW 15
FB Bauingenieurwesen	Projektnr.: L 62/23
FG Grundbau und Bodenmechanik	Anlage : 5
Grundbaulabor	Datum : 27.10.2023
<b>Zustandsgrenzen</b> DIN EN ISO 17892-12	Labornummer: s15-13,0
	Entnahmestelle: S15
	Entnahmetiefe : 11,8-13,0 m

	Fließgrenze				Ausrollgrenze			
	S3	C	IV	S1	5	5	7	
Behälter-Nr.								
Zahl der Schläge	39	34	19	21				
Feuchte Probe + Behälter $m_f + m_b$ [g]	61.84	57.36	60.33	68.13	14.56	28.78	29.43	
Trockene Probe + Behälter $m_t + m_b$ [g]	58.36	54.08	56.31	63.09	13.68	27.93	28.50	
Behälter $m_b$ [g]	37.45	35.61	35.70	37.12	6.89	21.39	21.30	
Wasser $m_f - m_t = m_w$ [g]	3.48	3.28	4.02	5.04	0.88	0.85	0.93	
Trockene Probe $m_t$ [g]	20.91	18.47	20.61	25.97	6.79	6.54	7.20	Mittel
Wassergehalt $\frac{m_w}{m_t} = w$ [-]	0.166	0.178	0.195	0.194	0.130	0.130	0.129	0.130



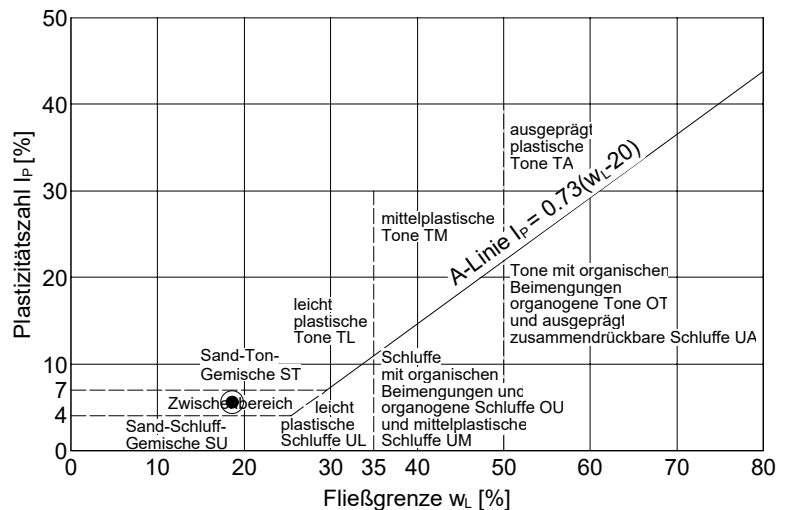
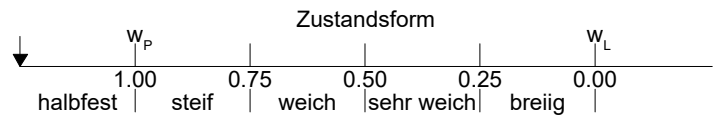
Wassergehalt  $w_N = 0.115$   
 Fließgrenze  $w_L = 0.186$   
 Ausrollgrenze  $w_P = 0.130$



Plastizitätszahl  $I_P = w_L - w_P = 0.056$

Liquiditätsindex  $I_L = \frac{w_N - w_P}{I_P} = -0.268$

Konsistenzzahl  $I_C = \frac{w_L - w_N}{I_P} = 1.268$



## Anlage 6

### Wassergehalte

FH Potsdam	Projekt : WP Müncheberg - Mittelheide / EnBW 15
FB Bauingenieurwesen	Projektnr.: L 62/23
FG Grundbau und Bodenmechanik	Anlage : 6
Grundbaulabor	Datum : 27.10.2023
<b>Wassergehalt</b> DIN ISO/TS 17892-1	Labor-Nr.: s15-15,0
	Aufschluss-Nr. S15
	Tiefe: 13,0-15,0 m

Schale Nr.  H2	Schale u. Probe feucht [g]	= 143.27 g	Schale u. Probe trocken [g]	= 135.04 g
	Schale u. Probe trocken [g]	= 135.04 g	Gewicht Schale [g]	= 59.52 g
	Wassergehalt [g]	= 8.23 g	Probe trocken G [g]	= 75.52 g
			Wassergehalt [%]	= 10.9 %
Schale Nr.	Schale u. Probe feucht [g]	= g	Schale u. Probe trocken [g]	= g
	Schale u. Probe trocken [g]	= g	Gewicht Schale [g]	= g
	Wassergehalt [g]	= g	Probe trocken G [g]	= g
			Wassergehalt [%]	= %
			Mittel	= 10.9 %



## Anlage 7

### Betonaggressivität des Bodens

Dr.-Hell-Str. 6, 24107 Kiel, Germany  
www.agrolab.de

**AGROLAB Agrar&Umwelt** Dr.-Hell-Str. 6, 24107 Kiel

Ingenieurbüro für Geotechnik Kleen GmbH  
Berliner Straße 124  
14467 Potsdam

Datum 23.10.2023  
Kundennr. 20122596

## PRÜFBERICHT

Auftrag **2311623** Projekt: WP Müncheberg-Mittelheide - Auftrag Boden Betonaggressivität  
 Analysennr. **211988** Mineralisch/Anorganisches Material  
 Probeneingang **11.10.2023**  
 Probenahme **04.10.2023**  
 Probenehmer **Auftraggeber**  
 Kunden-Probenbezeichnung **MP 15**

Einheit Ergebnis Best.-Gr. Methode

### Feststoff

Trockensubstanz	u)	%	°	<b>97,7</b>	0,1	DIN EN 14346 : 2007-03(PL)
Säuregrad n. Baumann-Gully	u)*)	ml/kg		<b>74</b>	0,1	DIN 4030 (mod.)(PL)
Sulfat aus salzsauren Auszug	u)*)	mg/kg	°	<b>480</b>	100	DIN 4030 (mod.)(PL)
Sulfat aus salzsauren Auszug	u)*)	mmol/kg	°	<b>5</b>	1	DIN 4030 (mod.)(PL)
Sulfid leicht freisetzbar	u)*)	mg/kg		<b>&lt;4,0</b>	4	DIN 38405-27 : 1992-07 (mod.)(PL)
Chlorid (Cl)	u)*)	mg/kg		<b>&lt;10</b>	10	DIN 4030-2 : 2008-06(PL)
Sulfid, gesamt	u)*)	mg/kg		<b>0,61</b>	0,1	DIN 4030-2 : 2008-06 in Verbindung mit DIN EN 1744-1 : 2013-03(PL)

*Erläuterung: Das Zeichen "<" oder n.b. in der Spalte Ergebnis bedeutet, der betreffende Parameter ist bei nebenstehender Bestimmungsgrenze nicht quantifizierbar.*

*Die parameterspezifischen analytischen Messunsicherheiten sowie Informationen zum Berechnungsverfahren sind auf Anfrage verfügbar, sofern die berichteten Ergebnisse oberhalb der parameterspezifischen Bestimmungsgrenze liegen. Die Mindestleistungskriterien der angewandten Verfahren beruhen bezüglich der Messunsicherheit in der Regel auf der Richtlinie 2009/90/EG der Europäischen Kommission.*

*Die Analysenwerte der Feststoffparameter beziehen sich auf die Trockensubstanz, bei den mit ° gekennzeichneten Parametern auf die Originalsubstanz.*

*u) externe Dienstleistung eines AGROLAB GROUP Labors*

### Untersuchung durch

(PL) AWW-Dr. Busse GmbH, Plauen (AGROLAB GROUP), Jölsnitzer Str. 113, 08525 Plauen

#### Methoden

DIN 38405-27 : 1992-07 (mod.); DIN 4030 (mod.); DIN 4030-2 : 2008-06; DIN 4030-2 : 2008-06 in Verbindung mit DIN EN 1744-1 : 2013-03

(PL) AWW-Dr. Busse GmbH, Plauen (AGROLAB GROUP), Jölsnitzer Str. 113, 08525 Plauen, für die zitierte Methode akkreditiert nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018, Akkreditierungsverfahren: D-PL-14087-01-00 DAkkS

#### Methoden

DIN EN 14346 : 2007-03

Hinweis zum Probenahmedatum: Das Probenahmedatum ist eine Kundeninformation.

Die in diesem Dokument berichteten Verfahren sind gemäß DIN EN ISO/IEC 17025:2018 akkreditiert. Ausschließlich nicht akkreditierte Verfahren sind mit dem Symbol "u)" gekennzeichnet.

Datum 23.10.2023  
Kundennr. 20122596

## PRÜFBERICHT

Auftrag **2311623** Projekt: WP Müncheberg-Mittelheide - Auftrag Boden Betonaggressivität  
Analysennr. **211988** Mineralisch/Anorganisches Material  
Kunden-Probenbezeichnung **MP 15**

Beginn der Prüfungen: 11.10.2023  
Ende der Prüfungen: 20.10.2023

*Die Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die geprüften Gegenstände. In Fällen, wo das Prüflabor nicht für die Probenahme verantwortlich war, gelten die berichteten Ergebnisse für die Proben wie erhalten. Das Laboratorium ist nicht für die vom Kunden bereitgestellten Informationen verantwortlich. Die ggf. im vorliegenden Prüfbericht dargestellten Kundeninformationen unterliegen nicht der Akkreditierung des Laboratoriums und können sich auf die Validität der Prüfergebnisse auswirken. Die auszugsweise Vervielfältigung des Berichts ohne unsere schriftliche Genehmigung ist nicht zulässig. Die Ergebnisse in diesem Prüfbericht werden gemäß der mit Ihnen schriftlich gemäß Auftragsbestätigung getroffenen Vereinbarung in vereinfachter Weise i.S. der DIN EN ISO/IEC 17025:2018, Abs. 7.8.1.3 berichtet.*



**AGROLAB Agrar&Umwelt Frau Larissa Gorski, Tel. 0431/22138-581**  
**Service Team Umwelt 1, Email: [umwelt1.kiel@agrolab.de](mailto:umwelt1.kiel@agrolab.de)**

Die in diesem Dokument berichteten Verfahren sind gemäß DIN EN ISO/IEC 17025:2018 akkreditiert. Ausschließlich nicht akkreditierte Verfahren sind mit dem Symbol " (\*) " gekennzeichnet.

## Anlage 8

### Stand sicherheitsnachweise

**Berechnungsgrundlagen:**  
 WP Müncheberg EnBW15-P  
 Norm: EC 7  
 BS: DIN 1054: BS-P  
 Grundbruchformel nach DIN 4017:2006  
 Teilsicherheitskonzept (EC 7)  
 $\gamma_{R,v} = 1.40$   
 $\gamma_G = 1.35$   
 $\gamma_Q = 1.50$   
 $\gamma_{R,h} = 1.10$

**Grenzzustand EQU:**  
 $\gamma_{G,dst} = 1.10$   
 $\gamma_{G,stab} = 0.90$   
 $\gamma_{Q,dst} = 1.50$   
 Gründungssohle = 0.24 m  
 Grundwasser = 10.00 m  
 Grenztiefe mit  $p = 20.0\%$

Boden	Tiefe [m]	$\gamma/\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi$ [°]	c [kN/m <sup>2</sup> ]	E <sub>s</sub> [MN/m <sup>2</sup> ]	$\kappa$ [-]	Bezeichnung
	3.00	18.0/11.0	32.5	0.0	80.0	1.000	Sand, md (Polster)
	4.00	18.0/10.0	30.0	0.0	40.0	1.000	Sand, lo
	4.50	18.0/11.0	32.5	0.0	80.0	1.000	Sand, md
	5.50	18.0/10.0	30.0	0.0	40.0	1.000	Sand, lo
	14.00	19.0/11.0	35.0	0.0	150.0	1.000	Sand, d
	>14.00	21.0/12.0	30.0	60.0	40.0	1.000	Mergel, sth

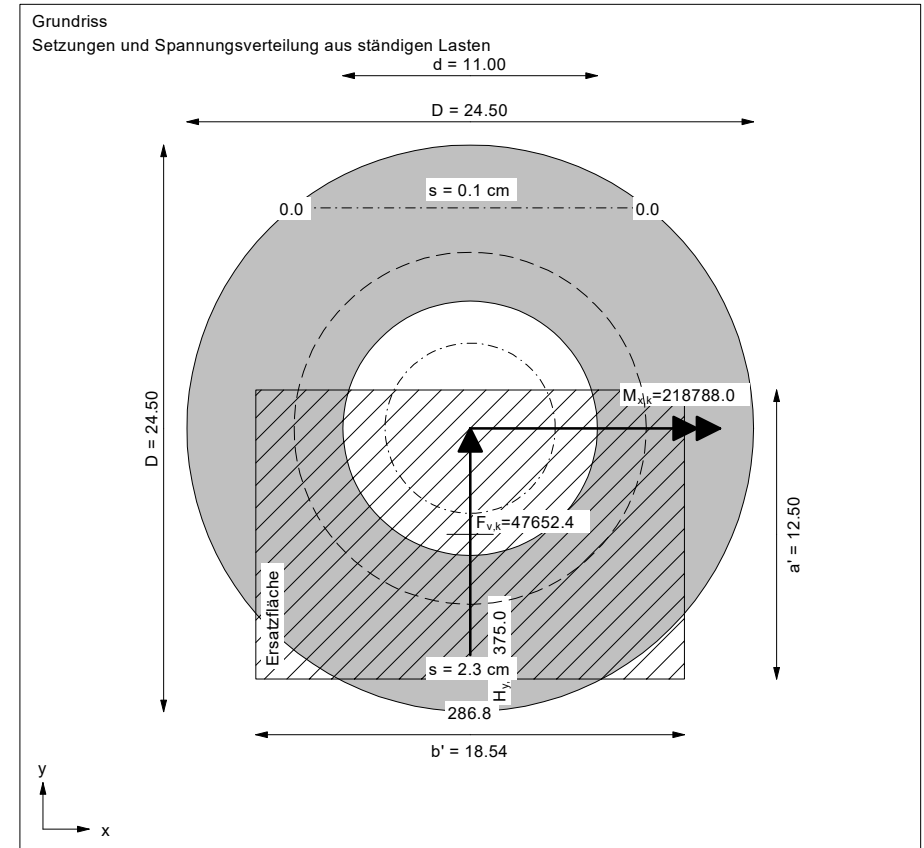
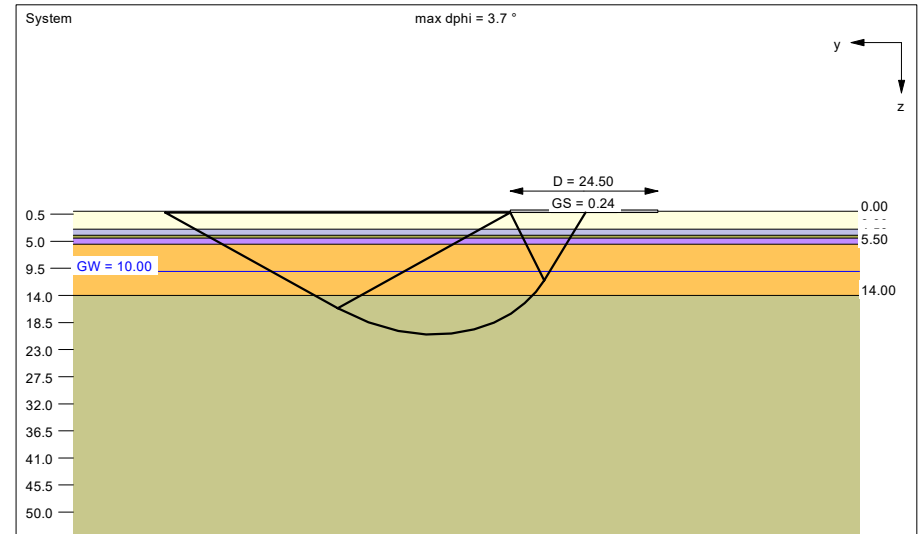
**Ergebnisse Kreisringfundament**  
 Kippnachweis nicht untersucht  
 Lasten = ständig / veränderlich  
 Vertikallast  $F_{v,k} = 47652.40 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,x,k} = 0.00 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,y,k} = 1375.00 / 0.00$  kN  
 Moment  $M_{x,k} = 218788.00 / 0.00$  kN·m  
 Moment  $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$  kN·m  
 Durchmesser  $D = 24.500$  m  
 Durchmesser (innen)  $d = 11.000$  m  
 Unter ständigen Lasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -4.591$  m  
 $a' = 12.502$  m  
 $b' = 18.540$  m  
 Unter Gesamtlasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -4.591$  m  
 $a' = 12.502$  m  
 $b' = 18.540$  m

**Grundbruch:**  
 Teilsicherheit (Grundbruch)  $\gamma_{R,v} = 1.40$   
 $\sigma_{R,k} / \sigma_{R,d} = 3477.4 / 2483.87$  kN/m<sup>2</sup>  
 $R_{n,k} = 806039.44$  kN  
 $R_{n,d} = 575742.46$  kN  
 $V_d = 1.35 \cdot 47652.40 + 1.50 \cdot 0.00$  kN  
 $V_d = 64330.74$  kN  
 $\mu$  (parallel zu y) = 0.112  
 Kohäsionsglied = 302150.80 kN (k)  
 Breitenglied = 473739.03 kN (k)  
 Tiefenglied = 30149.60 kN (k)  
 cal  $\varphi = 32.0^\circ$   
 cal  $c = 28.02$  kN/m<sup>2</sup>  
 cal  $\gamma_2 = 15.90$  kN/m<sup>3</sup>  
 cal  $\sigma_0 = 4.32$  kN/m<sup>2</sup>  
 Tragfähigkeitsbeiwerte (x):  
 $N_{c0} = 33.55$ ;  $N_{d0} = 21.42$ ;  $N_{b0} = 12.42$   
 Formbeiwerte (x):  
 $v_c = 1.368$ ;  $v_d = 1.351$ ;  $v_b = 0.798$

**Neigungsbeiwerte (x):**  
 $i_c = 0.952$ ;  $i_d = 0.954$ ;  $i_b = 0.927$   
**Tragfähigkeitsbeiwerte (y):**  
 $N_{c0} = 35.56$ ;  $N_{d0} = 23.24$ ;  $N_{b0} = 13.91$   
**Formbeiwerte (y):**  
 $v_c = 1.374$ ;  $v_d = 1.358$ ;  $v_b = 0.798$   
**Neigungsbeiwerte (y):**  
 $i_c = 0.952$ ;  $i_d = 0.954$ ;  $i_b = 0.927$

**Gleitwiderstand:**  
 Teilsicherheit (Gleitwiderstand)  $\gamma_{R,h} = 1.10$   
 $N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 47652.40 \cdot \tan(32.50^\circ) / 1.10$   
 $R_{t,d} = N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 27598.12$  kN  
 $T_d = 1856.25$  kN  
 $\mu = T_d / R_{t,d} = 0.067$

**Setzung infolge ständiger Lasten:**  
 Grenztiefe  $t_g = 12.86$  m u. GOK  
 Setzung (Mittel aller KPs) = 1.19 cm  
 Setzungen der KPs:  
 oben = 0.12 cm  
 unten = 2.26 cm  
 Verdrehung(x) (KP) = 1 : 969.8  
 Nachweis EQU:  
 $M_{stb} = 47652.4 \cdot 24.50 \cdot 0.5 \cdot 0.90 = 525367.7$   
 $M_{dst} = 218788.0 \cdot 1.10 = 240666.8$   
 $\mu_{EQU} = 240666.8 / 525367.7 = 0.458$



**Berechnungsgrundlagen:**  
 WP Müncheberg EnBW15-A  
 Norm: EC 7  
 BS: DIN 1054: BS-A  
 Grundbruchformel nach DIN 4017:2006  
 Teilsicherheitskonzept (EC 7)  
 $\gamma_{R,v} = 1.20$   
 $\gamma_G = 1.10$   
 $\gamma_Q = 1.10$   
 $\gamma_{R,h} = 1.10$

**Grenzzustand EQU:**  
 $\gamma_{G,dst} = 1.00$   
 $\gamma_{G,stab} = 0.95$   
 $\gamma_{Q,dst} = 1.00$   
 Gründungssohle = 0.24 m  
 Grundwasser = 10.00 m  
 Grenztiefe mit  $p = 20.0\%$

Boden	Tiefe [m]	$\gamma/\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi$ [°]	c [kN/m <sup>2</sup> ]	$E_s$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$\kappa$ [-]	Bezeichnung
	3.00	18.0/11.0	32.5	0.0	80.0	1.000	Sand, md (Polster)
	4.00	18.0/10.0	30.0	0.0	40.0	1.000	Sand, lo
	4.50	18.0/11.0	32.5	0.0	80.0	1.000	Sand, md
	5.50	18.0/10.0	30.0	0.0	40.0	1.000	Sand, lo
	14.00	19.0/11.0	35.0	0.0	150.0	1.000	Sand, d
	>14.00	21.0/12.0	30.0	60.0	40.0	1.000	Mergel, sth

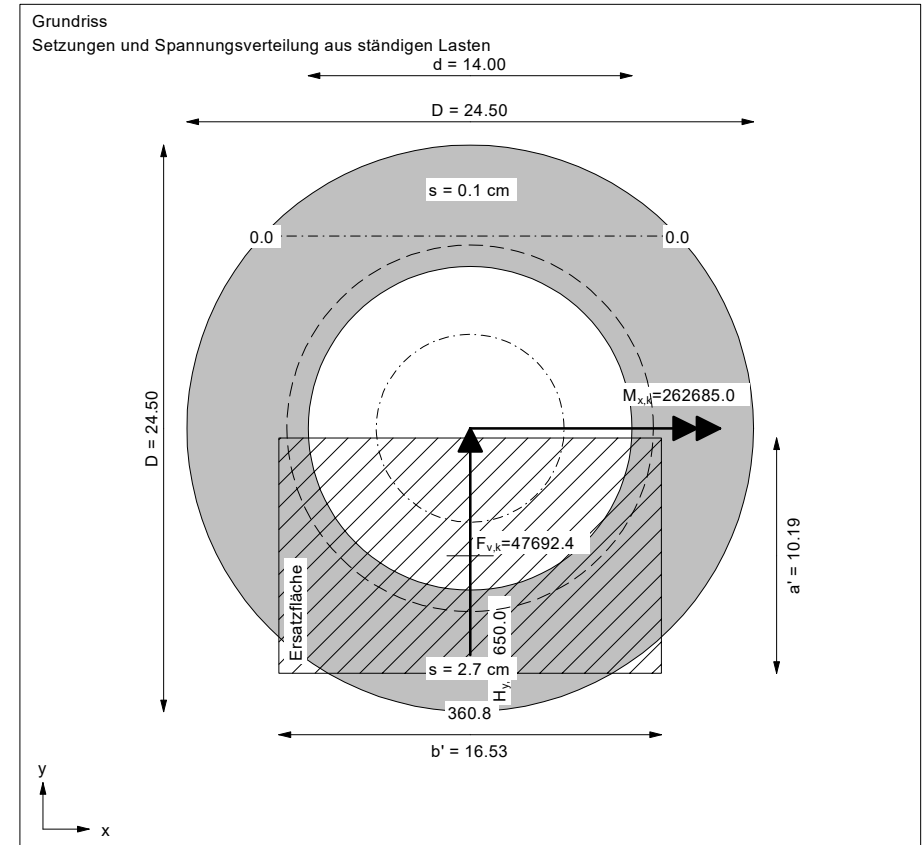
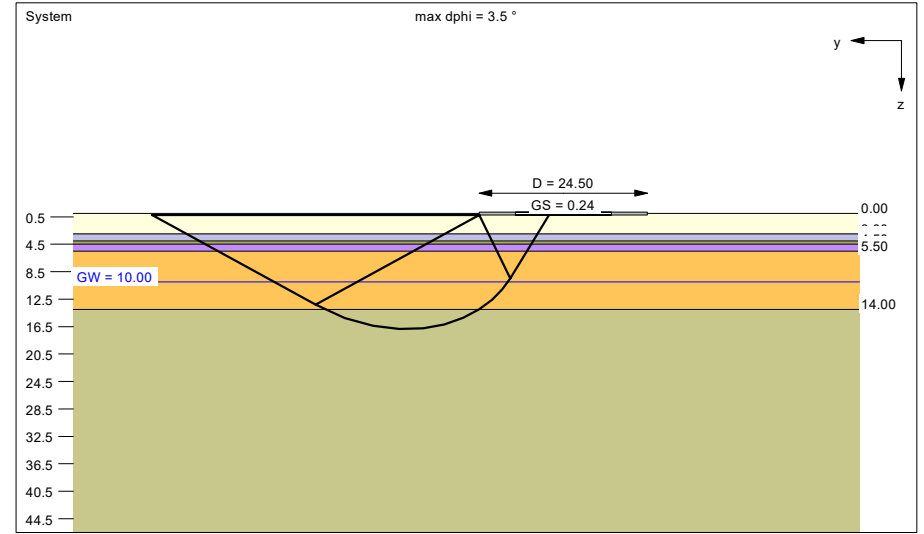
**Ergebnisse Kreisringfundament**  
 Kippnachweis nicht untersucht.  
 Lasten = ständig / veränderlich  
 Vertikallast  $F_{v,k} = 47692.40 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,x,k} = 0.00 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,y,k} = 1650.00 / 0.00$  kN  
 Moment  $M_{x,k} = 262685.00 / 0.00$  kN·m  
 Moment  $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$  kN·m  
 Durchmesser  $D = 24.500$  m  
 Durchmesser (innen)  $d = 14.000$  m  
 Unter ständigen Lasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -5.508$  m  
 $a' = 10.185$  m  
 $b' = 16.530$  m  
 Unter Gesamtlasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -5.508$  m  
 $a' = 10.185$  m  
 $b' = 16.530$  m

**Grundbruch:**  
 Teilsicherheit (Grundbruch)  $\gamma_{R,v} = 1.20$   
 $\sigma_{R,k} / \sigma_{R,d} = 2973.2 / 2477.66$  kN/m<sup>2</sup>  
 $R_{n,k} = 500553.58$  kN  
 $R_{n,d} = 417127.98$  kN  
 $V_d = 1.10 \cdot 47692.40 + 1.10 \cdot 0.00$  kN  
 $V_d = 52461.64$  kN  
 $\mu$  (parallel zu y) = 0.126  
 Kohäsionsglied = 159293.54 kN (k)  
 Breitenglied = 318685.86 kN (k)  
 Tiefenglied = 22574.17 kN (k)  
 cal  $\varphi = 32.5^\circ$   
 cal c = 20.11 kN/m<sup>2</sup>  
 cal  $\gamma_2 = 16.55$  kN/m<sup>3</sup>  
 cal  $\sigma_u = 4.32$  kN/m<sup>2</sup>  
 Tragfähigkeitsbeiwerte (x):  
 $N_{c0} = 33.97$ ;  $N_{d0} = 21.79$ ;  $N_{b0} = 12.73$   
 Formbeiwerte (x):  
 $v_c = 1.337$ ;  $v_d = 1.322$ ;  $v_b = 0.815$

**Neigungsbeiwerte (x):**  
 $i_c = 0.942$ ;  $i_d = 0.945$ ;  $i_b = 0.912$   
**Tragfähigkeitsbeiwerte (y):**  
 $N_{d0} = 37.12$ ;  $N_{d0} = 24.68$ ;  $N_{b0} = 15.11$   
**Formbeiwerte (y):**  
 $v_c = 1.345$ ;  $v_d = 1.331$ ;  $v_b = 0.815$   
**Neigungsbeiwerte (y):**  
 $i_c = 0.942$ ;  $i_d = 0.945$ ;  $i_b = 0.912$

**Gleitwiderstand:**  
 Teilsicherheit (Gleitwiderstand)  $\gamma_{R,h} = 1.10$   
 $N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 47692.40 \cdot \tan(32.50^\circ) / 1.10$   
 $R_{t,d} = N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 27621.28$  kN  
 $T_d = 1815.00$  kN  
 $\mu = T_d / R_{t,d} = 0.066$

**Setzung infolge ständiger Lasten:**  
 Grenztiefe  $t_g = 13.81$  m u. GOK  
 Setzung (Mittel aller KPs) = 1.39 cm  
 Setzungen der KPs:  
 oben = 0.07 cm  
 unten = 2.72 cm  
 Verdrehung(x) (KP) = 1 : 782.4  
 Nachweis EQU:  
 $M_{stab} = 47692.4 \cdot 24.50 \cdot 0.5 \cdot 0.95 = 555020.3$   
 $M_{dst} = 262685.0 \cdot 1.00 = 262685.0$   
 $\mu_{EQU} = 262685.0 / 555020.3 = 0.473$



- BAUGRUNDUNTERSUCHUNGEN
- BAUGRUNDGUTACHTEN
- GRÜNDUNGSBERATUNG
- ALTASTERKUNDUNGEN
- KONTAMINATIONS-GUTACHTEN
- GRUNDBAUSTATIK
- BAULEITUNG · PLANUNG

## GEOTECHNISCHER ENTWURFSBERICHT

**108-23EnBW16**

Bauvorhaben: Windpark Müncheberg - Mittelheide  
EnBW 16

Auftraggeber: Naturwind Potsdam GmbH  
Hegelallee 41  
14467 Potsdam

Bearbeiter: M.Sc. B. Tamme  
Prof. Dr.-Ing. H. Kleen

Umfang: 11 Seiten  
8 Anlagen

Datum: 17.11.2023

Berliner Volksbank  
IBAN DE92 1009 0000 5431 2700 07  
BIC BEVODE33

Steuer Nr. 046/111/01630

Handelsregister  
Nr. HRB 100073 Potsdam

Geschäftsführer:  
Prof. Dr.-Ing. Hermann Kleen

## **1. VERANLASSUNG**

Unser Büro wurde am 31.07.2023 durch die Naturwind Potsdam GmbH schriftlich beauftragt, für die im Windpark Müncheberg - Mittelheide geplante Windkraftanlage EnBW 16, einen Geotechnischen Entwurfsbericht, einschließlich der notwendigen Feld- und Laboruntersuchungen, anzufertigen.

## **2. UNTERLAGEN**

Für die Bearbeitung standen die nachfolgend aufgeführten Unterlagen zur Verfügung:

- U 2.1 Geologische Karte, M.: 1 : 25.000, über [www.geo.brandenburg.de/gk25/](http://www.geo.brandenburg.de/gk25/), Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg
- U 2.2 Unser Geotechnischer Entwurfsbericht zum Bauvorhaben „Windpark Müncheberg-Mittelheide WEA1, vom 27.11.2020 nebst Unterlagen
- U 2.3 Prüfbericht für eine Typenprüfung, Vestas V162-5.4/5.6/6.0/6.2 MW mit 169 m Nabenhöhe, D = 24,5 m, Kreisringfundament mit Auftrieb, Prüfnr.: 3108363-23-d Rev.4, der TÜV SÜD Industrie Service GmbH aus München, vom 25.02.2022
- U 2.4 Lageplan zum Projekt Müncheberg-Mittelheide, der naturwind potsdam GmbH, M.: 1 : 12.000, vom 28.07.2023
- U 2.5 Geländeordinaten der Windkraftanlagenmittelpunkte, übersandt am 01.11.2023 durch das zuständige Vermessungsbüro Horst Möhring aus Frankfurt Oder
- U 2.6 Ergebnisse der Drucksondierungen der Firma Fugro Germany Land GmbH aus Berlin, übersandt am 31.10.2023
- U 2.7 Ergebnisse bodenmechanischer Laboruntersuchungen der Fachhochschule Potsdam, Fachgebiet Grundbau und Bodenmechanik, vom 27.10.2023 (L63/23)
- U 2.8 Prüfbericht zur Betonaggressivität des Bodens, WP Müncheberg - Mittelheide / MP16 (EnBW 16), der Agrolab Agrar und Umwelt GmbH aus Kiel, Analysennummer: 211989 vom 23.10.2023



### **3. BAUGRUNDSTÜCK UND BAUWERK**

Der Standort für den Neubau einer Windkraftanlage befindet sich zwischen dem Maxsee und Schönfelde, südlich des Müncheberger Ortsteils Hoppegarten, innerhalb des geplanten Windparks Müncheberg - Mittelheide.

Hier soll, auf der forstwirtschaftlich genutzten Fläche, die Windkraftanlage EnBW 16 vom Typ V162-6.2 MW mit Hybridturm und einer Nabenhöhe von 169 m auf einem Kreisringfundament, mit einem Außendurchmesser von  $D = 24,5$  m, auf einer 0,1 m starken Sauberkeitsschicht in einer Tiefe von ca. 0,24 m unter Gelände, flach gegründet werden.

Die Geländehöhe am Standort der Windkraftanlage EnBW 16 liegt auf einer Ordinate von ca. 51,8 m über NHN.

Die Lage der geplanten Windkraftanlage geht aus der Anlage 1 und der Anlage 2 hervor.

### **4. BAUGRUND**

#### **4.1 Vorkenntnisse**

Der Windpark Müncheberg - Mittelheide befindet sich im Bereich einer im Pleistozän gebildeten Hochfläche.

Hier ist mit Schmelzwasserablagerungen in Form von feinkörnigen, schwach mittelkörnigen Sanden, die zum Teil schwach schluffige Beimengungen beinhalten, zu rechnen (s. Unterlage U 2.1).

Gemäß der Unterlage U 2.2 stehen nordwestlich der geplanten Windenergieanlage, unterhalb einer ca. 0,1 m starken, sandigen, stark humosen Oberbodenschicht, bis in eine Tiefe von ca. 8,2 m unter Gelände Fein-, Mittel- und Grobsande an, die von sandigem Geschiebemergel unterlagert werden.

Die Sande sind bis in eine Tiefe von ca. 6,5 m unter Gelände sehr locker, locker und mitteldicht, darunter mitteldicht gelagert; der Geschiebeboden weist eine halb feste Zustandsform auf.

#### **4.2 Baugrunduntersuchungen**

Zur Erkundung der Baugrundverhältnisse wurde im Bereich der geplanten Windkraftanlage EnBW 16 eine Kleinbohrung (S16) bis zu einer Endteufe von 15,0 m unter Gelände abgeteuft.

Zur Feststellung der Lagerungsdichte bzw. der Festigkeit des anstehenden Baugrundes wurden zudem drei Drucksondierungen als CPT-E (DS16-1 bis DS16-3) bis in Tiefen von 20,0 m und 25,0 m unter Gelände vorgesehen.

Auf Grund zu hoher Baugrundfestigkeiten mussten die Drucksondierungen DS16-2 und DS16-3 wegen Auslastung in einer Tiefe von ca. 12,0 m unter Gelände abgebrochen werden.

Die Einmessung und Kennzeichnung des Untersuchungsstandortes erfolgte durch das beauftragte Vermessungsbüro (vgl. Unterlage U 2.5).

Die Lage der genannten Aufschlüsse ist aus der Anlage 1 und der Anlage 2 ersichtlich.

### **4.3 Ergebnisse der Baugrundaufschlüsse**

Auf der Grundlage des, während der Feldarbeiten erstellten Schichtenverzeichnisses und einer durch uns vorgenommenen Bodenansprache, wurde das in der Anlage 3 dokumentierte Schichtenprofil angefertigt. Zudem sind innerhalb der Anlage 3 die Ergebnisse der Drucksondierungen dargestellt.

Im Einzelnen kann damit am Standort der geplanten Windkraftanlage EnBW 16 von folgendem Baugrundaufbau ausgegangen werden:

Unterhalb einer ca. 0,2 m starken, sandigen und schwach humosen Oberbodenschicht (Mutterboden) stehen bis in eine Tiefe von ca. 12,8 m unter Gelände Fein- und Mittelsande an, die bis zur Aufschlussendteufe von sandigem Geschiebemergel unterlagert und in Tiefen zwischen ca. 4,2 m und 6,4 m unter Gelände durchzogen werden.

Der in S16 erbohrte Geschiebeboden besitzt, auf Grund unserer Ansprachen und der durchgeführten bodenmechanischen Versuche zur Bestimmung der Konsistenzgrenzen und des Wassergehaltes, eine halbfeste Zustandsform.

Die Drucksondierungen DS16-1 bis DS16-3 bestätigen die erkundeten Baugrundverhältnisse im Wesentlichen und ergeben für die Sande oberhalb des Geschiebemergels, bis in eine Tiefe von maximal 2,0 m unter Gelände eine lockere und mitteldichte, darunter eine mitteldichte und dichte, lokal eine lockere Lagerung.

Körnungslinien repräsentativer Böden sind in der Anlage 4, Konsistenzgrenzen in Anlage 5 und ein Wassergehalt in der Anlage 6 dargestellt.

## 5. HOMOGENBEREICHE / BODENKLASSIFIZIERUNG

Die im Bereich des Untersuchungsstandortes anstehenden Böden können gemäß VOB Teil C, Ausgabe 2012 und Ausgabe 2015, DIN 18196:2011-05 sowie ZTV E-StB 17 wie folgt eingestuft und klassifiziert werden:

### Oberboden

Bodengruppe:	OH
Lagerung:	locker
Frostempfindlichkeit:	gering bis mittel frostempfindlich (F2)

Der Oberboden entspricht nach VOB Teil C, Ausgabe 2012 (DIN 18300) der Bodenklasse 1 (Oberboden). Nach DIN 18915:2002-08 kann der Oberboden für vegetationstechnische Zwecke der Bodengruppe 2 zugeordnet werden.

### Homogenbereich A / Sande

Bodengruppe:	SE
Lagerung:	bis ca. 2,0 m: locker und mitteldicht ab ca. 2,0 m: mindestens mitteldicht und dicht, lokal locker
Verdichtungsfähigkeit:	gut bis mittel
Frostempfindlichkeit:	nicht frostempfindlich (F1)
Durchlässigkeit [m/s]:	$k_f = 1 \times 10^{-3}$ bis $1 \times 10^{-4}$

Die Sande entsprechen nach VOB, Teil C, Ausgabe 2012 (DIN 18300) der Bodenklasse 3 (leicht lösbare Bodenarten).

### Homogenbereich B / Geschiebemergel

Bodengruppe:	SU*, TL
Festigkeit:	halbfest
Verdichtungsfähigkeit:	SU*: mittel TL: mäßig
Frostempfindlichkeit:	sehr frostempfindlich (F3)
Durchlässigkeit [m/s]:	$k_f < 1 \times 10^{-7}$

Der Geschiebemergel entspricht nach VOB, Teil C, Ausgabe 2012 (DIN 18300) der Bodenklasse 4 (mittelschwer lösbare Bodenarten).

Innerhalb und unmittelbar oberhalb des Geschiebehorizontes ist mit Findlingen zu rechnen.

Werden weiterreichende Angaben zu Körnungsbändern, zur Dichte und zur Festigkeit anstehender Böden erforderlich, sind ggf. zusätzliche Labor- bzw. Feldversuche durchzuführen.

## 6. GRUNDWASSER

Während der Baugrunduntersuchungen im September 2023 wurde kein Grundwasser angeschnitten.

Da im Gründungsbereich kein Grundwasser ansteht, wurde hier ersatzweise eine Bodenprobe hinsichtlich Betonaggressivität untersucht.

Als Ergebnis konnte festgestellt werden, dass der anstehende Boden hier als nicht betonangreifend einzustufen ist, was gemäß DIN EN 206-1 zu der Expositionsklasse XAI führt.

Die Einzelergebnisse der Bodenanalytik können der Unterlage U 2.8, die innerhalb der Anlage 7 dargestellt ist, entnommen werden.

## 7. BODENKENNWERTE

Für erdstatische Berechnungen können, auf Grund der Ansprache der gelieferten Proben, der Bohr- und Sondierergebnisse und unserer Erfahrung die charakteristischen Bodenkennwerte der folgenden Tabelle 1 angesetzt werden.

Die Tiefenlagen der Bodenschichten sind dem Schichtenprofil, welches innerhalb der Anlage 3 dargestellt ist, zu entnehmen.

**Tabelle 1: charakteristische Bodenkennwerte**

Bodenart	Bodenkennwerte				
	Wichte	Reibungswinkel	Kohäsion	Querdehnzahl	Steifeziffer stat. / dyn.
	$\gamma_k / \gamma'_{k}$	$\varphi'_{k}$	$c'_{k} / c_{u,k}$	$\nu$	$E_{s,k} / E_{sd,k}$
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[°]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[-]	[MN/m <sup>2</sup> ]
Oberboden	17 / 9	30,0	-- / --	-- / --	-- / --
Sand locker (lo) mitteldicht (md) dicht (d)	18 / 10	30,0	-- / --	0,32	40 / 170
	18 / 11	32,5	-- / --	0,32	80 / 260
	19 / 11	35,0	-- / --	0,32	150 / 420
Geschiebeboden halbfest (sth)	21 / 12	30,0	60 / 100	0,35	40 / 170

## **8. ANGABEN ZUR GRÜNDUNG, ZUWEGUNG UND KRANSTELLFLÄCHE**

### **8.1 Gründung**

Der erkundete Baugrundaufbau und die ermittelten Baugrundfestigkeiten erlauben für die Windkraftanlage EnBW 16 die Ausführung einer Flachgründung mittels Kreisringfundament.

Zur Gewährleistung der Gebrauchstauglichkeit und Standsicherheit der Anlage werden dazu vorab jedoch Bodenverbesserungen erforderlich, die hier über ein einzubauendes Gründungspolster realisiert werden können.

Im Einzelnen sind hierzu folgende Voraussetzungen einzuhalten:

Die im Gründungsbereich anstehenden weniger tragfähigen, locker gelagerten Sande sind bis in eine Tiefe von ca. 1,6 m unter Gelände vollständig gegen mindestens mitteldicht gelagertes rolliges Material auszutauschen.

Hierbei ist zu beachten, dass nach Freilegung der Austauschenebene, die gewachsenen Sande mit einer Tiefenwirkung von mindestens 0,4 m nach verdichtet werden.

Das nachfolgend einzubringende rollige Polstermaterial hat zur besseren Verdichtbarkeit eine Ungleichförmigkeit von  $U > 6$  aufzuweisen. Die Polsterlagen sollten bis zur geplanten Gründungssohle, mit maximalen Stärken von 0,3 m unter Berücksichtigung eines Ausbreitungswinkels von  $45^\circ$ , so verdichtet eingebracht werden, dass durchweg eine mindestens mitteldichte Lagerung vorherrscht.

Die Güte des Austauschbodens und der Sohle sind durch geeignete Versuche, wie Plattendruck- oder Proctorversuche nachzuweisen.

Bei Einhaltung der o.g. Gründungshinweise und unter Zugrundelegung der in Tabelle 1 angegebenen Bodenkennwerte, werden die Anforderungen an die Windkraftanlage des Typs V162-6.2 MW mit einer Nabenhöhe von 169 m mit einem Fundamentdurchmesser  $D = 24,5$  m, von jeder erkundeten Baugrundsicht erfüllt.

Die ermittelten statischen und dynamischen Drehfedersteifigkeiten gemäß der Unterlage U 2.5 für die anstehenden Bodenschichten können der folgenden Tabelle 2 entnommen werden.

**Tabelle 2: EnBW 16 - statische und dynamische Drehfedersteifigkeiten**

Bodenart	Tiefe [m u. GOK]	$r_E$ [ m ]	$\nu$ [ - ]	$E_{S,stat.}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$k_{\phi,stat}$ [MNm/rad]	$E_{S,dyn.}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$k_{\phi,dyn}$ [MNm/rad]
Polster Sand (md)	> 0,35	12,25	0,32	80	152.600	260	496.100
Mergel (sth)	> 4,0	14,57	0,35	40	117.100	170	497.800
Sand (md)	> 5,0	15,14	0,32	80	288.100	260	936.500

$r_E$	Ersatzradius
$\nu$	Querdehnzahl
$E_{S,stat.}$	Steifziffer, statisch
$E_{S,dyn.}$	Steifziffer, dynamisch
$k_{\phi,stat}$	Drehfedersteifigkeit, statisch
$k_{\phi,dyn}$	Drehfedersteifigkeit, dynamisch

Damit liegen die vorhandenen statischen und dynamischen Drehfedersteifigkeiten jeder erkundeten Schicht über den geforderten Werten von  $k_{\phi,stat} \geq 40.000$  bzw.  $k_{\phi,dyn} \geq 200.000$  [MNm/rad].

Die angegebenen Sohlspannungen können vom Baugrund aufgenommen werden.

Bei sorgfältiger Ausführung der Gründungsarbeiten und Einhaltung der vor genannten Voraussetzungen wird die Absolutsetzung der Windkraftanlage 3,0 cm nicht überschreiten.

In Folge der erfolgten Baugrundverbesserung werden damit keine relevanten, baugrundbedingten Setzungsunterschiede auftreten.

Die Standsicherheit der Windkraftanlage ist gegeben; die zum Nachweis geführten Berechnungen für die Bemessungssituationen BS-P und BS-A können der Anlage 8 entnommen werden.

## 8.2 Zuwegung und Kranstellfläche

Unter der Voraussetzung, dass der in Abschnitt 4 beschriebene Baugrundaufbau im Bereich der Verkehrsflächen hier übertragbar ist, kann hierzu zusammenfassend von den nachfolgenden Gegebenheiten und Anforderungen ausgegangen werden:

- Die bis in eine Tiefe von mindestens ca. 0,2 m unter Gelände anstehende Oberbodenschicht ist gänzlich zu entfernen und gegen ein verdichtet eingebrachtes rolliges Material zu ersetzen. Die nach Aushub der Oberböden freiliegenden Sande sind mit einer Tiefenwirkung von mindestens 0,4 m nach zu verdichten.
- Der Einbau von Austausch-, Trag- und Frostschutzschichten hat lagenweise, in Abhängigkeit des eingesetzten Verdichtungsgerätes, mit Stärken von 20 cm bis 30 cm, zu erfolgen.
- Auszuführende Gründungspolster sind immer, sofern nicht durch andere konstruktive Maßnahmen die seitliche Stützung des Polsters erreicht wird, mit einer Verbreiterung entsprechend des Lastverteilungswinkels von ca. 45° bis auf die Solltiefe zu führen.
- Die Verdichtungsanforderungen an die Zuwegung und die Kranstellfläche können grundsätzlich, unter Einhaltung der o.g. Anforderungen, sowohl für den Untergrund mit  $E_{V2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ , den Tragschichtaufbau mit  $E_{V2} \geq 80 \text{ MN/m}^2$  bzw.  $E_{V2} \geq 100 \text{ MN/m}^2$  und die Deckschichten mit  $E_{V2} \geq 100 \text{ MN/m}^2$  bzw.  $E_{V2} \geq 120 \text{ MN/m}^2$  bei einem Verhältniswert  $E_{V2} / E_{V1} \leq 2,3$  nachgewiesen werden.
- Die geforderten Mindesttragfähigkeiten des Planums sind vor Ort durch geeignete Verdichtungskontrollen, wie beispielsweise Plattendruckversuche, zu überprüfen.

## 9. ERGÄNZENDE HINWEISE UND EMPFEHLUNGEN

- Die durchgeführten Untersuchungen liefern lediglich einen stichprobenartigen Aufschluss im Bereich der geplanten Windkraftanlage. Sollte sich bei den Gründungsmaßnahmen die Bodensituation örtlich anders darstellen als von uns bisher erkundet, sind wir darüber zu informieren.

Der Untersuchungsbereich gehört zu keiner Erdbebenzone.

- Der unterhalb der Oberböden überwiegend anstehende gewachsene Sand, mit einer Feuchtwichte von  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ , eignet sich grundsätzlich zur Überschüttung und Wiederanfüllung, auch für die Schnittstellen zwischen Fundamentarbeitsraum und Kranstellfläche. Die Überschüttung muss dabei mindestens 0,5 m betragen.
- Für die im Gründungsbereich der Windkraftanlage anstehenden Sande kann mit einem abgeschätzten spezifischen Erdwiderstand zwischen 300 und 1000  $\Omega\text{m}$  gerechnet werden.
- Die Gründungs- und ggf. erforderlichen Baugrundverbesserungsarbeiten sollten geotechnisch begleitet und überwacht werden.
- Das Bauvorhaben ist in die geotechnische Kategorie GK-3 einzuordnen. Folgerichtig ist nach den Vorgaben der DIN 1054 der Geotechnische Entwurfsbericht zur Fortschreibung zu bringen.
- Für ergänzende Erläuterungen und Beratungen stehen wir gerne zur Verfügung.



Prof. Dr.-Ing. H. Kleen



M. Sc. B. Tamme

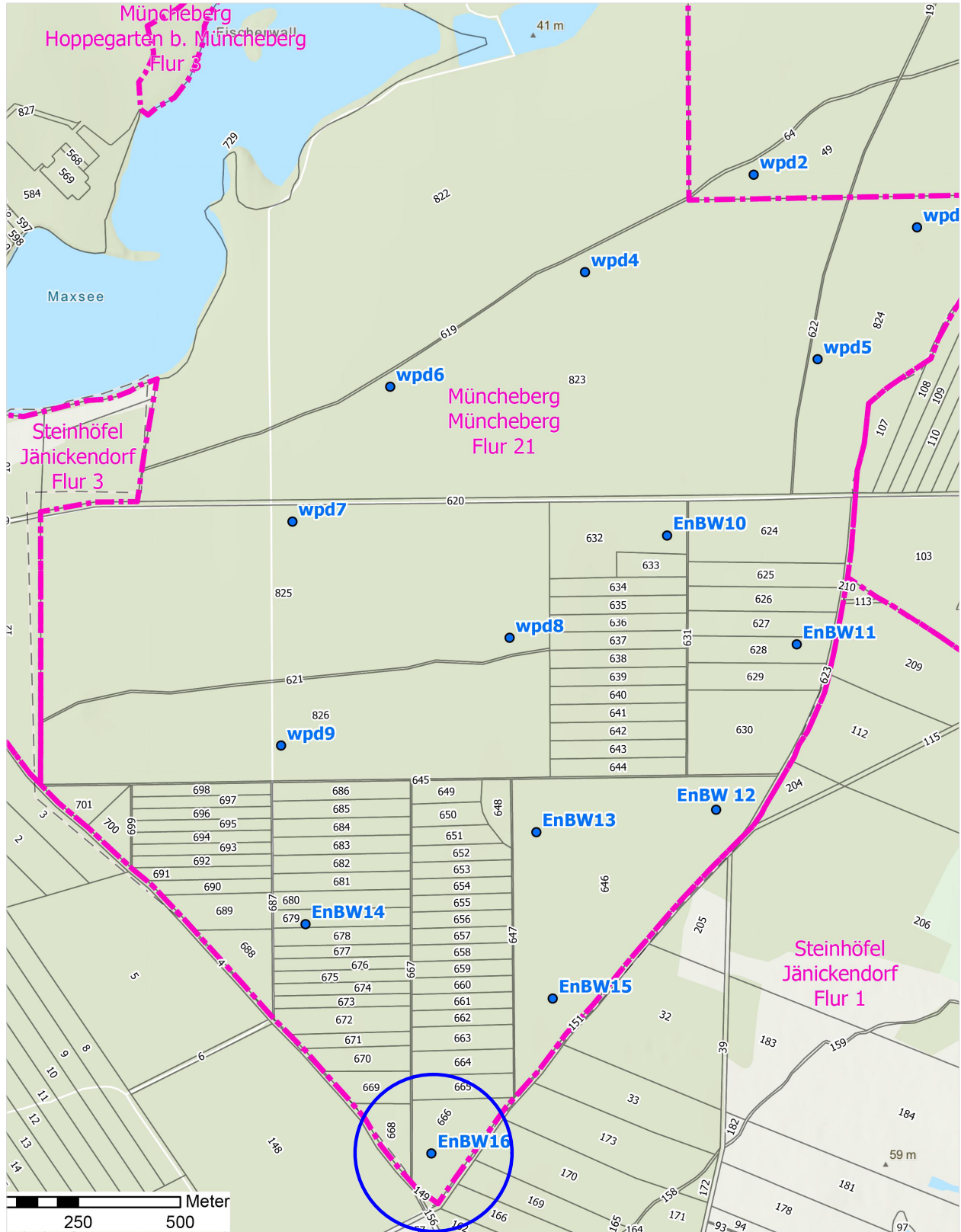


<b>ANLAGEN</b>	<b>SEITEN</b>
1. Übersicht	1
2. Lageplan mit Aufschlussansatzpunkten	1
3. Ergebnisse der Baugrundaufschlüsse	4
4. Körnungslinien	1
5. Zustandsgrenzen	1
6. Wassergehalt	1
7. Betonaggressivität Boden	2
8. Standsicherheitsnachweise	2

Anlage 1

Übersicht

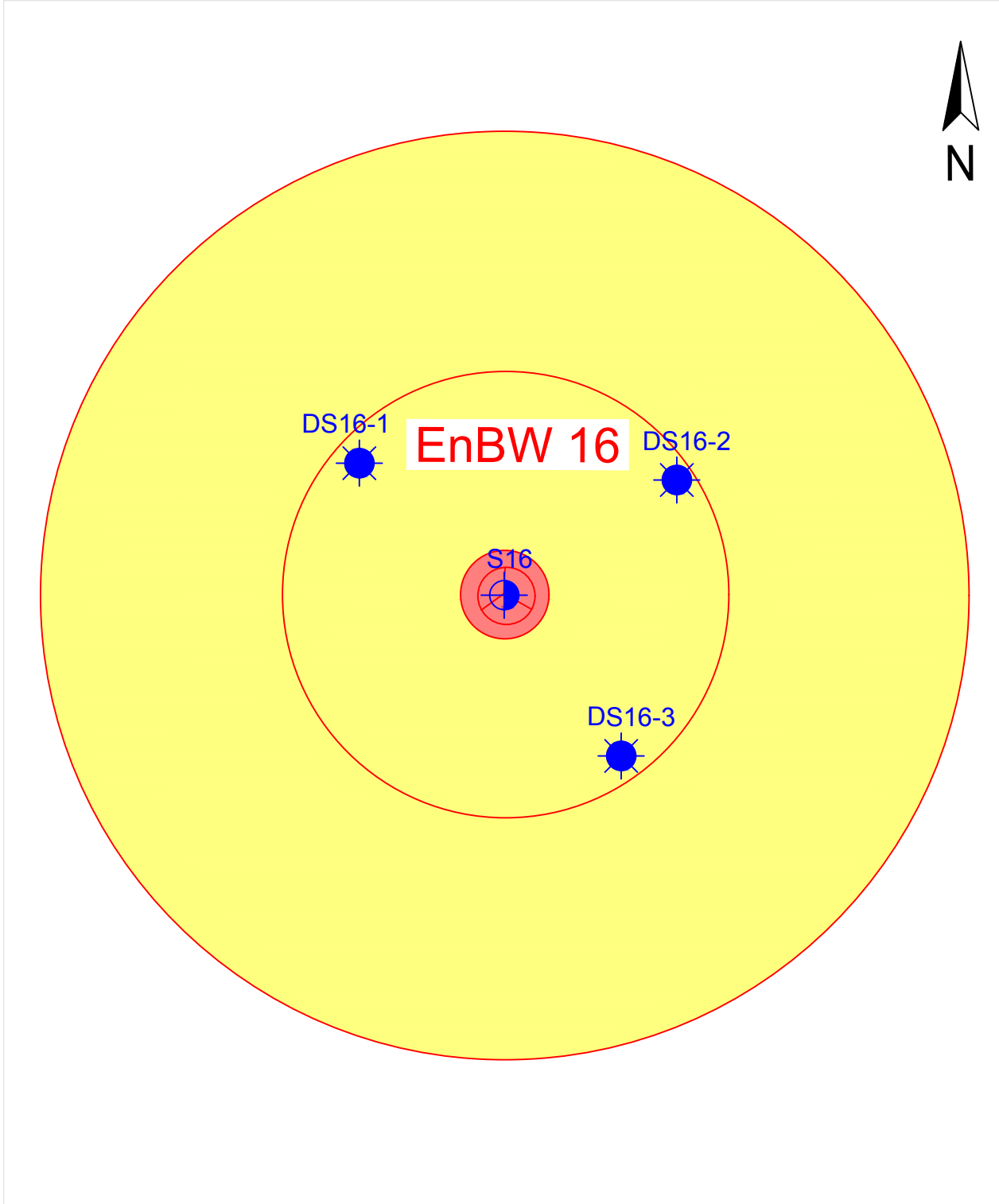
Übersicht



Anlage 2

Lageplanskizze

Lageplanskizze



ohne Maßstab



Kleinbohrung (S)

Drucksondierung CPT-E (DS)

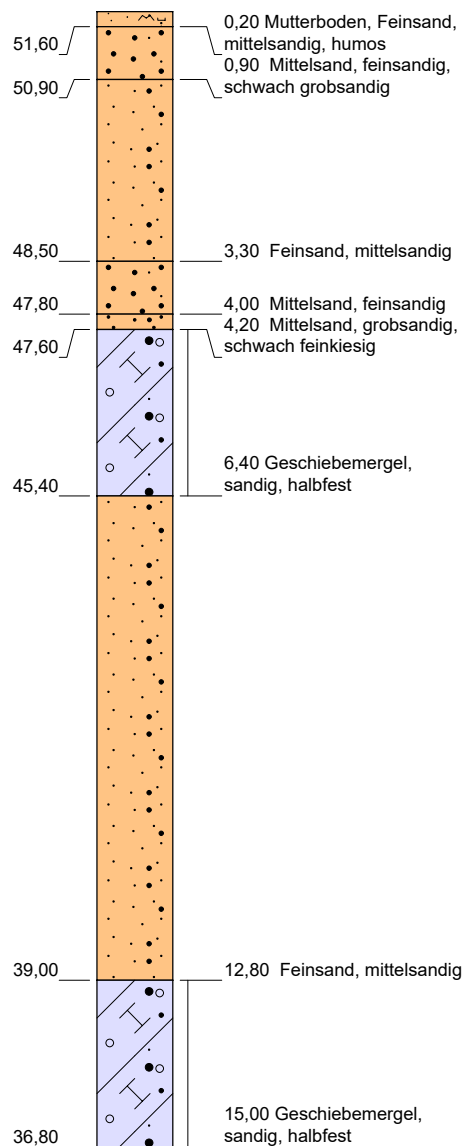
## Anlage 3

### Ergebnisse der Baugrundaufschlüsse

ERGEBNISSE DER BAUGRUNDAUFSCHLÜSSE

**S16**

51,80 m ü.NHN



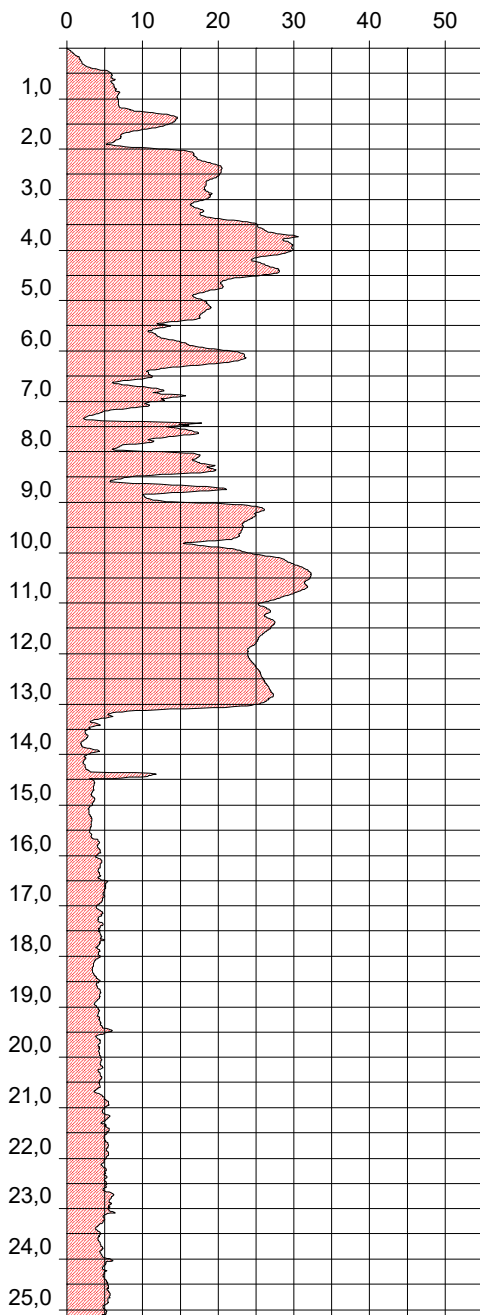
Höhenmaßstab 1:100

ERGEBNISSE DER BAUGRUNDAUFSCHLÜSSE

**DS16-1**

51,80 m ü.NHN

CPT-E

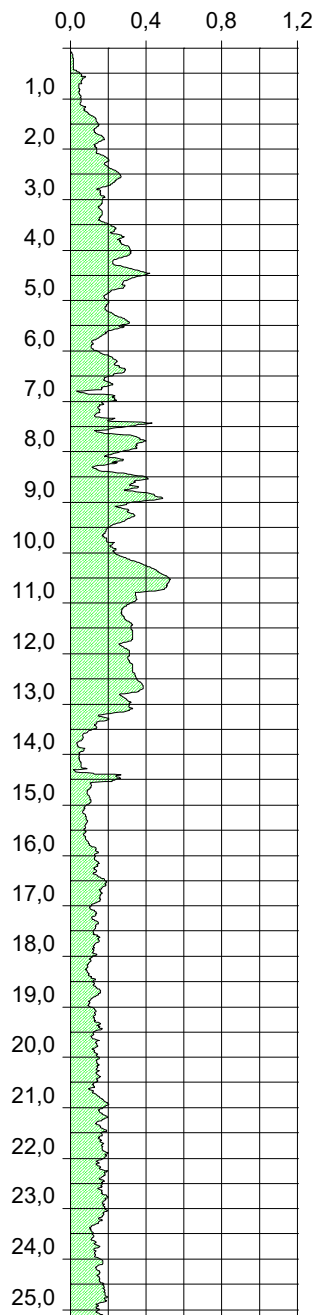


Spitzenwiderstand  $q_c$  [MN/m<sup>2</sup>]

**DS16-1**

51,80 m ü.NHN

CPT-E

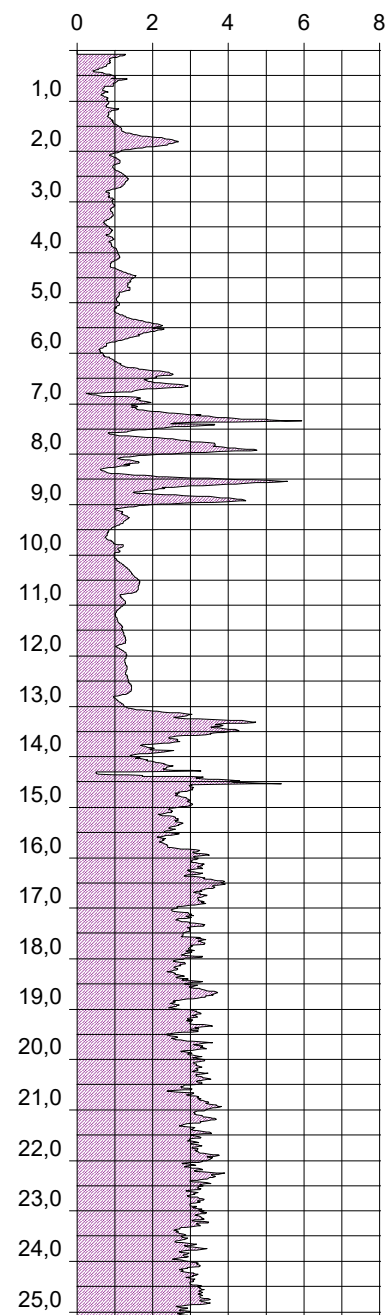


Mantelreibung  $f_s$  [MN/m<sup>2</sup>]

**DS16-1**

51,80 m ü.NHN

CPT-E



Reibungsverhältnis  $r_f$  [%]

Höhenmaßstab 1:150

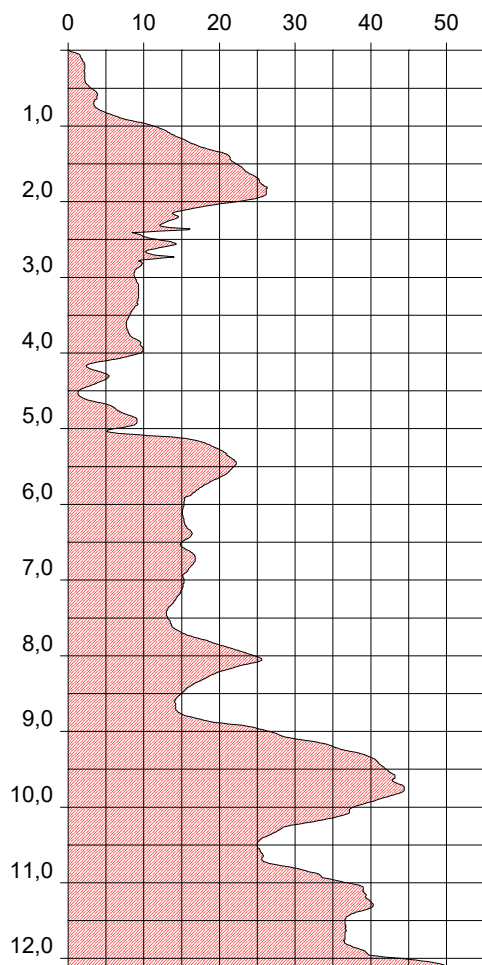


ERGEBNISSE DER BAUGRUNDAUFSCHLÜSSE

**DS16-2**

51,80 m ü.NHN

CPT-E

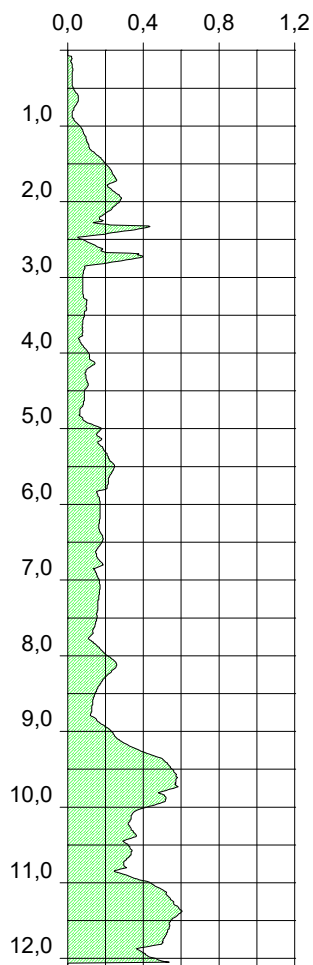


Spitzenwiderstand  $q_c$  [MN/m<sup>2</sup>]

**DS16-2**

51,80 m ü.NHN

CPT-E

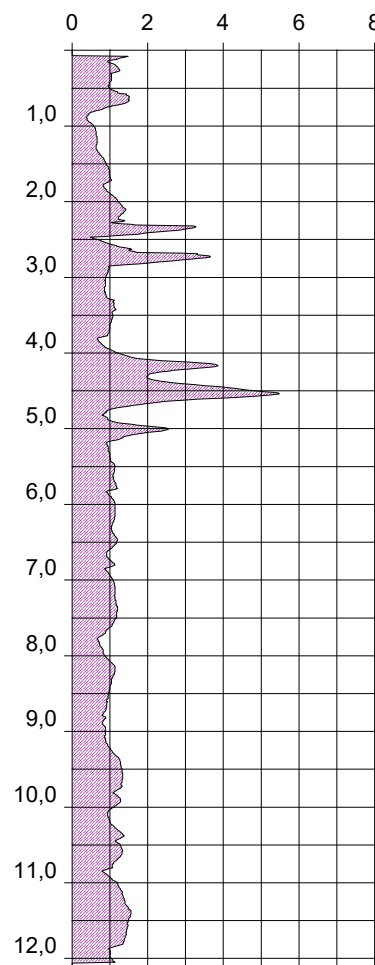


Mantelreibung  $f_s$  [MN/m<sup>2</sup>]

**DS16-2**

51,80 m ü.NHN

CPT-E



Reibungsverhältnis  $r_f$  [%]

Abbruch wegen Stillstand

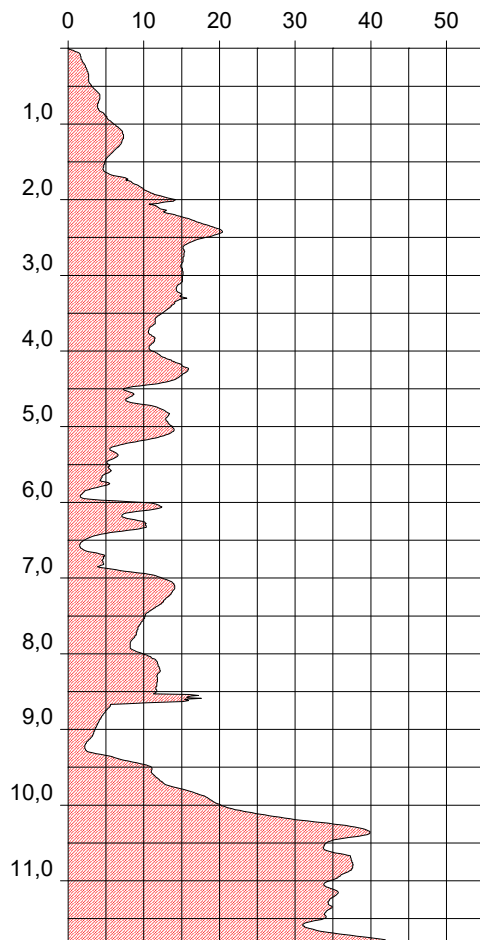
Höhenmaßstab 1:100

ERGEBNISSE DER BAUGRUNDAUFSCHLÜSSE

**DS16-3**

51,80 m ü.NHN

CPT-E

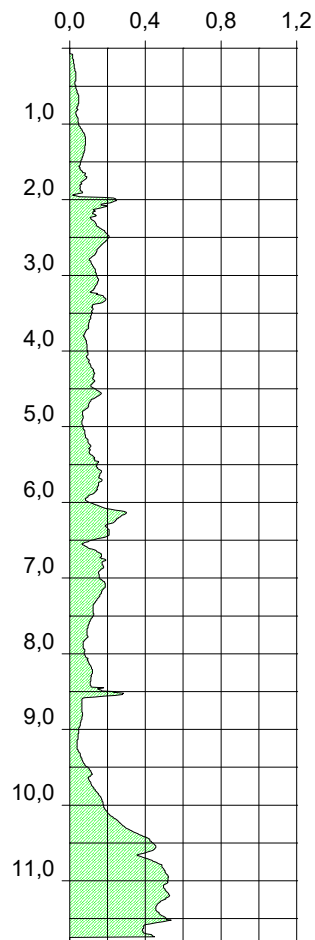


Spitzenwiderstand  $q_c$  [MN/m<sup>2</sup>]

**DS16-3**

51,80 m ü.NHN

CPT-E



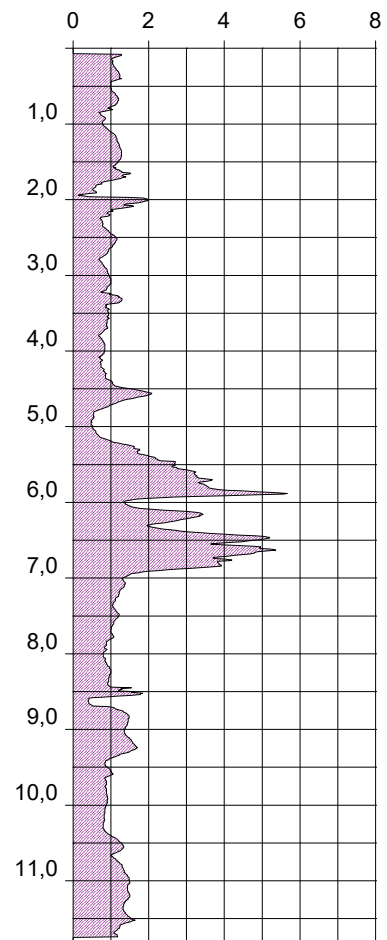
Mantelreibung  $f_s$  [MN/m<sup>2</sup>]

Abbruch wegen Stillstand

**DS16-3**

51,80 m ü.NHN

CPT-E



Reibungsverhältnis  $r_f$  [%]

Höhenmaßstab 1:100

## Anlage 4

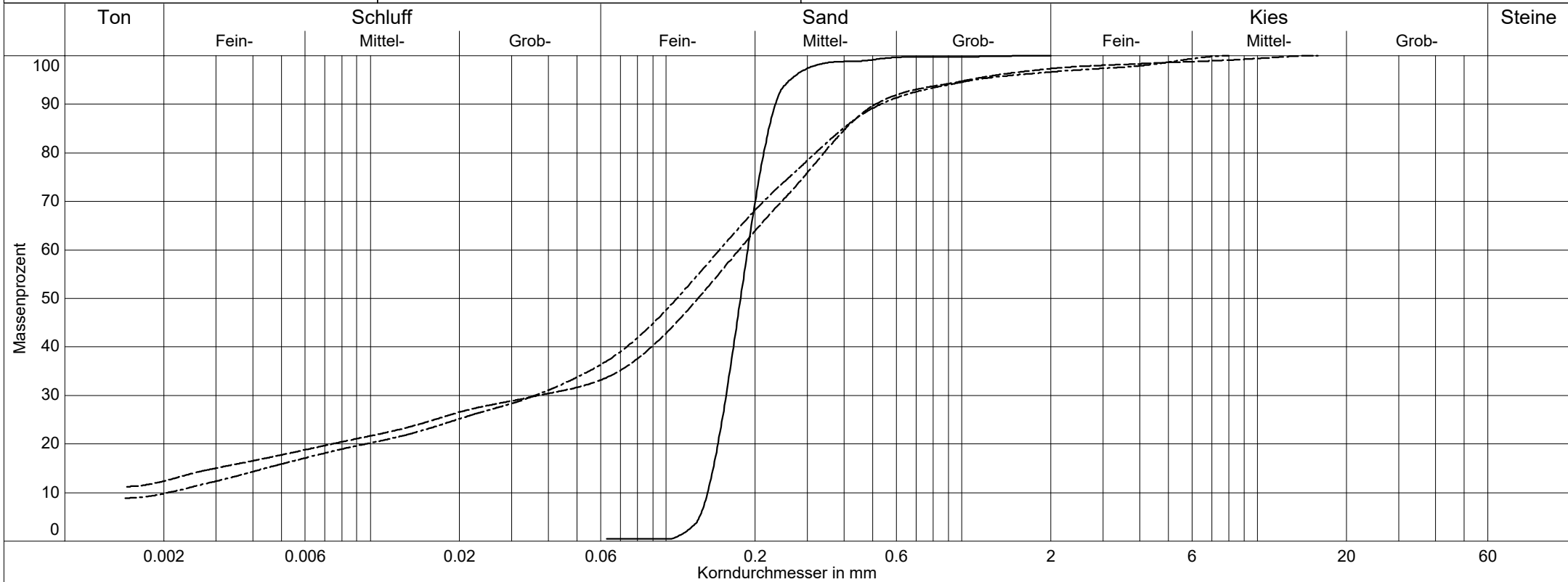
### Kornverteilungen

FH Potsdam
FB Bauingenieurwesen
FG Grundbau und Bodenmechanik
Grundbaulabor

# Kornverteilung

DIN EN ISO 17892-4

Projekt:	WP Müncheberg - Mittelheide / EnBW 16
Projektnr.:	L 62/23
Anlage:	4
Datum:	27.10.2023



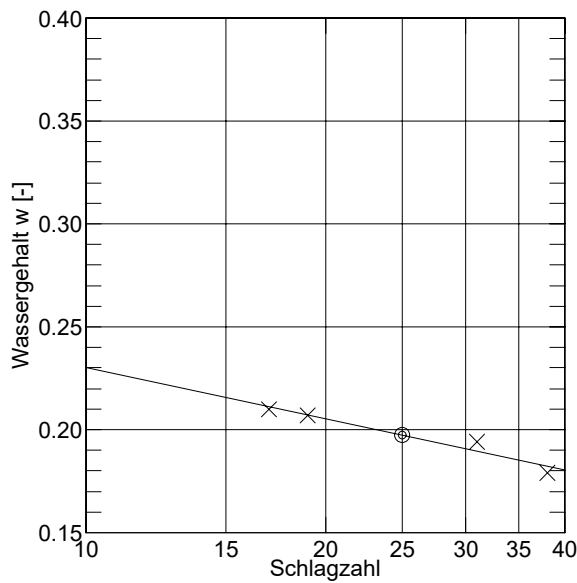
Labornummer	———— s16-3,3	----- s16-6,4	- · - · - s16-14,0		
Entnahmestelle	S16	S14	S16		
Entnahmetiefe	0,9-3,3 m	4,2-6,4 m	12,8-14,0 m		
Ungleichförm. Cu	1.4	-	73.0		
Krümmungszahl Cc	1.0	-	4.1		
Bodengruppe	SE	TL	SÜ		
Anteil < 0.063 mm	0.5 %	33.7 %	37.1 %		
Frostempfindl.klasse	F1	F3	F3		
kf nach Beyer	2.6E-04 m/s	-	-(Cu > 30)		
kf nach USBR	-(d10 > 0.02)	4.5E-08 m/s	8.2E-08 m/s		
kf nach Kaubisch	-(0.063 <= 10%)	8.6E-08 m/s	4.4E-08 m/s		

Anlage 5

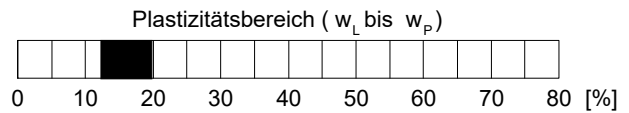
Konsistenzgrenzen

FH Potsdam	Projekt : WP Müncheberg - Mittelheide / EnBW 16
FB Bauingenieurwesen	Projektnr.: L 62/23
FG Grundbau und Bodenmechanik	Anlage : 5
Grundbaulabor	Datum : 27.10.2023
<b>Zustandsgrenzen</b> DIN EN ISO 17892-12	Labornummer: s16-6,4
	Entnahmestelle: S16
	Entnahmetiefe : 4,2-6,4 m

Behälter-Nr.	Fließgrenze				Ausrollgrenze				
	V	O	S2	IV	3	7	8		
Zahl der Schläge	38	31	17	19					
Feuchte Probe + Behälter	$m_f + m_B$ [g]	58.07	58.07	62.94	61.98	15.75	14.68	15.53	
Trockene Probe + Behälter	$m_t + m_B$ [g]	54.72	54.43	58.56	57.47	14.75	13.78	14.58	
Behälter	$m_B$ [g]	36.05	35.67	37.69	35.68	6.58	6.46	6.86	
Wasser	$m_f - m_t = m_w$ [g]	3.35	3.64	4.38	4.51	1.00	0.90	0.95	
Trockene Probe	$m_t$ [g]	18.67	18.76	20.87	21.79	8.17	7.32	7.72	Mittel
Wassergehalt $\frac{m_w}{m_t} = w$	[-]	0.179	0.194	0.210	0.207	0.122	0.123	0.123	



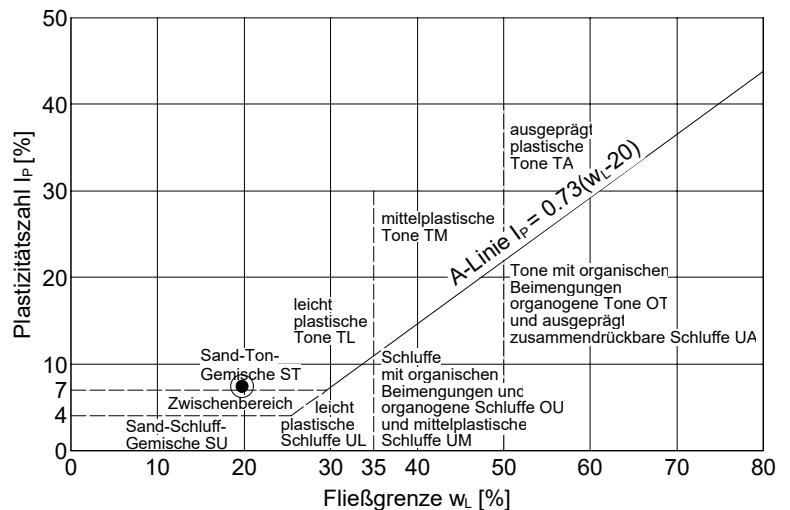
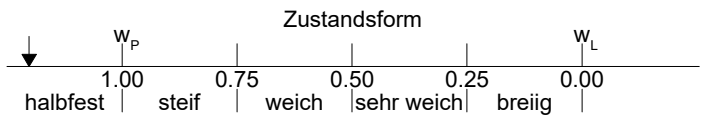
Wassergehalt  $w_N = 0.108$   
 Fließgrenze  $w_L = 0.197$   
 Ausrollgrenze  $w_P = 0.123$



Plastizitätszahl  $I_P = w_L - w_P = 0.074$

Liquiditätsindex  $I_L = \frac{w_N - w_P}{I_P} = -0.203$

Konsistenzzahl  $I_C = \frac{w_L - w_N}{I_P} = 1.203$



## Anlage 6

### Wassergehalte

FH Potsdam	Projekt : WP Müncheberg - Mittelheide / EnBW 16
FB Bauingenieurwesen	Projektnr.: L 62/23
FG Grundbau und Bodenmechanik	Anlage : 6
Grundbaulabor	Datum : 27.10.2023
<b>Wassergehalt</b> DIN ISO/TS 17892-1	Labor-Nr.: s16-14,0
	Aufschluss-Nr. S16
	Tiefe: 12,8-14,0 m

Schale Nr.  200	Schale u. Probe feucht [g]	= 238.95 g	Schale u. Probe trocken [g]	= 226.25 g
	Schale u. Probe trocken [g]	= 226.25 g	Gewicht Schale [g]	= 109.24 g
	Wassergehalt [g]	= 12.70 g	Probe trocken G [g]	= 117.01 g
			Wassergehalt [%]	= 10.9 %
Schale Nr.	Schale u. Probe feucht [g]	= g	Schale u. Probe trocken [g]	= g
	Schale u. Probe trocken [g]	= g	Gewicht Schale [g]	= g
	Wassergehalt [g]	= g	Probe trocken G [g]	= g
			Wassergehalt [%]	= %
			Mittel	= 10.9 %



## Anlage 7

### Betonaggressivität des Bodens

Dr.-Hell-Str. 6, 24107 Kiel, Germany  
www.agrolab.de

**AGROLAB Agrar&Umwelt** Dr.-Hell-Str. 6, 24107 Kiel

Ingenieurbüro für Geotechnik Kleen GmbH  
Berliner Straße 124  
14467 Potsdam

Datum 23.10.2023  
Kundennr. 20122596

## PRÜFBERICHT

Auftrag **2311623** Projekt: WP Müncheberg-Mittelheide - Auftrag Boden Betonaggressivität  
 Analysennr. **211989** Mineralisch/Anorganisches Material  
 Probeneingang **11.10.2023**  
 Probenahme **04.10.2023**  
 Probenehmer **Auftraggeber**  
 Kunden-Probenbezeichnung **MP 16**

Einheit Ergebnis Best.-Gr. Methode

### Feststoff

Trockensubstanz	u)	%	°	<b>97,2</b>	0,1	DIN EN 14346 : 2007-03(PL)
Säuregrad n. Baumann-Gully	u)*)	ml/kg		<b>87</b>	0,1	DIN 4030 (mod.)(PL)
Sulfat aus salzsauren Auszug	u)*)	mg/kg	°	<b>682</b>	100	DIN 4030 (mod.)(PL)
Sulfat aus salzsauren Auszug	u)*)	mmol/kg	°	<b>7</b>	1	DIN 4030 (mod.)(PL)
Sulfid leicht freisetzbar	u)*)	mg/kg		<b>&lt;4,0</b>	4	DIN 38405-27 : 1992-07 (mod.)(PL)
Chlorid (Cl)	u)*)	mg/kg		<b>&lt;10</b>	10	DIN 4030-2 : 2008-06(PL)
Sulfid, gesamt	u)*)	mg/kg		<b>0,78</b>	0,1	DIN 4030-2 : 2008-06 in Verbindung mit DIN EN 1744-1 : 2013-03(PL)

*Erläuterung: Das Zeichen "<" oder n.b. in der Spalte Ergebnis bedeutet, der betreffende Parameter ist bei nebenstehender Bestimmungsgrenze nicht quantifizierbar.*

*Die parameterspezifischen analytischen Messunsicherheiten sowie Informationen zum Berechnungsverfahren sind auf Anfrage verfügbar, sofern die berichteten Ergebnisse oberhalb der parameterspezifischen Bestimmungsgrenze liegen. Die Mindestleistungskriterien der angewandten Verfahren beruhen bezüglich der Messunsicherheit in der Regel auf der Richtlinie 2009/90/EG der Europäischen Kommission.*

*Die Analysenwerte der Feststoffparameter beziehen sich auf die Trockensubstanz, bei den mit ° gekennzeichneten Parametern auf die Originalsubstanz.*

*u) externe Dienstleistung eines AGROLAB GROUP Labors*

### Untersuchung durch

(PL) AWW-Dr. Busse GmbH, Plauen (AGROLAB GROUP), Jölsnitzer Str. 113, 08525 Plauen

#### Methoden

DIN 38405-27 : 1992-07 (mod.); DIN 4030 (mod.); DIN 4030-2 : 2008-06; DIN 4030-2 : 2008-06 in Verbindung mit DIN EN 1744-1 : 2013-03

(PL) AWW-Dr. Busse GmbH, Plauen (AGROLAB GROUP), Jölsnitzer Str. 113, 08525 Plauen, für die zitierte Methode akkreditiert nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018, Akkreditierungsverfahren: D-PL-14087-01-00 DAkkS

#### Methoden

DIN EN 14346 : 2007-03

Hinweis zum Probenahmedatum: Das Probenahmedatum ist eine Kundeninformation.

Die in diesem Dokument berichteten Verfahren sind gemäß DIN EN ISO/IEC 17025:2018 akkreditiert. Ausschließlich nicht akkreditierte Verfahren sind mit dem Symbol "u)" gekennzeichnet.

Datum 23.10.2023  
Kundennr. 20122596

## PRÜFBERICHT

Auftrag **2311623** Projekt: WP Müncheberg-Mittelheide - Auftrag Boden Betonaggressivität  
Analysennr. **211989** Mineralisch/Anorganisches Material  
Kunden-Probenbezeichnung **MP 16**

Beginn der Prüfungen: 11.10.2023  
Ende der Prüfungen: 23.10.2023

*Die Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die geprüften Gegenstände. In Fällen, wo das Prüflabor nicht für die Probenahme verantwortlich war, gelten die berichteten Ergebnisse für die Proben wie erhalten. Das Laboratorium ist nicht für die vom Kunden bereitgestellten Informationen verantwortlich. Die ggf. im vorliegenden Prüfbericht dargestellten Kundeninformationen unterliegen nicht der Akkreditierung des Laboratoriums und können sich auf die Validität der Prüfergebnisse auswirken. Die auszugsweise Vervielfältigung des Berichts ohne unsere schriftliche Genehmigung ist nicht zulässig. Die Ergebnisse in diesem Prüfbericht werden gemäß der mit Ihnen schriftlich gemäß Auftragsbestätigung getroffenen Vereinbarung in vereinfachter Weise i.S. der DIN EN ISO/IEC 17025:2018, Abs. 7.8.1.3 berichtet.*



**AGROLAB Agrar&Umwelt Frau Larissa Gorski, Tel. 0431/22138-581**  
**Service Team Umwelt 1, Email: [umwelt1.kiel@agrolab.de](mailto:umwelt1.kiel@agrolab.de)**






Die in diesem Dokument berichteten Verfahren sind gemäß DIN EN ISO/IEC 17025:2018 akkreditiert. Ausschließlich nicht akkreditierte Verfahren sind mit dem Symbol " \* " gekennzeichnet.

## Anlage 8

### Stand sicherheitsnachweise

**Berechnungsgrundlagen:**  
 WP Müncheberg EnBW16-P  
 Norm: EC 7  
 BS: DIN 1054: BS-P  
 Grundbruchformel nach DIN 4017:2006  
 Teilsicherheitskonzept (EC 7)  
 $\gamma_{R,v} = 1.40$   
 $\gamma_G = 1.35$   
 $\gamma_Q = 1.50$   
 $\gamma_{R,h} = 1.10$

**Grenzzustand EQU:**  
 $\gamma_{G,dst} = 1.10$   
 $\gamma_{G,stab} = 0.90$   
 $\gamma_{Q,dst} = 1.50$   
 Gründungssohle = 0.24 m  
 Grundwasser = 4.00 m  
 Grenztiefe mit  $p = 20.0\%$

Boden	Tiefe [m]	$\gamma/\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi$ [°]	c [kN/m <sup>2</sup> ]	E <sub>s</sub> [MN/m <sup>2</sup> ]	$\kappa$ [-]	Bezeichnung
	4.00	18.0/11.0	32.5	0.0	80.0	1.000	Sand, md (Polster)
	5.00	21.0/12.0	30.0	60.0	40.0	1.000	Mergel, sth
	10.00	18.0/11.0	32.5	0.0	80.0	1.000	Sand, md
	13.00	19.0/11.0	35.0	0.0	150.0	1.000	Sand, d
	>13.00	21.0/12.0	30.0	60.0	40.0	1.000	Mergel, sth

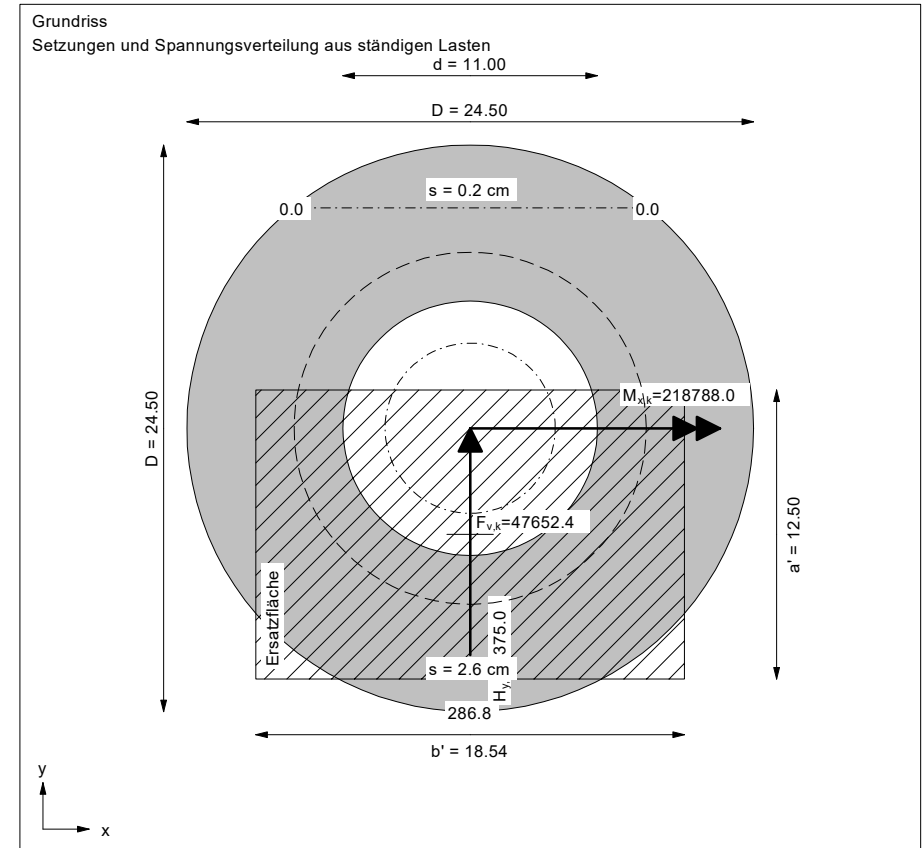
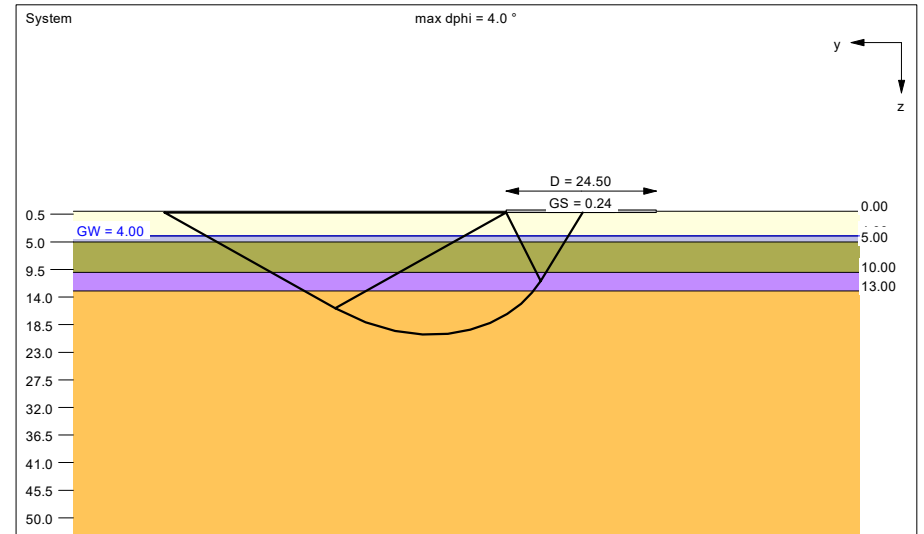
**Ergebnisse Kreisringfundament**  
 Kippnachweis nicht untersucht  
 Lasten = ständig / veränderlich  
 Vertikallast  $F_{v,k} = 47652.40 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,x,k} = 0.00 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,y,k} = 1375.00 / 0.00$  kN  
 Moment  $M_{x,k} = 218788.00 / 0.00$  kN·m  
 Moment  $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$  kN·m  
 Durchmesser  $D = 24.500$  m  
 Durchmesser (innen)  $d = 11.000$  m  
 Unter ständigen Lasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -4.591$  m  
 $a' = 12.502$  m  
 $b' = 18.540$  m  
 Unter Gesamtlasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -4.591$  m  
 $a' = 12.502$  m  
 $b' = 18.540$  m

**Grundbruch:**  
 Teilsicherheit (Grundbruch)  $\gamma_{R,v} = 1.40$   
 $\sigma_{R,k} / \sigma_{R,d} = 3112.2 / 2223.01$  kN/m<sup>2</sup>  
 $R_{n,k} = 721389.19$  kN  
 $R_{n,d} = 515277.99$  kN  
 $V_d = 1.35 \cdot 47652.40 + 1.50 \cdot 0.00$  kN  
 $V_d = 64330.74$  kN  
 $\mu$  (parallel zu y) = 0.125  
 Kohäsionsglied = 331271.26 kN (k)  
 Breitenglied = 361912.08 kN (k)  
 Tiefenglied = 28205.86 kN (k)  
 cal  $\varphi = 31.5^\circ$   
 cal  $c = 32.24$  kN/m<sup>2</sup>  
 cal  $\gamma_2 = 13.24$  kN/m<sup>3</sup>  
 cal  $\sigma_0 = 4.32$  kN/m<sup>2</sup>  
 Tragfähigkeitsbeiwerte (x):  
 $N_{c0} = 32.59$ ;  $N_{d0} = 20.56$ ;  $N_{b0} = 11.74$   
 Formbeiwerte (x):  
 $v_c = 1.365$ ;  $v_d = 1.347$ ;  $v_b = 0.798$

**Neigungsbeiwerte (x):**  
 $i_c = 0.952$ ;  $i_d = 0.954$ ;  $i_b = 0.927$   
 Tragfähigkeitsbeiwerte (y):  
 $N_{c0} = 34.01$ ;  $N_{d0} = 21.83$ ;  $N_{b0} = 12.76$   
 Formbeiwerte (y):  
 $v_c = 1.369$ ;  $v_d = 1.352$ ;  $v_b = 0.798$   
**Neigungsbeiwerte (y):**  
 $i_c = 0.952$ ;  $i_d = 0.954$ ;  $i_b = 0.927$

**Gleitwiderstand:**  
 Teilsicherheit (Gleitwiderstand)  $\gamma_{R,h} = 1.10$   
 $N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 47652.40 \cdot \tan(32.50^\circ) / 1.10$   
 $R_{t,d} = N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 27598.12$  kN  
 $T_d = 1856.25$  kN  
 $\mu = T_d / R_{t,d} = 0.067$

**Setzung infolge ständiger Lasten:**  
 Grenztiefe  $t_g = 14.78$  m u. GOK  
 Setzung (Mittel aller KPs) = 1.41 cm  
 Setzungen der KPs:  
 oben = 0.22 cm  
 unten = 2.59 cm  
 Verdrehung(x) (KP) = 1 : 873.0  
 Nachweis EQU:  
 $M_{stab} = 47652.4 \cdot 24.50 \cdot 0.5 \cdot 0.90 = 525367.7$   
 $M_{dst} = 218788.0 \cdot 1.10 = 240666.8$   
 $\mu_{EQU} = 240666.8 / 525367.7 = 0.458$



**Berechnungsgrundlagen:**  
 WP Müncheberg EnBW16-A  
 Norm: EC 7  
 BS: DIN 1054: BS-A  
 Grundbruchformel nach DIN 4017:2006  
 Teilsicherheitskonzept (EC 7)  
 $\gamma_{R,v} = 1.20$   
 $\gamma_G = 1.10$   
 $\gamma_Q = 1.10$   
 $\gamma_{R,h} = 1.10$

**Grenzzustand EQU:**  
 $\gamma_{G,dst} = 1.00$   
 $\gamma_{G,stab} = 0.95$   
 $\gamma_{Q,dst} = 1.00$   
 Gründungssohle = 0.24 m  
 Grundwasser = 4.00 m  
 Grenztiefe mit  $p = 20.0\%$

Boden	Tiefe [m]	$\gamma/\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi$ [°]	c [kN/m <sup>2</sup> ]	$E_s$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$\kappa$ [-]	Bezeichnung
	4.00	18.0/11.0	32.5	0.0	80.0	1.000	Sand, md (Polster)
	5.00	21.0/12.0	30.0	60.0	40.0	1.000	Mergel, sth
	10.00	18.0/11.0	32.5	0.0	80.0	1.000	Sand, md
	13.00	19.0/11.0	35.0	0.0	150.0	1.000	Sand, d
	>13.00	21.0/12.0	30.0	60.0	40.0	1.000	Mergel, sth

**Ergebnisse Kreisringfundament**  
 Kippnachweis nicht untersucht.  
 Lasten = ständig / veränderlich  
 Vertikallast  $F_{v,k} = 47692.40 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,x,k} = 0.00 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,y,k} = 1650.00 / 0.00$  kN  
 Moment  $M_{x,k} = 262685.00 / 0.00$  kN·m  
 Moment  $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$  kN·m  
 Durchmesser  $D = 24.500$  m  
 Durchmesser (innen)  $d = 14.000$  m  
 Unter ständigen Lasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -5.508$  m  
 $a' = 10.185$  m  
 $b' = 16.530$  m  
 Unter Gesamtlasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -5.508$  m  
 $a' = 10.185$  m  
 $b' = 16.530$  m

**Grundbruch:**  
 Teilsicherheit (Grundbruch)  $\gamma_{R,v} = 1.20$   
 $\sigma_{R,k} / \sigma_{R,d} = 2637.9 / 2198.24$  kN/m<sup>2</sup>  
 $R_{n,k} = 444103.23$  kN  
 $R_{n,d} = 370086.02$  kN  
 $V_d = 1.10 \cdot 47692.40 + 1.10 \cdot 0.00$  kN  
 $V_d = 52461.64$  kN  
 $\mu$  (parallel zu y) = 0.142  
 Kohäsionsglied = 189115.72 kN (k)  
 Breitenglied = 234212.06 kN (k)  
 Tiefenglied = 20775.45 kN (k)  
 cal  $\varphi = 31.9^\circ$   
 cal c = 25.35 kN/m<sup>2</sup>  
 cal  $\gamma_2 = 13.55$  kN/m<sup>3</sup>  
 cal  $\sigma_u = 4.32$  kN/m<sup>2</sup>  
 Tragfähigkeitsbeiwerte (x):  
 $N_{c0} = 32.89$ ;  $N_{d0} = 20.82$ ;  $N_{b0} = 11.95$   
 Formbeiwerte (x):  
 $v_c = 1.334$ ;  $v_d = 1.318$ ;  $v_b = 0.815$

**Neigungsbeiwerte (x):**  
 $i_c = 0.942$ ;  $i_d = 0.945$ ;  $i_b = 0.912$   
**Tragfähigkeitsbeiwerte (y):**  
 $N_{c0} = 35.10$ ;  $N_{d0} = 22.82$ ;  $N_{b0} = 13.56$   
**Formbeiwerte (y):**  
 $v_c = 1.340$ ;  $v_d = 1.325$ ;  $v_b = 0.815$   
**Neigungsbeiwerte (y):**  
 $i_c = 0.942$ ;  $i_d = 0.945$ ;  $i_b = 0.912$   
**Gleitwiderstand:**  
 Teilsicherheit (Gleitwiderstand)  $\gamma_{R,h} = 1.10$   
 $N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 47692.40 \cdot \tan(32.50^\circ) / 1.10$   
 $R_{t,d} = N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 27621.28$  kN  
 $T_d = 1815.00$  kN  
 $\mu = T_d / R_{t,d} = 0.066$

**Setzung infolge ständiger Lasten:**  
 Grenztiefe  $t_g = 15.60$  m u. GOK  
 Setzung (Mittel aller KPs) = 1.65 cm  
 Setzungen der KPs:  
 oben = 0.17 cm  
 unten = 3.14 cm  
 Verdrehung(x) (KP) = 1 : 697.7  
**Nachweis EQU:**  
 $M_{stab} = 47692.4 \cdot 24.50 \cdot 0.5 \cdot 0.95 = 555020.3$   
 $M_{dst} = 262685.0 \cdot 1.00 = 262685.0$   
 $\mu_{EQU} = 262685.0 / 555020.3 = 0.473$

