



GEOTECHNISCHER ENTWURFSBERICHT

1. Revision

PROJEKT:
1092-18-1

Windpark Nartum
5 x WEA GE 158 5.5, 161 mNH

Auftraggeber:
Energiekontor AG
Mary-Somerville-Str. 5
28359 Bremen

04. Mai 2021



Projektdaten:

Projekt: 1092-18-1
WP Nartum
GE 158 5.5, 161 mNH

Auftraggeber: Energiekontor AG
Frau Elisabeth Tebbe
Mary-Somerville-Str. 5
28359 Bremen

Auftragnehmer: Ingenieurgeologie Dr. Lübbe
Füchteler Str. 29
49377 Vechta

Projektbearbeiterin: Dipl.-Geol. Petra Müller

Exemplare: 1 Stück

Dieser Geotechnische Bericht umfasst 26 Seiten, 10 Tabellen und 10 Anlagen.

Vechta, 04. Mai 2021

Der Bericht darf nur vollständig und unverändert vervielfältigt werden und nur zu dem Zweck, der unserer Beauftragung mit der Erstellung des Berichtes zugrunde liegt. Die Vervielfältigung zu anderen Zwecken, eine auszugsweise oder veränderte Wiedergabe sowie eine Veröffentlichung bedürfen unserer schriftlichen Genehmigung.



INHALTSVERZEICHNIS

I. VERANLASSUNG UND BEAUFTRAGUNG.....	5
1. Unterlagen.....	5
2. Angaben zum Bauwerk.....	5
II. DURCHGEFÜHRTE UNTERSUCHUNGEN.....	7
III. BODEN- UND GRUNDWASSERVERHÄLTNISSE.....	8
1. Boden.....	8
2. Grundwasser.....	12
3. Bodenmechanische Laboranalysen und Durchlässigkeiten der Bodenschichten.....	13
4. Erdbebenzone.....	15
5. Bodenklassifizierung nach DIN 18300/DIN 18196.....	15
6. Bodenkennwerte.....	16
IV. GRÜNDUNGEN.....	17
1. Geotechnische Kategorie.....	17
2. Auswertung und Bewertung.....	18
3. Pfahlgründung.....	21
4. Zusammenfassung der Gründungsempfehlungen.....	22
V. KRANAUFSTELLFLÄCHEN UND ZUWEGUNGEN.....	22
VI. HINWEISE ZUR BAUAUSFÜHRUNG.....	24
1. Baugrube, Böschungen.....	24
3. Wasserhaltung.....	24
3. Seitliche Fundamentanfüllungen, Fundamentüberdeckung, Wiederverwendung Bodenaushub, Verdichtung.....	24
4. Betonaggressivität des Grundwassers.....	25
5. Frischbetoneigengewicht.....	26
VII. SCHLUSSWORT.....	26



TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Charakteristische Lastfälle für Fundamente.....	6
Tabelle 2:	Anlagentyp, Koordinaten und ungefähre Geländehöhen.	7
Tabelle 3:	Korrelation Lagerungsdichte, Spitzenwiderstand und Reibungswinkel.....	8
Tabelle 4:	Bodenprofil am Standort.....	9
Tabelle 5:	Ergebnisse der Wassergehaltsbestimmungen, Körnungsanalysen und kf-Werte.....	14
Tabelle 6:	Durchlässigkeitsbereiche nach DIN 18130.....	15
Tabelle 7:	Bodenklassifizierung nach DIN 18300 und DIN 18196.....	16
Tabelle 8:	Bodenkennwerte in Anlehnung an TÜRKE (1998), EAU (2012), Grundbau Taschenbuch (5. Auflage), Ergebnissen der Drucksondierungen und eigenen Erfahrungswerten.....	17
Tabelle 9:	Pfahlwiderstände WEA 3, Fertigrammpfahl 45/45 für unterschiedliche Absetztiefen.....	22
Tabelle 10:	Zusammenfassung der Gründungsempfehlungen.....	22

ANLAGENVERZEICHNIS:

ANLAGE 1:	Lageplan
ANLAGE 2.1-2.9:	Bohrprofile nach DIN 4023 und Drucksondierdiagramme nach DIN 4094
ANLAGE 3:	Drucksondierprotokolle
ANLAGE 4.1:	Bestimmung des Wassergehaltes, DIN 18121
ANLAGE 4.2	Bestimmung des Glühverlustes, DIN 18128
ANLAGE 5.1-5.2:	Körnungslinien, DIN 18123
ANLAGE 6:	Analysenergebnisse Grundwasseranalysen
ANLAGE 7.1-7.8:	Setzungsberechnungen, Grundbruch
ANLAGE 8.1-8.4:	Nachweis Drehfedersteifigkeit
ANLAGE 9:	Nachweis äußere Pfahltragfähigkeit
ANLAGE 10:	Hydraulische Berechnung



I. VERANLASSUNG UND BEAUFTRAGUNG

Im Landkreis Rotenburg-Wümme soll südlich der Ortschaft Nartum und nordwestlich der Autobahn A 1 ein Windpark mit fünf Windenergieanlagen (WEA 1 bis WEA 5) vom Typ GE 158 mit einer Nabenhöhe von 161 m errichtet werden.

Einen ersten Bericht haben wir mit Datum vom 09.11.2018 vorgelegt. Zwischenzeitlich wurde der Anlagentyp auf eine GE 158 5.5 hochgesetzt.

Unser Büro wurde mit Schreiben vom 23.04.2021 von der Energiekontor AG, Bremen, Frau Tebbe, beauftragt, unseren Geotechnischen Bericht auf der Grundlage der neuen Planung zu überarbeiten.

Da das Parklayout sich nicht geändert hat, waren keine zusätzlichen Baugrunduntersuchungen erforderlich.

1. Unterlagen

Zur Durchführung der Untersuchungen erhielten wir folgende Unterlagen:

- Übersichtslageplan, Stand 27.08.2018, Maßstab 1 : 2.500,
- Übersichtslageplan WP Nartum mit Koordinaten, Stand 18.05.2018, Maßstab 1 : 10.000,
- Max Bögl, Schalplan Fundament \varnothing 23.50 m Projekt-Nr. 21683, 29.01.2018, Maßstab 1 : 50, 1 : 25, 1 : 10, 1 : 20,
- Max Bögl, Schalplan Fundament \varnothing 25.00 m Projekt-Nr. 21683, 29.01.2018, Maßstab 1 : 50,
- Energiekontor Spezifikation Baugrunduntersuchung B110/15 Rev. 0.0.

2. Angaben zum Bauwerk

Die Gründung der Windenergieanlagen erfolgt über Kreisfundamente mit einem Fundamentdurchmesser (D) bei einer Flachgründung ohne Auftrieb (*maximaler Grundwasserstand = Fundamentunterkante*) von 23,50 m und mit Auftrieb (*maximaler Grundwasserstand = Geländeoberkante*) von 25,00 m. Die Fundamentunterkante liegt in beiden Fällen bei 1,29 m unter Gelände.

Fundament ohne Auftrieb, $D = 23,50$ m:

Nach den vorliegenden statischen Unterlagen ergeben sich rechnerisch folgende charakteristischen Kantenpressungen:

Lastfall BS-P: $\sigma_{R,k} = 274,99 \text{ kN/m}^2$

Lastfall BS-A: $\sigma_{R,k} = 324,60 \text{ kN/m}^2$.



Für geotechnische Nachweise wurden den Planunterlagen folgende charakteristischen Lastfälle (*exklusive Erdüberschüttung*) entnommen (Tabelle 1.1):

Lastfall	Vk (kN)	Hk (kN)	Mk (kNm)
BS-P	32736	1339	170672
BS-A	32714	1336	209398

alle Lasten ohne Teilsicherheitsbeiwerte ($\gamma_F = 1,0$)

Tabelle 1.1: Charakteristische Lastfälle für Fundamente ohne Auftrieb, D = 23,50 m.

Für die Erdüberschüttung (*Überschüttung I*) wird zusätzlich eine Vertikallast von 7530 kN berücksichtigt.

Fundament mit Auftrieb D = 25,00 m:

Nach den vorliegenden statischen Unterlagen ergeben sich rechnerisch folgende charakteristischen Kantenpressungen:

Lastfall BS-P: $\sigma_{R,k} = 238,63 \text{ kN/m}^2$

Lastfall BS-A: $\sigma_{R,k} = 275,35 \text{ kN/m}^2$.

Für geotechnische Nachweise wurden den Planunterlagen folgende charakteristischen Lastfälle (*exklusive Erdüberschüttung*) entnommen (Tabelle 1.2):

Fundamentdurchmesser 25,00 m:

Lastfall	Vk (kN)	Hk (kN)	Mk (kNm)
BS-P	34605	1586	175708
BS-A	34636	1372	217919

alle Lasten ohne Teilsicherheitsbeiwerte ($\gamma_F = 1,0$)

Tabelle 1.2: Charakteristische Lastfälle für Fundamente mit Auftrieb, D = 25,00 m.

Für die Erdüberschüttung (*Überschüttung I*) wird zusätzlich eine Vertikallast von 9198 kN berücksichtigt.

Für die elastische Fundamenteinspannung zwischen Fundament und Baugrund ist in beiden Fällen eine Mindestdrehfedersteifigkeit des Gesamtsystems (*Turm und Gründung*) von $k_{phi,dyn} = 173.800 \text{ MNm/rad}$ bzw. $k_{phi,stat} = 34.760 \text{ MNm/rad}$ einzuhalten.

Für die maximale Schiefstellung infolge Baugrundsetzungen (*Setzungsdifferenzen*) darf $\Delta s = 3 \text{ mm/m}$ nicht überschreiten. Bei einem Fundamentdurchmesser von D = 23,50 m entspricht dies $\Delta s \leq 7,0 \text{ cm}$ und bei D = 25,00 m ergibt sich $\Delta s \leq 7,5 \text{ cm}$.



Die UTM-Koordinaten der Anlagenmittelpunkte wurden den Planunterlagen und die ungefähre Geländehöhe der amtlichen Topographischen Karte TK 50 wie folgt entnommen (*Tabelle 2*):

Standort	Anlagentyp	Rechtswert	Hochwert	ungefähre Geländehöhe (mNN)
WEA 1	GE 158, 5.5 161 mNH	51 6951,6	58 93348,6	43,5
WEA 2	GE 158, 5.5 161 mNH	51 7382,8	58 93177,4	32,5
WEA 3	GE 158, 5.5 161 mNH	51 7470,9	58 93569,8	30,5
WEA 4	GE 158, 5.5 161 mNH	51 7852,9	58 93426,3	29,5
WEA 5	GE 158 5.5, 161 mNH	51 8272,9	58 93705,0	26,3

Tabelle 2: Anlagentyp, Koordinaten und ungefähre Geländehöhen.

Für eine Pfahlgründung gibt es noch keine Ausführungsplanung.

II. DURCHGEFÜHRTE UNTERSUCHUNGEN

Zur Erkundung der Baugrundverhältnisse wurde vom 22.10. bis 24.10.2018 an jedem Anlagenmittelpunkt eine Kleinbohrung/Rammkernsondierung (*RKS 1*) bis 10,00 m bzw. 12,00 m unter Geländeoberkante abgeteuft.

Durch die Fugro Consult GmbH, Lilienthal, wurden in einem Abstand von ca. 14,0 m vom Mittelpunkt entfernt und in etwa gleichmäßig um den Umfang verteilt vier elektrische Drucksondierungen bis 24,00 m bzw. 39,0 m unter Gelände durchgeführt (*CPT 1-N bis CPT 5-W*).

An jeder Kranstellfläche wurde eine Rammkernsondierung bis 5,0 m (*RKS 1-K bis RKS 5-K*) und eine Drucksondierung bis 10,0 m (*CPT 1 K bis CPT 5 K*) abgeteuft.

Entlang der Zuwegung wurden vier Rammkernsondierungen (*RKS Z1 bis RKS Z4*) sowie zwei schwere Rammsondierungen (*DPH 1 und DPH 2, gem. DIN EN ISO 22476-2*) bis 3,0 m unter Geländeoberkante ausgeführt.

Die Lage der Sondieransatzpunkte ist in Anlage 1.1 und 1.2 dargestellt. Die erbohrten Bodenprofile wurden entsprechend DIN 4022 ingenieurgeologisch vor Ort angesprochen und in Schichtenverzeichnissen aufgenommen. Die Ergebnisse sind in Anlage 2.1-2.9 als Bohrprofile nach DIN 4023 zusammen mit den Drucksondierdiagrammen und den Rammdiagrammen dargestellt. Die Drucksondierprotokolle liegen in Anlage 3 vor.

An insgesamt 17 repräsentativ ausgewählten Bodenproben wurden die Wassergehalte nach DIN 18121 (*Anlage 4.1*) und an drei Bodenproben der organische Anteil durch Glühverlust, DIN 18128 (*Anlage 4.2*) bestimmt. An neun Bodenproben erfolgten Körnungsanalysen (*DIN 18123*) nach nassem Abtrennen der Feinanteile oder durch kombinierte Sieb- und Schlämmanalysen (*Anlage 5.1-5.2*).



Nur an der WEA 3 und WEA 5 konnten die Bohrungen zu einem temporären Grundwasserpegeln ausgebaut, Grundwasserproben entnommen und im Labor auf den chemischen Angriffsgrad nach DIN 4030 analysiert werden (*Anlage 6*).

Die Setzungsermittlungen sind als Anlage 7.1-7.8 und die Berechnungen der Drehfedersteifigkeiten für eine Flachgründung sind in den Anlagen 8.1-8.4 beigefügt.

In Anlage 9 liegt eine Bemessung der äußeren Pfahltragfähigkeit und in Anlage 10 eine hydraulische Berechnung vor.

III. BODEN- UND GRUNDWASSERVERHÄLTNISSE

1. Boden

Das Gelände fällt deutlich von der Anhöhe der WEA 1 (*ca. 43,5 mNN*) nach Osten zur WEA 5 (*ca. 26,3 mNN*) ab. Der maximale Höhenunterschied beträgt ca. 17 m.

Nach der Kartenserie Geologie vom Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (*LBEG*), Geologische Karte 1 : 25 000, stehen im Untersuchungsgebiet weichselzeitlicher Geschiebedecksand (*schluffiger Sand*) über Geschiebelehm (*Schluff, sandig, kiesig, steinig*) aus der Drenthe-Kaltzeit an. Darunter sind drentheiszeitliche, glazifluviatil abgelagerte Sande zu erwarten.

Die Bewertung der Lagerungsdichte der anstehenden **Sande** kann gem. Normen-Handbuch Eurocode 7, 2011, Band 2, Anhang D, Tabelle D.1 wie folgt vorgenommen werden:

Lagerungsdichte	Spitzenwiderstand (q_c) (aus CPT) MN/m ²	Wirksamer Reibungswinkel (φ')
Sehr locker	0,0 bis 2,5	29 bis 32
locker	2,5 bis 5,0	32 bis 35
mitteldicht	5,0 bis 10,0	35 bis 37
dicht	10,0 bis 20,0	37 bis 40
sehr dicht	> 20,0	40 bis 42

Tabelle 3: Korrelation Lagerungsdichte, Spitzenwiderstand und Reibungswinkel.

Wegen der Plastizität ist der Spitzenwiderstand in bindigen Böden (*hier: Geschiebelehm, Ton*) nur gering. Nach Grundbau Taschenbuch (*5. Auflage, Teil 1*) kennzeichnet bereits ein Spitzendruck von $q_c = 5 \text{ MN/m}^2$ eine feste Konsistenz. Bei Werten ab $q_c > 1,5 \text{ MN/m}^2$ kann auf eine steife bis sehr steife Konsistenz geschlossen werden.

Nach den vorliegenden Bohrprofilen und den Drucksondierdiagrammen kann die **grundsätzliche Bodenschichtung** an den **geplanten Standorten und den Kranstellflächen** wie folgt zusammengefasst werden (*vgl. Tabelle 4.1-4.5*):



WEA 1:

Tiefe (bis m u. GOK min./max.)	Mächtigkeit (m)	Bodenschicht (Spitzendruck qc in MN/m ²)	nicht bindig/ bindig	Baugrund- eigen- schaften
0,40	0,40	Mutterboden, Feinsand, humos, (-)	-	nicht geeignet
1,50	1,10	Decksand: Sand, schwach schluffig, mitteldicht (qc = 10-20)	nicht bindig	geeignet bis gut
> 30,0	> 30,0	Fein- bis Mittelsand, schwach grobsandig; überwiegend gut mitteldicht bis dicht gelagert qc ≥ 10-30	nicht bindig	sehr gut

Tabelle 4.1: Bodenprofil am Anlagenstandort WEA 1.

WEA 2:

Tiefe (bis m u. GOK min./max.)	Mächtigkeit (m)	Bodenschicht (Spitzendruck qc in MN/m ²)	nicht bindig/ bindig	Baugrund- eigen- schaften
0,40	0,40	Mutterboden, Feinsand, humos, (-)	-	nicht geeignet
7,00	6,60	Geschiebelehm: Sand, schluffig, schwach tonig, z. T. steinig, steifplastisch oder weich (qc = 0,5-5) mit Sandzwischenlagen: mitteldicht (qc > 10)	bindig	gering bis mäßig geeignet
11,0/13,0	4,00-6,00	Ton, schluffig, Sandzwischenlagen, steifplastisch, mitteldicht (qc = 1-5)	bindig	mäßig geeignet
> 30,0	> 24,0	Sand und Schluff; gut mitteldicht bis dicht gelagert/halbfest qc ≥ 10-20	nicht bindig bis bindig	gut

Tabelle 4.2: Bodenprofil am Anlagenstandort WEA 2.



WEA 3:

Tiefe (bis m u. GOK min./max.)	Mächtigkeit (m)	Bodenschicht (Spitzendruck qc in MN/m ²)	nicht bindig/ bindig	Baugrund- eigen- schaften
0,40	0,40	Mutterboden, Feinsand, humos, (-)	-	nicht geeignet
8,00-11,00	7,60-10,60	Sand mit Torfzwischenlagen, Torf: qc = 5; Sand: qc = 10-15	nicht bindig/ organisch	nicht geeignet
11,00-13,50	1,50-3,50	Sand, mitteldicht bis dicht (qc = 10-30)	nicht bindig	geeignet
22,0/31,0	11,0-19,0	Schluff und Ton mit unregelmäßigen Sandzwischenlagen; steifplastisch (qc = 1-4) Sandzwischenlagen: mitteldicht (qc ≥ 10)	bindig mit nicht bindigen Sandlagen	mäßig geeignet
> 39,0	8,0	Sand; dicht gelagert qc ≥ 20-30	nicht bindig	sehr gut

Tabelle 4.3: Bodenprofil am Anlagenstandort WEA 3.

WEA 4:

Tiefe (bis m u. GOK min./max.)	Mächtigkeit (m)	Bodenschicht (Spitzendruck qc in MN/m ²)	nicht bindig/ bindig	Baugrund- eigen- schaften
0,40	0,40	Mutterboden, Feinsand, humos, (-)	-	nicht geeignet
1,80	1,40	Decksand: Mittelsand, feinsandig, schwach grobsandig; mitteldicht (qc = 10)	nicht bindig	gut
4,60/5,50	2,80-3,70	Geschiebelehm: Sand, schluffig, schwach tonig, kiesig, steifplastisch (qc = 2-3)	bindig	mäßig geeignet
> 30,0	> 24,0	Fein- bis Mittelsand, gut mitteldicht bis dicht gelagert (qc ≥ 15-30); Schluffzwischenlagen (qc = 1-5)	überwiegend nicht bindig	gut bis sehr gut

Tabelle 4.4: Bodenprofil am Anlagenstandort WEA 4.



WEA 5:

Tiefe (bis m u. GOK min./max.)	Mächtigkeit (m)	Bodenschicht (Spitzendruck qc in MN/m ²)	nicht bindig/ bindig	Baugrundeigenschaften
0,40/1,30	0,40/1,30	Mutterboden, Feinsand, schluffig, humos, bereichsweise Tiefumbruch, z. T. torfig (-)	-	nicht geeignet
3,10	2,70	Decksand: Feinsand, stark mittelsandig, schwach schluffig; mitteldicht (qc = 7,5-> 15)	nicht bindig	geeignet bis gut
22,0	19,0	Geschiebemergel: Sand, stark schluffig, tonig, z. T. steinig, steifplastisch (qc = 2-5)	bindig	geeignet
> 25,0	> 3,0	Sand, sehr dicht gelagert qc ≥ 30	nicht bindig	sehr gut

Tabelle 4.5: Bodenprofil am Anlagenstandort WEA 5.

Unterhalb des Oberbodens stehen bis zur maximalen Aufschlusstiefe der Drucksondierungen von 39,0 m unter GOK nach den geologischen Kartenunterlagen erwartungsgemäß Geschiebelehm/Geschiebemergel und darunter glazifluviatile Sande an.

Nach den vorliegenden Baugrunderkundungen wurden typische norddeutsche Sedimente aus Sand, Torf, Geschiebelehm und Geschiebemergel angetroffen. In tieferen Profilbereichen (> 10,0 m) wurden keine unkonsolidierten Weichschichten wie Auesedimente oder humose Böden wie Torf bzw. Mudde erbohrt. Der tiefere Untergrund besteht aus dicht gelagerten Sanden. Der Baugrund ist mit den vorliegenden Aufschlüssen ausreichend erkundet.

Zuwegung

Die erbohrten Bodenprofile und die schweren Rammsondierungen entlang der Zuwegung können wie folgt beschrieben und bewertet werden:

Oberboden, Mutterboden:

- **Petrographie:** Sand, schluffig, stark humos.
- **Farbe:** schwarz.
- **bis Meter unter Gelände (min./max.):** 0,45/0,70.
- **Mächtigkeit:** 0,45 m bis 0,70.
- **Lagerungsdichte:** locker.
- **Baugrundeigenschaften:** nicht geeignet.

Oberboden/Mutterboden wurde als oberste Schicht im Bereich der nicht befestigten Flächen angetroffen.



Künstliche Anfüllungen (RKS Z2):

- **Petrographie:** Sand, schluffig, Ziegelbruch, Betonbruch.
- **Farbe:** dunkelbraun.
- **bis Meter unter Gelände (min./max.):** 0,60.
- **Mächtigkeit:** 0,50 m.
- **Lagerungsdichte:** mitteldicht.
- **Baugrundeigenschaften:** geeignet.

Künstliche Anfüllungen wurden im Bereich der vorhandenen Wegebefestigungen angetroffen.

Sand/Decksand:

- **Petrographie:** Fein- bis Mittelsand, z. T. schwach grobsandig, z. T. schwach schluffig.
- **Farbe:** -.
- **bis Meter unter Gelände (min./max.):** 0,85/> maximale Aufschlusstiefe von 3,0 m.
- **Mächtigkeit:** 0,40 m bis > 3,0 m.
- **Lagerungsdichte:** gut mitteldicht.
- **Baugrundeigenschaften:** gut.

Geschiebelehm:

- **Petrographie:** Schluff, stark sandig, schwach tonig, schwach steinig.
- **Farbe:** grau, braun.
- **bis Meter unter Gelände (min./max.):** > maximale Aufschlusstiefe von 3,0 m.
- **Mächtigkeit:** > 3,0 m.
- **Konsistenz/Lagerungsdichte:** steifplastisch/mitteldicht.
- **Baugrundeigenschaften:** gut.

2. Grundwasser

Bei den Bohrarbeiten im Oktober 2018 wurde an dem höchstgelegenen Anlagenstandort WEA 1 bis zur Sondierendtiefe von 10,0 m unter GOK kein Grundwasser angetroffen. Die Sandschichten lagen hier erdfeucht vor.

An der WEA 2, WEA 3 und WEA 4 wurde Grundwasser als Stau- oder Schichtenwasser innerhalb von wasserführenden Sandschichten im Geschiebelehm oder in Torfschichten ab 3,10 m bzw. 5,70 m unter GOK festgestellt. Bei WEA 2 war das Grundwasser innerhalb der Sandschicht im Geschiebelehm leicht gespannt und stieg nach Ende der Bohrarbeiten um 0,80 m auf 4,90 m unter GOK an.

Nur an der WEA 5 wurde oberflächennah ab 1,20 m unter GOK Stauwasser in den oberen Sanden auf dem Geschiebemergel festgestellt.



Das eigentliche Grundwasser steht unterhalb des Geschiebelehms/ Geschiebemergels mit Erreichen der glazifluviatilen Sande an. Dieses Wasser ist einem zusammenhängenden, regionalen Grundwasserleiter zuzuordnen.

Die Höhenlage der Grundwasseroberfläche kann je nach Jahreszeit und vorausgegangenen Niederschlagsmengen schwanken. Langfristige Grundwasserstandsbeobachtungen liegen uns vom Untersuchungsgelände nicht vor. Aus den hydrogeologischen Kartenunterlagen des LBEG, Hannover, kann die mittlere Grundwasseroberfläche für den Bereich des Windparks mit etwa 27,5 mNN bzw. 30,0 mNN, d. h. je nach Geländehöhe mit etwa 1,0 m bzw. 16,0 m unter GOK, abgeleitet werden.

Die im Oktober 2018 gemessenen Grundwasserstände stimmen ausreichend gut mit den Angaben der hydrogeologischen Kartenunterlagen überein.

Die Gründungstiefen der geplanten WEA betragen 1,29 m unter Gelände. In den oberen bindigen Böden aus Geschiebelehm (WEA 2, WEA 4, WEA 5) und im Torf (WEA 3) kann sich Stauwasser einstellen, daher ist für diese Standorte eine auftriebssichere Fundamentvariante erforderlich. Als Bemessungswasserstand ist die Geländeoberkante anzunehmen.

An der WEA 1 stehen durchlässige Sande an. Grundwasser wurde bis 10,0 m unter GOK nicht angetroffen. Das Fundament befindet sich hier nicht im Grundwassereinflussbereich und es kann die Fundamentvariante „ohne Auftrieb“ ausgeführt werden.

3. Bodenmechanische Laboranalysen und Durchlässigkeiten der Bodenschichten

Zur Überprüfung der Bodenansprache am Bohrkern und zur Klassifizierung der anstehenden Bodenarten, wurden an insgesamt 17 repräsentativ ausgewählten Bodenproben in oder unterhalb der Gründungsebene die Wassergehalte nach DIN 18121, an drei Bodenproben Glühverluste, DIN 18128, und an zehn Bodenproben die Körnungslinien nach DIN 18123 (*Siebanalyse nach nassem Abtrennen der Feinanteile oder kombinierte Sieb- und Schlämmanalyse*) ermittelt. Die kf-Werte wurden aus den Körnungslinien nach HAZEN ermittelt oder nach der Bodenansprache abgeschätzt. Abgeschätzte Werte sind in Klammern gesetzt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 zusammengefasst.



Standort, Probenummer	Entnahmetiefe (m u. GOK)	Wassergehalt M.-%	Glühverlust M.-%	Anteil <0,063 mm (M.-%)	Bodenart	kf-Wert geschätzt (m/s)
WEA 1, 1.2	0,40-1,50	3,3	n. e.	12,7	Sand, schwach schluffig	$3,0 \times 10^{-5}$
WEA 1, 1.3	1,50-4,00	4,9	n. e.	4,1	Fein- bis Mittelsand, schwach grobsandig	$8,8 \times 10^{-5}$
WEA 2, 2.3	0,70-3,70	13,2	n. e.	36,7	Sand, schluffig, schwach tonig (Geschiebelehm)	$2,7 \times 10^{-8}$
WEA 2, 2.4	3,70-5,70	14,2	n. e.			
WEA 2, 2.5	5,70-8,00	20,9	n. e.	7,8	Feinsand, mittelsandig, schwach schluffig	$5,1 \times 10^{-5}$
WEA 2, 2.7	8,50-10,00	15,8	n. e.	n. e.	Ton	k. A.
WEA 3, 3.2	0,40-1,80	3,9	n. e.	4,0	Fein- bis Mittelsand	$8,1 \times 10^{-5}$
WEA 3, 3.4	2,80-3,10	24,7	6,37	n. e.	humoser Schluff	k. A.
WEA 3, 3.5	3,10-5,00	130,6	36,16	n. e.	Torf	k. A.
WEA 3, 3.7	7,70-9,80	188,5	74,05	n. e.	Torf	k. A.
WEA 3, 3.8	9,80-12,00	17,1	n. e.	2,1	Mittelsand, stark feinsandig, schwach grobsandig	$1,1 \times 10^{-4}$
WEA 4, 4.1	0,40-1,80	3,6	n. e.	2,2	Mittelsand, feinsandig, schwach grobsandig	$1,6 \times 10^{-4}$
WEA 4, 4.2	1,80-4,60	14,4	n. e.	28,2	Sand, schwach tonig, schwach schluffig (Geschiebelehm)	$3,8 \times 10^{-8}$
WEA 5, 5.1	0,40-3,10	19,2	n. e.	5,6	Feinsand, stark mittelsandig, schwach schluffig	$6,7 \times 10^{-5}$
WEA 5, 5.2	3,10-5,00	11,6	n. e.	52,0	Sand, stark schluffig, tonig (Geschiebemergel)	$< 1,0 \times 10^{-8}$
WEA 5, 5.3	5,00-7,00	12,0	n. e.			
WEA 5, 5.4	7,00-10,00	11,0	n. e.			

n. e. = nicht ermittelt. K. A. = keine Angabe.

Tabelle 5: Ergebnisse der Wassergehaltsbestimmungen, Glühverluste, Körnungsanalysen und kf-Werte.



Die Wassergehaltsbestimmungen bestätigen die Konsistenzansprache des Geschiebelehms/Geschiebemergels am Bohrstock mit steifplastisch bzw. weich bis steifplastisch.

Nach DIN 18130 werden in Abhängigkeit vom Durchlässigkeitsbeiwert (k_f -Wert) folgende Durchlässigkeitsbereiche unterschieden (Tabelle 6):

k_f -Wert (m/s)	Bereich
unter 10^{-8}	sehr schwach durchlässig
10^{-8} bis 10^{-6}	schwach durchlässig
über 10^{-6} bis 10^{-4}	durchlässig
über 10^{-4} bis 10^{-2}	stark durchlässig
über 10^{-2}	sehr stark durchlässig

Tabelle 6: Durchlässigkeitsbereiche nach DIN 18130.

Der Geschiebelehm/Geschiebemergel (*schluffiger, schwach toniger Sand*) ist mit $k_f \approx 1,0 \times 10^{-8}$ m/s bis $3,8 \times 10^{-8}$ m/s schwach bis sehr schwach durchlässig und wirkt wasserstauend.

Die anstehenden Sande sind je nach Schluffgehalt mit $k_f = 3,0 \times 10^{-5}$ m/s bis $1,6 \times 10^{-4}$ m/s durchlässig bis gut durchlässig.

4. Erdbebenzone

Der Landkreis Rotenburg-Wümme befindet sich nach DIN 4149 in keiner Erdbebenzone. Seismische Aktivitäten und daraus folgende Einwirkungen auf Bauwerke sind in diesem Bereich nicht zu erwarten und werden daher für die weiteren Ausführungen nicht berücksichtigt.

5. Bodenklassifizierung nach DIN 18300/DIN 18196

Für die Ausschreibung der Erdarbeiten können die angetroffenen Bodenarten wie folgt klassifiziert werden (Tabelle 7):



Homogenbereich		O1	B1	B2	B3
Bezeichnung		Mutterboden/ Oberboden	Geschiebe- lehm/ Gechiebe- mergel	Torf	Sand
Tiefenbereich m u. GOK		bis 0,40 m, örtlich Tiefumbruch bis 1,30 m	4,60 m/ 22,0 m	WEA 3: bis 11,0 m	> 30,0 m
Korngrößen- verteilung	≤ 0,06 mm (%)	5-10*	28-52	26-64	2-13
	>0,06-2,0 mm (%)	90-95*	44-68	möglich	83,5-98
	>2,0-63 mm (%)	-	1-4	-	0,4-3,8
Massenanteil an Steinen/ Blöcken	>63-200 mm (%)	-	möglich	-	-
	>200-630 mm (%)	-	möglich	-	-
Dichte* (g/cm ³)		1,6-1,7	1,9-2,2	11-13	1,8-1,9
Undrainierte Scherfestigkeit* (kN/m ²)		-	50-200	0-10	-
Wassergehalt (%)		10-15*	11-14	130-190	3,3-19,2
Lagerungsdichte (%)		15-25	30-50	-	30-50
Organischer Anteil (%)		> 5*	< 2	36-74	< 2
Bodengruppe, DIN 18196		OH	SU, SU*, ST, ST*	HN	SE
Altes System DIN 18300: 2002		1	4	2	3

*Angaben nach Bodenansprache und Erfahrungswerten geschätzt.

GOK: Geländeoberkante.

Bezeichnung der Homogenbereiche in Anlehnung an ZTVE-STB 17.

Tabelle 7: Bodenklassifizierung nach DIN 18300 und DIN 18196.

6. Bodenkennwerte

Die Bodenkennwerte wurden nach der Bodenansprache und den durchgeführten klassifizierenden Laborversuchen (*Körnungsanalysen*) zugewiesen. Danach können in Anlehnung an TÜRKE (1998), EAU (2012) und eigenen Erfahrungswerten die in Tabelle 8 aufgeführten statischen und dynamischen Bodenkennwerte bei erdstatischen Berechnungen zugrunde gelegt werden.



Bezeichnung	Boden- gruppe DIN 18196	Lagerungs- dichte/ Konsis- tenz	Wichte erdfeucht/ u. Auftrieb cal γ / cal γ' [kN/m ³]	Reibungs- winkel cal ϕ [°]	Kohäsion cal-c' kN/m ²	Steifemodul statisch/ dynamisch E _s [MN/m ²]	Poisson- zahl (-)
Oberboden, Mutterboden, humose Feinsande	OH	locker/-	16/6	keine Angabe, da nicht gründungsrelevant			
Geschiebe- lehm: Sand, schluffig, schwach tonig	SU*, ST, ST*	-/ weich	20/10	30	0-5	10-15/ 80-105	0,40
		-/ steif			5-10	20-30/ 110-150	0,35-0,40
Geschiebe- mergel: Sand, schluffig, schwach tonig bis tonig	SU*, ST, ST*	-/ steif	21/11	30	10-20	30-50/ 150-200	0,35
Zwischen- lagen: Fein- bis Mittelsand, z. T. schwach grobsandig	SE	mitteldicht/ -	19/10	35	0	40-60/ 160-210	0,32
Untere glazifluviatile Sande: Mittelsand, feinsandig	SE, SW	dicht/-	20-21/11-12	37,5-40	0	80-150/ 240-300	0,30

Tabelle 8: Bodenkennwerte in Anlehnung an TÜRKE (1998), EAU (2012), Grundbau Taschenbuch (5. Auflage), Ergebnissen der Drucksondierungen und eigenen Erfahrungswerten.

Die **dynamischen** Bodenkennwerte für die Berechnung der Drehfedersteifigkeit des Baugrundes wurden nach den Ergebnissen der **statischen** Baugrunduntersuchung in Anlehnung an das Grundbau Taschenbuch abgeschätzt.

IV. GRÜNDUNGEN

1. Geotechnische Kategorie

Bei der Baugrunduntersuchung wurden durchschnittliche Baugrund- und Grundwasserhältnisse aus typischen norddeutschen eiszeitlichen Sedimenten (Sand und Geschiebelehm) örtlich auch Torf angetroffen (*Geotechnische Kategorie GK 2 in Anlehnung an DIN 4020*). Stauwasser kann sich oberhalb der Gründungssohle einstellen.

Bei Windenergieanlagen handelt es sich um Bauwerke mit zyklischen Einwirkungen und hohen und dynamischen Lasten, hohem Sicherheitsanspruch und ungewöhnlichen Lastkombinationen (*Geotechnische Kategorie GK 3 in Anlehnung an DIN 4020*).



2. Auswertung und Bewertung

Die Gründungsebene der geplanten Windenergieanlage befindet sich gemäß den vorliegenden Unterlagen in einer Tiefe von 1,29 m unter Geländeoberkante (GOK).

WEA 1:

An diesem Standort stehen ab der planmäßigen Gründungssohle bis in größere Tiefen gut mitteldicht gelagerte und somit gut tragfähige Sandböden an. Grundwasser wurde bis zur Sondierendtiefe von 10,0 m unter GOK nicht angetroffen.

Die oberen Sande bis ca. 1,50 m weisen nach den Körnungsanalysen Feinkorngehalte von ca. 13 % auf. Falls diese schwach schluffigen Sande bauzeitlich nass oder aufgeweicht sein sollten, wäre ein Bodenaustausch gegen Füllsand (SE, SW, gem. DIN 18196) erforderlich.

Ansonsten ist der Baugrund zur Aufnahme der geforderten Bodenpressung von 324,60 kN/m² geeignet.

Die Windenergieanlage WEA 1 kann flach mit einer mindestens frostfreien Einbindung bzw. von 1,29 m gegründet werden.

Der Fundamentdurchmesser beträgt 23,50 m. Rechnerisch ergeben sich folgende Setzungen bzw. Setzungsdifferenzen mit den in der Fundamentstatik angegebenen charakteristischen Lasten und unter Berücksichtigung der Fundamentüberdeckung (Anlage 7.1-7.2):

BS-P s = 0,1 cm bis 2,2 cm, Δ s = 2,1 cm = 21 mm

BS-A s = 0,0 cm bis 2,6 cm, Δ s = 2,6 cm = 26 mm.

Die maximale Schiefstellung von Δ s = 70 mm wird eingehalten.

Für die **Grundbruchsicherheit** ergibt sich überschlägig ein Ausnutzungsgrad von maximal $\mu = 0,069 \ll \mu_{\text{erf}} < 1,00$. Die Grundbruchsicherheit ist gewährleistet.

Drehfedersteifigkeit:

Die Anforderung an die dynamische Drehfedersteifigkeit von mindestens $k_{\text{phi,dyn}} \geq 173\,800 \text{ MNm/rad}$ und $k_{\text{phi,stat}} \geq 34.760 \text{ MNm/rad}$ wird erfüllt (vgl. Anlage 8.1).

WEA 2:

Nach den vorliegenden Baugrunderkundungen stehen am Standort der WEA 2 bis 12,0 m bzw. 13,0 m unter GOK Geschiebelehm und Ton mit unregelmäßigen Sandzwischenlagen an. Diese bindigen Böden weisen sehr unterschiedliche Spitzendrücke zwischen $q_c < 0,5 \text{ MN/m}^2$ bis 5 MN/m^2 und damit sehr unterschiedliche Konsistenzen auf. Bei Spitzendrücken $< 1 \text{ MN/m}^2$ ist von einem weichen Boden ohne ausreichende Tragfähigkeit auszugehen.



Rechnerisch ergeben sich folgende Setzungen bzw. Setzungsdifferenzen mit den in der Fundamentstatik angegebenen charakteristischen Lasten und unter Berücksichtigung der Fundamentüberdeckung (*Anlage 7.3-7.4*):

BS-P $s = 0,7 \text{ cm bis } 7,7 \text{ cm}, \Delta s = 7,0 \text{ cm} = 70 \text{ mm}$

BS-A $s = 0,4 \text{ cm bis } 8,9 \text{ cm}, \Delta s = 8,5 \text{ cm} = 85 \text{ mm}.$

Die maximale Schiefstellung von $\Delta s = 75 \text{ mm}$ wird nicht eingehalten.

Für die **Grundbruchsicherheit** ergibt sich überschlägig ein Ausnutzungsgrad von maximal $\mu = 0,125 \ll \mu_{\text{erf}} < 1,00$. Die Grundbruchsicherheit ist gewährleistet.

Für eine sichere Gründung der **WEA 2** wird eine **tiefreichende Baugrundverbesserung durch Rüttelstopfverdichtung** empfohlen, die von einem Spezialtiefbauunternehmen eigenverantwortlich zu bemessen ist. Zu einem solchen System gehört in der Regel noch eine 0,50 m mächtige Schotterausgleichsschicht. Entsprechender Mehraushub ist zu berücksichtigen.

Alternativ wäre auch eine Pfahlgründung bis in die unteren Sande möglich.

Drehfedersteifigkeit:

Die Anforderung an die dynamische Drehfedersteifigkeit von mindestens $k_{\text{phi,dyn}} \geq 173\,800 \text{ MNm/rad}$ und $k_{\text{phi,stat}} \geq 34.760 \text{ MNm/rad}$ wird erfüllt (vgl. *Anlage 8.2*).

WEA 3:

An der WEA 3 steht bis ca. 11,0 m unter GOK eine Wechsellagerung aus Sand und Torf an. Torfe sind sehr kompressibel und bewirken unter Belastung hohe Setzungen. Eine Flachgründung der WEA 3 ist daher nicht möglich.

Für eine sichere Gründung ist eine **Pfahlgründung der WEA 3** erforderlich.

Der Untergrund besteht bis 24,0 m bzw. 31,0 m aus bindigem Boden (*Schluff*) mit Sandzwischenlagen, der für eine Pfahlgründung nur mäßig tragfähig ist. Aufgrund der inhomogenen Baugrundverhältnisse und der stark unterschiedlichen Tiefenlage der dicht gelagerten und sicher tragfähigen Sande, werden Ortbetonrammpfähle mit ausgerammtem Fuß (*Typ „Franki-Pfahl“*) und ggf. mit Kiesvorverdichtung zur Baugrundverbesserung im Pfahlfußbereich empfohlen.

WEA 4:

In der planmäßigen Gründungstiefe stehen mitteldicht gelagerte Sande an. Ab ca. 2,0 m unter GOK folgt bis ca. 5,0 m unter GOK steifplastischer, mäßig tragfähiger Geschiebelehm. Bis zur Sondierendtiefe von 30,0 m wird der Baugrund darunter aus mitteldicht gelagerten, gut tragfähigen Sanden mit Schluffzwischenlagen gebildet.



Ohne Baugrundverbesserung ergeben sich rechnerisch folgende Setzungen bzw. Setzungsdifferenzen mit den in der Fundamentstatik angegebenen charakteristischen Lasten und unter Berücksichtigung der Fundamentüberdeckung (*Anlage 7.5-7.6*):

$$\text{BS-P} \quad s = 0,5 \text{ cm bis } 6,3 \text{ cm}, \Delta s = 5,8 \text{ cm} = 58 \text{ mm}$$

$$\text{BS-A} \quad s = 0,4 \text{ cm bis } 7,2 \text{ cm}, \Delta s = 6,8 \text{ cm} = 68 \text{ mm}.$$

Die maximale Schiefstellung von $\Delta s = 75 \text{ mm}$ wird noch eingehalten. Die Setzungsbeträge liegen jedoch im oberen zulässigen Grenzbereich. Wegen des hohen Anspruchs an die Gründungssicherheit wird für eine Flachgründung der WEA 4 eine **in-situ-Baugrundverbesserung durch Rüttelstopfverdichtung** empfohlen, die von einem Spezialtiefbauunternehmen eigenverantwortlich zu bemessen ist. Zu einem solchen System gehört in der Regel noch eine Schotterausgleichsschicht. Wegen der in der Aushubsohle anstehenden Mittelsande ist dafür eine Mächtigkeit von 0,30 m ausreichend.

Für die **Grundbruchsicherheit** ergibt sich überschlägig ein Ausnutzungsgrad von maximal $\mu = 0,181 \ll \mu_{\text{erf}} < 1,00$. Die Grundbruchsicherheit ist gewährleistet.

Drehfedersteifigkeit:

Die Anforderung an die dynamische Drehfedersteifigkeit von mindestens $k_{\text{phi,dyn}} \geq 173\,800 \text{ MNm/rad}$ und $k_{\text{phi,stat}} \geq 34.760 \text{ MNm/rad}$ wird erfüllt (vgl. *Anlage 8.3*).

WEA 5:

In der Gründungssohle stehen oberflächennah bis ca. 3,10 m Tiefe stark mittelsandige Feinsande in überwiegend mitteldichter (*CPT 5-N, 5-S und 5-W*), lokal auch lockerer Lagerung (*CPT 5-O*) an. Um die ungleichmäßige Lagerung auszugleichen, ist unter dem Fundament unter Berücksichtigung eines seitlichen Überstandes von 45° eine 0,50 m mächtige Schotterausgleichsschicht (*Mineralgemisch 0/32 oder vergleichbar*), die lagenweise ($d = 0,25 \text{ m}$) gut und gleichmäßig auf mindestens 100 % der einfachen Proctordichte eingebaut wird, vorzusehen. Entsprechender Mehraushub ist einzukalkulieren.

Falls in der Aushubsohle noch bindige oder humose Böden angetroffen werden, so sind diese gegen Füllsand (*SE, SW, gem. DIN 18196*) oder Schotter auszutauschen.

Ab ca. 3,10 m bis 22,0 m unter GOK steht Geschiebemergel an. Dieser bindige Boden weist durchgehend eine gute steifplastische Konsistenz auf. Aufgrund seiner Genese ist er vorbelastet und als Baugrund bei mindestens steifplastischer Konsistenz gut geeignet.

Darunter folgen ab 22,0 m unter GOK gut mitteldicht bis dicht gelagerte und damit gut tragfähige Sande.



Die Windenergieanlage WEA 5 kann unter Berücksichtigung der Schotterausgleichsschicht grundsätzlich flach mit einer mindestens frostfreien Einbindung von 1,29 m gegründet werden.

Die Verdichtungsanforderungen sind in Kapitel VI.3 aufgeführt.

Der Baugrund ist zur Aufnahme der geforderten Bodenpressung von 275,35 kN/m² geeignet.

Rechnerisch ergeben sich folgende Setzungen bzw. Setzungsdifferenzen mit den in der Fundamentstatik angegebenen charakteristischen Lasten und unter Berücksichtigung der Fundamentüberdeckung (*Anlage 7.6-7.7*):

BS-P $s = 0,6 \text{ cm bis } 5,2 \text{ cm}, \Delta s = 3,6 \text{ cm} = 36 \text{ mm}$

BS-A $s = 0,4 \text{ cm bis } 5,9 \text{ cm}, \Delta s = 5,5 \text{ cm} = 55 \text{ mm}.$

Die maximale Schiefstellung von $\Delta s = 75 \text{ mm}$ wird eingehalten.

Für die Grundbruchsicherheit ergibt sich überschlägig ein Ausnutzungsgrad von maximal $\mu = 0,243 \ll \mu_{\text{erf}} < 1,00$. Die Grundbruchsicherheit ist gewährleistet.

Drehfedersteifigkeit:

Die Anforderung an die dynamische Drehfedersteifigkeit von mindestens $k_{\text{phi,dyn}} \geq 173\,800 \text{ MNm/rad}$ und $k_{\text{phi,stat}} \geq 34.760 \text{ MNm/rad}$ wird erfüllt (vgl. *Anlage 8.4*).

3. Pfahlgründung

Für eine Pfahlgründung gibt es noch keine Ausführungsplanung. Daher wurden nur überschlägige Pfahlabsetztiefen zur ersten Orientierung ermittelt. Sobald konkrete Bemessungsdaten vorliegen, können die nachfolgenden Angaben überarbeitet werden.

An der WEA 3 stehen bis ca. 11,0 m unter GOK Sande mit Torfzwischenlagen an. Torfe, insbesondere solche mit Holzlagen, können federn und dann schwer rammpbar sein. In solchen Fällen müssten die Pfähle über vorgebohrte Löcher eingebracht werden.

Der tiefere Untergrund besteht bis 22,00 m oder 25,00 m (*CPT 3-W und CPT 3-O*) bzw. 31,00 m (*CPT 3-N und CPT 3-S*) aus mäßig tragfähigen Schluffen. Darunter stehen dicht gelagerte Sande an.

Für Fertigbetonrammpfähle oder Ortbetonrammpfähle mit geradem Schaft werden voraussichtlich Pfahllängen von ca. 25,0 m (*CPT 3-W*) bzw. 32,0 m (*CPT 3-S und CPT 3-N*) erforderlich. Zur besseren Kalkulation sollten für diese Pfahlssysteme im Vorfeld Probepfähle ausgeführt werden. Alternativ werden hier „Franki-Pfähle“ mit ausgerammtem Pfahlfuß empfohlen.

Für Fertigteilrammpfähle mit quadratischem Querschnitt und einer Seitenlänge von 45 cm können für einen Vorentwurf nach Erfahrungswerten und der



unteren Tabellenwerte gemäß EA-Pfähle folgende Pfahlwiderstände angenommen werden (Tabelle 9):

Pfahlabsatztiefe (m u. GOK)	charakteristischer Pfahlwiderstand $R_{E,k}$ (kN)	Bemessungspfahlwiderstand R_d (kN)
32,00	1782	2540
33,00	1881	2681
34,00	1981	2823

Tabelle 9: Pfahlwiderstände WEA 3, Fertigrammpfahl 45/45 für unterschiedliche Absatztiefen.

Die rechnerische Bemessung der Pfahlwiderstände liegt in Anlage 9 vor.

4. Zusammenfassung der Gründungsempfehlungen

Die Gründungsempfehlungen können wie folgt zusammengefasst werden (Tabelle 10):

Standort	Anlagentyp	Gründungstiefe (m u. GOK)	Aushubtiefe (m u. GOK)	Gründungsempfehlung
WEA 1	GE 158 5.5, 161 mNH	1,29	1,39	FoA* + 0,10 m SKS
WEA 2		1,29	1,89	FmA* + 0,10 m SKS* + 0,50 m STS* + RSV* bis 6,00 m bzw. 10,00 m
WEA 3		1,29	1,39	Pfahlgründung + 0,10 SKS*
WEA 4		1,29	1,59	FmA* + 0,10 m SKS* + 0,30 m STS* + RSV* bis 6,0 m
WEA 5		1,29	1,89	FmA* + 0,10 m SKS* + 0,50 m STS*

*FmA = Flachgründung mit Auftrieb, FoA = Flachgründung ohne Auftrieb, SKS = Sauberkeitsschicht BA = Bodenaustausch, STS = Schottertrag- bzw. -ausgleichsschicht, RSV = Rüttelstopfverdichtung.

Tabelle 10: Zusammenfassung der Gründungsempfehlungen.

V. KRANSTELLFLÄCHEN UND ZUWEGUNG

Der Herstellung der Kranstellfläche kommt auch aus sicherheitstechnischen Gründen besondere Bedeutung zu. Die zum Einsatz kommenden Kräne können eine Stützlast von ≥ 200 t aufweisen, die über Lastverteilerplatten auf die Kranstellfläche übertragen werden. Es resultieren Flächenpressungen von bis zu 260 kN/m^2 .



Die Kranaufstellflächen befinden sich auf bisher unbefestigter Fläche. Der 0,40 m mächtige Oberboden ist unter Berücksichtigung eines seitlichen Überstandes von 45° abzuschleiben. An der WEA 5 wurden Hinweise auf ein Tiefumbruch der Fläche festgestellt. Beim flächenhaften Abschieben können ggf. Aushubtiefen bis 1,30 m erforderlich werden.

Darunter stehen tragfähige, mitteldicht gelagerte Sande oder steifplastische Geschiebelehme an, auf denen der Aufbau der Kranstellfläche grundsätzlich erfolgen kann.

Geschiebelehm oder bindige Sande sind allerdings wasser- und störungsempfindlich. Sie dürfen nicht über längere Zeit offen liegen oder bei nasser Witterung direkt befahren werden.

Zum Schutz ist ein Planum im bindigen Boden durch den raschen Einbau eines Geogitters mit Vlies (*knotensteifes, gestrecktes Geogitter mit Vlies oder gelegtes Geogitter mit Vlies, z. B. Tensar TX170-Gs, Geogrid, BECO Begrid TGV, Naue Combigrid 40/40 Q1 GRK 4C oder vergleichbar*) vor Witterungseinflüssen zu schützen.

Für eine erste Bemessung ist für die Befestigung der Kranstellfläche eine mindestens 0,40 m mächtige Schottertragschicht ($E_{v2} \geq 120 \text{ MN/m}^2$, $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,30$) vorzusehen.

Zusätzlich sind unter den Aufstandsflächen des Krans ausreichend dimensionierte Lastverteilungsmatten erforderlich. Dies ist insbesondere für den Standort der WEA 3 mit Torflagen im Sand zu beachten. Für einen abschließenden Gründungsvorschlag sind nach Vorliegen der Krانات Grundbruchberechnungen erforderlich.

Falls der anstehende Boden bauzeitlich aufgeweicht sein sollte, ist ein Bodenaustausch erforderlich.

Im Bereich der **neu anzulegenden Zuwegungen** über unbefestigtes Gelände wurde eine Oberbodenmächtigkeit von 0,45 m bis 0,70 m festgestellt. Darunter stehen tragfähige Sande oder tragfähiger Geschiebelehm an.

Auch für die Befestigung der Zuwegungen wird ein Austausch der oberen, humosen Böden unter Berücksichtigung eines seitlichen Überstandes von 45° erforderlich.

Der Aufbau erfolgt analog zu der Kranstellfläche. Als unterste Lage ist ein kombiniertes Geogitter (s.o.) zu verlegen. Je nach erforderlichem Höhenangleich erfolgt der Einbau in den unteren Lagen mit Sand und als obere Lage mit 0,30 m mächtiger Schottertragschicht.

Die einzelnen Einbaulagen sind bis auf mitteldichte Lagerung zu verdichten. Die Verdichtung kann durch Lastplattendruckversuche überprüft werden (*Verdichtungsanforderungen vgl. Kap. VI.3*).



VI. HINWEISE ZUR BAUAUSFÜHRUNG

1. Baugrube, Böschungen

Für den Aushub der Baugrube gilt DIN 4124. In den oberflächennah anstehenden Sanden können die Böschungen mit 45° geneigt hergestellt werden.

Die planmäßige Gründungstiefe des Fundamentes beträgt 1,29 m unter GOK. Für den Bodenaustausch bzw. das Gründungspolster müssen an der WEA 2 und der WEA 5 die Baugruben bis ca. 1,89 m unter GOK hergestellt werden.

2. Wasserhaltung

Bei den Bohrarbeiten wurde nur an der WEA 5 oberflächennah Andrang von Wasser in den oberen Sanden ab 1,20 m unter GOK festgestellt. Hier ist eine Wasserhaltung über Tiefendränage erforderlich. Voraussichtlich bluten die Sande rasch aus.

Die zu fördernde Wassermenge wurde mit $Q = 2,4 \text{ m}^3/\text{h}$ und $58 \text{ m}^3/\text{Tag}$ ermittelt.

Die Reichweite Grundwasserabsenkung kann mit $R = 29 \text{ m}$ benannt werden.

Zusätzlich kann sich auch an den Standorten der WEA 2 und WEA 4 Stauwasser einstellen. Zum Ableiten von Stau- oder Schichtenwasser kann je nach bauzeitlichen Niederschlagsmengen eine offene Wasserhaltung mit Stichdräns und Pumpensumpf, bei stärkerem Wasserandrang auch mit Ringdränage, erforderlich werden.

Das eigentliche Grundwasser muss an der WEA 2 und WEA 4 nicht abgesenkt werden.

An der WEA 3 wurde Grundwasser ab 3,10 m unter GOK gemessen. Bei einer Aushubtiefe von 1,39 m ist das Grundwasser für die Baumaßnahme nicht relevant.

3. Seitliche Fundamentanfüllung, Fundamentüberdeckung, Wiederverwendung Bodenaushub, Verdichtung

Für den Bodenaustausch/das Lastverteilungspolster im Fundamentbereich ist ein Mineralgemisch, Schotter Körnung 0/45 oder 0/32, vorzusehen.

Um eine ausreichende Dichte zu erreichen ist der Bodenaustausch lagenweise ($d = \text{max. } 0,25 \text{ m}$) mit einem mindestens mittelschweren Flächenrüttler und mindestens drei bis fünf Übergängen je Lage gleichmäßig verdichtet auf 100 % Proctordichte einzubauen.

Beim Bodenaushub bis ca. 1,89 m unter GOK fallen überwiegend Sande oder bindiger Geschiebelehm an. Die Sande sind zum Wiedereinbau auch im Bereich der Kranstellflächen geeignet. Der Geschiebelehm ist bei günstigen Wassergehalten (*maximal erdfeucht*) verdichtungsfähig und kann zum Verfüllen des Arbeitsraumes **außerhalb** der Kranstellfläche und für die Fundamentüberschüt-



tung wieder verwendet werden. Bei und fachgerechter Verdichtung wird eine Wichte $\geq 18 \text{ kN/m}^3$ erreicht.

Durch Abdecken mit Folie oder andere geeignete Maßnahmen ist der Geschiebelehm vor eindringendem Niederschlagswasser und Aufweichen zu schützen.

Für die Verdichtungsarbeiten gelten die Anforderungen der ZTVE-StB 17. Die ausreichende Verdichtung der eingebrachten Anfüllungen (*Arbeitsraumverfüllungen*) kann z. B. durch Rammsondierungen (z. B. *DPH*, gem. *DIN EN ISO 22476-2*) nachgewiesen werden.

Für den Bodenaustausch/Schotterausgleichsschicht im Fundamentbereich sind im Lastplattendruckversuch (*DIN 18134*) $E_{v2} \geq 100 \text{ MN/m}^2$ anzustreben.

Schotterausgleichsschichten im Bereich der Kranstellfläche (*Mineralgemisch 0/45*) sind entsprechend der Spezifikation nach GE Renewable Energy mit einer Verdichtung auf mindestens 103 % der einfachen Proctordichte herzustellen. Zum Verdichtungsnachweis sind im statischen Lastplattendruckversuch (*DIN 18134*) $E_{v2} \geq 120 \text{ MN/m}^2$ bei $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,30$ zu erreichen.

Der Verdichtungserfolg ist durch den ausführenden Unternehmer im Rahmen der Erdbaukontrollprüfungen nachzuweisen und durch die Auftraggeberseite zu kontrollieren.

4. Betonaggressivität des Grundwassers

Es wurden zwei Grundwasserproben aus dem Schichtenwasser entnommen und im Labor auf ihren Betonangriffsgrad analysiert.

WEA 3:

Das Grundwasser ist aufgrund des Gehaltes an kalklösender Kohlensäure von 48 mg/l in die Expositionsklasse XA2 (= *stark angreifend*) einzustufen.

Der Eisengehalt wurde mit 6,2 mg/l ermittelt.

WEA 5:

Alle Parameter unterschreiten die Grenzwerte für XA1. Das Grundwasser ist nicht Beton angreifend.

Der Eisengehalt wurde mit 20 mg/l ermittelt.

Die vollständigen Analysenergebnisse liegen in Anlage 6 vor.



5. Frischbetoneigengewicht

Die im Gründungsbereich anstehenden Böden aus Sand und Geschiebelehm sind in der Lage das Frischbetoneigengewicht aufzunehmen.

VII. SCHLUSSWORT

Die vorliegende Baugrund- und Gründungsbeurteilung beschreibt auf der Grundlage der uns zur Verfügung gestellten Unterlagen die in unmittelbarer Umgebung der punktuellen Bodenaufschlüsse festgestellten Baugrundverhältnisse in geologischer, bodenmechanischer und hydrogeologischer Hinsicht und ist nur für diese gültig. Interpolationen zwischen den Aufschlusspunkten sind nicht statthaft. Die bautechnischen Aussagen beziehen sich auf den zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichtes bekannten Planungsstand und auf die Ergebnisse der Aufschlussbohrungen. Bei einer wesentlichen Planungsänderung, wie z. B. veränderte Höhenlage des Bauwerkes, oder von den vorstehenden Angaben abweichend festgestellte Baugrundverhältnisse, sollten die getroffenen Aussagen und Empfehlungen überprüft und ggf. an die geänderten Randbedingungen angepasst werden.

Sämtliche Aussagen, Bewertungen und Empfehlungen basieren auf dem im Gutachten beschriebenen Erkundungsrahmen und erheben keinen Anspruch auf eine vollständige repräsentative Beurteilung der Fläche.

Unser Büro ist rechtzeitig für die Baugrubenabnahmen zu benachrichtigen.

Falls sich Fragen ergeben, die im vorliegenden Gutachten nicht oder abweichend erörtert wurden, ist der Baugrundgutachter zu einer ergänzenden Stellungnahme aufzufordern.

Vechta, den 04. Mai 2021

Dipl.-Geol. Dr. Joachim Lübke

Dipl.-Geol. Petra Müller

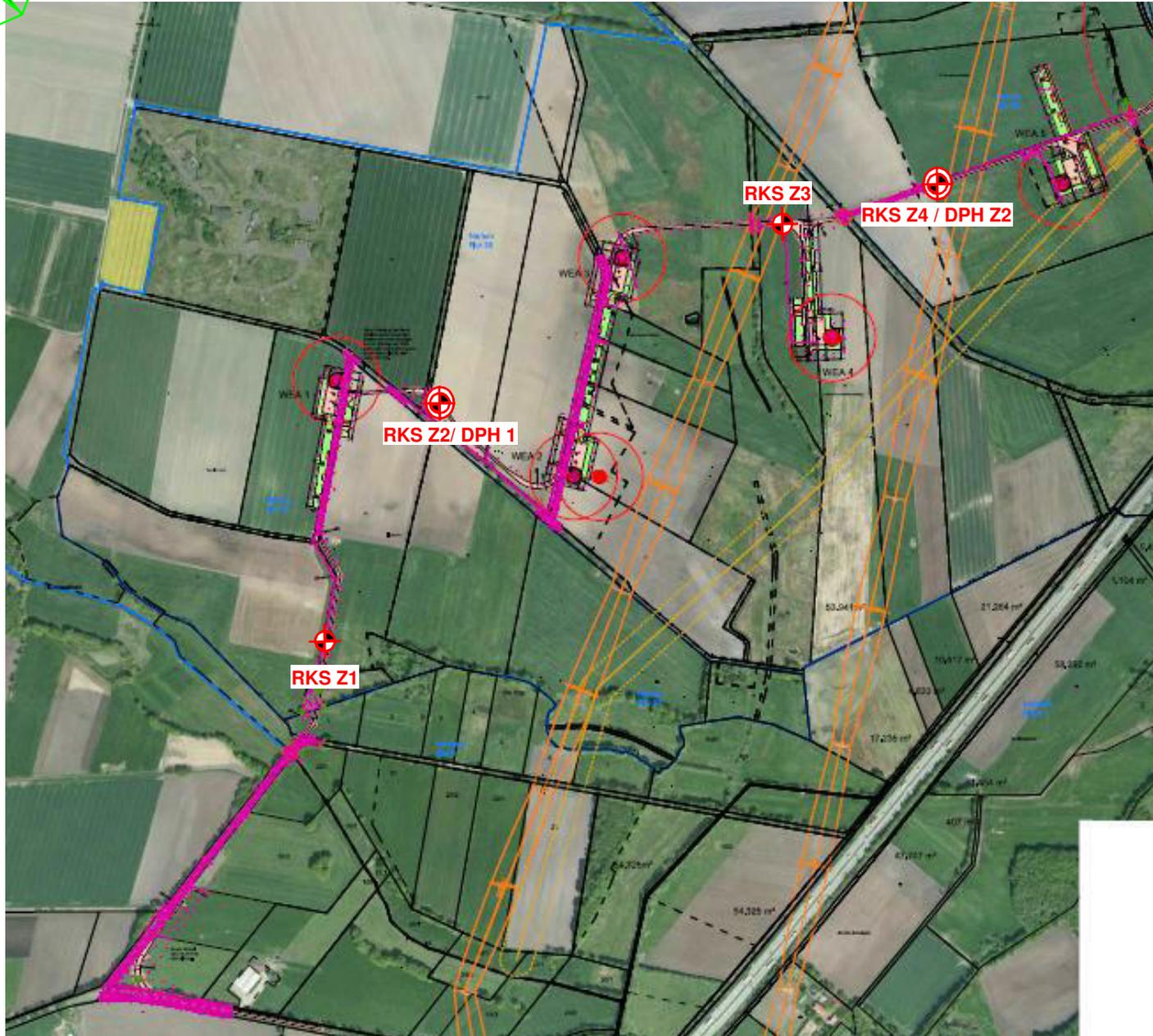
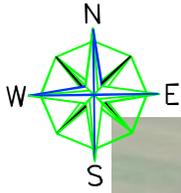
Der Bericht wird dem Auftraggeber auch im pdf-Format zur Verfügung gestellt.

Die EDV-Version ist nur in Verbindung mit einer original unterschriebenen Druckversion in Papierform gültig.



ANLAGE 1

Lageplan



LEGENDE

RKS Z1



Rammkernsondierung Zuwegung

RKS Z1 / DPH Z1



Rammkernsondierung, Schwere
Rammsondierung Zuwegung

ÜBERSICHTSPLAN:



Projekt: 1092-18-1
Windpark Nartum

Auftraggeber:
Energiekontor AG
Mary-Somerville-Straße 5
28359 Bremen

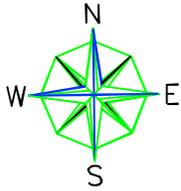
Titel: **Lageplan**

gez.: N. Willers | gepr.: Dipl.-Geol. P. Müller

Maßstab:

Datum: 29.10.2018

ANLAGE: 1.1



LEGENDE

RKS 1



Rammkernsondierung WEA

RKS 1K/CPT 1-K



Rammkernsondierung, Drucksondierung Kranstellfläche

CPT 1



Drucksondierung

ÜBERSICHTSPLAN:



Projekt: 1092-18-1
Windpark Nartum

Auftraggeber:
Energiekontor AG
Mary-Somerville-Straße 5
28359 Bremen

Titel: Lageplan, Systemskizze

gez.: N. Willers | gepr.: Dipl.-Geol. P. Müller

Maßstab:

Datum: 29.10.2018

ANLAGE: 1.2



ANLAGE 2.1-2.9

Bohrprofile nach DIN 4023 und
Drucksondierdiagramme nach DIN 4094

WEA 1

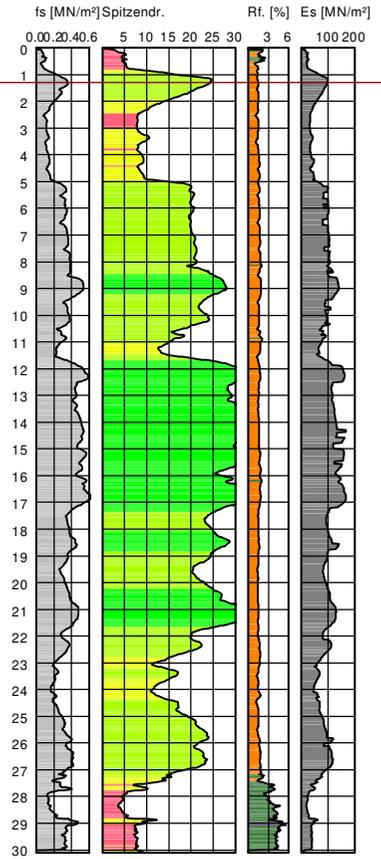
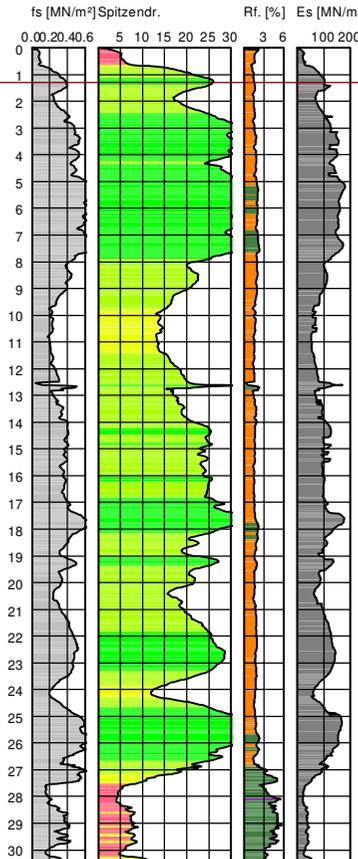
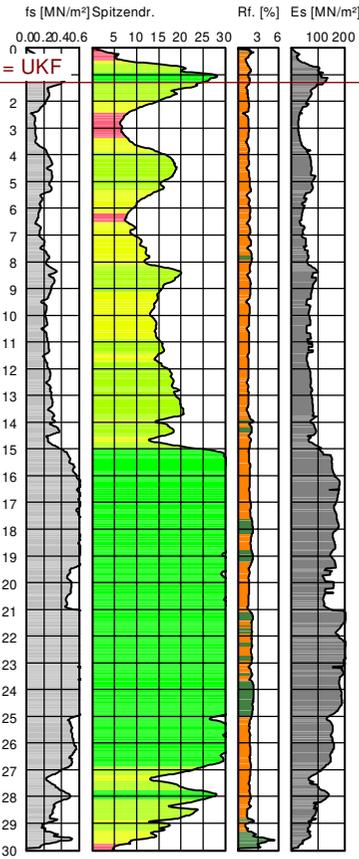
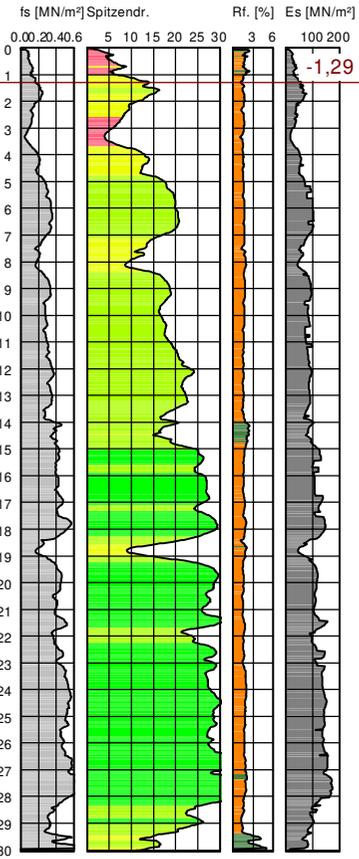
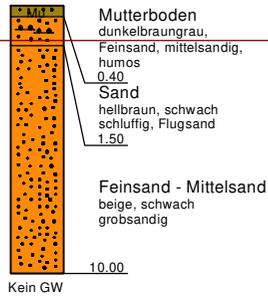
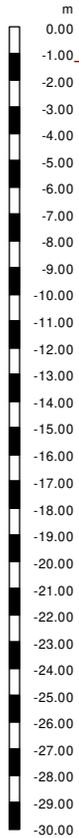
RKS 1
0,00 m

CPT 1-N
0,00 m

CPT 1-0
0,00 m

CPT 1-S
0,00 m

CPT 1-W
0,00 m



Legende Spitzendruck	
■	sehr locker
■	locker
■	mitteldicht
■	dicht
■	sehr dicht
Legende Reibungsverhältnis	
■	Kies
■	Sand
■	Schluff
■	Ton
■	Torf

LEGENDE:	
RKS:	Rammkernsondierung WEA
CPT:	Drucksondierung
GW:	Grundwasser
UKF:	Unterkante Fundament

Projekt:	1092-18-1 WP Nartum WEA 1
Auftraggeber:	Energiekontor AG Mary-Somerville-Straße 5 28359 Bremen
Bearbeiter:	Dipl.-Geol. P. Müller
Maßstab:	Höhe: 1 : 200

	
Titel: Bohrprofil nach DIN 4023 und Drucksondierdiagramme nach DIN 4094	
Anlage: 2.1	

WEA 2

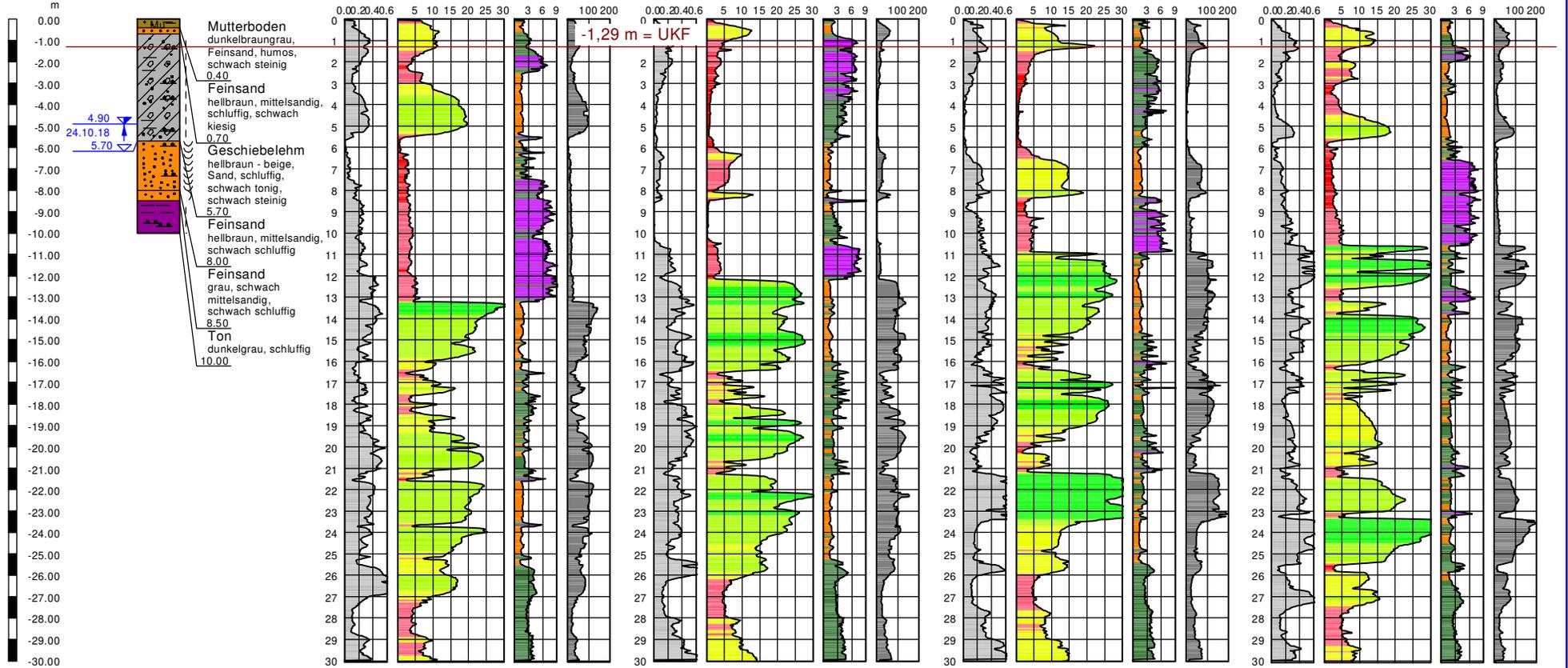
RKS 2
0,00 m

CPT 2-N
0,00 m

CPT 2-0
0,00 m

CPT 2-S
0,00 m

CPT 2-W
0,00 m



Konsistenzen

steif
weich
nass

Legende Spitzendruck

sehr locker
locker
mitteldicht
dicht
sehr dicht

Legende Reibungsverhältnis

Kies
Sand
Schluff
Ton
Torf

LEGENDE:

RKS: Rammkernsondierung WEA
CPT: Drucksondierung
UKF: Unterkannte Fundament

4.90 GW gestiegen auf m u. GOK
24.10.18 Datum
5.70 GW angebohrt bei m u. GOK

Projekt: 1092-18-1
WP Nartum
WEA 2
Auftraggeber: Energiekontor AG
Mary-Somerville-Straße 5
28359 Bremen

Bearbeiter: Dipl.-Geol. P. Müller

Maßstab: Höhe: 1 : 200

Ingenieurgeologie
Dr. Lübke

Titel: Bohrprofil nach DIN 4023 und Drucksondierdiagramme nach DIN 4094

Anlage: 2.2

WEA 3

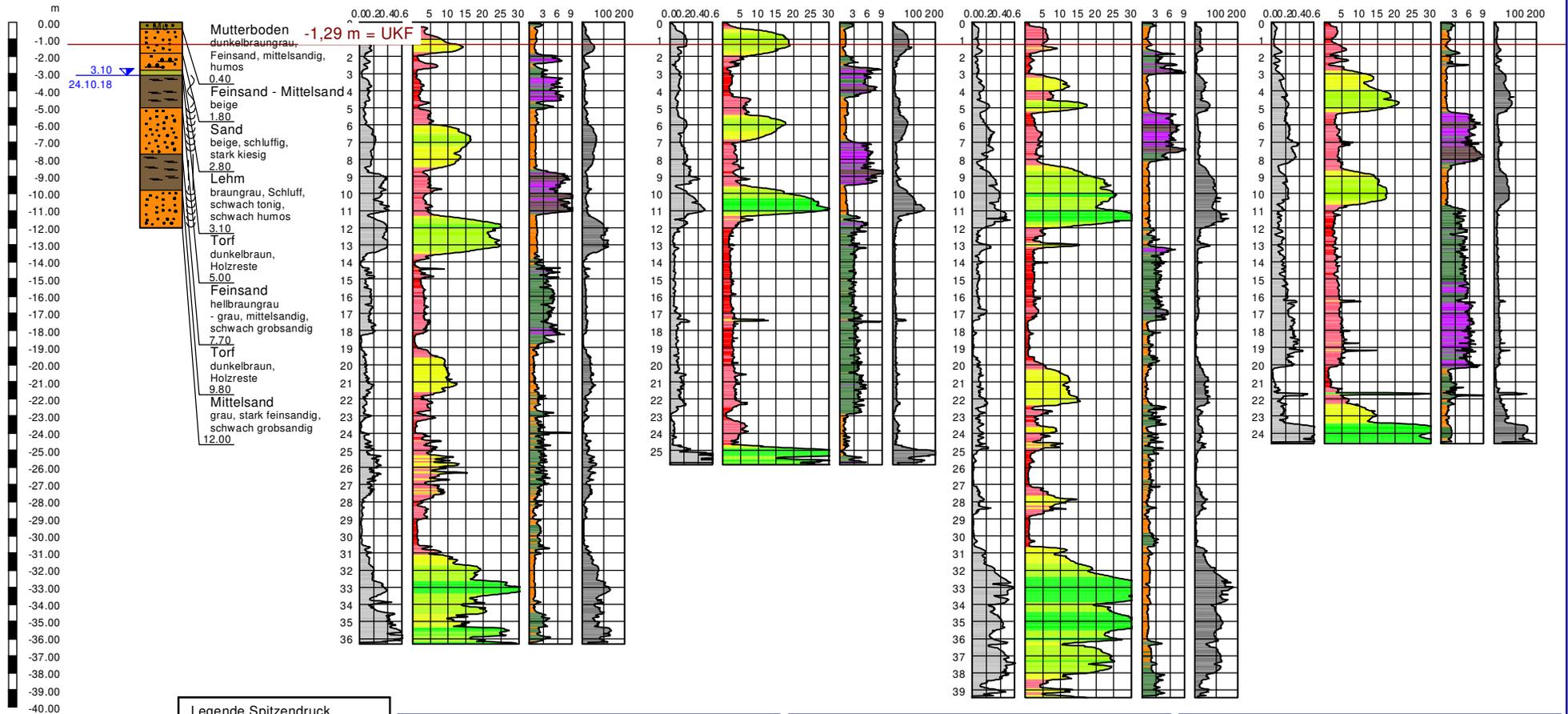
RKS 3
0,00 m

CPT 3-N
0,00 m

CPT 3-0
0,00 m

CPT 3-S
0,00 m

CPT 3-W
0,00 m



Konsistenzen	
	steif - halbfest
	steif
	weich
	nass

Legende Spitzendruck	
	sehr locker
	locker
	mitteldicht
	dicht
	sehr dicht

Legende Reibungsverhältnis	
	Kies
	Sand
	Schluff
	Ton
	Torf

LEGENDE:

RKS: Rammkernsondierung WEA
 CPT: Drucksondierung
 UKF: Unterkannte Fundament

3.10 m Grundwasser m u. GOK
 24.10.18 Datum

Projekt: 1092-18-1
 WP Nartum
 WEA 3

Auftraggeber: Energiekontor AG
 Mary-Somerville-Straße 5
 28359 Bremen

Bearbeiter: Dipl.-Geol. P. Müller

Maßstab: Höhe: 1 : 250

**Ingenieurgeologie
 Dr. Lübbe**

Titel: Bohrprofil nach DIN 4023 und Drucksondierdiagramme nach DIN 4094

Anlage: 2.3

WEA 4

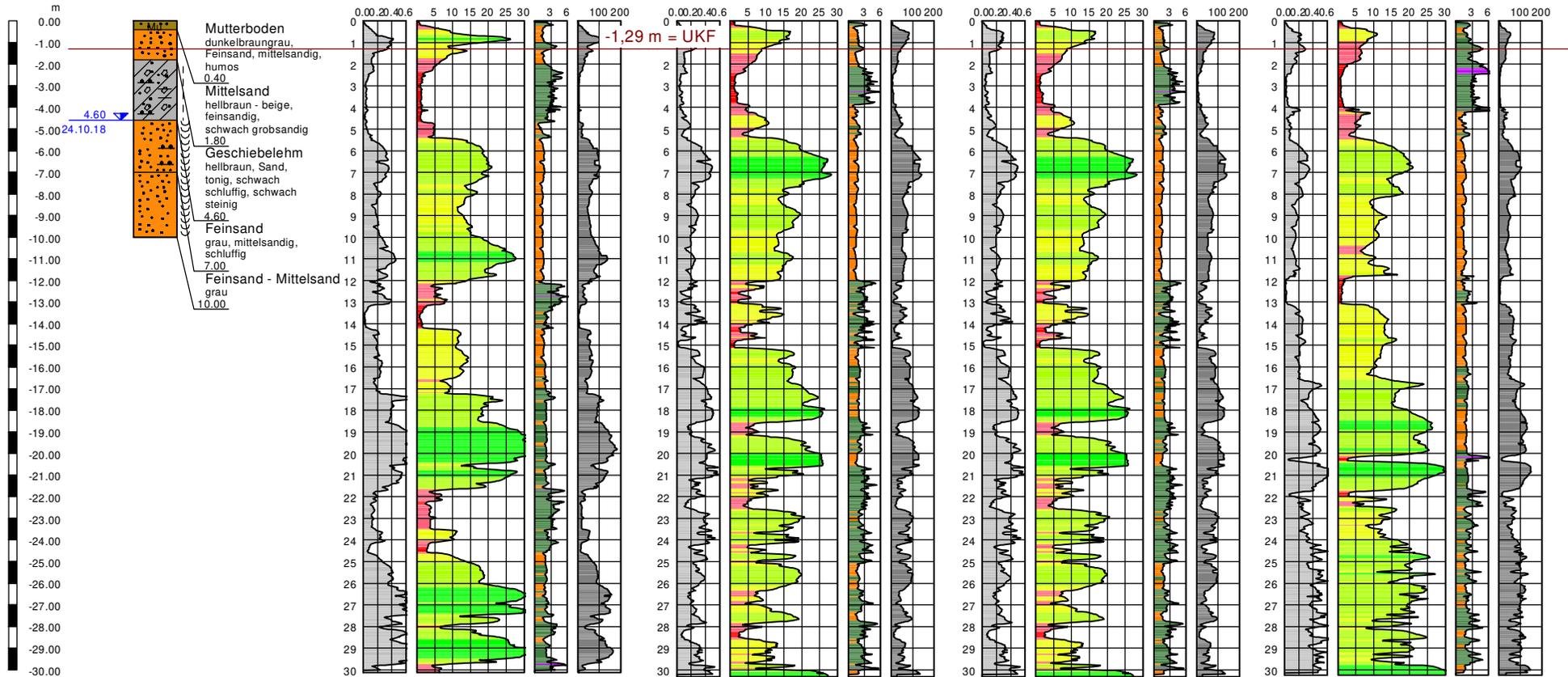
RKS 4
0,00 m

CPT 4-N
0,00 m

CPT 4-0
0,00 m

CPT 4-S
0,00 m

CPT 4-W
0,00 m



Konsistenzen

—	steif
—	nass

Legende Spitzendruck

■	sehr locker
■	locker
■	mitteldicht
■	dicht
■	sehr dicht

Legende Reibungsverhältnis

■	Kies
■	Sand
■	Schluff
■	Ton
■	Torf

LEGENDE:

RKS: Rammkernsondierung WEA
 CPT: Drucksondierung
 UKF: Unterkante Fundament

4.60 m Grundwasser m u. GOK
 24.10.18 Datum

Projekt: 1092-18-1
 WP Nartum
 WEA 4

Auftraggeber: Energiekontor AG
 Mary-Somerville-Straße 5
 28359 Bremen

Bearbeiter: Dipl.-Geol. P. Müller

Maßstab: Höhe: 1 : 200



**Ingenieurgeologie
 Dr. Lübbe**

Titel: Bohrprofil nach DIN 4023 und Drucksondierdiagramme nach DIN 4094

Anlage: 2.4

WEA 1

Kranstellflächen

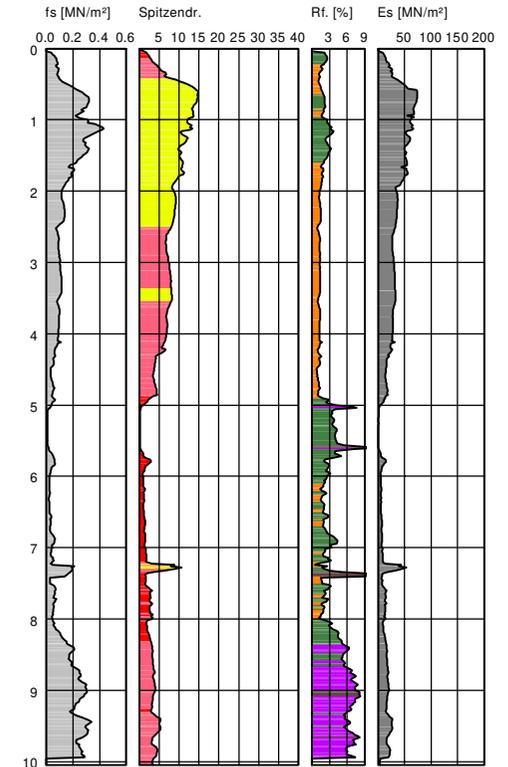
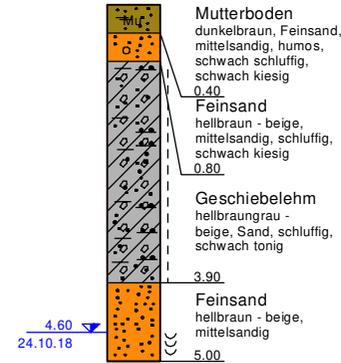
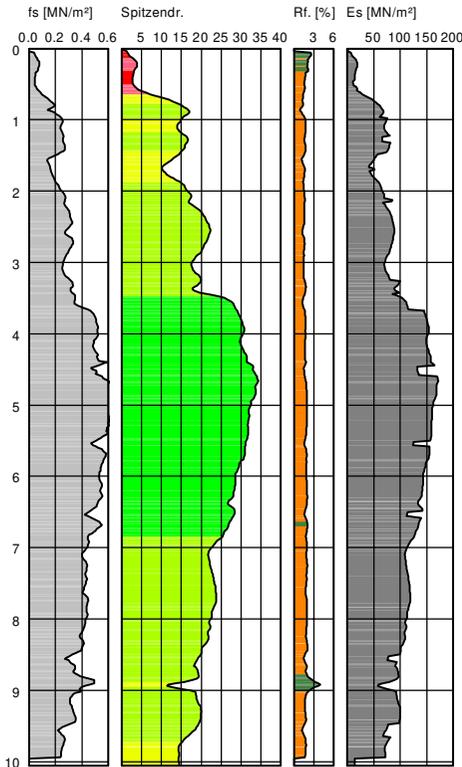
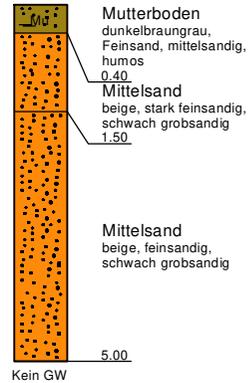
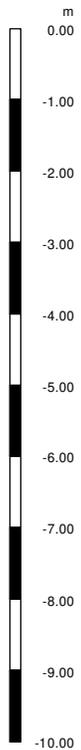
WEA 2

RKS 1-K

CPT 1-K
0,00 m

RKS 2-K

CPT 2-K
0,00 m



Konsistenzen



Legende Spitzendruck



Legende Reibungsverhältnis



LEGENDE:

RKS: Rammkernsondierung
Kraufstellfläche
CPT: Drucksondierung
GW: Grundwasser

4.60 ▽ Grundwasser m u.GOK
24.10.18 Datum

Projekt: 1092-18-1
WP Nartum
Kranstellfläche WEA 1 + WEA 2

Auftraggeber: Energiekontor AG
Mary-Somerville-Straße 5
28359 Bremen

Bearbeiter: Dipl.-Geol. P. Müller

Maßstab: Höhe: 1 : 75



Titel: Bohrprofile nach DIN 4023 und Drucksondierdiagramme nach DIN 4094

Anlage: 2.6

WEA 3

Kranstellflächen

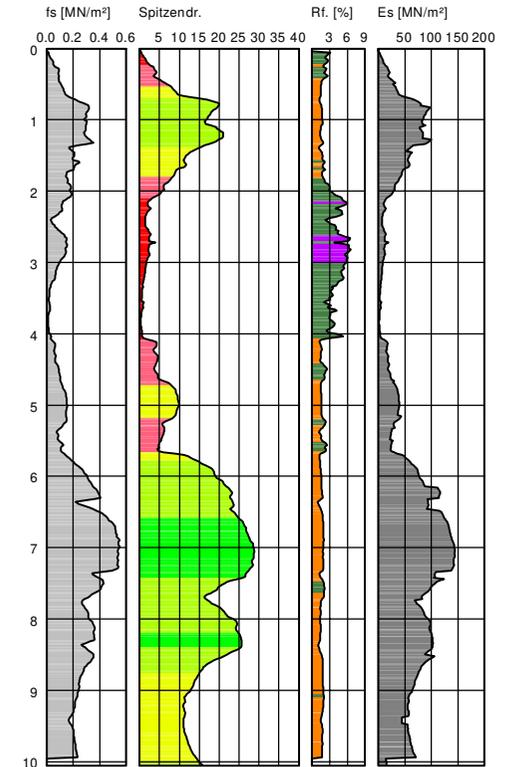
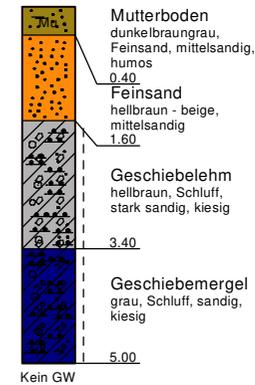
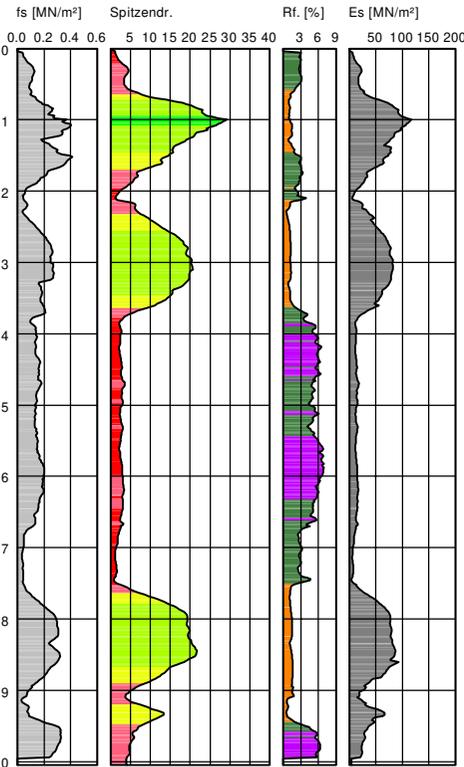
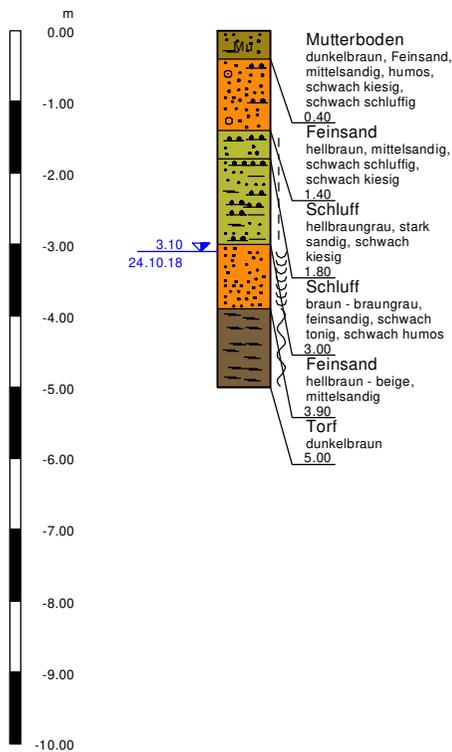
WEA 4

RKS 3-K

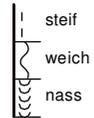
CPT 3-K
0,00 m

RKS 4-K

CPT 4-K
0,00 m



Konsistenzen



Legende Spitzendruck



Legende Reibungsverhältnis



LEGENDE:

RKS: Rammkernsondierung
Kranstellfläche
CPT: Drucksondierung
GW: Grundwasser

3.10 ▼ Grundwasser m u.GOK
24.10.18 Datum

Projekt: 1092-18-1
WP Nartum
Kranstellfläche WEA 3 + WEA 4

Auftraggeber: Energiekontor AG
Mary-Somerville-Straße 5
28359 Bremen

Bearbeiter: Dipl.-Geol. P. Müller

Maßstab: Höhe: 1 : 75

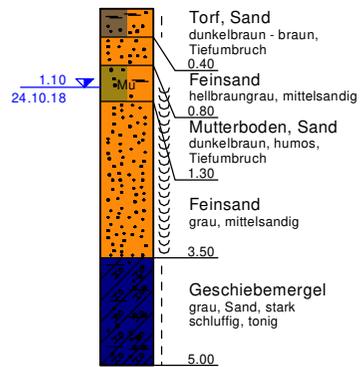


Titel: Bohrprofile nach DIN 4023 und Drucksondierdiagramme nach DIN 4094

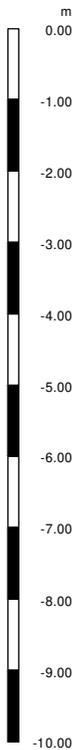
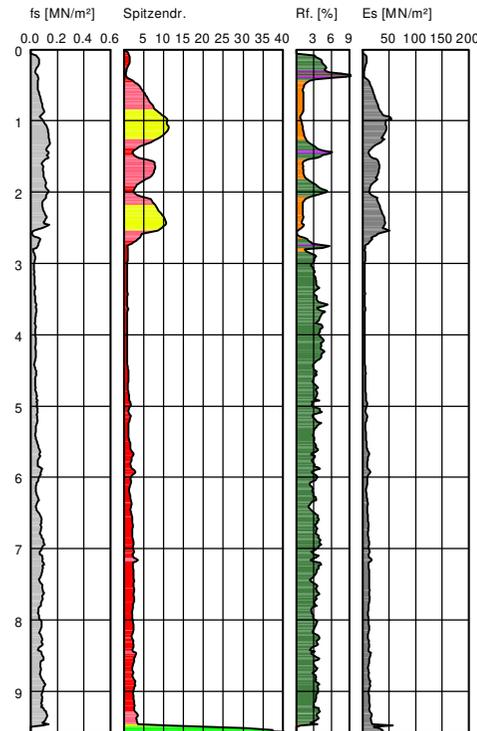
Anlage: 2.7

Kranstellfläche WEA 5

RKS 5
0,00 m



CPT 5-K
0,00 m



Konsistenzen

steif
nass

Legende Spitzendruck

sehr locker
locker
mitteldicht
dicht
sehr dicht

Legende Reibungsverhältnis

Kies
Sand
Schluff
Ton
Torf

LEGENDE:

RKS: Rammkernsondierung
Kraufstellfläche
CPT: Drucksondierung

1.10 m Grundwasser m u.GOK
24.10.18 Datum

Projekt: 1092-18-1
WP Nartum
Kranstellfläche WEA 5

Auftraggeber: Energiekontor AG
Mary-Somerville-Straße 5
28359 Bremen

Bearbeiter: Dipl.-Geol. P. Müller

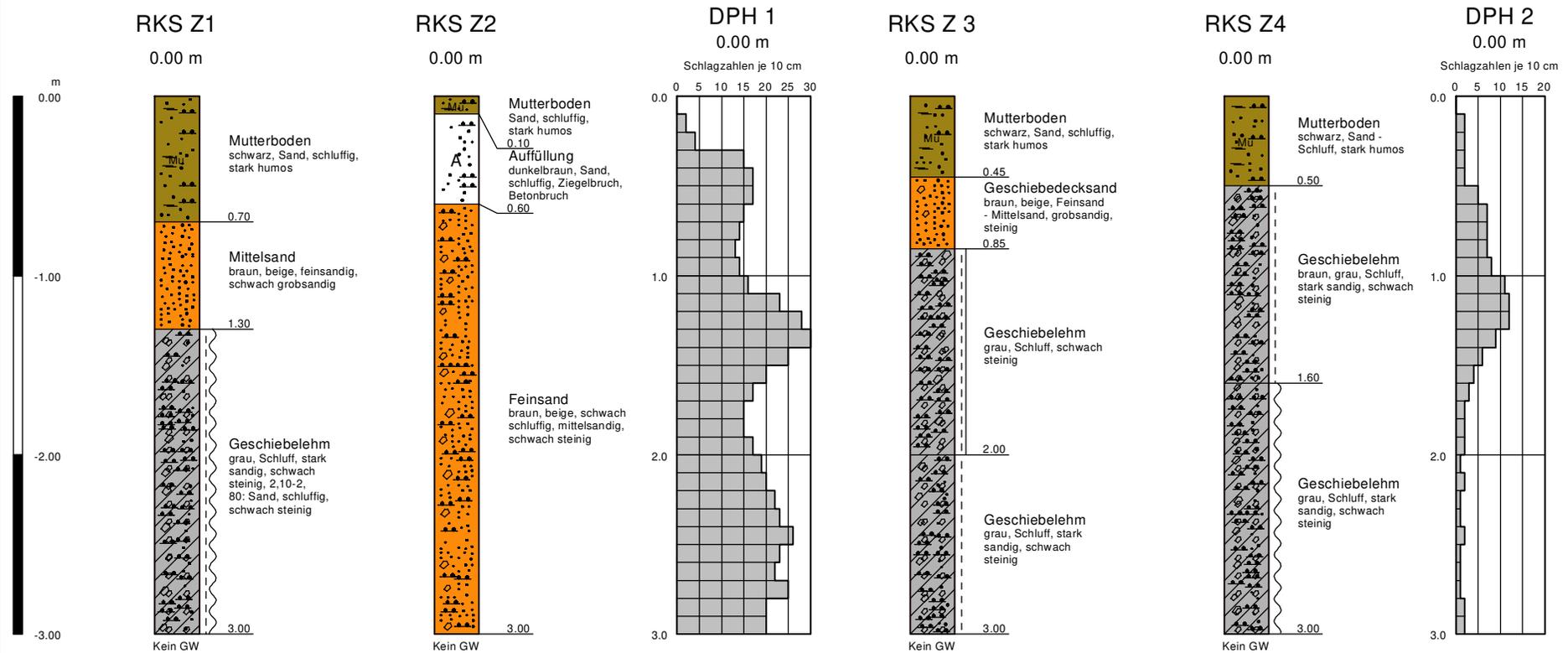
Maßstab: Höhe: 1 : 75



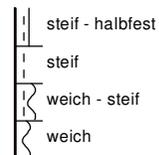
Titel: Bohrprofile nach DIN 4023 und Drucksondierdiagramme nach DIN 4094

Anlage: 2.8

Zuwegung



Konsistenzen



LEGENDE:

RKS: Rammkernsondierung
Zuwegung

DPH: schwere Rammsondierung

GW: Grundwasser

Projekt: 1092-18-1
WP Nartum
Zuwegung

Auftraggeber: Energiekontor AG
Mary-Somerville-Straße 5
28359 Bremen

Bearbeiter: Dipl.-Geol. P. Müller

Maßstab: Höhe: 1 : 25

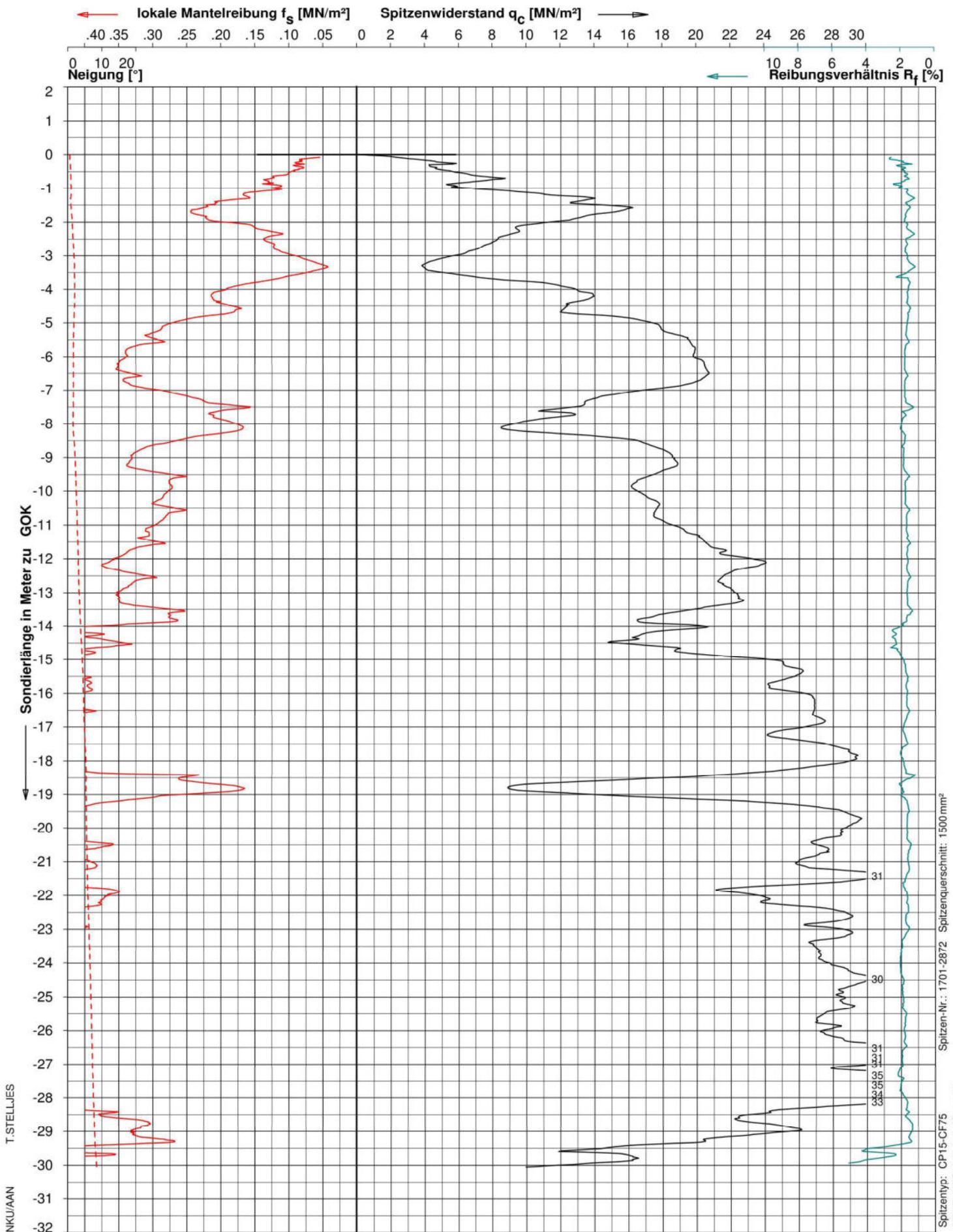


Titel: Bohrprofile nach DIN 4023 und Ramm-
diagramme nach DIN EN ISO 22476-2

Anlage: 2.9



ANLAGE 3
Drucksondierprotokolle



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke
WP Nartum

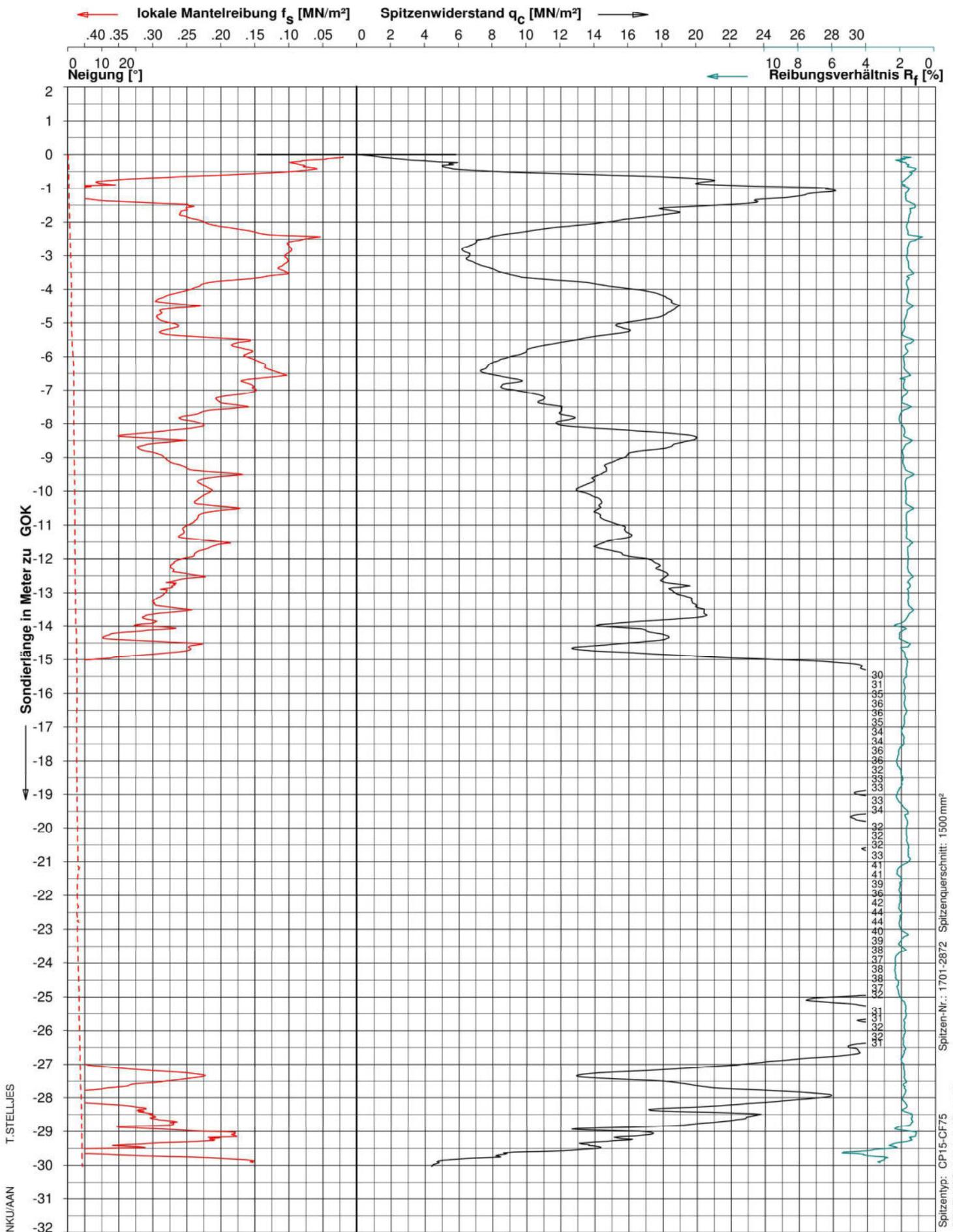


Fugro Germany Land GmbH
 Site Characterisation CPT
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 22-Oct-2018
 Sondierende : Vorgabe
 Gelände : 0.00 m zu GOK
 Endteufe : -30.06 m zu GOK

Projekt: 620-18-0769
 Sondierung : WEA-1-N

DIN ISO 9001



Spitzen-Nr.: 1701-2872 Spitzenquerschnitt: 1500 mm²
Spitzentyp: CP15-CF75
DIN EN ISO 22476-1, Klasse 2

ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke
WP Nartum

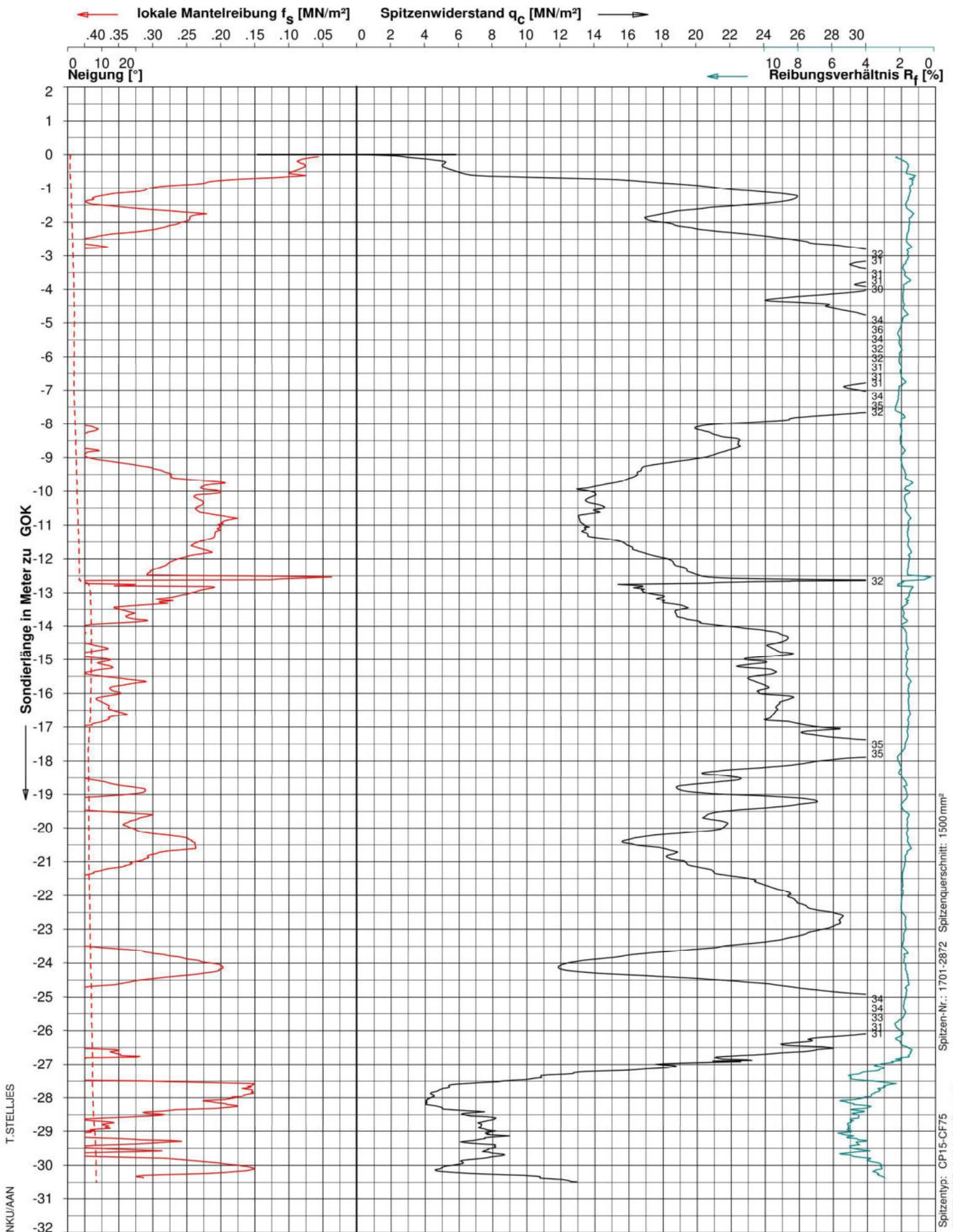


Fugro Germany Land GmbH
Site Characterisation CPT
Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal
Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 22-Oct-2018
Sondierende : Vorgabe
Gelände : 0.00 m zu GOK
Endteufe : -30.05 m zu GOK

Projekt: 620-18-0769
Sondierung : WEA-1-O

DIN ISO 9001



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke
WP Nartum



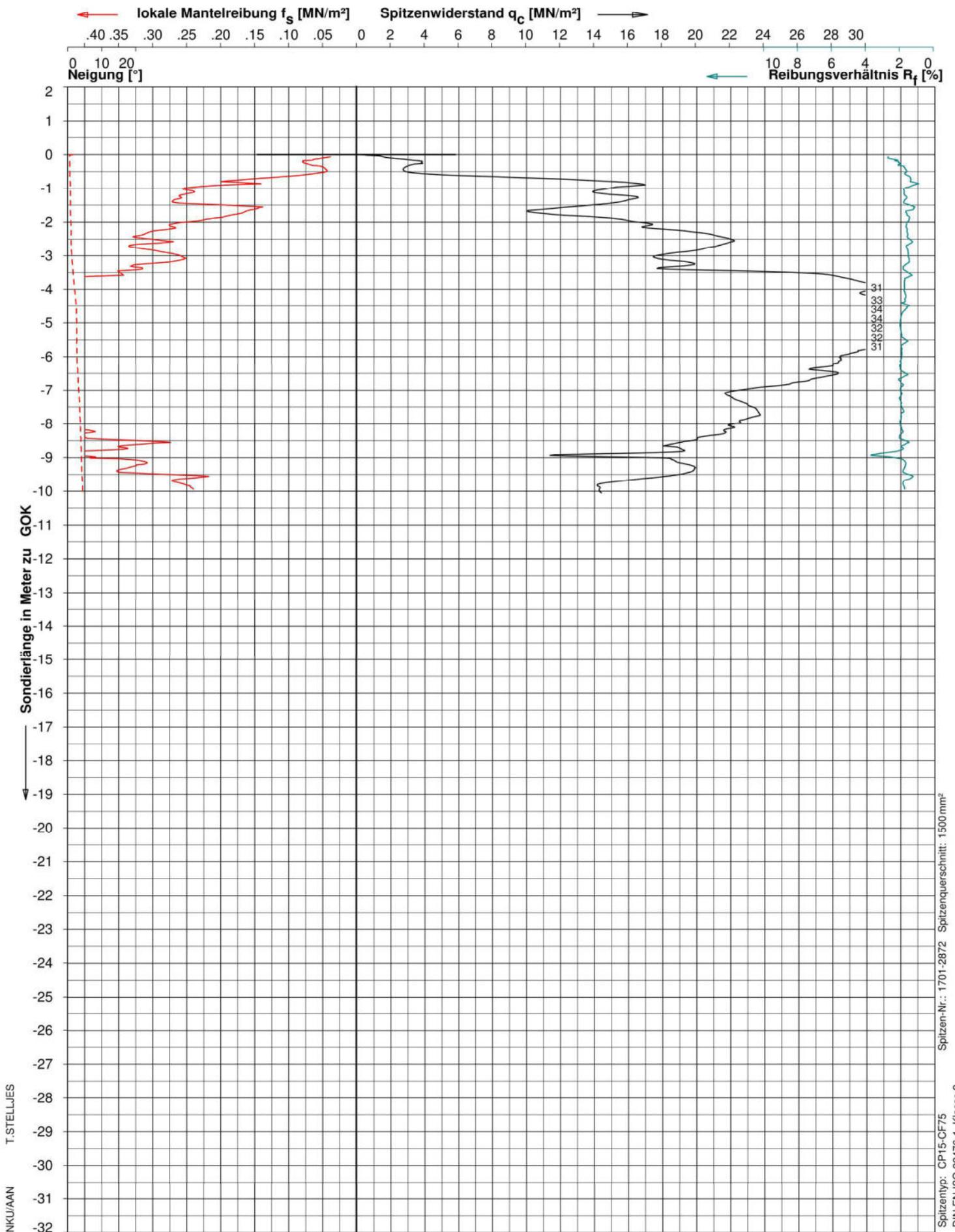
Fugro Germany Land GmbH
Site Characterisation CPT
Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal
Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 22-Oct-2018
Sondierende : Vorgabe
Gelände : 0.00 m zu GOK
Endteufe : -30.49 m zu GOK

Projekt: 620-18-0769
Sondierung : WEA-1-S

DIN ISO 9001

Spitzen-Nr.: 1701-2872 Spitzenquerschnitt: 1500 mm²
Spitzen-Nr.: CP15-CF75
DIN EN ISO 22476-1, Klasse 2



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke
WP Nartum

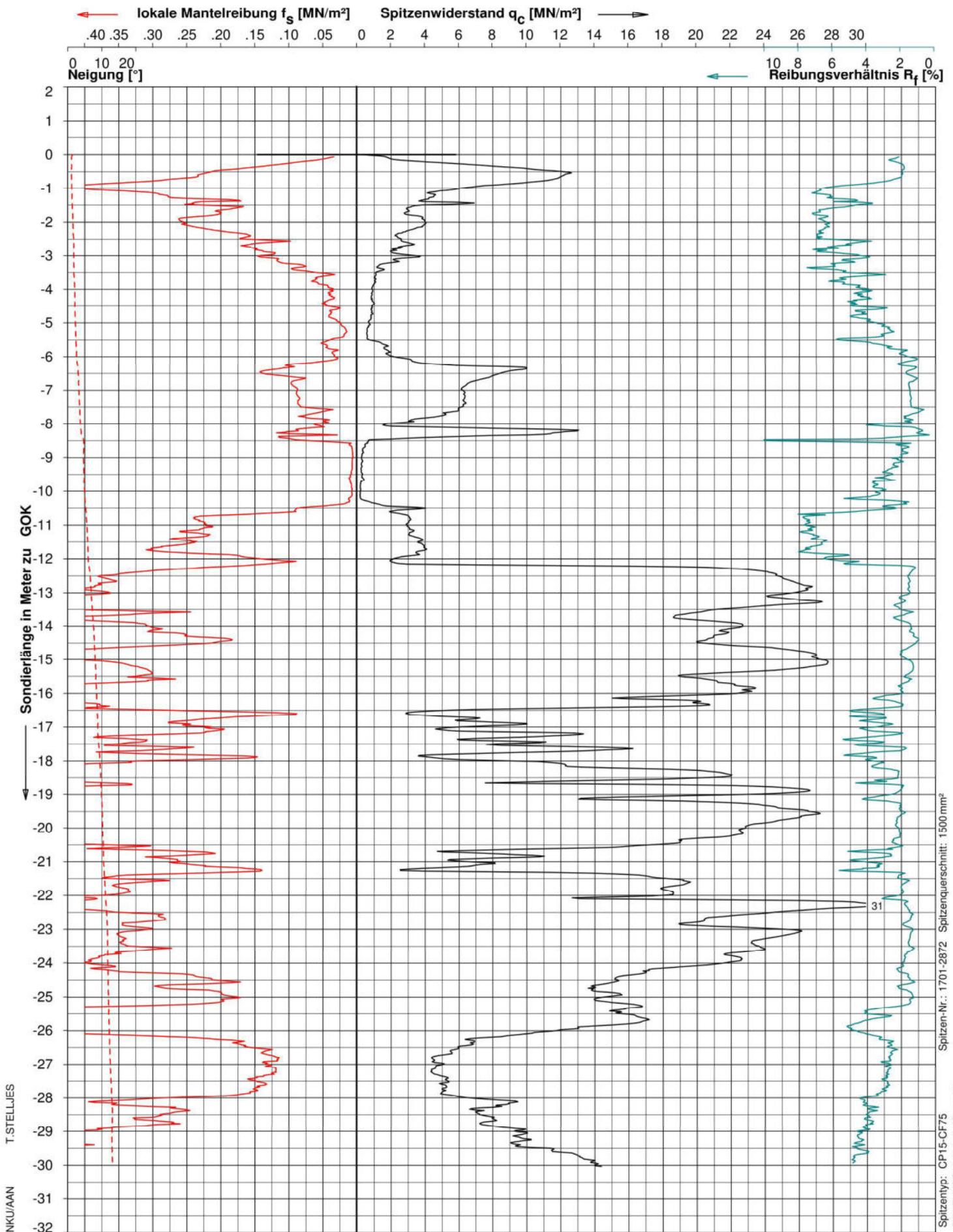


Fugro Germany Land GmbH
 Site Characterisation CPT
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 22-Oct-2018
 Sondierende : Vorgabe
 Gelände : 0.00 m zu GOK
 Endteufe : -10.06 m zu GOK

Projekt: 620-18-0769
 Sondierung : WEA-1-K

DIN ISO 9001



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke
WP Nartum

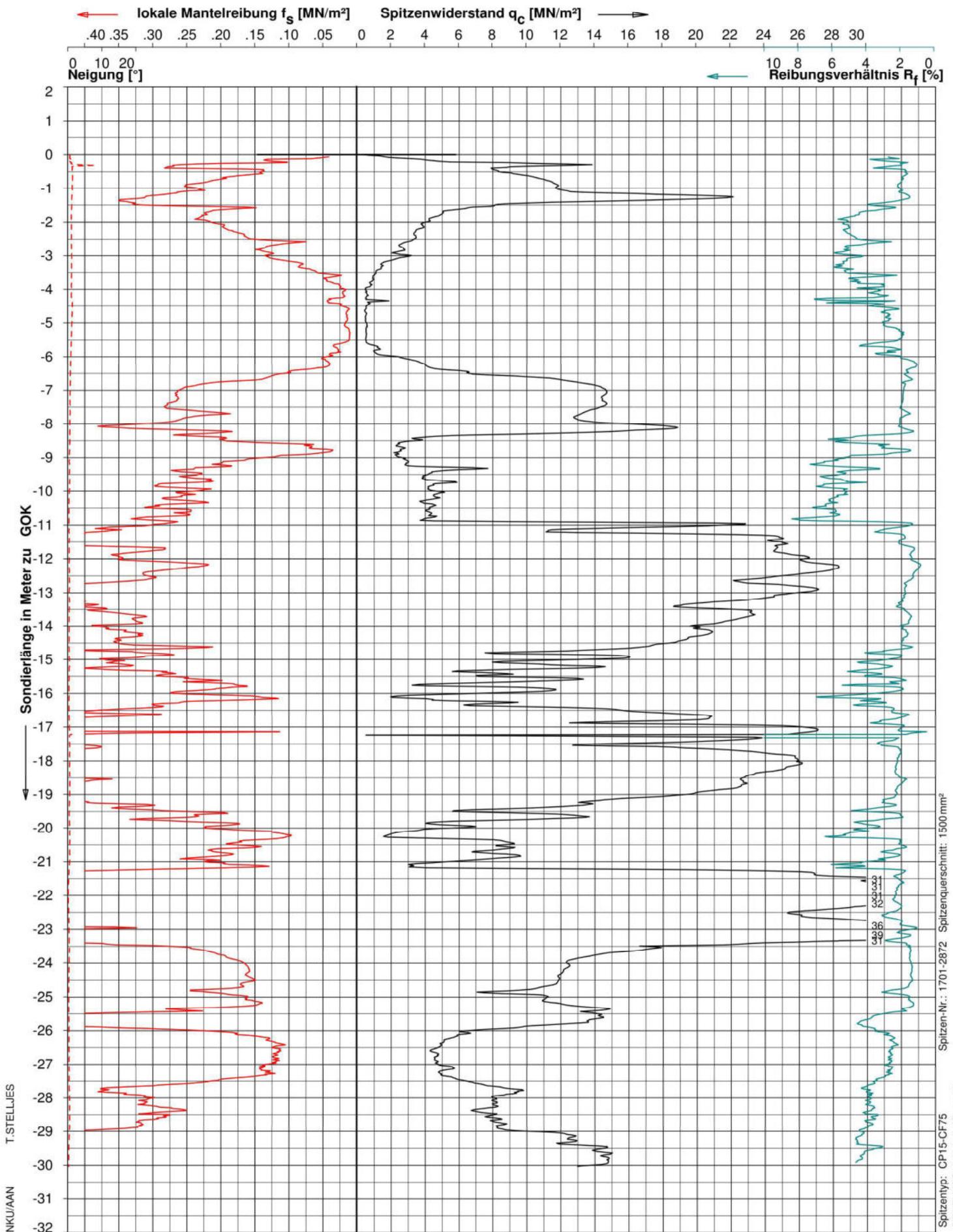


Fugro Germany Land GmbH
 Site Characterisation CPT
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 22-Oct-2018
 Sondierende : Vorgabe
 Gelände : 0.00 m zu GOK
 Endteufe : -30.05 m zu GOK

Projekt: 620-18-0769
 Sondierung : WEA-2-O

DIN ISO 9001



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke
 WP Nartum

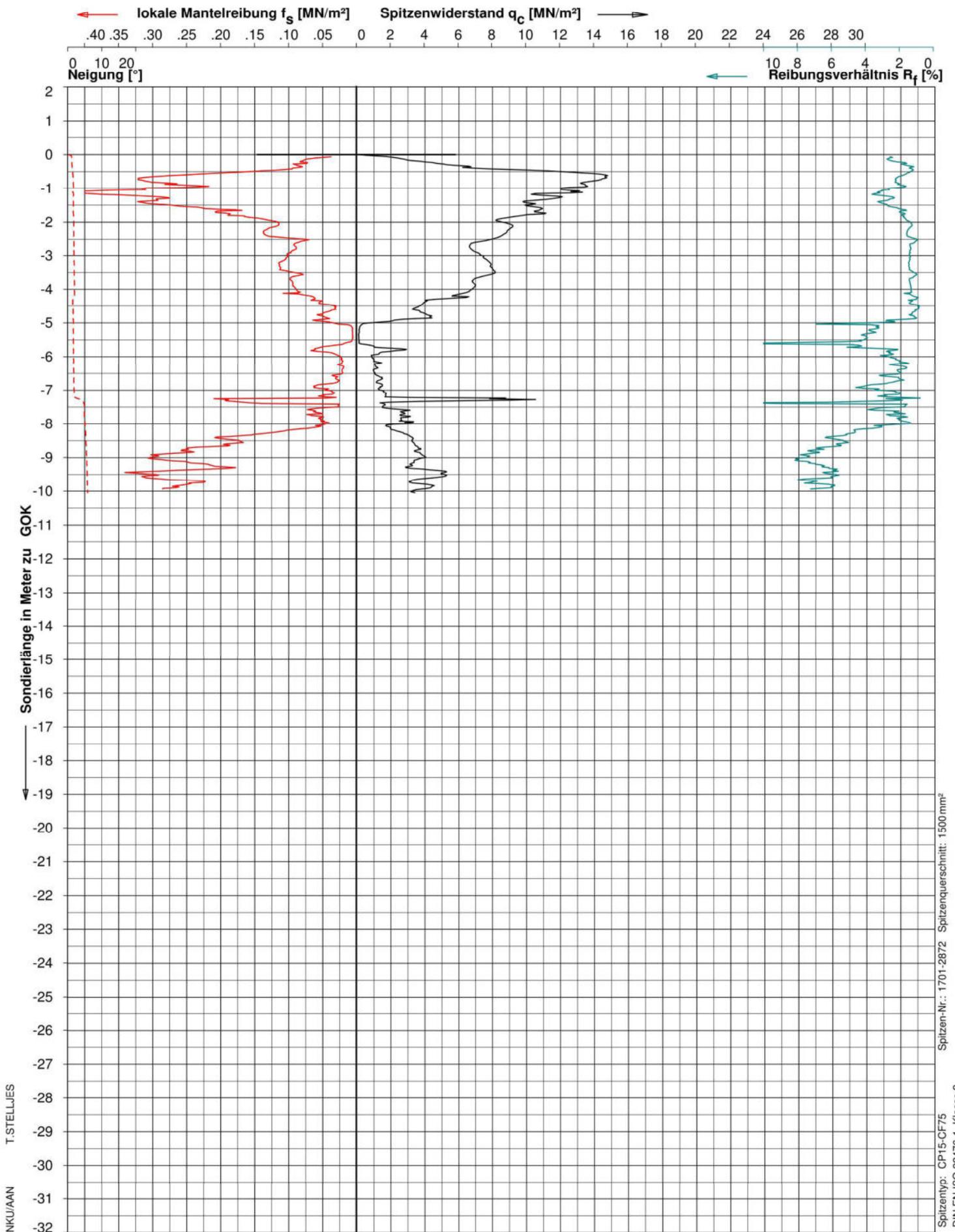


Fugro Germany Land GmbH
 Site Characterisation CPT
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 22-Oct-2018
 Sondierende : Vorgabe
 Gelände : 0.00 m zu GOK
 Endteufe : -30.04 m zu GOK

Projekt: 620-18-0769
 Sondierung : WEA-2-S

DIN ISO 9001



Spitzentyp: CPI15-CF75
 Spitzen-Nr.: 1701-2872 Spitzenquerschnitt: 1500 mm²
 DIN EN ISO 22476-1, Klasse 2

ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke
 WP Nartum

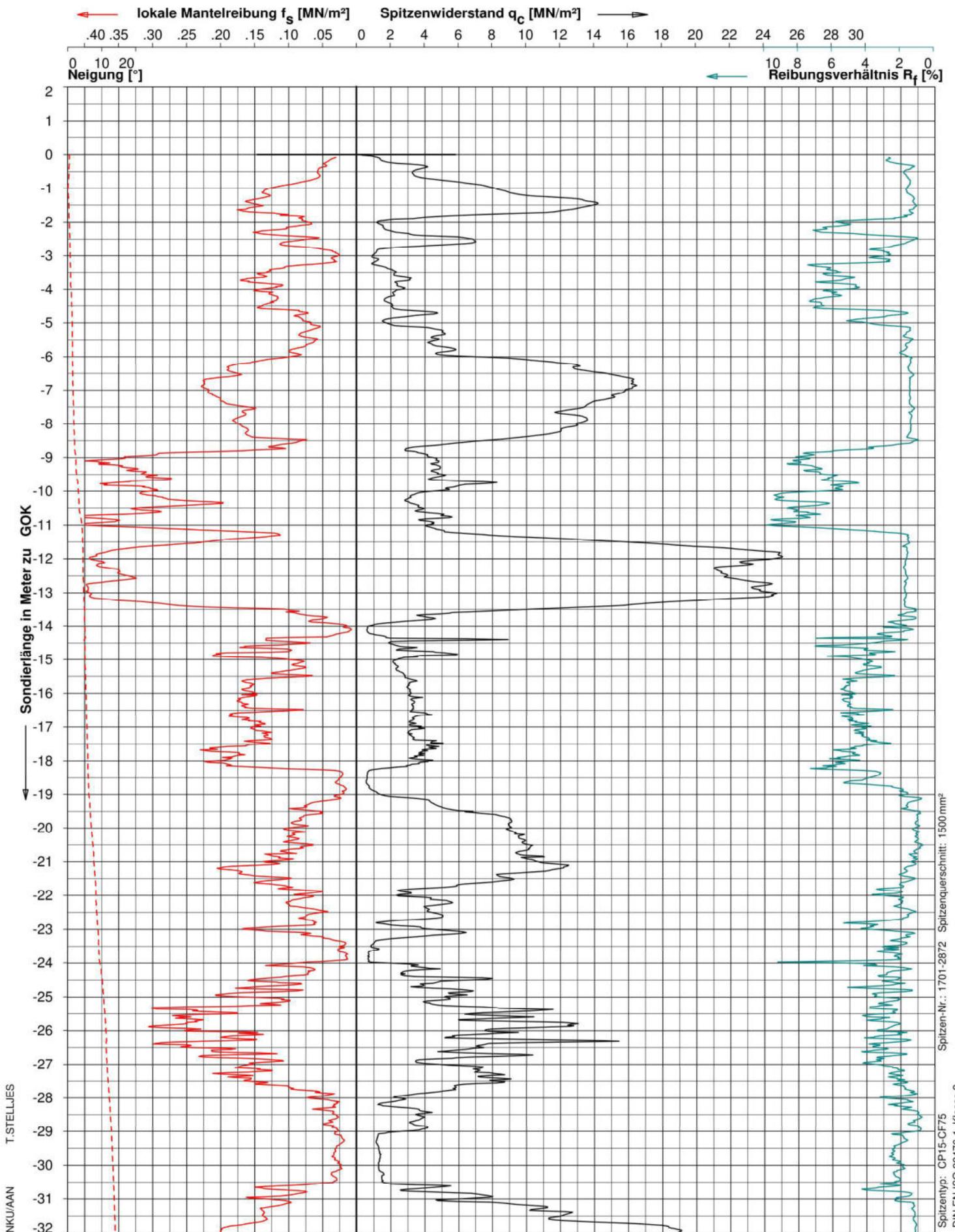


Fugro Germany Land GmbH
 Site Characterisation CPT
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 22-Oct-2018
 Sondierende : Vorgabe
 Gelände : 0.00 m zu GOK
 Endteufe : -10.05 m zu GOK

Projekt: 620-18-0769
 Sondierung : WEA-2-K

DIN ISO 9001



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke
WP Nartum

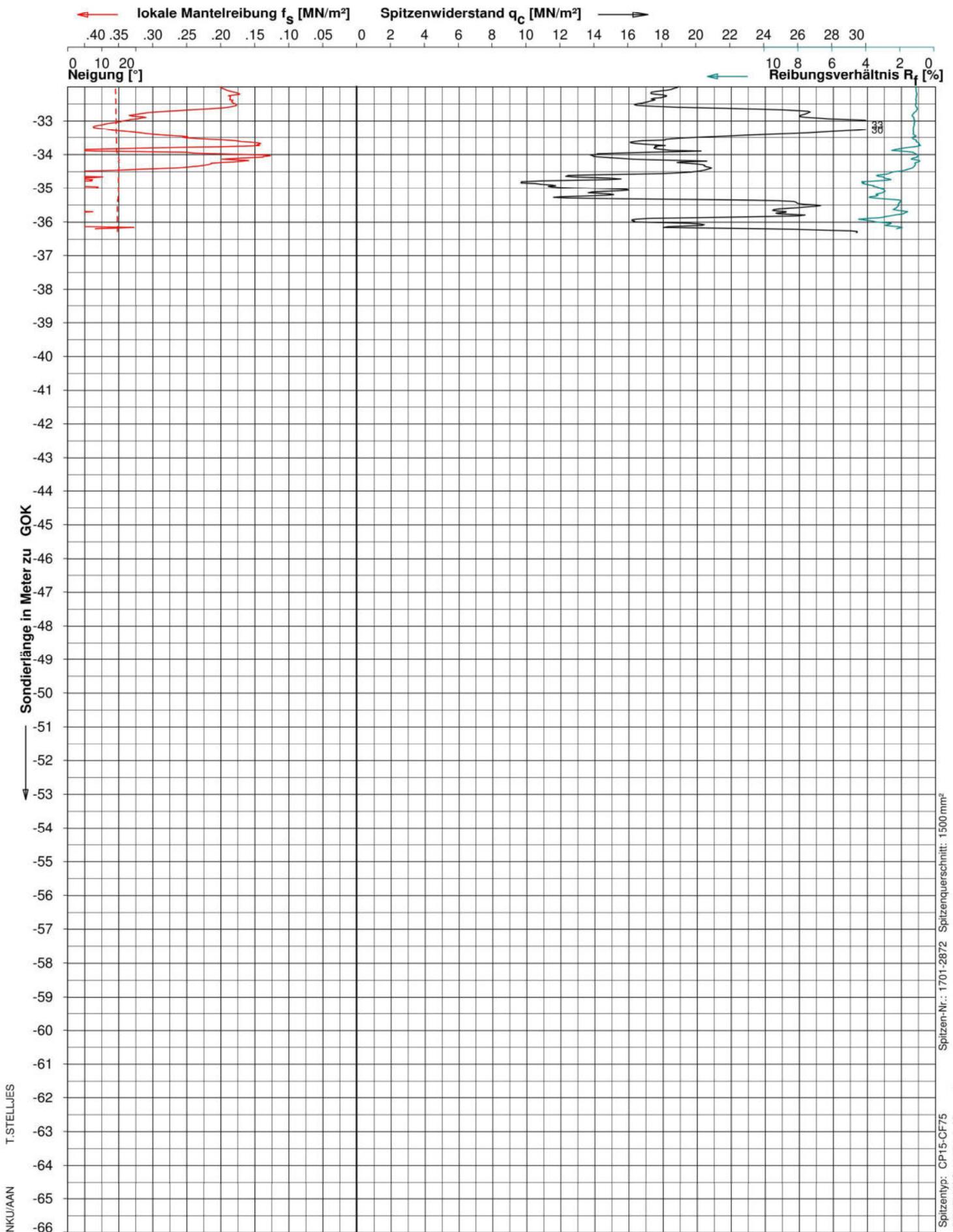


Fugro Germany Land GmbH
 Site Characterisation CPT
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 22-Oct-2018
 Sondierende : Auslastung
 Gelände : 0.00 m zu GOK
 Endteufe : -36.32 m zu GOK

Projekt: 620-18-0769
 Sondierung : WEA-3-N

DIN ISO 9001



Spitzen-Nr.: 1701-2872 Spitzenquerschnitt: 1500 mm²
 Spitzentyp: CPI15-CF75
 DIN EN ISO 22476-1, Klasse 2

ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke
WP Nartum

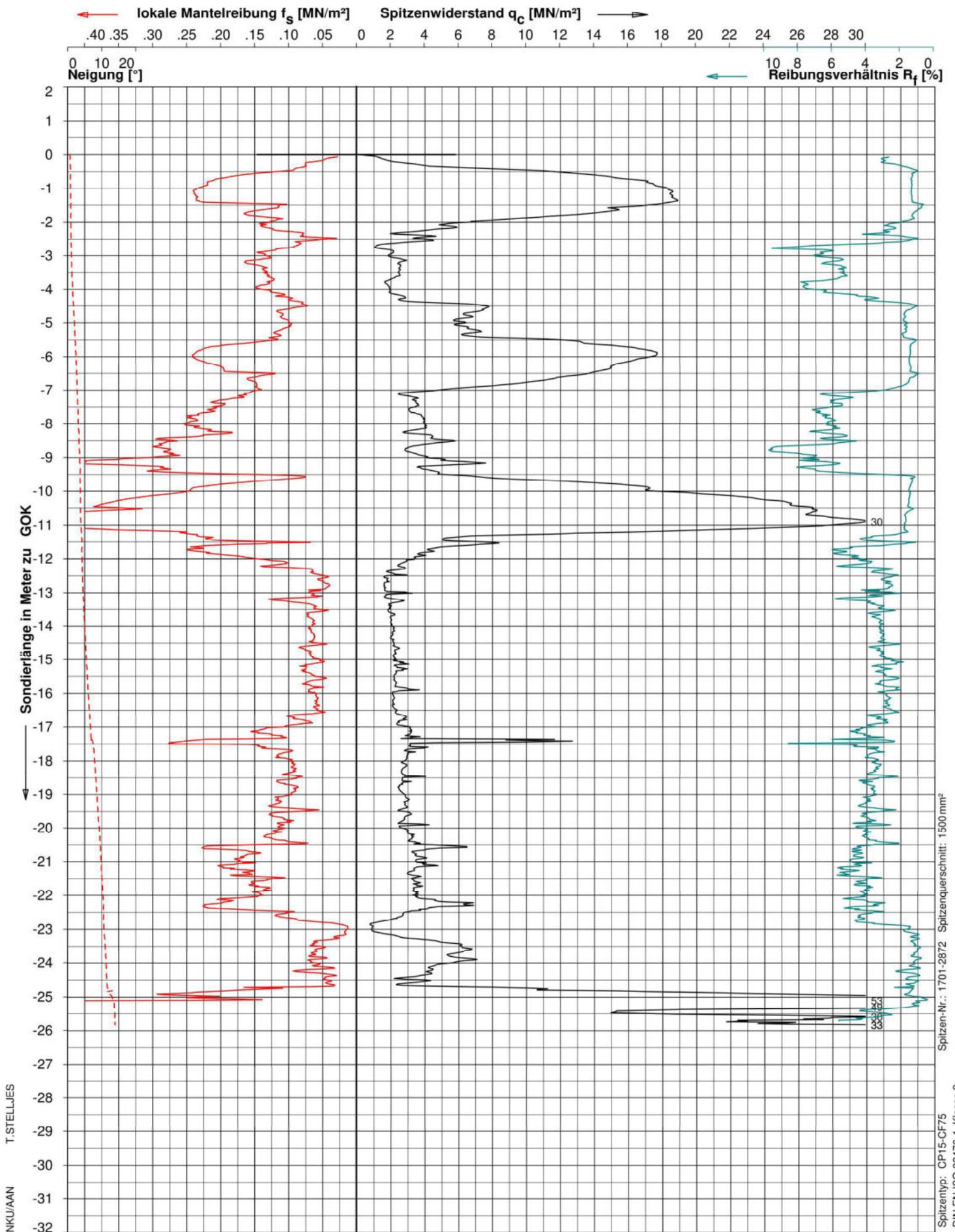


Fugro Germany Land GmbH
 Site Characterisation CPT
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 22-Oct-2018
 Sondierende : Auslastung
 Gelände : 0.00 m zu GOK
 Endteufe : -36.32 m zu GOK

Projekt: 620-18-0769
 Sondierung : WEA-3-N

DIN ISO 9001



Spitzen-Nr.: 1701-2872 Spitzenquerschnitt: 1500 mm²
 Spitzentyp: CP15-CF75
 DIN EN ISO 22476-1, Klasse 2

ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke
 WP Nartum

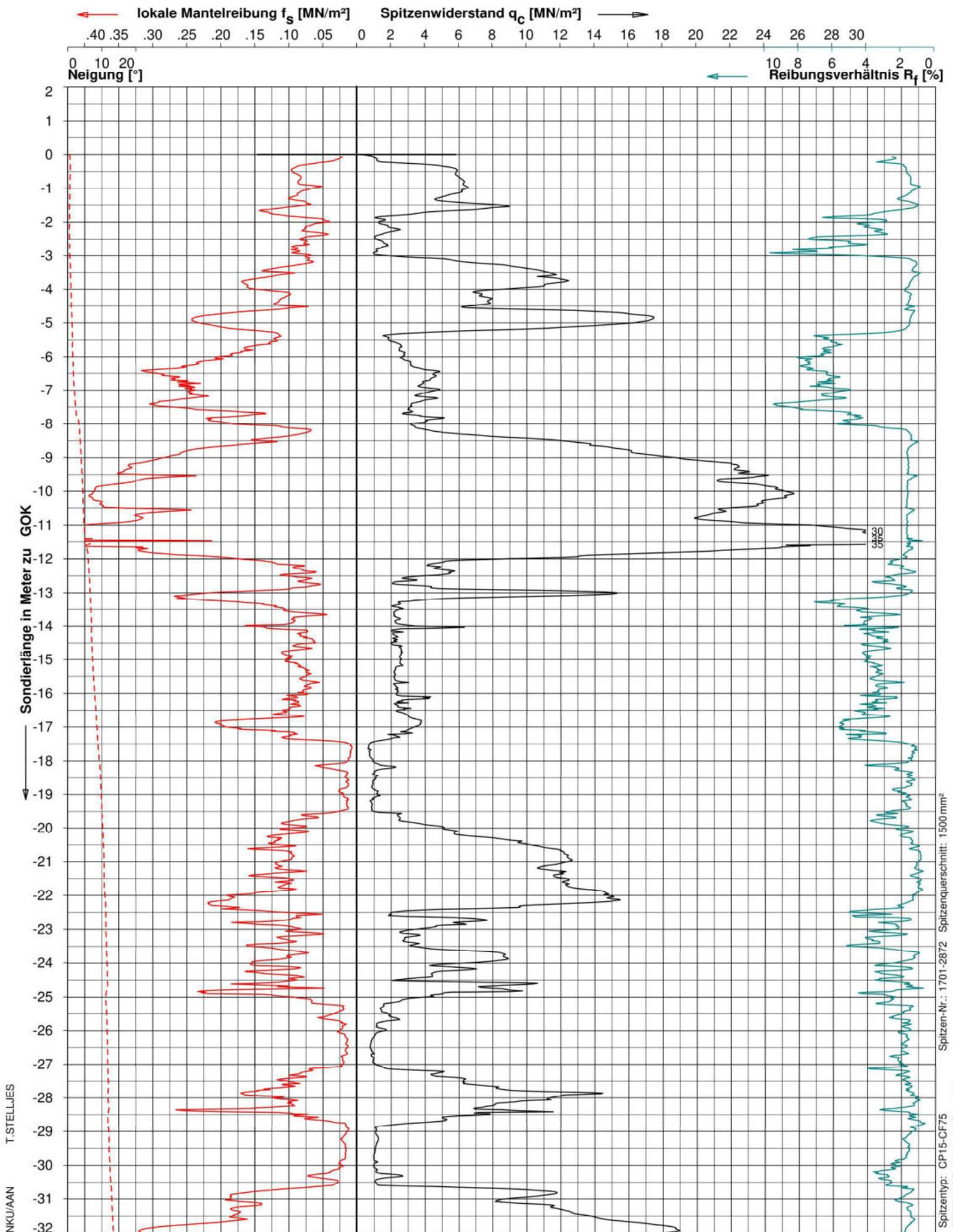


Fugro Germany Land GmbH
 Site Characterisation CPT
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 23-Oct-2018
 Sondierende : Auslastung
 Gelände : 0.00 m zu GOK
 Endteufe : -25.84 m zu GOK

Projekt: 620-18-0769
 Sondierung : WEA-3-O

DIN ISO 9001



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke
WP Nartum

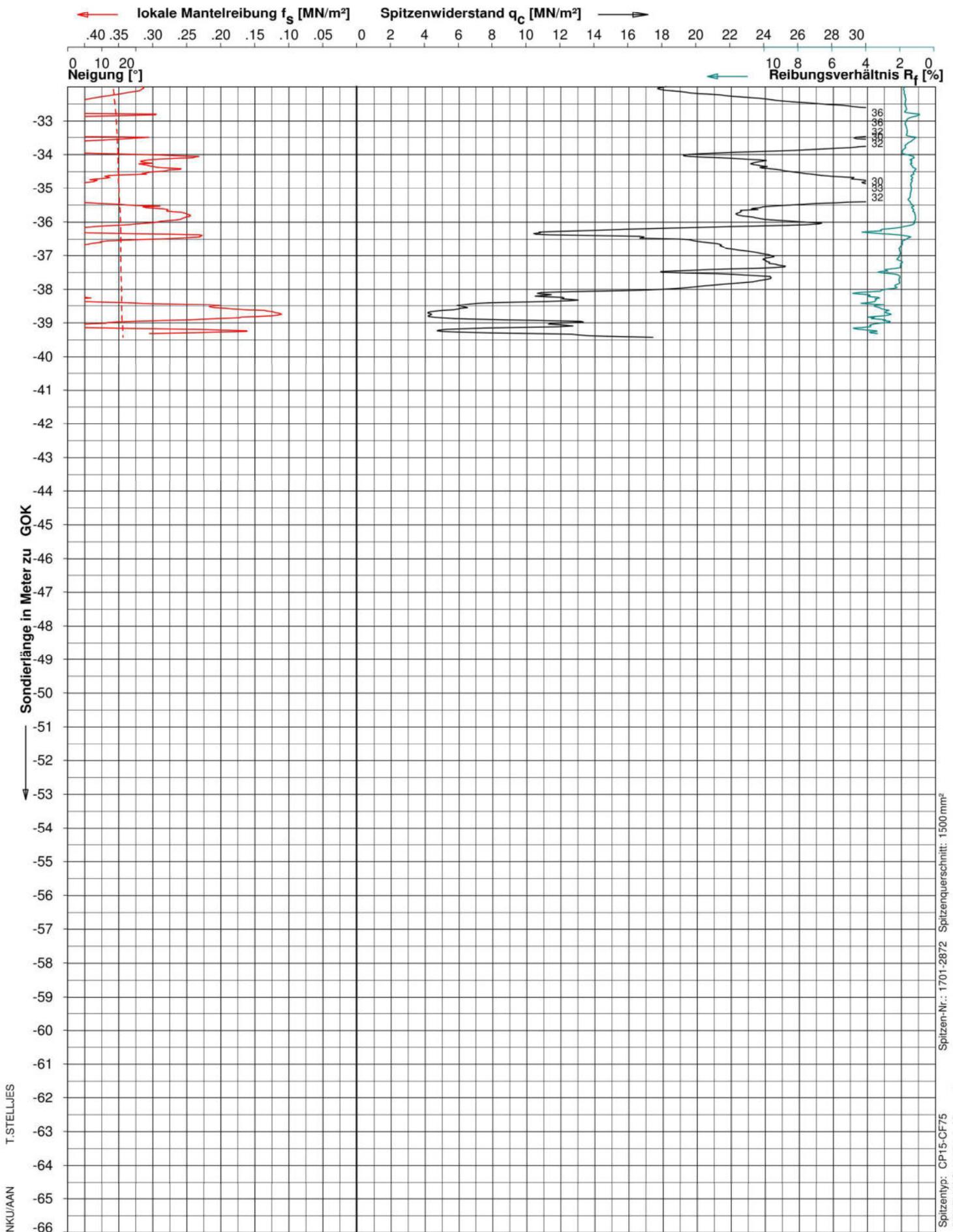


Fugro Germany Land GmbH
 Site Characterisation CPT
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 22-Oct-2018
 Sondierende : Auslastung
 Gelände : 0.00 m zu GOK
 Endteufe : -39.43 m zu GOK

Projekt: 620-18-0769
 Sondierung : WEA-3-S

DIN ISO 9001



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke
WP Nartum

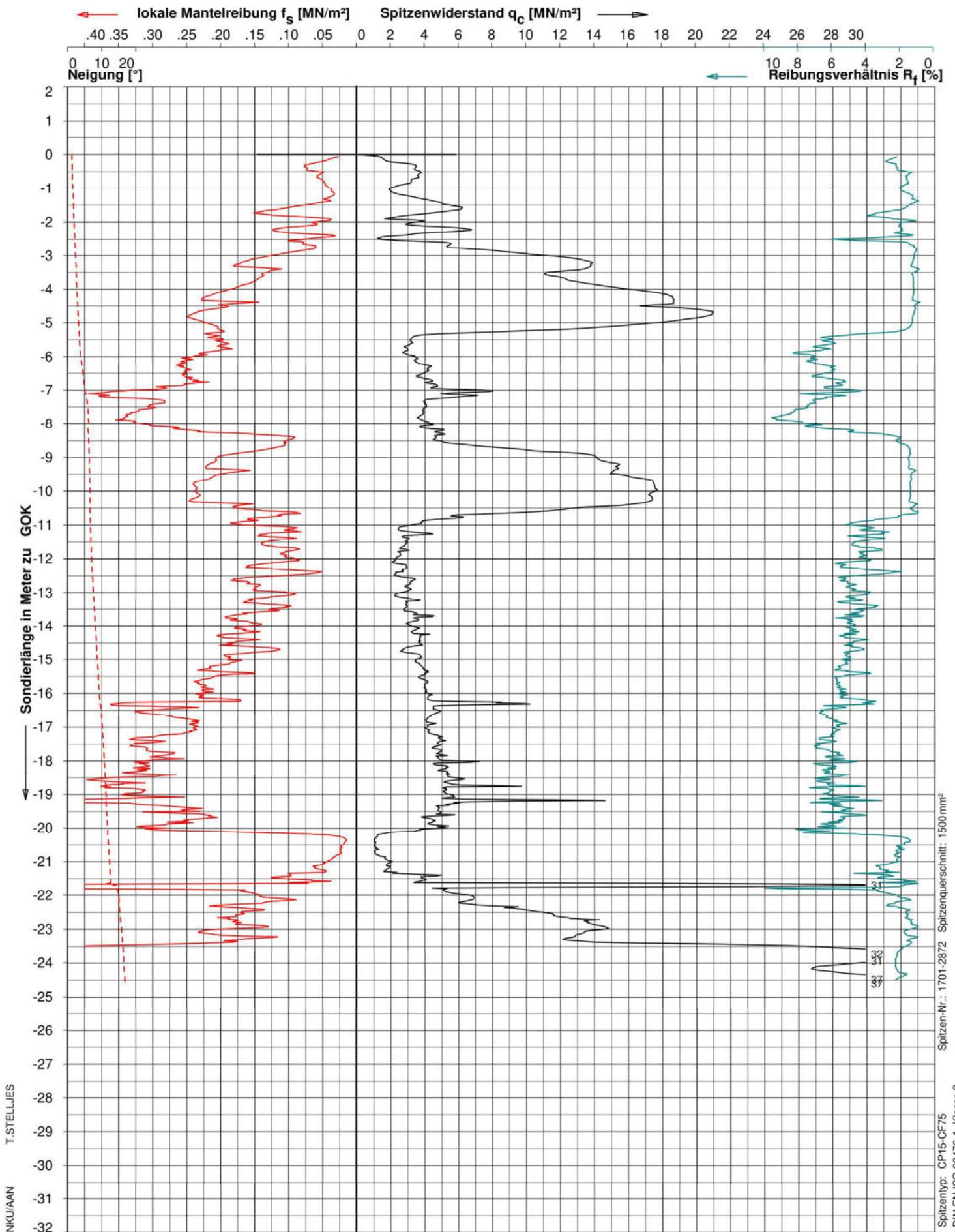


Fugro Germany Land GmbH
 Site Characterisation CPT
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 22-Oct-2018
 Sondierende : Auslastung
 Gelände : 0.00 m zu GOK
 Endteufe : -39.43 m zu GOK

Projekt: 620-18-0769
 Sondierung : WEA-3-S

DIN ISO 9001



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke
WP Nartum



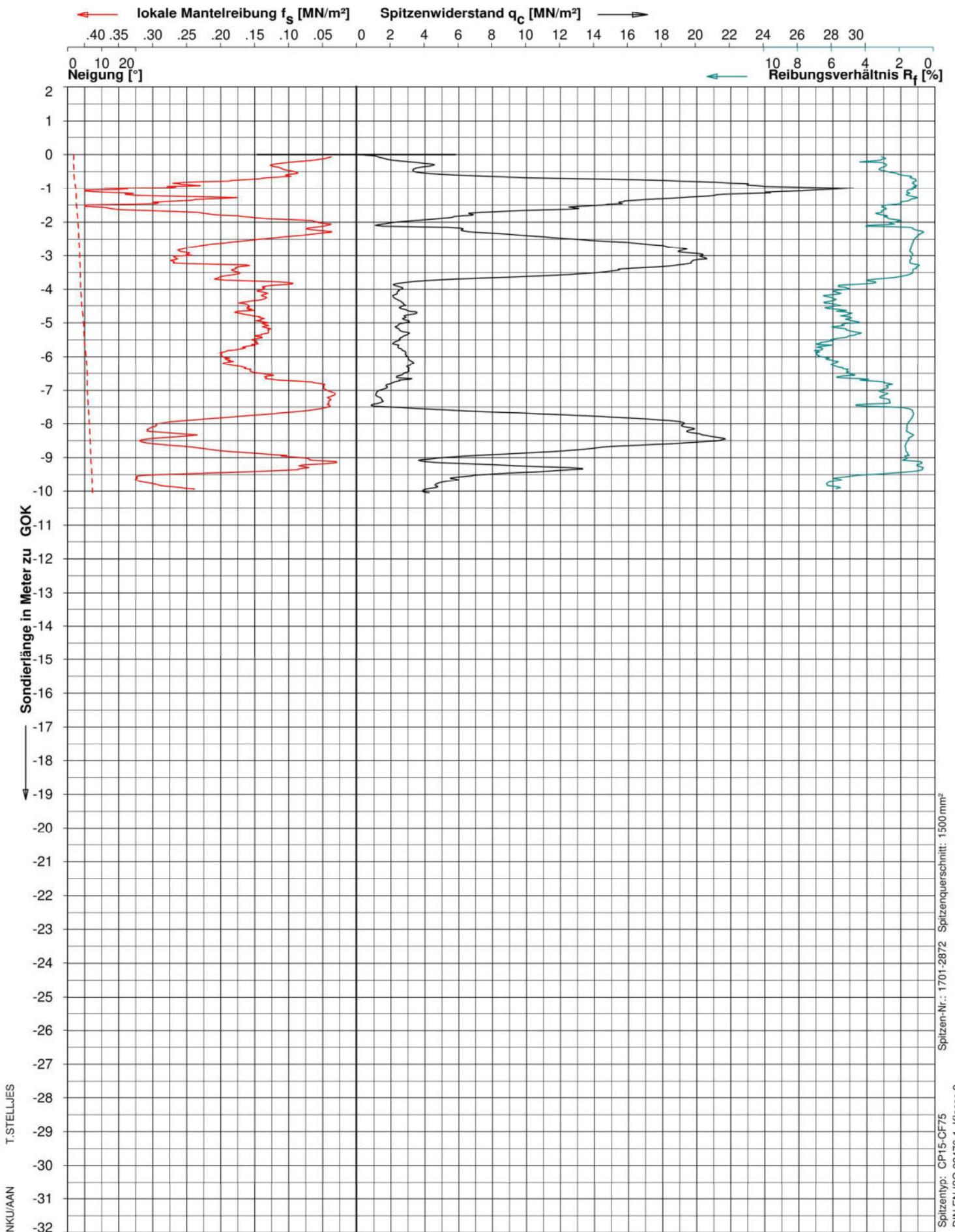
Fugro Germany Land GmbH

Site Characterisation CPT
Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal
Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 23-Oct-2018
Sondierende : Auslastung
Gelände : 0.00 m zu GOK
Endteufe : -24.61 m zu GOK

Projekt: 620-18-0769
Sondierung : WEA-3-W

DIN ISO 9001



Spitzentyp: CPI15-CF75
 Spitzen-Nr.: 1701-2872 Spitzenquerschnitt: 1500 mm²
 DIN EN ISO 22476-1, Klasse 2

ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke
WP Nartum

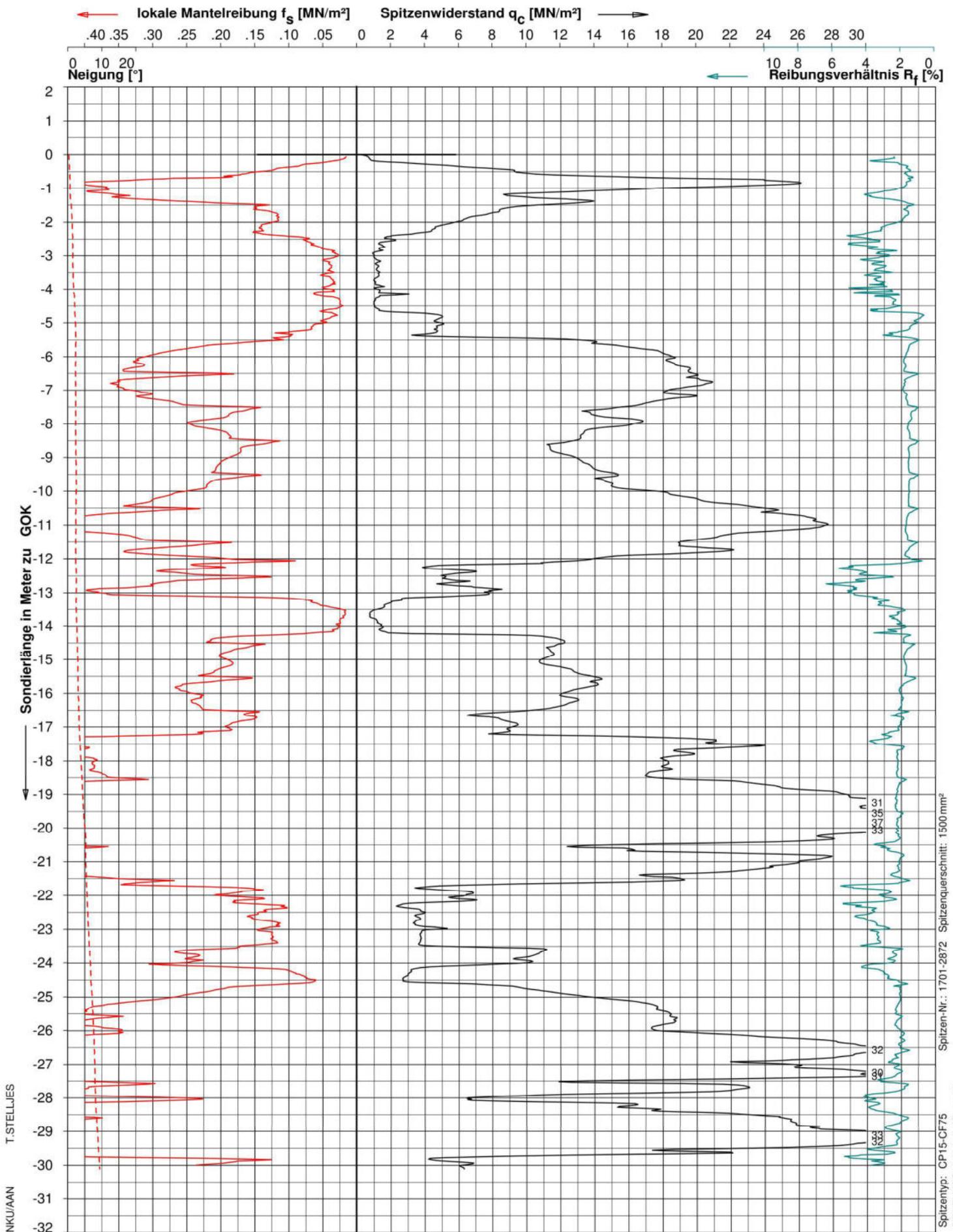


Fugro Germany Land GmbH
 Site Characterisation CPT
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 22-Oct-2018
 Sondierende : Vorgabe
 Gelände : 0.00 m zu GOK
 Endteufe : -10.05 m zu GOK

Projekt: 620-18-0769
 Sondierung : WEA-3-K

DIN ISO 9001



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke
 WP Nartum

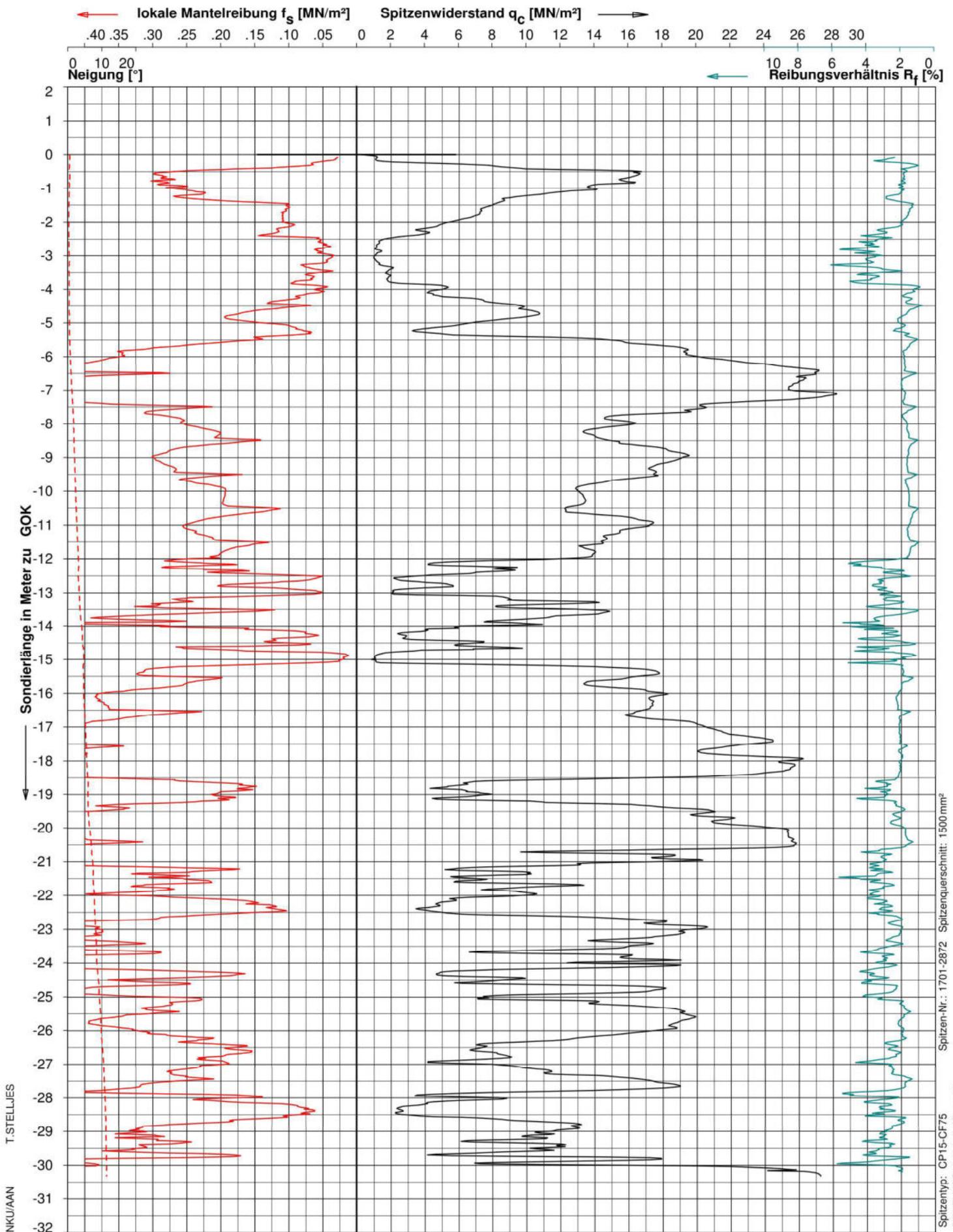


Fugro Germany Land GmbH
 Site Characterisation CPT
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 23-Oct-2018
 Sondierende : Vorgabe
 Gelände : 0.00 m zu GOK
 Endteufe : -30.12 m zu GOK

Projekt: 620-18-0769
 Sondierung : WEA-4-N

DIN ISO 9001



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke
WP Nartum

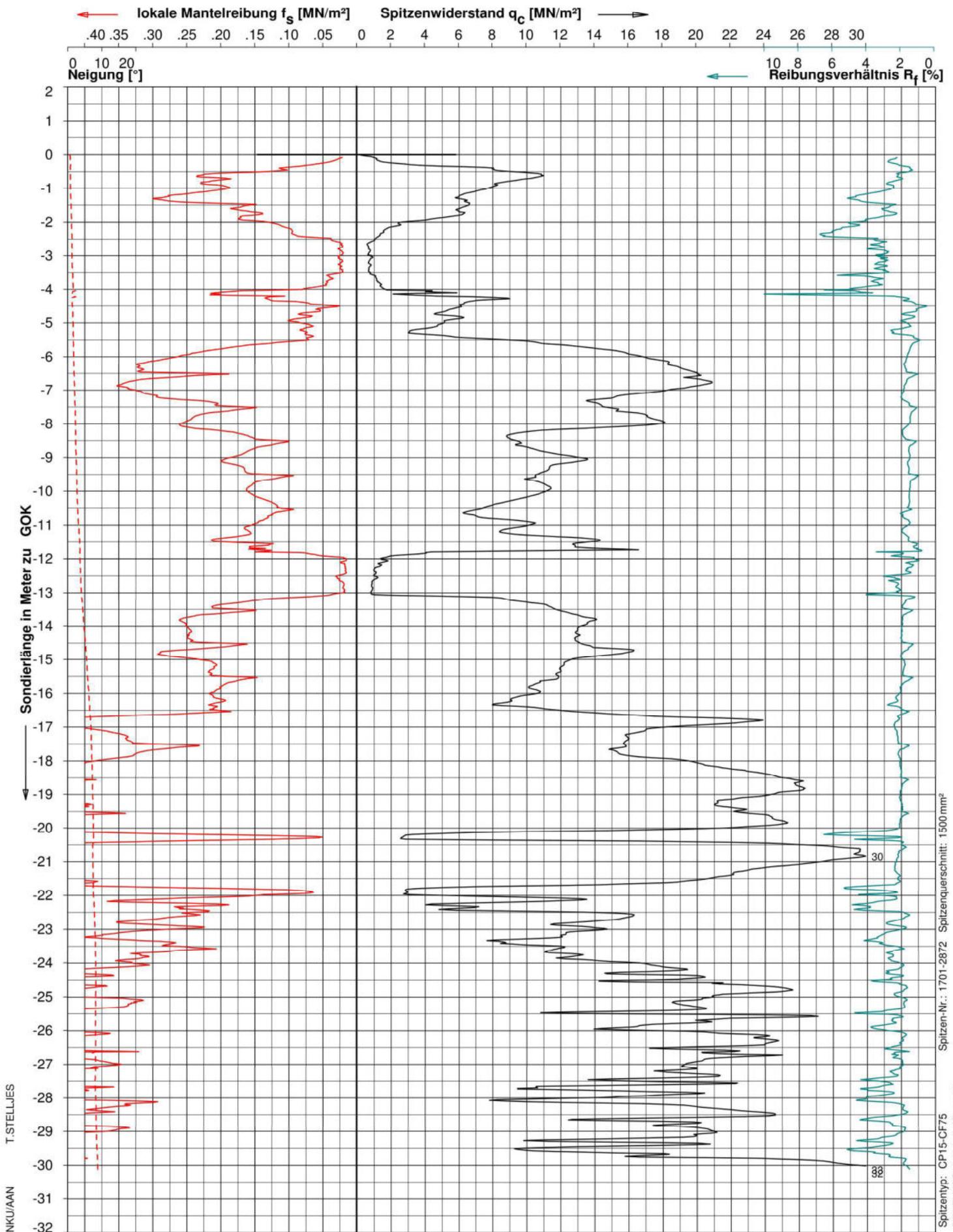


Fugro Germany Land GmbH
 Site Characterisation CPT
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 23-Oct-2018
 Sondierende : Vorgabe
 Gelände : 0.00 m zu GOK
 Endteufe : -30.32 m zu GOK

Projekt: 620-18-0769
 Sondierung : WEA-4-O

DIN ISO 9001



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke
WP Nartum



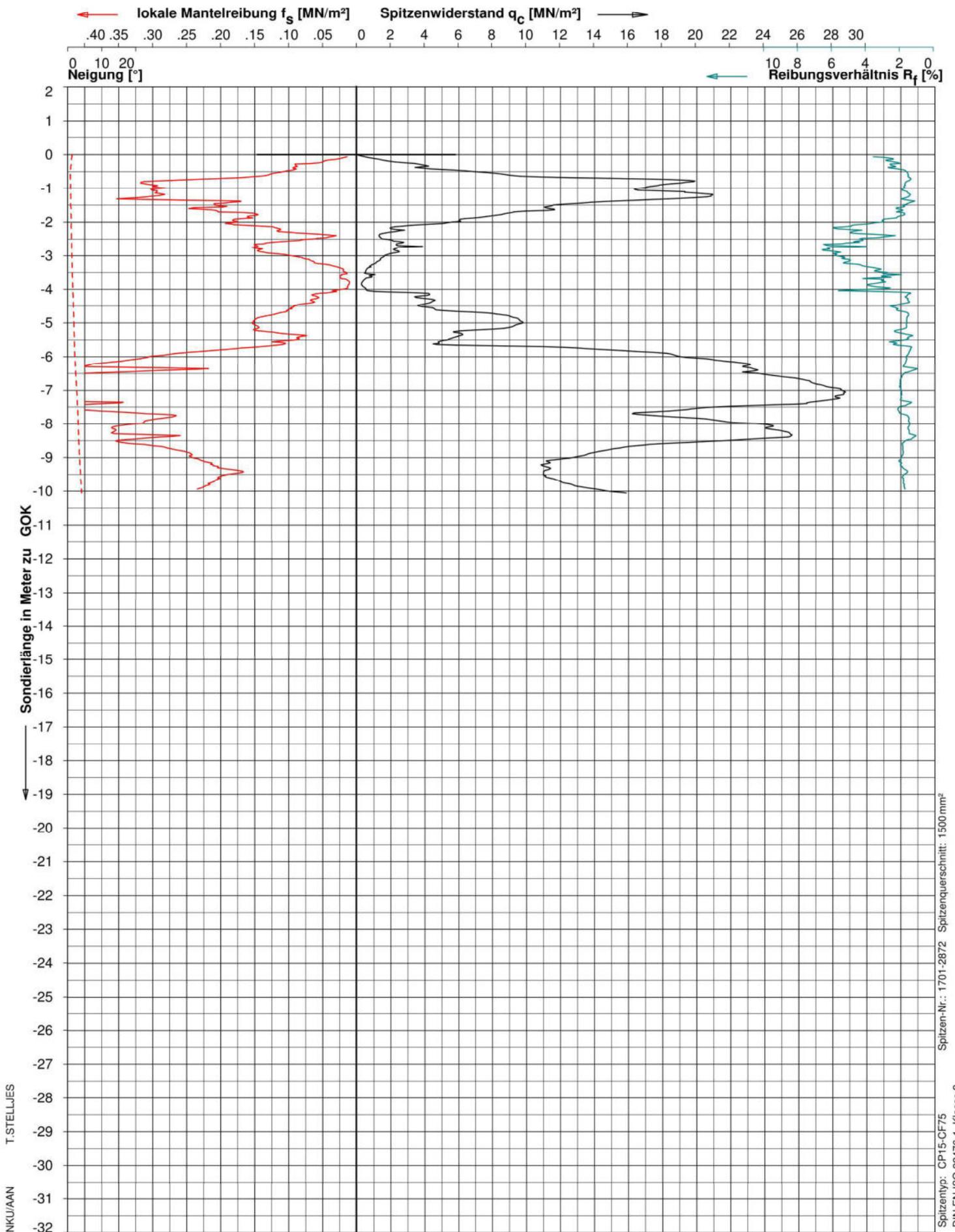
Fugro Germany Land GmbH

Site Characterisation CPT
Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal
Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 23-Oct-2018
Sondierende : Vorgabe
Gelände : 0.00 m zu GOK
Endteufe : -30.24 m zu GOK

Projekt: 620-18-0769
Sondierung : WEA-4-W

DIN ISO 9001



Spitzen-Nr.: 1701-2872 Spitzenquerschnitt: 1500 mm²
 Spitzentyp: CPI15-CF75
 DIN EN ISO 22476-1, Klasse 2

ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke
 WP Nartum

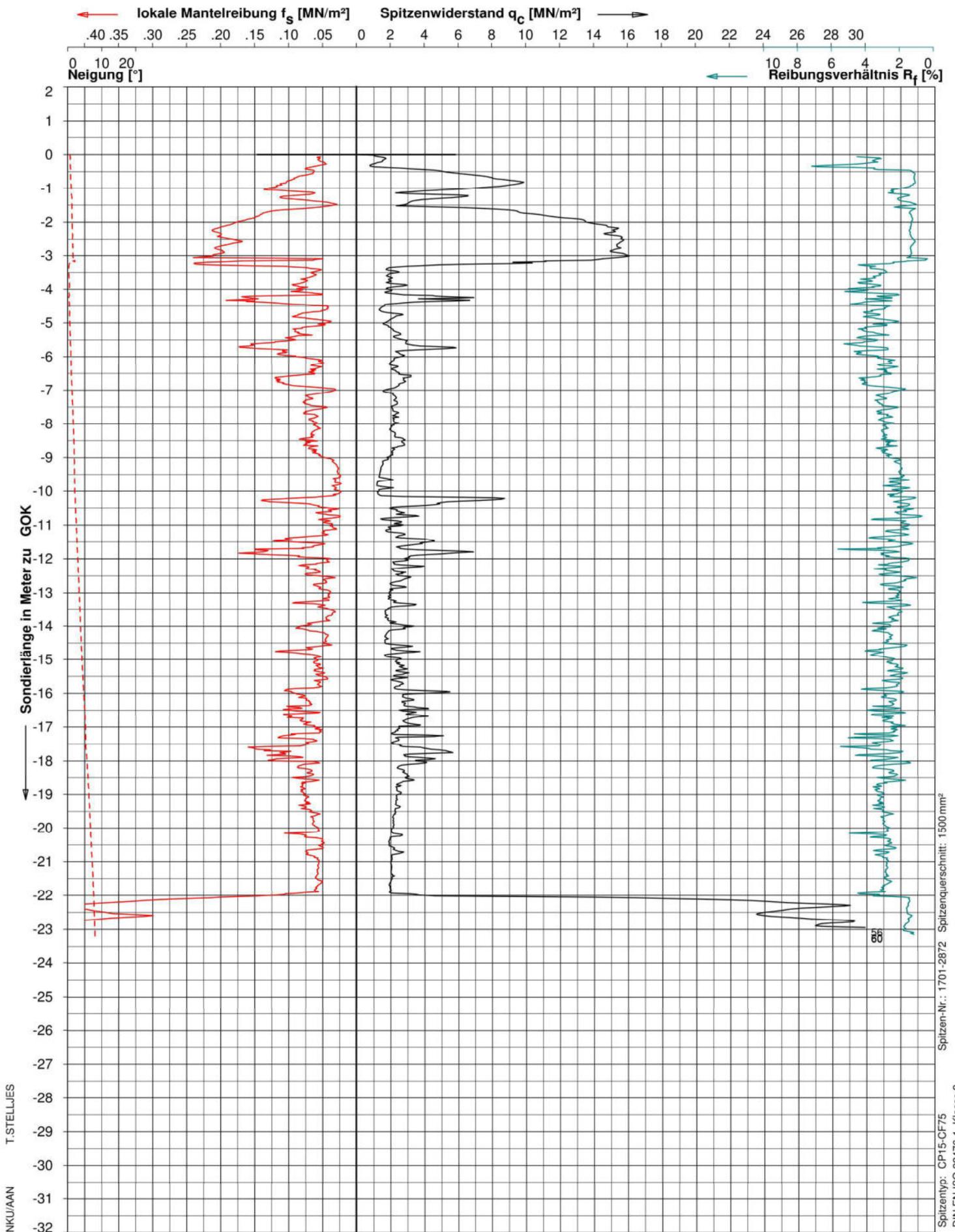


Fugro Germany Land GmbH
 Site Characterisation CPT
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 23-Oct-2018
 Sondierende : Vorgabe
 Gelände : 0.00 m zu GOK
 Endteufe : -10.06 m zu GOK

Projekt: 620-18-0769
 Sondierung : WEA-4-K

DIN ISO 9001



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke
WP Nartum

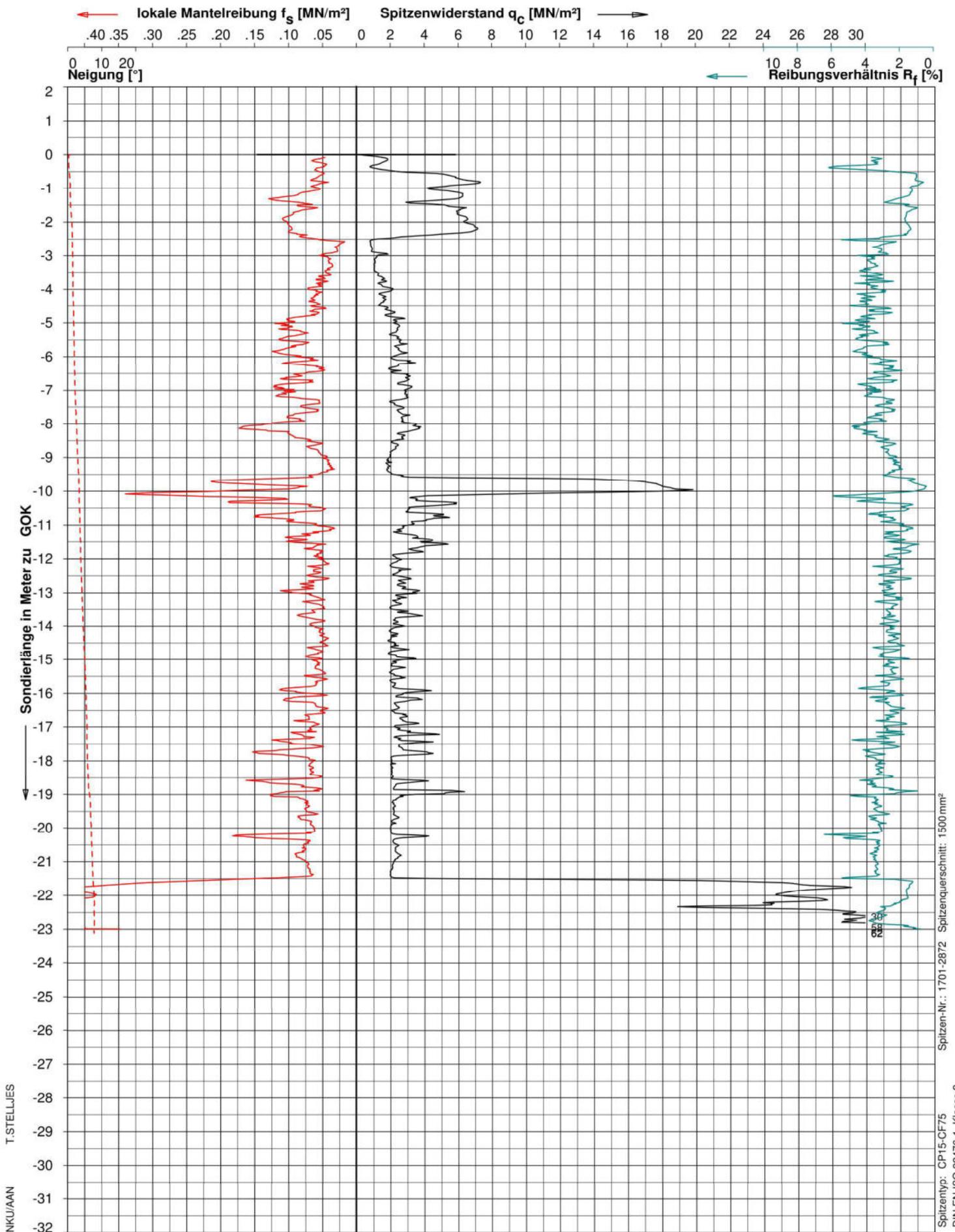


Fugro Germany Land GmbH
 Site Characterisation CPT
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 23-Oct-2018
 Sondierende : Auslastung
 Gelände : 0.00 m zu GOK
 Endteufe : -23.27 m zu GOK

Projekt: 620-18-0769
 Sondierung : WEA-5-N

DIN ISO 9001



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke
WP Nartum



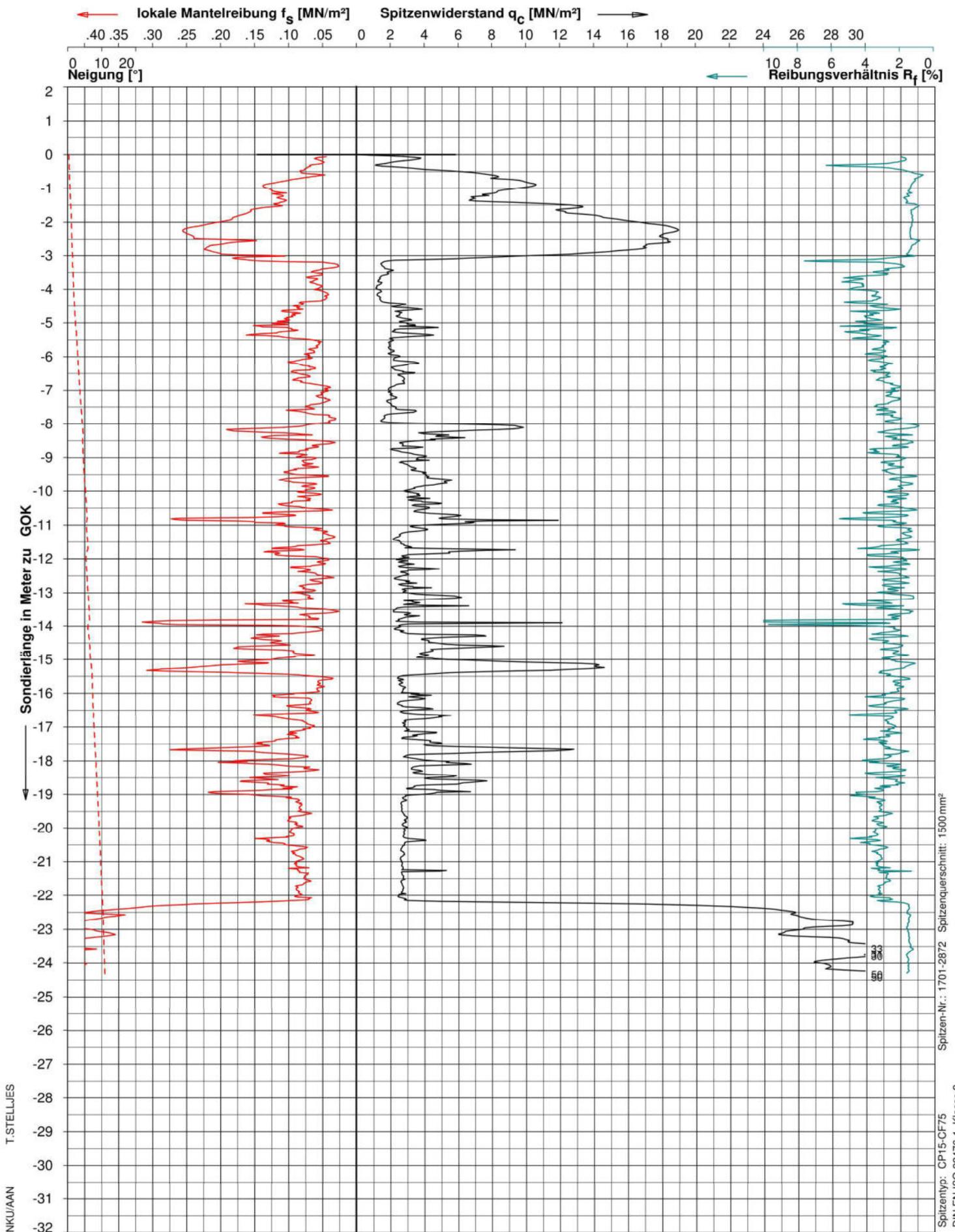
Fugro Germany Land GmbH

Site Characterisation CPT
Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal
Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 23-Oct-2018
Sondierende : Auslastung
Gelände : 0.00 m zu GOK
Endteufe : -23.12 m zu GOK

Projekt: 620-18-0769
Sondierung : WEA-5-O

DIN ISO 9001



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke
WP Nartum



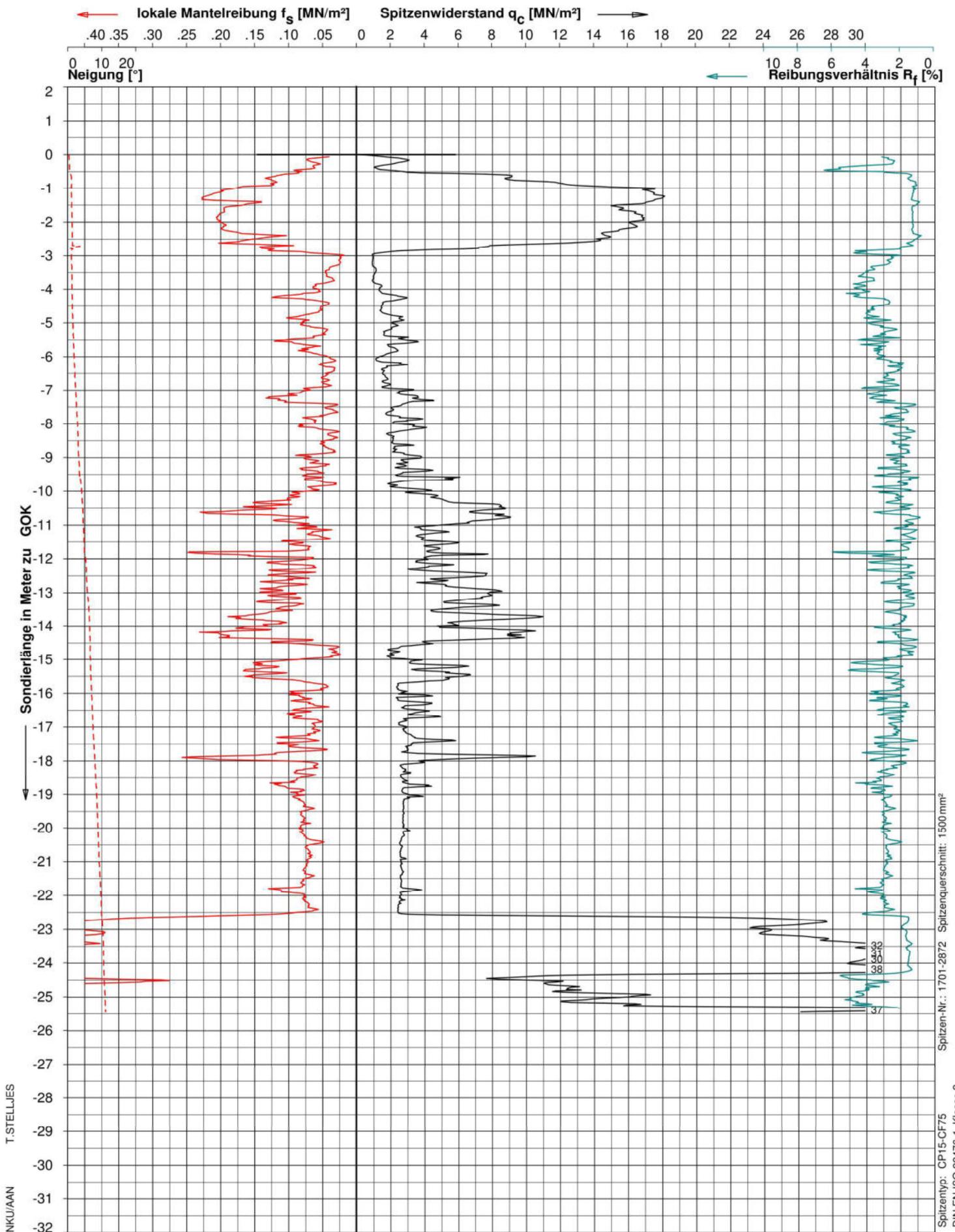
Fugro Germany Land GmbH

Site Characterisation CPT
Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal
Tel: (04298)93720 Fax: 937220

DIN ISO 9001

Datum : 23-Oct-2018
Sondierende : Auslastung
Gelände : 0.00 m zu GOK
Endteufe : -24.42 m zu GOK

Projekt: 620-18-0769
Sondierung : WEA-5-S



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke
WP Nartum

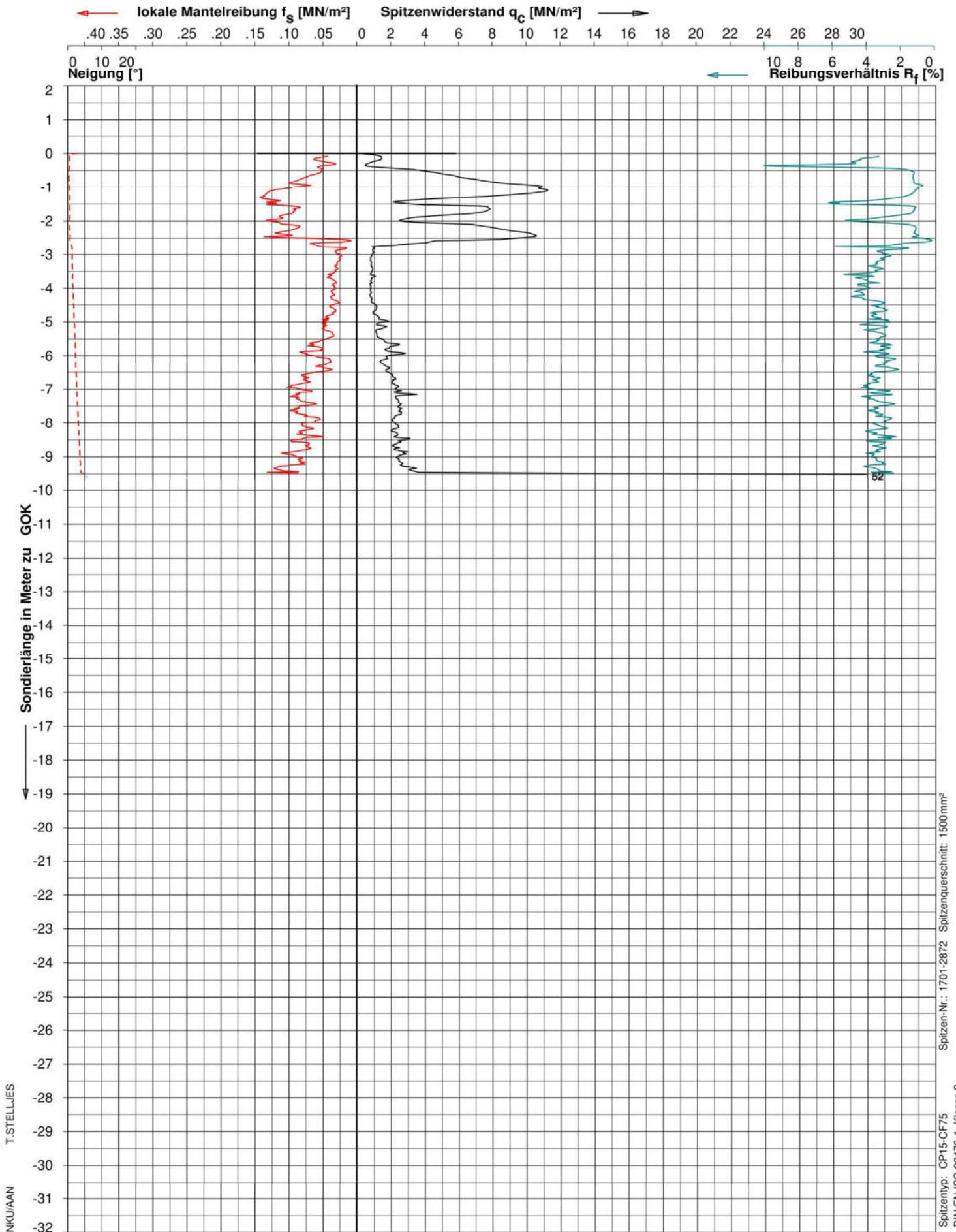


Fugro Germany Land GmbH
 Site Characterisation CPT
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 23-Oct-2018
 Sondierende : Auslastung
 Gelände : 0.00 m zu GOK
 Endteufe : -25.48 m zu GOK

Projekt: 620-18-0769
 Sondierung : WEA-5-W

DIN ISO 9001



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke
WP Nartum



Fugro Germany Land GmbH
 Site Characterisation CPT
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 23-Oct-2018
 Sondierende : Auslastung/Hindernis
 Gelände : 0.00 m zu GOK
 Endteufe : -9.59 m zu GOK

Projekt: 620-18-0769
 Sondierung : WEA-5-K

DIN ISO 9001



ANLAGE 4.1

Bestimmung des Wassergehaltes, DIN 18121

BESTIMMUNG DES WASSERGEHALTES

nach DIN 18121

Bauvorhaben:

WP Nartum

Kontr.-Nr.: 1092-18-1

Anlage: 4.1

EDV-Nr.:

Probe entnommen von:

Ulpts

am: 24.10.2018

Analysen durchgeführt von:

Müller

am: 30.10.2018

Nr.	Probenbezeichnung	Gewicht des Behälters [g]	Gewicht der Probe + Behälter		Wassergehalt [%]
			feucht [g]	trocken [g]	
1	WEA 1, 1.2: 0,40-1,50 m (Sand)	12,59	216,49	209,99	3,3
2	WEA 1, 1.3: 1,50-4,00m (Sand)	17,04	204,06	195,24	4,9
3	WEA 2, 2.3: 0,70-3,70 m (Geschiebelehm)	3,31	96,72	85,83	13,2
4	WEA 2, 2.4: 3,70-5,70 m (Geschiebelehm)	3,33	123,78	108,84	14,2
5	WEA 2, 2.5: 5,70-8,00 m (Sand)	12,29	279,05	232,98	20,9
6	WEA 2, 2.7: 8,50-10,00 m (Ton)	3,35	103,32	89,69	15,8
7	WEA 3, 3.2: 0,40-1,80 m (Sand)	16,96	239,50	231,09	3,9
8	WEA 3, 3.4: 2,80-3,10 m (Schluff, Mudde)	3,37	106,45	86,02	24,7
9	WEA 3, 3.5: 3,10-5,00 m (Torf)	3,33	76,06	34,87	130,6
10	WEA 3, 3.7: 7,70-9,80 m (Torf)	3,28	53,76	20,78	188,5
11	WEA 3, 3.8: 9,80-12,00 m (Sand)	12,43	243,57	209,90	17,1
12	WEA 4, 4.1: 0,40-1,80 m (Sand)	12,26	212,10	205,16	3,6
13	WEA 4, 4.2: 1,80-4,60 m (Geschiebelehm)	3,29	132,09	115,83	14,4
14	WEA 5, 5.1: 0,40-3,10 m (Sand)	12,44	259,62	219,76	19,2
15	WEA 5, 5.2: 3,10-5,00 m (Geschiebemergel)	3,31	117,64	105,79	11,6
16	WEA 5, 5.3: 5,00-7,00 m (Geschiebemergel)	3,29	122,49	109,68	12,0
17	WEA 5, 5.4: 7,00-10,00 m (Geschiebemergel)	3,31	145,43	131,37	11,0
18					
19					
20					
21					
22					



ANLAGE 4.2

Bestimmung des Glühverlustes, DIN 18128

BESTIMMUNG DES GLÜHVERLUSTES

nach DIN 18128

Bauvorhaben:

WP Nartum

Projekt-Nr.: 1092-18-1

Anlage: 4.2

Auftraggeber:

Probe entnommen von:

Ulpts

am: 24.10.2018

Analysen durchgeführt von:

Müller

am: 01.11.2018

Nr.	Probenbezeichnung	Gewicht des Behälters [g]	Gewicht der Probe + Behälter		Glühverlust [%]
			feucht [g]	trocken [g]	
1	WEA 3, 3.4: 2,80-3,10 m (Schluff, schwach organisch)	22,40	31,19	30,63	6,37
2	WEA 3, 3.5: 3,10-5,00 m (Torf)	22,31	27,26	25,47	36,16
3	WEA 3, 3.7: 7,70-9,80 m (Torf)	21,40	24,29	22,15	74,05
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					



ANLAGE 5.1-5.2
Körnungslinien, DIN 18123

Ingenieurgeologie Dr. Lübke

Füchteler Straße 29

49377 Vechta

Tel.: 04441-97975-0 Fax.: 04441-97975-29

Bearbeiter: Müller

Datum: 02.11.2018

Körnungslinie

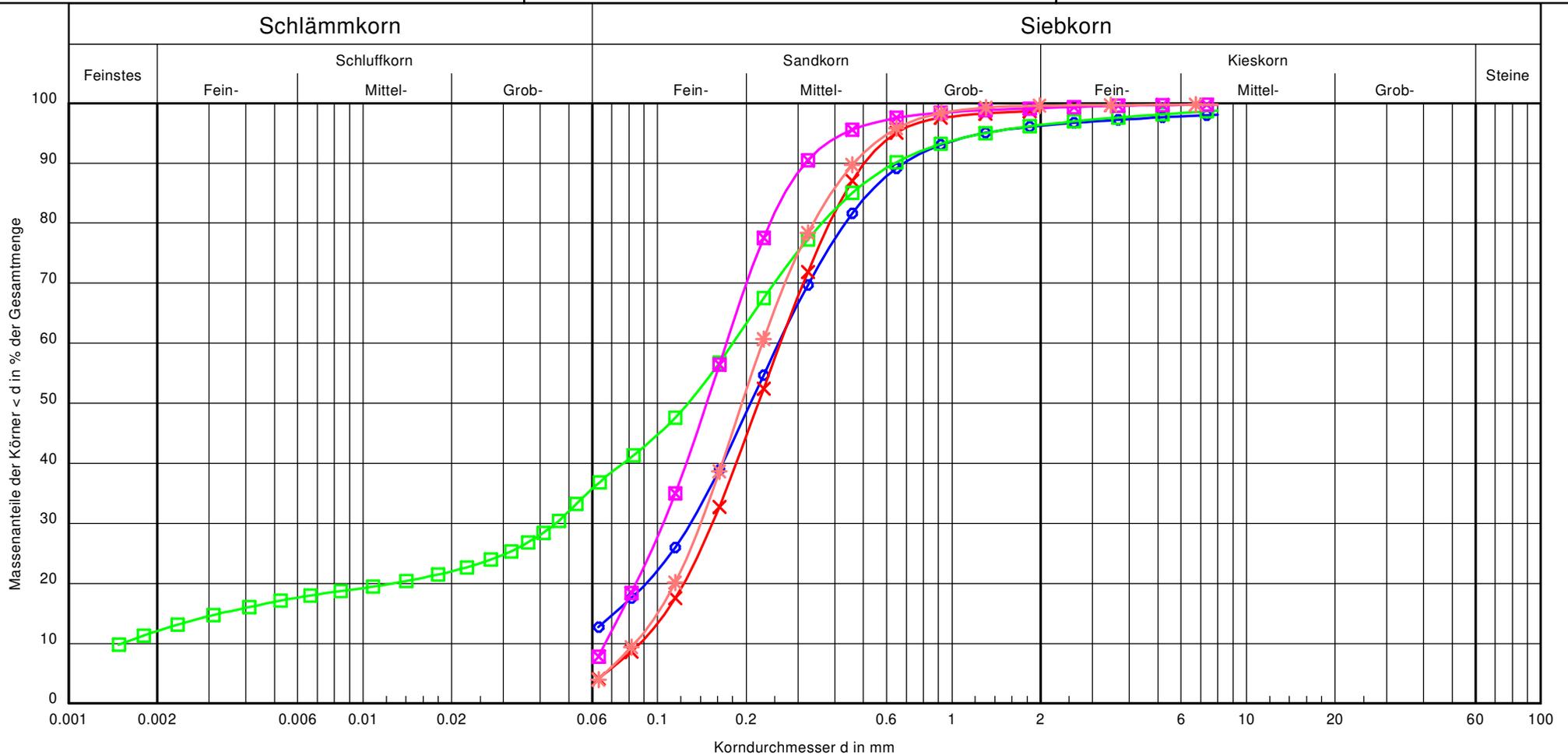
WP Nartum

Prüfungsnummer: 1092-18-1

Probe entnommen am: 24.10.2018

Art der Entnahme: gestört

Arbeitsweise: DIN 18123, nass, Kombi



Bezeichnung:					
Bodenart:	S, u'csacsifsaMSa	fS, mS, gs'csaFSa/MSa	S, u, t'fsciIcsiSa	fS, ms, u'csimsaFSa	fS, mSMSa/FSa
Tiefe:	0,40-1,50 m	1,50-4,00 m	0,70-3,70 m	5,70-8,00 m	0,40-1,80 m
U/Cc	-/-	3,0/1,0	118,9/7,5	2,6/1,0	2,7/1,0
Entnahmestelle:	WEA 1	WEA 1	WEA 2	WEA 2	WEA 3
kf (Hazen)	-	$8,8 \cdot 10^{-5}$	$2,7 \cdot 10^{-8}$	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$8,1 \cdot 10^{-5}$
T/U/S/G [%]:	- /12,7/83,5/3,8	- /4,1/95,9/ -	12,1/24,6/59,7/3,6	- /7,8/91,4/0,9	- /4,0/95,6/0,4

Bemerkungen:

Bericht:
 1092-18-1
 Anlage:
 5.1

Ingenieurgeologie Dr. Lübbe

Füchteler Straße 29

49377 Vechta

Tel.: 04441-97975-0 Fax.: 04441-97975-29

Bearbeiter: Müller

Datum: 02.11.2018

Körnungslinie

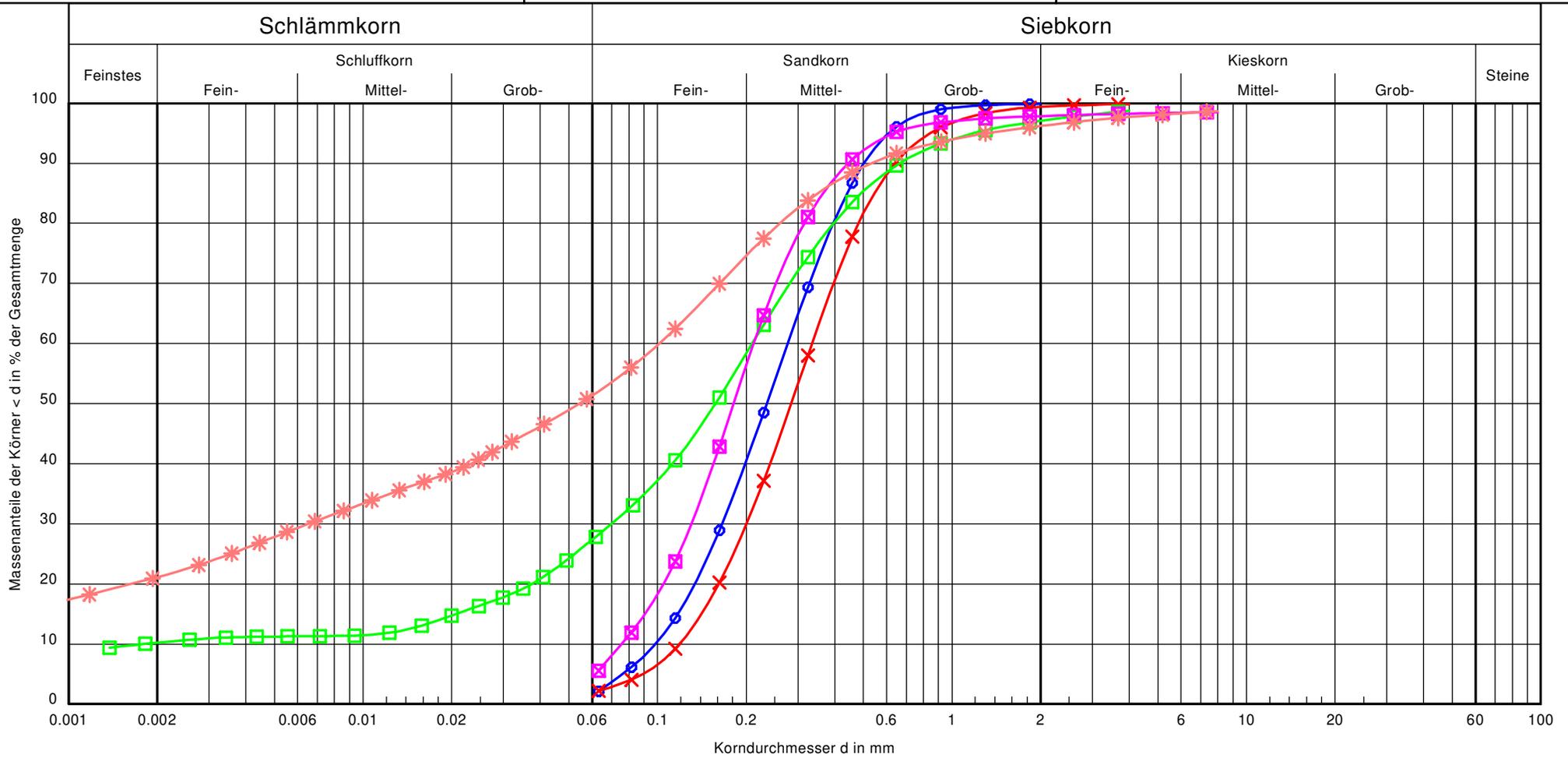
WP Nartum

Prüfungsnummer: 1092-18-1

Probe entnommen am: 24.10.2018

Art der Entnahme: gestört

Arbeitsweise: DIN 18123, nass, Kombi



Bezeichnung:	○—○	×—×	□—□	◻—◻	*—*
Bodenart:	mS, fs, gs'fSaMSa	mS, fs, gs'csafsaMSa	S, t', u'clcsiSa	fs, mS, u'csimsaFSa	S, u, tfsimsicsiclSa
Tiefe:	9,80-12,00 m	0,40-1,80 m	1,80-4,60 m	0,40-3,10 m	3,10-5,00 m
U/Cc	2.8/1.0	2.8/1.0	116.0/12.8	2.8/1.1	-/-
Entnahmestelle:	WEA 3	WEA 4	WEA 4	WEA 5	WEA 5
kf (Hazen)	$1.1 \cdot 10^{-4}$	$1.6 \cdot 10^{-4}$	$3.8 \cdot 10^{-9}$	$6.7 \cdot 10^{-5}$	-
T/U/S/G [%]:	- /2.1/97.9/ -	- /2.2/97.2/0.6	10.2/18.0/68.9/2.9	- /5.6/92.3/2.2	21.1/30.9/44.2/3.8

Bemerkungen:

Bericht:
1092-18-1
Anlage:
5.2



ANLAGE 6

Analysenergebnisse Grundwasseranalysen

UCL Umwelt Control Labor GmbH // Eddesser Straße 1 // 31234 Edemissen // Deutschland

Ingenieurgeologie Dr. Lübbe
- Frau Müller -
Füchteler Straße 29
49377 Vechta

Holger Ebert
T 05176 989757
F 05176 989744
holger.ebert@ucl-labor.de

Prüfbericht - Nr.: 18-54525-001/1

Prüfgegenstand: Wasser
Auftraggeber / KD-Nr.: Ingenieurgeologie Dr. Lübbe, Füchteler Straße 29, 49377 Vechta / 50295
Projektbezeichnung: 1092-18-1 WP Nartum
Probeneingang am / durch: 29.10.2018 / Paketdienst
Prüfzeitraum: 29.10.2018 - 06.11.2018

Prüfung und Beurteilung von Wasser nach DIN 4030-1:2008-06

Parameter	Probenbezeichnung Probe-Nr. Einheit	WEA3 18-54525-001	Grenzwerte für die Expositionsklassen				Methode
			nicht angreifend	XA1	XA2	XA3	
Analyse der Originalprobe							
pH-Wert		5,4	-	6,5 - 5,5	<5,5 - 4,5	<4,5	DIN EN ISO 10523: 2012-04;L
Temperatur (pH-Wert)	°C	18					DIN 38404-4: 1976-12;L
Sulfat	mg/l	26,6	-	200 - 600	>600 - 3000	>3000	DIN EN ISO 10304-1: 2009-07;L
Ammonium (NH4)	mg/l	0,61	-	15 - 30	>30 - 60	>60	DIN EN ISO 11732: 2005-05;L
Eisen	mg/l	6,2					DIN EN ISO 11885: 2009-09;L
Magnesium	mg/l	3,6	-	300 - 1000	>1000 - 3000	>3000	DIN EN ISO 11885: 2009-09;L
kalklösende Kohlensäure	mg/l	48	-	15 - 40	>40 - 100	>100	DIN 4030-2: 2008-06;L

n.b. = nicht bestimmbar n.a. = nicht analysiert ° = nicht akkreditiert FV = Fremdvergabe UA=Unterauftragvergabe AG=Auftraggeberdaten += durchgeführt
Standortkennung (Der Norm nachgestellte Buchstabenkombination): H=Hannover, KI=Kiel, L=Lünen, HE=Heide

Für die Bewertung ist der höchste Angriffsgrad maßgebend, auch wenn er nur von einem der Werte erreicht wird.
Liegen zwei oder mehr Werte im oberen Viertel eines Bereiches (pH unt. Viertel), so erhöht sich der Angriffsgrad um eine Stufe.

Bewertung:
Das Grundwasser ist nach DIN 4030 in die folgende Expositionsklasse einzuordnen: XA2
XA1 = schwach angreifend, XA2 = stark angreifend, XA3 = sehr stark angreifend

i.A. S. Bliefernick

12.11.2018

i.A. M.Sc. Simone Bliefernick (Kundenbetreuer)

20181112-16204379

UCL Umwelt Control Labor GmbH // Josef-Rethmann-Str. 5 // 44536 Lünen // Deutschland // T +49 2306 2409-0 // F +49 2306 2409-10 // info@ucl-labor.de
ucl-labor.de // Amtsgericht Dortmund, HRB 17247 // Geschäftsführer: Oliver Koenen, Martin Langkamp, Dr. André Nientiedt

Durch die DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiertes Prüflaboratorium und bekanntgegebene Messstelle nach § 29b Bundesimmissionsschutzgesetz.
Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren. Die Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den Prüfgegenstand.
Die Veröffentlichung und Vervielfältigung unserer Prüfberichte sowie deren Verwendung zu Werbezwecken bedürfen- auch auszugsweise - unserer schriftlichen Genehmigung.



UCL Umwelt Control Labor GmbH // Eddesser Straße 1 // 31234 Edemissen // Deutschland

Ingenieurgeologie Dr. Lübbe
- Frau Müller -
Füchteler Straße 29
49377 Vechta

Holger Ebert
T 05176 989757
F 05176 989744
holger.ebert@ucl-labor.de

Prüfbericht - Nr.: 18-54525-002/1

Prüfgegenstand: Wasser
Auftraggeber / KD-Nr.: Ingenieurgeologie Dr. Lübbe, Füchteler Straße 29, 49377 Vechta / 50295
Projektbezeichnung: 1092-18-1 WP Nartum
Probeneingang am / durch: 29.10.2018 / Paketdienst
Prüfzeitraum: 29.10.2018 - 06.11.2018

Prüfung und Beurteilung von Wasser nach DIN 4030-1:2008-06

Parameter	Probenbezeichnung Probe-Nr. Einheit	WEA5 18-54525-002	Grenzwerte für die Expositionsclassen				Methode
			nicht angreifend	XA1	XA2	XA3	
Analyse der Originalprobe							
pH-Wert		7,1	-	6,5 - 5,5	<5,5 - 4,5	<4,5	DIN EN ISO 10523: 2012-04;L
Temperatur (pH-Wert)	°C	18					DIN 38404-4: 1976-12;L
Sulfat	mg/l	99,1	-	200 - 600	>600 - 3000	>3000	DIN EN ISO 10304-1: 2009-07;L
Ammonium (NH4)	mg/l	0,57	-	15 - 30	>30 - 60	>60	DIN EN ISO 11732: 2005-05;L
Eisen	mg/l	20					DIN EN ISO 11885: 2009-09;L
Magnesium	mg/l	8,2	-	300 - 1000	>1000 - 3000	>3000	DIN EN ISO 11885: 2009-09;L
kalklösende Kohlensäure	mg/l	1,5	-	15 - 40	>40 - 100	>100	DIN 4030-2: 2008-06;L

n.b. = nicht bestimmbar n.a. = nicht analysiert ° = nicht akkreditiert FV = Fremdvergabe UA=Unterauftragvergabe AG=Auftraggeberdaten += durchgeführt
Standortkennung (Der Norm nachgestellte Buchstabenkombination): H=Hannover, KI=Kiel, L=Lünen, HE=Heide

Für die Bewertung ist der höchste Angriffsgrad maßgebend, auch wenn er nur von einem der Werte erreicht wird.
Liegen zwei oder mehr Werte im oberen Viertel eines Bereiches (pH unt. Viertel), so erhöht sich der Angriffsgrad um eine Stufe.

Bewertung:
Das Grundwasser ist nach DIN 4030 in die folgende Expositionsklasse einzuordnen: nicht angreifend
XA1 = schwach angreifend, XA2 = stark angreifend, XA3 = sehr stark angreifend

i.A. S. Bliefernick

12.11.2018

i.A. M.Sc. Simone Bliefernick (Kundenbetreuer)

20181112-16204379

UCL Umwelt Control Labor GmbH // Josef-Rethmann-Str. 5 // 44536 Lünen // Deutschland // T +49 2306 2409-0 // F +49 2306 2409-10 // info@ucl-labor.de
ucl-labor.de // Amtsgericht Dortmund, HRB 17247 // Geschäftsführer: Oliver Koenen, Martin Langkamp, Dr. André Nientiedt

Durch die DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiertes Prüflaboratorium und bekanntgegebene Messstelle nach § 29b Bundesimmissionsschutzgesetz.
Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren. Die Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den Prüfgegenstand.
Die Veröffentlichung und Vervielfältigung unserer Prüfberichte sowie deren Verwendung zu Werbezwecken bedürfen- auch auszugsweise - unserer schriftlichen Genehmigung.

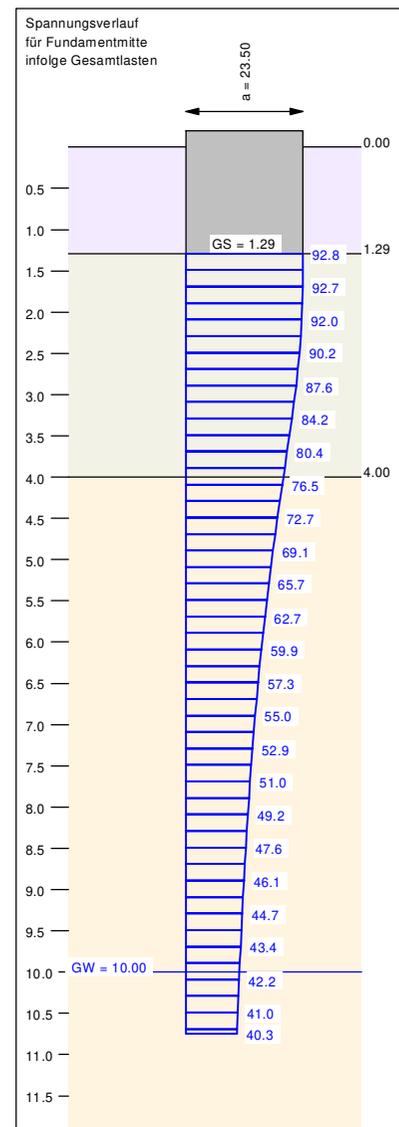
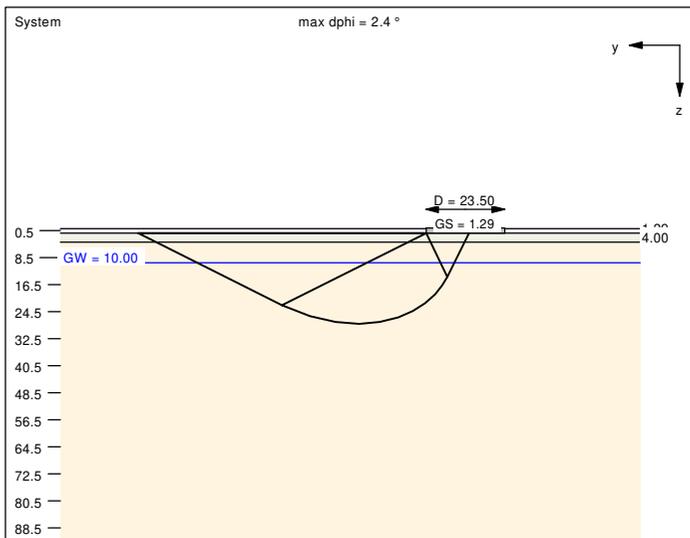




ANLAGE 7.1-7.8

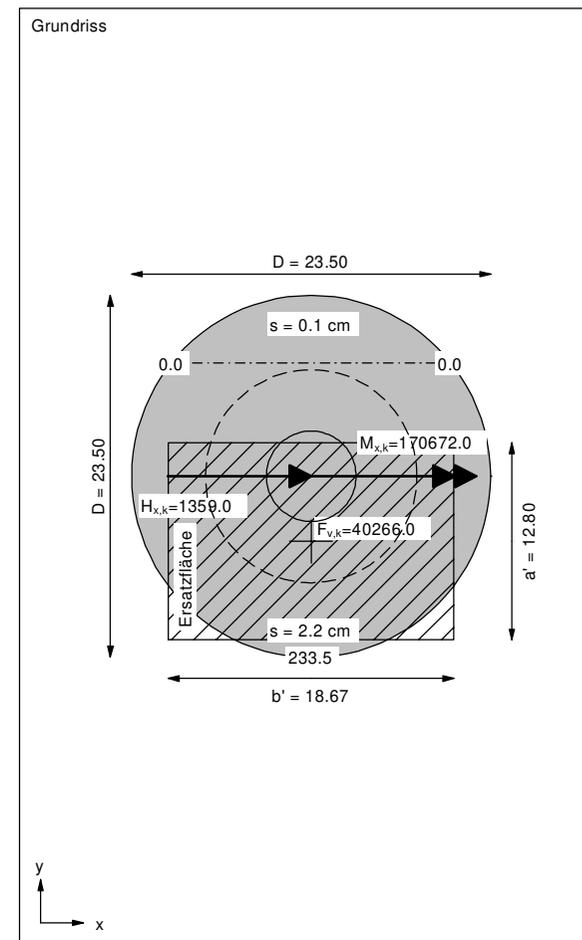
Setzungsberechnungen, Grundbuch

Boden	γ [kN/m ³]	γ' [kN/m ³]	φ [°]	c [kN/m ²]	E _s [MN/m ²]	v [-]	κ [-]	Bezeichnung
	17.0	9.0	30.0	0.0	30.0	0.00	1.000	seitl. A
	19.0	10.0	35.0	0.0	40.0	0.00	1.000	Fein- bis Mittelsand
	20.0	11.0	37.5	0.0	80.0	0.00	1.000	Fein- bis Mittelsand



Berechnungsgrundlagen:
WEA Nartum, WEA 1, BS-P
Grundbruchformel nach DIN 4017:2006
Teilsicherheitskonzept
 $\gamma_{Gr} = 1.40$
 $\gamma_G = 1.35$
 $\gamma_Q = 1.50$
 $\gamma(GI) = 1.10$
Gleitsicherheit mit $\varphi = 30.00^\circ$

Gründungssohle = 1.29 m
Grundwasser = 10.00 m
Grenztiefe mit $p = 20.0\%$
Teilsicherheitskonzept
----- 1. Kernweite
----- 2. Kernweite



Ergebnisse Einzelfundament:
Lasten = ständig / veränderlich
Vertikallast $F_{v,k} = 40266.00 / 0.00$ kN
Horizontalkraft $F_{h,x,k} = 1359.00 / 0.00$ kN
Horizontalkraft $F_{h,y,k} = 0.00 / 0.00$ kN
Moment $M_{x,k} = 170672.00 / 0.00$ kN-m
Moment $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$ kN-m
Durchmesser $D = 23.500$ m
Unter ständigen Lasten:
Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
Exzentrizität $e_y = -4.239$ m
Resultierende im 2. Kern (= 6.921 m)
 $a' = 12.797$ m
 $b' = 18.671$ m
Unter Gesamlasten:
Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
Exzentrizität $e_y = -4.239$ m
Resultierende im 2. Kern (= 6.921 m)
 $a' = 12.797$ m
 $b' = 18.671$ m

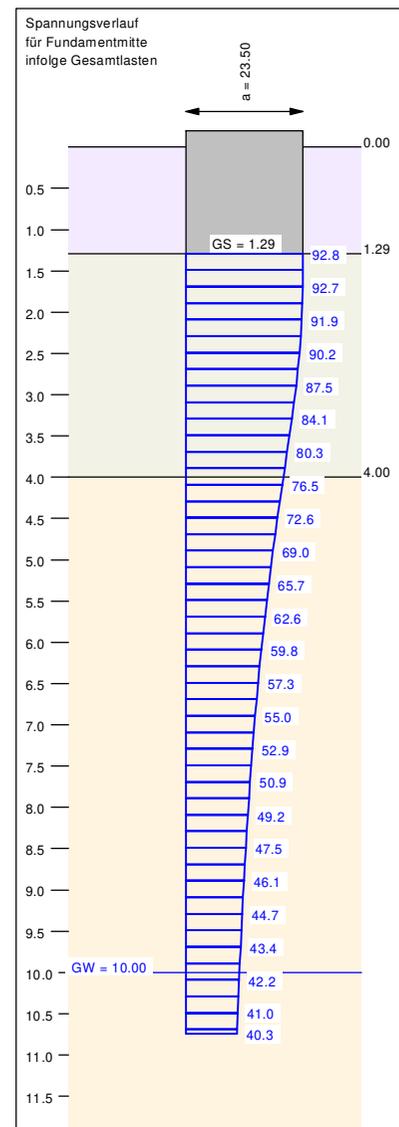
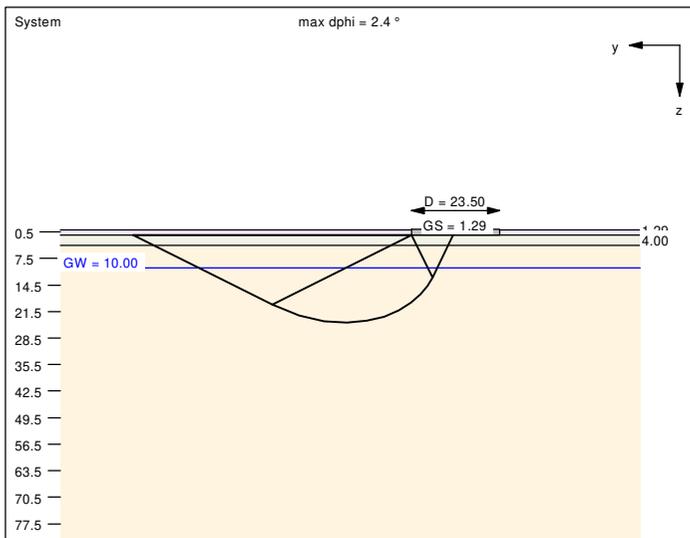
cal c = 0.00 kN/m²
cal $\gamma_2 = 14.96$ kN/m³
cal $\sigma_{\bar{u}} = 21.93$ kN/m²
UK log. Spirale = 28.09 m u. GOK
Länge log. Spirale = 117.37 m
Fläche log. Spirale = 1672.34 m²
Tragfähigkeitsbeiwerte (y):
 $N_{c0} = 57.33$; $N_{d0} = 44.69$; $N_{b0} = 33.30$
Formbeiwerte (y):
 $v_c = 1.425$; $v_d = 1.415$; $v_b = 0.794$
Neigungsbeiwerte (y):
 $i_c = 0.952$; $i_d = 0.953$; $i_b = 0.921$

Gleitwiderstand:
Teilsicherheit (Gleitwiderstand) $\gamma_{GI} = 1.10$
 $N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{GI} = 40266.00 \cdot \tan(30.00^\circ) / 1.10$
 $R_{t,d} = N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{GI} = 21134.17$ kN
 $T_d = 1834.65$ kN
 $\mu = T_d / R_{t,d} = 0.087$

Setzung infolge Gesamlasten:
Grenztiefe $t_g = 10.75$ m u. GOK
Setzung (Mittel aller KPs) = 1.16 cm
Setzungen der KPs:
oben = 0.08 cm
unten = 2.24 cm
Verdrehung(x) (KP) = 1 : 916.6

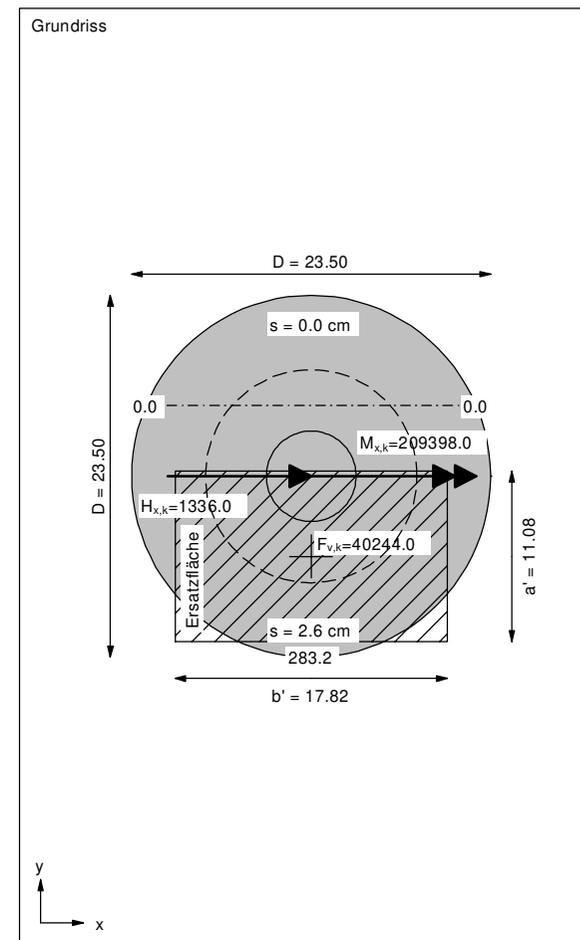
Grundbruch:
Durchstanzen untersucht,
aber nicht maßgebend.
Teilsicherheit (Grundbruch) $\gamma_{Gr} = 1.40$
 $\sigma_{0t,k} / \sigma_{0t,d} = 5982.9 / 4273.52$ kN/m²
 $R_{n,k} = 1429504.59$ kN
 $R_{n,d} = 1021074.71$ kN
 $V_d = 1.35 \cdot 40266.00 + 1.50 \cdot 0.00$ kN
 $V_d = 54359.10$ kN
 μ (parallel zu y) = 0.053
cal $\varphi = 37.3^\circ$

Boden	γ [kN/m ³]	γ' [kN/m ³]	φ [°]	c [kN/m ²]	E_s [MN/m ²]	ν [-]	κ [-]	Bezeichnung
	17.0	9.0	30.0	0.0	30.0	0.00	1.000	seitl. A
	19.0	10.0	35.0	0.0	40.0	0.00	1.000	Fein- bis Mittelsand
	20.0	11.0	37.5	0.0	80.0	0.00	1.000	Fein- bis Mittelsand



Berechnungsgrundlagen:
WEA Nartum, WEA 1, BS-A
Grundbruchformel nach DIN 4017:2006
Teilsicherheitskonzept
 $\gamma_{Gr} = 1.40$
 $\gamma_G = 1.35$
 $\gamma_Q = 1.50$
 $\gamma(GI) = 1.10$
Gleitsicherheit mit $\varphi = 30.00^\circ$

Gründungssohle = 1.29 m
Grundwasser = 10.00 m
Grenztiefe mit $p = 20.0\%$
Teilsicherheitskonzept
----- 1. Kernweite
----- 2. Kernweite



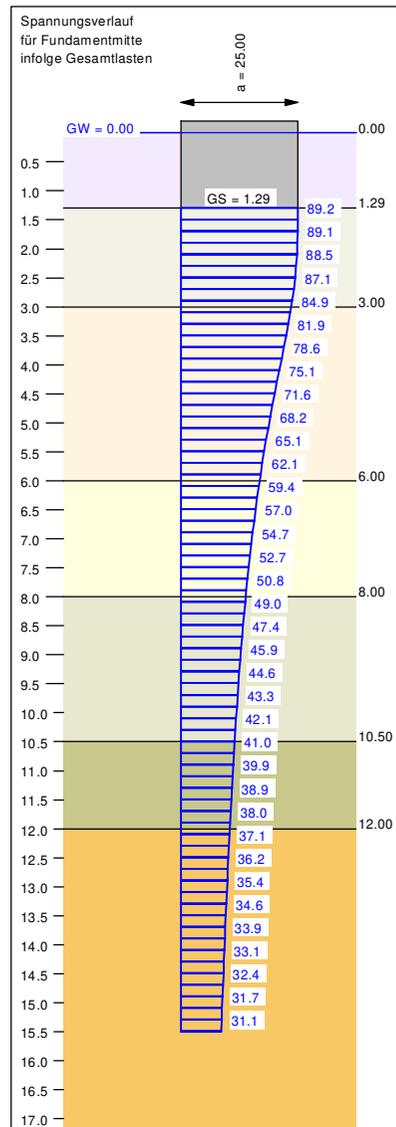
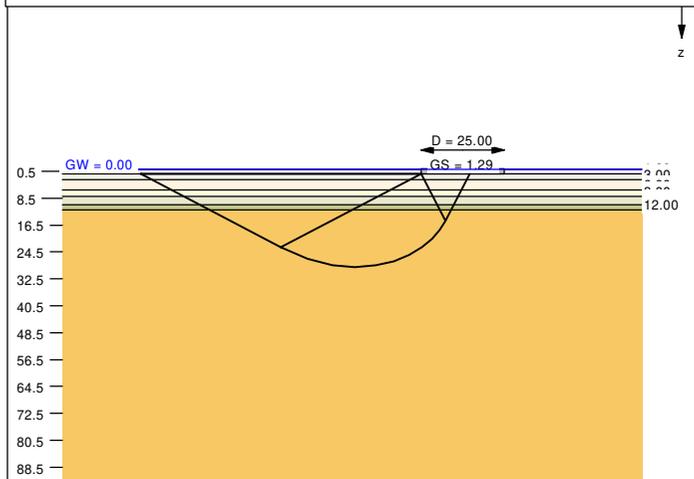
Ergebnisse Einzelfundament:
Lasten = ständig / veränderlich
Vertikallast $F_{v,k} = 40244.00 / 0.00$ kN
Horizontalkraft $F_{h,x,k} = 1336.00 / 0.00$ kN
Horizontalkraft $F_{h,y,k} = 0.00 / 0.00$ kN
Moment $M_{x,k} = 209398.00 / 0.00$ kN-m
Moment $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$ kN-m
Durchmesser $D = 23.500$ m
Unter ständigen Lasten:
Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
Exzentrizität $e_y = -5.203$ m
Resultierende im 2. Kern (= 6.921 m)
 $a' = 11.076$ m
 $b' = 17.824$ m
Unter Gesamlasten:
Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
Exzentrizität $e_y = -5.203$ m
Resultierende im 2. Kern (= 6.921 m)
 $a' = 11.076$ m
 $b' = 17.824$ m

cal $c = 0.00$ kN/m²
cal $\gamma_2 = 15.48$ kN/m³
cal $\sigma_{\bar{u}} = 21.93$ kN/m²
UK log. Spirale = 24.46 m u. GOK
Länge log. Spirale = 101.42 m
Fläche log. Spirale = 1249.17 m²
Tragfähigkeitsbeiwerte (y):
 $N_{c0} = 57.17$; $N_{d0} = 44.52$; $N_{b0} = 33.13$
Formbeiwerte (y):
 $v_c = 1.385$; $v_d = 1.376$; $v_b = 0.814$
Neigungsbeiwerte (y):
 $i_c = 0.953$; $i_d = 0.954$; $i_b = 0.923$
Gleitwiderstand:
Teilsicherheit (Gleitwiderstand) $\gamma_{GI} = 1.10$
 $N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{GI} = 40244.00 \cdot \tan(30.00^\circ) / 1.10$
 $R_{t,d} = N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{GI} = 21122.62$ kN
 $T_d = 1803.60$ kN
 $\mu = T_d / R_{t,d} = 0.085$

Setzung infolge Gesamlasten:
Grenztiefe $t_g = 10.75$ m u. GOK
Setzung (Mittel aller KPs) = 1.34 cm
Setzungen der KPs:
oben = 0.05 cm
unten = 2.64 cm
Verdrehung(x) (KP) = 1 : 766.3

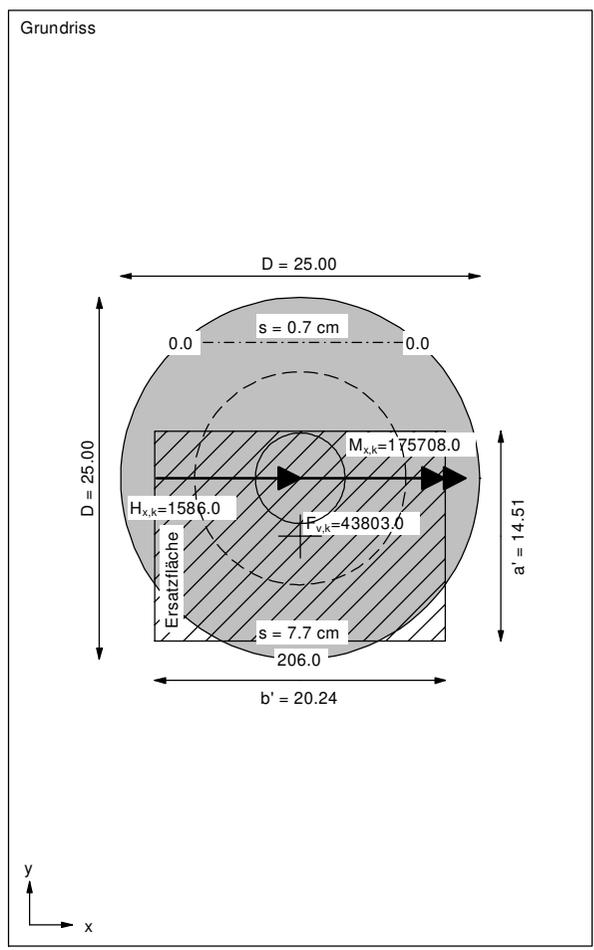
Grundbruch:
Durchstanzen untersucht,
aber nicht maßgebend.
Teilsicherheit (Grundbruch) $\gamma_{Gr} = 1.40$
 $\sigma_{0t,k} / \sigma_{0t,d} = 5547.9 / 3962.81$ kN/m²
 $R_{n,k} = 1095335.45$ kN
 $R_{n,d} = 782382.46$ kN
 $V_d = 1.35 \cdot 40244.00 + 1.50 \cdot 0.00$ kN
 $V_d = 54329.40$ kN
 μ (parallel zu y) = 0.069
cal $\varphi = 37.3^\circ$

Boden	γ [kN/m ³]	γ' [kN/m ³]	φ [°]	c [kN/m ²]	E_s [MN/m ²]	v [-]	κ [-]	Bezeichnung
	17.0	9.0	30.0	0.0	30.0	0.00	1.000	seitl. A
	20.0	10.0	30.0	5.0	20.0	0.00	1.000	GL, st
	20.0	10.0	30.0	2.0	15.0	0.00	1.000	Gl, w-st
	18.0	10.0	32.0	0.0	30.0	0.00	1.000	Sand, lo-md
	20.0	10.0	30.0	0.0	10.0	0.00	1.000	Gl, w
	18.0	10.0	32.0	0.0	30.0	0.00	1.000	Sand, lo
	19.0	10.0	37.5	0.0	80.0	0.00	1.000	Sand, dicht



Berechnungsgrundlagen:
WEA Nartum, WEA 2, BS-P
Grundbruchformel nach DIN 4017:2006
Teilsicherheitskonzept
 $\gamma_{Gr} = 1.40$
 $\gamma_G = 1.35$
 $\gamma_Q = 1.50$
 $\gamma(GI) = 1.10$
Gleitsicherheit mit $\varphi = 30.00^\circ$

Gründungssohle = 1.29 m
Grundwasser = 0.00 m
Gründtiefe mit $p = 20.0\%$
Teilsicherheitskonzept
----- 1. Kernweite
----- 2. Kernweite



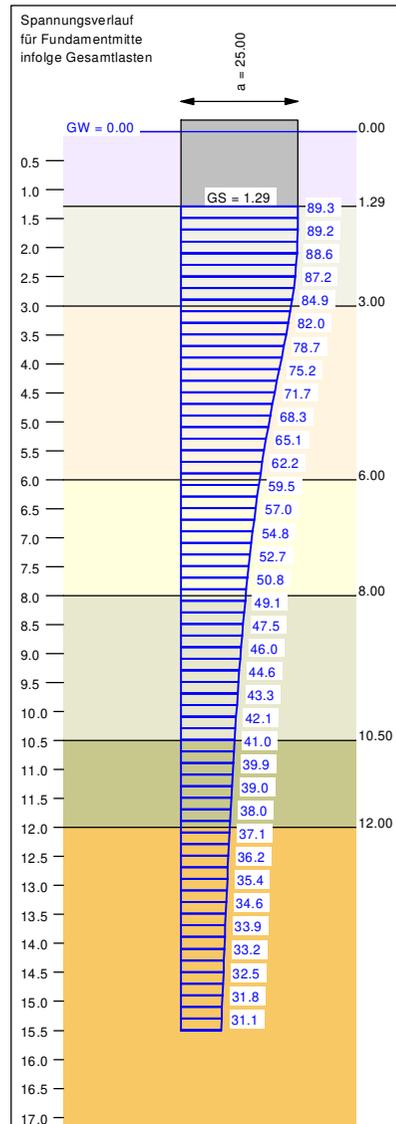
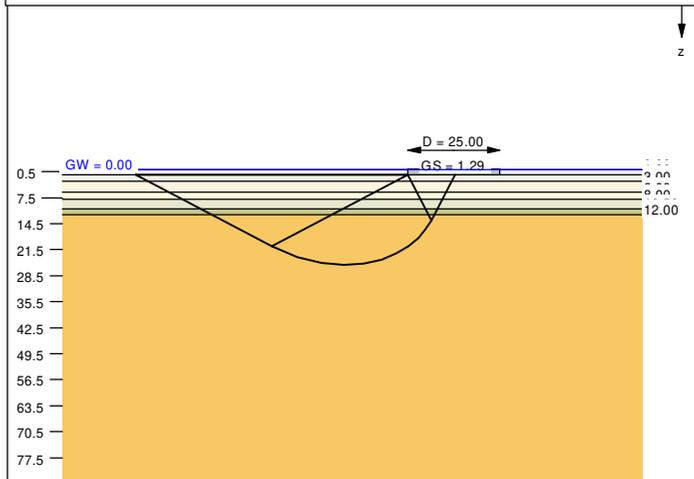
Ergebnisse Einzelfundament:
Lasten = ständig / veränderlich
Vertikallast $F_{v,k} = 43803.00 / 0.00$ kN
Horizontalkraft $F_{h,x,k} = 1586.00 / 0.00$ kN
Horizontalkraft $F_{h,y,k} = 0.00 / 0.00$ kN
Moment $M_{x,k} = 175708.00 / 0.00$ kN-m
Moment $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$ kN-m
Durchmesser $D = 25.000$ m
Unter ständigen Lasten:
Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
Exzentrizität $e_y = -4.011$ m
Resultierende im 2. Kern (= 7.363 m)
 $a' = 14.514$ m
 $b' = 20.243$ m
Unter Gesamlasten:
Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
Exzentrizität $e_y = -4.011$ m
Resultierende im 2. Kern (= 7.363 m)
 $a' = 14.514$ m
 $b' = 20.243$ m
Grundbruch:
Durchstanzen untersucht,
aber nicht maßgebend.
Teilsicherheit (Grundbruch) $\gamma_{Gr} = 1.40$
 $\sigma_{0f,k} / \sigma_{0f,d} = 2892.3 / 2065.95$ kN/m²
 $R_{n,k} = 849780.89$ kN
 $R_{n,d} = 606986.35$ kN
 $V_d = 1.35 \cdot 43803.00 + 1.50 \cdot 0.00$ kN
 $V_d = 59134.05$ kN
 μ (parallel zu y) = 0.097
 $\text{cal } \varphi = 35.0^\circ$

φ wegen 5° Bedingung abgemindert
 $\text{cal } c = 0.41$ kN/m²
 $\text{cal } \gamma_2 = 10.00$ kN/m³
 $\text{cal } \sigma_{0i} = 11.61$ kN/m²
UK log. Spirale = 28.97 m u. GOK
Länge log. Spirale = 118.00 m
Fläche log. Spirale = 1723.83 m²
Tragfähigkeitsbeiwerte (y):
 $N_{c0} = 46.06$; $N_{d0} = 33.23$; $N_{b0} = 22.56$
Formbeiwerte (y):
 $v_c = 1.424$; $v_d = 1.411$; $v_b = 0.785$
Neigungsbeiwerte (y):
 $i_c = 0.947$; $i_d = 0.949$; $i_b = 0.915$

Gleitwiderstand:
Teilsicherheit (Gleitwiderstand) $\gamma_{GI} = 1.10$
 $N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{GI} = 43803.00 \cdot \tan(30.00^\circ) / 1.10$
 $R_{t,d} = N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{GI} = 22990.61$ kN
 $T_d = 2141.10$ kN
 $\mu = T_d / R_{t,d} = 0.093$

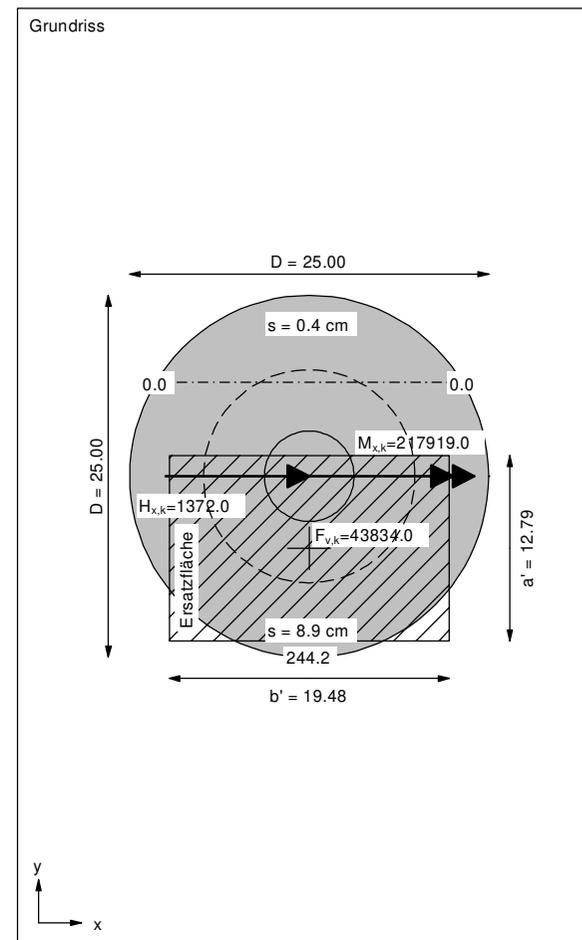
Setzung infolge Gesamlasten:
Grenztiefe $t_g = 15.50$ m u. GOK
Setzung (Mittel aller KPs) = 4.21 cm
Setzungen der KPs:
oben = 0.67 cm
unten = 7.74 cm
Verdrehung(x) (KP) = 1 : 298.8

Boden	γ [kN/m ³]	γ' [kN/m ³]	φ [°]	c [kN/m ²]	E_s [MN/m ²]	v [-]	κ [-]	Bezeichnung
	17.0	9.0	30.0	0.0	30.0	0.00	1.000	seitl. A
	20.0	10.0	30.0	5.0	20.0	0.00	1.000	GL, st
	20.0	10.0	30.0	2.0	15.0	0.00	1.000	Gl, w-st
	18.0	10.0	32.0	0.0	30.0	0.00	1.000	Sand, lo-md
	20.0	10.0	30.0	0.0	10.0	0.00	1.000	Gl, w
	18.0	10.0	32.0	0.0	30.0	0.00	1.000	Sand, lo
	19.0	10.0	37.5	0.0	80.0	0.00	1.000	Sand, dicht



Berechnungsgrundlagen:
WEA Nartum, WEA 2, BS-A
Grundbruchformel nach DIN 4017:2006
Teilsicherheitskonzept
 $\gamma_{Gr} = 1.40$
 $\gamma_G = 1.35$
 $\gamma_Q = 1.50$
 $\gamma(GI) = 1.10$
Gleitsicherheit mit $\varphi = 30.00^\circ$

Gründungssohle = 1.29 m
Grundwasser = 0.00 m
Gründtiefe mit $p = 20.0\%$
Teilsicherheitskonzept
----- 1. Kernweite
----- 2. Kernweite



Ergebnisse Einzelfundament:
Lasten = ständig / veränderlich
Vertikallast $F_{v,k} = 43834.00 / 0.00$ kN
Horizontalkraft $F_{h,k} = 1372.00 / 0.00$ kN
Horizontalkraft $F_{h,y,k} = 0.00 / 0.00$ kN
Moment $M_{x,k} = 217919.00 / 0.00$ kN-m
Moment $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$ kN-m
Durchmesser $D = 25.000$ m
Unter ständigen Lasten:
Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
Exzentrizität $e_y = -4.971$ m
Resultierende im 2. Kern (= 7.363 m)
 $a' = 12.785$ m
 $b' = 19.477$ m
Unter Gesamlasten:
Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
Exzentrizität $e_y = -4.971$ m
Resultierende im 2. Kern (= 7.363 m)
 $a' = 12.785$ m
 $b' = 19.477$ m

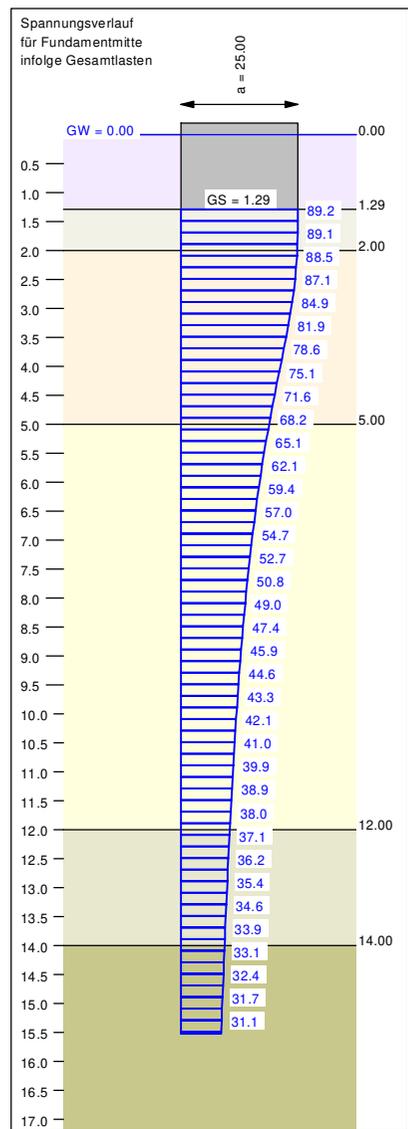
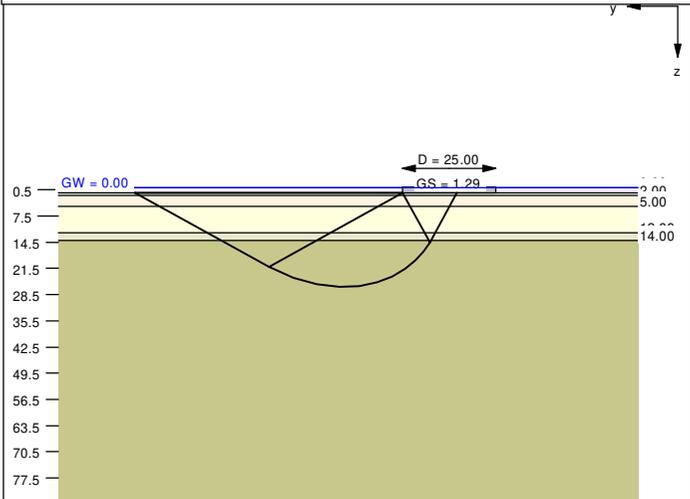
φ wegen 5° Bedingung abgemindert
 $\text{cal } c = 0.46$ kN/m²
 $\text{cal } \gamma_2 = 10.00$ kN/m³
 $\text{cal } \sigma_{ii} = 11.61$ kN/m²
UK log. Spirale = 25.64 m u. GOK
Länge log. Spirale = 103.78 m
Fläche log. Spirale = 1333.79 m²
Tragfähigkeitsbeiwerte (y):
 $N_{c0} = 45.92$; $N_{d0} = 33.10$; $N_{b0} = 22.44$
Formbeiwerte (y):
 $v_c = 1.388$; $v_d = 1.376$; $v_b = 0.803$
Neigungsbeiwerte (y):
 $i_c = 0.955$; $i_d = 0.957$; $i_b = 0.927$

Gleitwiderstand:
Teilsicherheit (Gleitwiderstand) $\gamma_{GI} = 1.10$
 $N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{GI} = 43834.00 \cdot \tan(30.00^\circ) / 1.10$
 $R_{t,d} = N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{GI} = 23006.88$ kN
 $T_d = 1852.20$ kN
 $\mu = T_d / R_{t,d} = 0.081$

Setzung infolge Gesamlasten:
Grenztiefe $t_g = 15.51$ m u. GOK
Setzung (Mittel aller KPs) = 4.64 cm
Setzungen der KPs:
oben = 0.41 cm
unten = 8.88 cm
Verdrehung(x) (KP) = 1 : 249.5

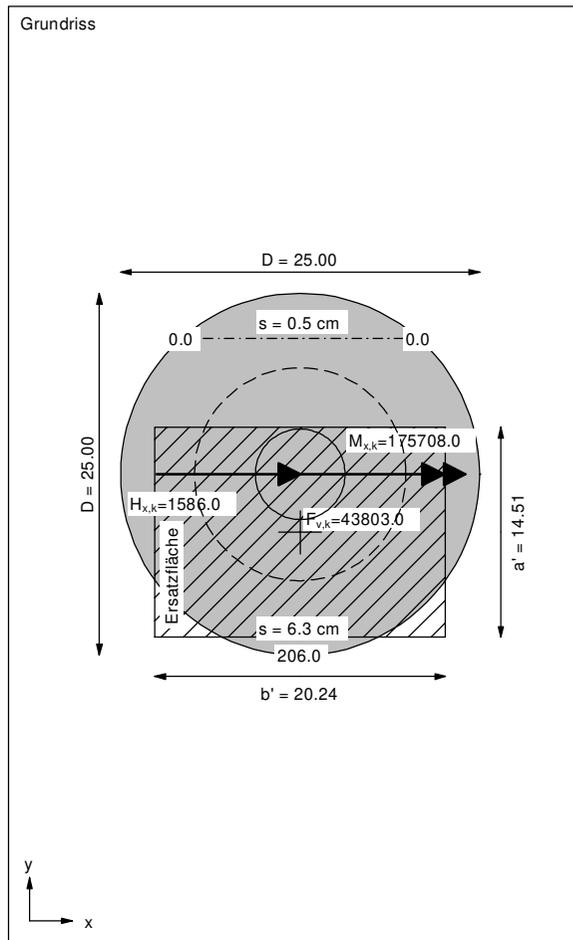
Grundbruch:
Durchstanzen untersucht,
aber nicht maßgebend.
Teilsicherheit (Grundbruch) $\gamma_{Gr} = 1.40$
 $\sigma_{0f,k} / \sigma_{0f,d} = 2668.6 / 1906.18$ kN/m²
 $R_{n,k} = 664544.35$ kN
 $R_{n,d} = 474674.54$ kN
 $V_d = 1.35 \cdot 43834.00 + 1.50 \cdot 0.00$ kN
 $V_d = 59175.90$ kN
 μ (parallel zu y) = 0.125
 $\text{cal } \varphi = 35.0^\circ$

Boden	γ [kN/m ³]	γ' [kN/m ³]	φ [°]	c [kN/m ²]	E_s [MN/m ²]	v [-]	κ [-]	Bezeichnung
	17.0	9.0	30.0	0.0	30.0	0.00	1.000	seitl. A
	19.0	10.0	35.0	0.0	50.0	0.00	1.000	Sand, md
	20.0	10.0	30.0	2.0	15.0	0.00	1.000	Gl, st
	18.0	10.0	32.0	0.0	30.0	0.00	1.000	Sand, md
	18.0	9.0	27.5	5.0	20.0	0.00	1.000	Schluff
	19.0	11.0	37.0	0.0	80.0	0.00	1.000	Sand, md-d



Berechnungsgrundlagen:
WEA Nartum, WEA 4, BS-P
Grundbruchformel nach DIN 4017:2006
Teilsicherheitskonzept
 $\gamma_{Gr} = 1.40$
 $\gamma_G = 1.35$
 $\gamma_Q = 1.50$
 $\gamma(GI) = 1.10$
Gleitsicherheit mit $\varphi = 30.00^\circ$

Gründungssohle = 1.29 m
Grundwasser = 0.00 m
Gründtiefe mit $p = 20.0\%$
Teilsicherheitskonzept
----- 1. Kernweite
----- 2. Kernweite



Ergebnisse Einzelfundament:
Lasten = ständig / veränderlich
Vertikallast $F_{v,k} = 43803.00 / 0.00$ kN
Horizontalkraft $F_{h,x,k} = 1586.00 / 0.00$ kN
Horizontalkraft $F_{h,y,k} = 0.00 / 0.00$ kN
Moment $M_{x,k} = 175708.00 / 0.00$ kN-m
Moment $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$ kN-m
Durchmesser $D = 25.000$ m
Unter ständigen Lasten:
Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
Exzentrizität $e_y = -4.011$ m
Resultierende im 2. Kern (= 7.363 m)
 $a' = 14.514$ m
 $b' = 20.243$ m
Unter Gesamlasten:
Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
Exzentrizität $e_y = -4.011$ m
Resultierende im 2. Kern (= 7.363 m)
 $a' = 14.514$ m
 $b' = 20.243$ m

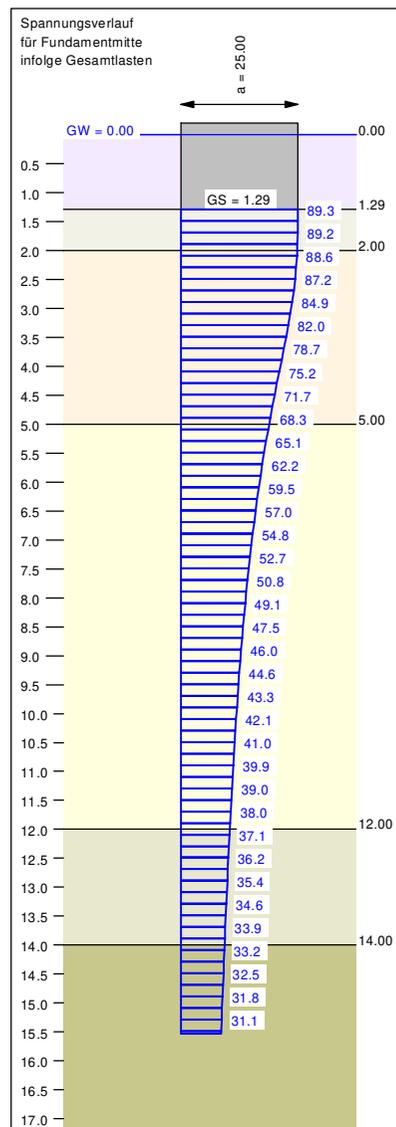
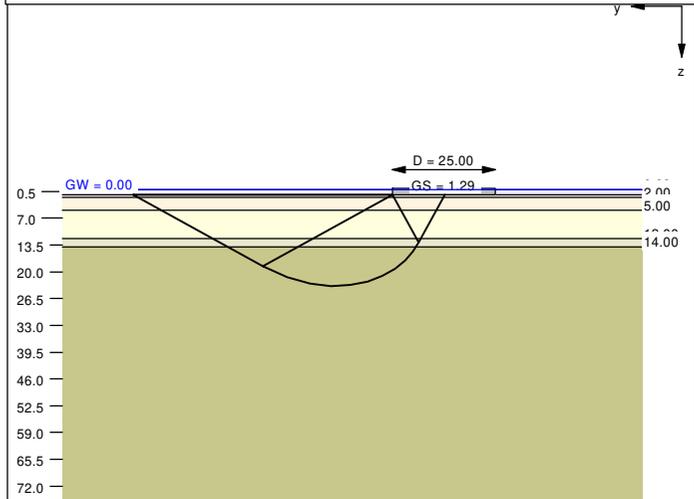
φ wegen 5° Bedingung abgemindert
cal c = 0.49 kN/m²
cal $\gamma_2 = 10.26$ kN/m³
cal $\sigma_{ii} = 11.61$ kN/m²
UK log. Spirale = 26.46 m u. GOK
Länge log. Spirale = 104.58 m
Fläche log. Spirale = 1379.81 m²
Tragfähigkeitsbeiwerte (y):
 $N_{c0} = 36.99$; $N_{d0} = 24.56$; $N_{b0} = 15.00$
Formbeiwerte (y):
 $v_c = 1.402$; $v_d = 1.385$; $v_b = 0.785$
Neigungsbeiwerte (y):
 $i_c = 0.947$; $i_d = 0.949$; $i_b = 0.915$

Gleitwiderstand:
Teilsicherheit (Gleitwiderstand) $\gamma_{GI} = 1.10$
 $N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{GI} = 43803.00 \cdot \tan(30.00^\circ) / 1.10$
 $R_{t,d} = N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{GI} = 22990.61$ kN
 $T_d = 2141.10$ kN
 $\mu = T_d / R_{t,d} = 0.093$

Grundbruch:
Durchstanzen untersucht,
aber nicht maßgebend.
Teilsicherheit (Grundbruch) $\gamma_{Gr} = 1.40$
 $\sigma_{0f,k} / \sigma_{0f,d} = 2002.4 / 1430.29$ kN/m²
 $R_{n,k} = 588319.58$ kN
 $R_{n,d} = 420228.27$ kN
 $V_d = 1.35 \cdot 43803.00 + 1.50 \cdot 0.00$ kN
 $V_d = 59134.05$ kN
 μ (parallel zu y) = 0.141
cal $\varphi = 32.5^\circ$

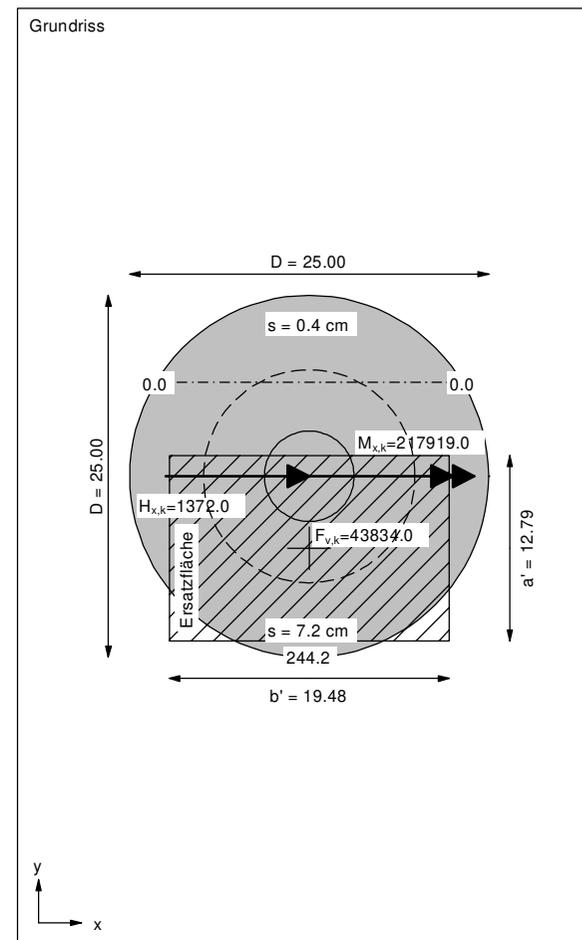
Setzung infolge Gesamlasten:
Grenztiefe $t_g = 15.53$ m u. GOK
Setzung (Mittel aller KPs) = 3.42 cm
Setzungen der KPs:
oben = 0.55 cm
unten = 6.30 cm
Verdrehung(x) (KP) = 1 : 367.6

Boden	γ [kN/m ³]	γ' [kN/m ³]	φ [°]	c [kN/m ²]	E_s [MN/m ²]	v [-]	κ [-]	Bezeichnung
	17.0	9.0	30.0	0.0	30.0	0.00	1.000	seitl. A
	19.0	10.0	35.0	0.0	50.0	0.00	1.000	Sand, md
	20.0	10.0	30.0	2.0	15.0	0.00	1.000	Gl, st
	18.0	10.0	32.0	0.0	30.0	0.00	1.000	Sand, md
	18.0	9.0	27.5	5.0	20.0	0.00	1.000	Schluff
	19.0	11.0	37.0	0.0	80.0	0.00	1.000	Sand, md-d



Berechnungsgrundlagen:
WEA Nartum, WEA 4, BS-A
Grundbruchformel nach DIN 4017:2006
Teilsicherheitskonzept
 $\gamma_{Gr} = 1.40$
 $\gamma_G = 1.35$
 $\gamma_Q = 1.50$
 $\gamma(GI) = 1.10$
Gleitsicherheit mit $\varphi = 30.00^\circ$

Gründungssohle = 1.29 m
Grundwasser = 0.00 m
Gründtiefe mit $p = 20.0\%$
Teilsicherheitskonzept
----- 1. Kernweite
----- 2. Kernweite



Ergebnisse Einzelfundament:
Lasten = ständig / veränderlich
Vertikallast $F_{v,k} = 43834.00 / 0.00$ kN
Horizontalkraft $F_{h,x,k} = 1372.00 / 0.00$ kN
Horizontalkraft $F_{h,y,k} = 0.00 / 0.00$ kN
Moment $M_{x,k} = 217919.00 / 0.00$ kN-m
Moment $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$ kN-m
Durchmesser $D = 25.000$ m
Unter ständigen Lasten:
Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
Exzentrizität $e_y = -4.971$ m
Resultierende im 2. Kern (= 7.363 m)
 $a' = 12.785$ m
 $b' = 19.477$ m
Unter Gesamlasten:
Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
Exzentrizität $e_y = -4.971$ m
Resultierende im 2. Kern (= 7.363 m)
 $a' = 12.785$ m
 $b' = 19.477$ m

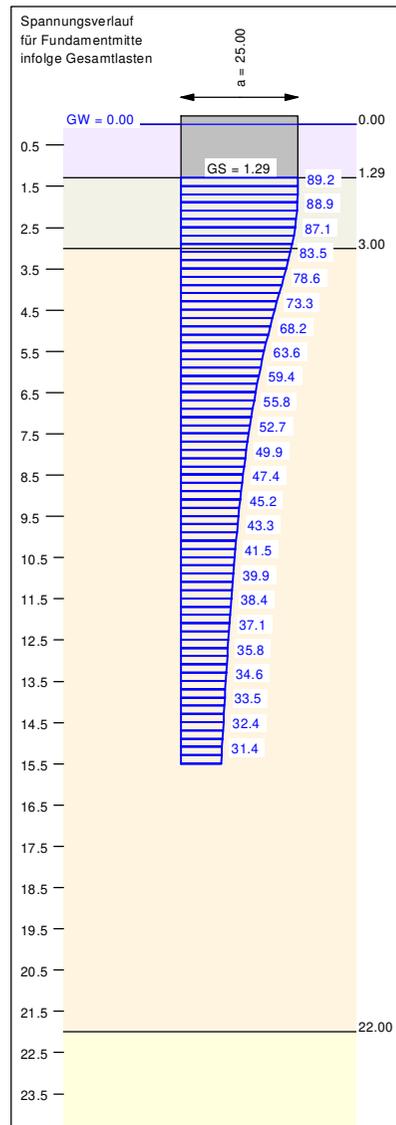
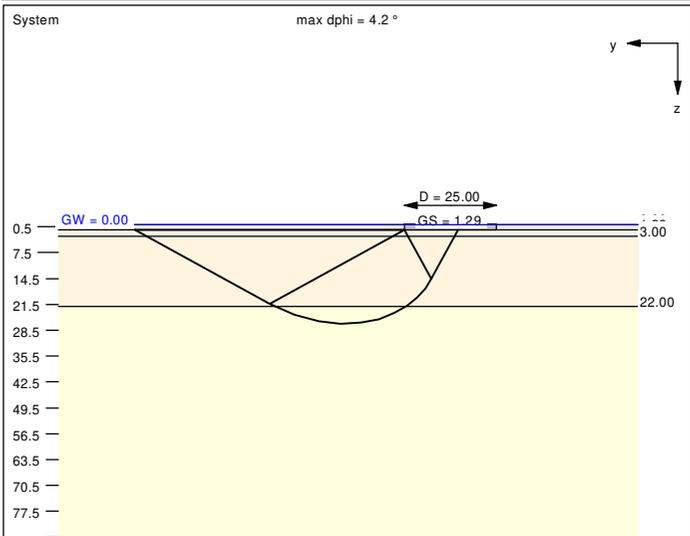
φ wegen 5° Bedingung abgemindert
 $\text{cal } c = 0.56$ kN/m²
 $\text{cal } \gamma_2 = 10.18$ kN/m³
 $\text{cal } \sigma_{\bar{v}} = 11.61$ kN/m²
UK log. Spirale = 23.44 m u. GOK
Länge log. Spirale = 92.00 m
Fläche log. Spirale = 1068.01 m²
Tragfähigkeitsbeiwerte (y):
 $N_{c0} = 36.90$; $N_{d0} = 24.47$; $N_{b0} = 14.93$
Formbeiwerte (y):
 $v_c = 1.367$; $v_d = 1.352$; $v_b = 0.803$
Neigungsbeiwerte (y):
 $i_c = 0.955$; $i_d = 0.957$; $i_b = 0.927$

Gleitwiderstand:
Teilsicherheit (Gleitwiderstand) $\gamma_{GI} = 1.10$
 $N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{GI} = 43834.00 \cdot \tan(30.00^\circ) / 1.10$
 $R_{t,d} = N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{GI} = 23006.88$ kN
 $T_d = 1852.20$ kN
 $\mu = T_d / R_{t,d} = 0.081$

Setzung infolge Gesamlasten:
Grenztiefe $t_g = 15.54$ m u. GOK
Setzung (Mittel aller KPs) = 3.79 cm
Setzungen der KPs:
oben = 0.35 cm
unten = 7.22 cm
Verdrehung(x) (KP) = 1 : 307.5

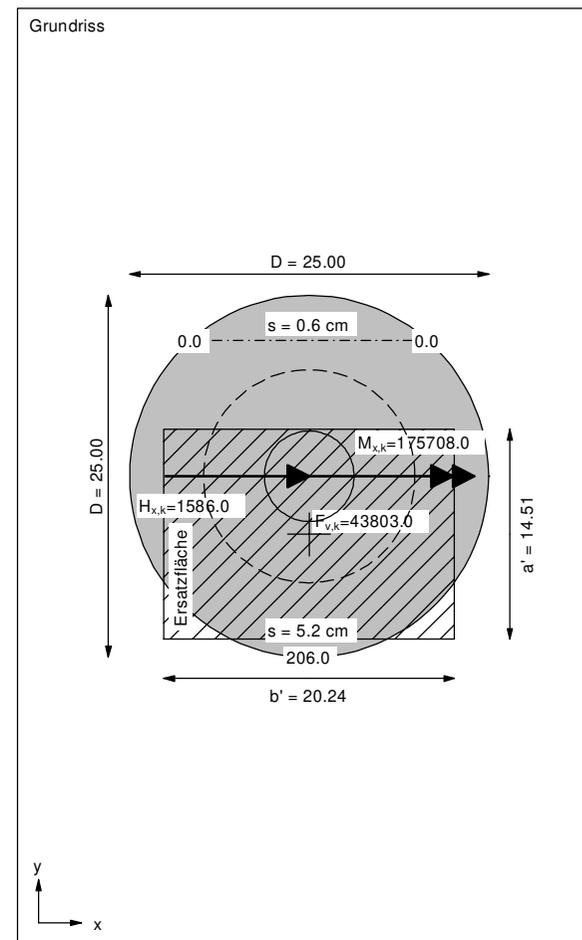
Grundbruch:
Durchstanzen untersucht,
aber nicht maßgebend.
Teilsicherheit (Grundbruch) $\gamma_{Gr} = 1.40$
 $\sigma_{0f,k} / \sigma_{0f,d} = 1841.3 / 1315.20$ kN/m²
 $R_{n,k} = 458512.37$ kN
 $R_{n,d} = 327508.84$ kN
 $V_d = 1.35 \cdot 43834.00 + 1.50 \cdot 0.00$ kN
 $V_d = 59175.90$ kN
 μ (parallel zu y) = 0.181
 $\text{cal } \varphi = 32.5^\circ$

Boden	γ [kN/m ³]	γ' [kN/m ³]	φ [°]	c [kN/m ²]	E_s [MN/m ²]	ν [-]	κ [-]	Bezeichnung
	17.0	9.0	30.0	0.0	30.0	0.00	1.000	seitl. A
	19.0	10.0	35.0	0.0	50.0	0.00	1.000	Sand, md
	20.0	10.0	30.0	2.0	25.0	0.00	1.000	G-mergel
	21.0	11.0	37.0	0.0	80.0	0.00	1.000	Sand, d



Berechnungsgrundlagen:
WEA Nartum, WEA 5, BS-P
Grundbruchformel nach DIN 4017:2006
Teilsicherheitskonzept
 $\gamma_{Gr} = 1.40$
 $\gamma_G = 1.35$
 $\gamma_{(G)} = 1.50$
Gleitsicherheit mit $\varphi = 30.00^\circ$

Gründungssohle = 1.29 m
Grundwasser = 0.00 m
Grenztiefe mit $p = 20.0\%$
Teilsicherheitskonzept
----- 1. Kernweite
----- 2. Kernweite



Ergebnisse Einzelfundament:
Lasten = ständig / veränderlich
Vertikallast $F_{v,k} = 43803.00 / 0.00$ kN
Horizontalkraft $F_{h,x,k} = 1586.00 / 0.00$ kN
Horizontalkraft $F_{h,y,k} = 0.00 / 0.00$ kN
Moment $M_{x,k} = 175708.00 / 0.00$ kN-m
Moment $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$ kN-m
Durchmesser $D = 25.000$ m
Unter ständigen Lasten:
Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
Exzentrizität $e_y = -4.011$ m
Resultierende im 2. Kern (= 7.363 m)
 $a' = 14.514$ m
 $b' = 20.243$ m
Unter Gesamtlasten:
Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
Exzentrizität $e_y = -4.011$ m
Resultierende im 2. Kern (= 7.363 m)
 $a' = 14.514$ m
 $b' = 20.243$ m

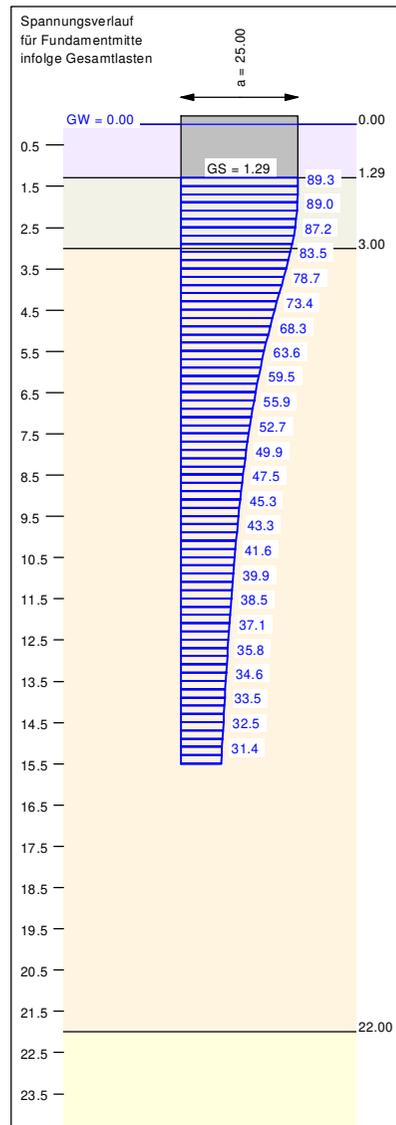
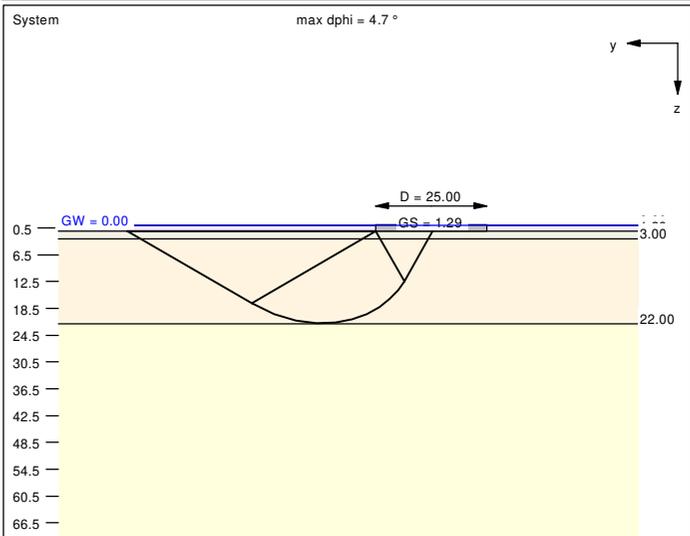
cal $c = 1.19$ kN/m²
cal $\gamma_2 = 10.08$ kN/m³
cal $\sigma_{\bar{u}} = 11.61$ kN/m²
UK log. Spirale = 26.77 m u. GOK
Länge log. Spirale = 106.20 m
Fläche log. Spirale = 1419.44 m²
Tragfähigkeitsbeiwerte (y):
 $N_{c0} = 38.13$; $N_{d0} = 25.62$; $N_{b0} = 15.89$
Formbeiwerte (y):
 $\nu_c = 1.405$; $\nu_d = 1.389$; $\nu_b = 0.785$
Neigungsbeiwerte (y):
 $i_c = 0.947$; $i_d = 0.949$; $i_b = 0.915$

Gleitwiderstand:
Teilsicherheit (Gleitwiderstand) $\gamma_{GI} = 1.10$
 $N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{GI} = 43803.00 \cdot \tan(30.00^\circ) / 1.10$
 $R_{t,d} = N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{GI} = 22990.61$ kN
 $T_d = 2141.10$ kN
 $\mu = T_d / R_{t,d} = 0.093$

Setzung infolge Gesamtlasten:
Grenztiefe $t_g = 15.50$ m u. GOK
Setzung (Mittel aller KPs) = 2.90 cm
Setzungen der KPs:
oben = 0.62 cm
unten = 5.19 cm
Verdrehung(x) (KP) = 1 : 462.4

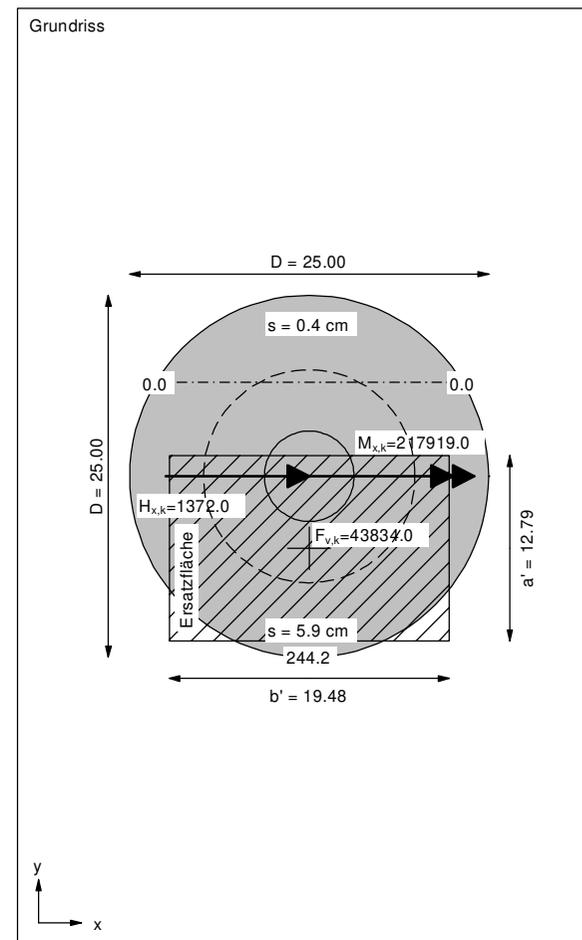
Grundbruch:
Durchstanzen untersucht,
aber nicht maßgebend.
Teilsicherheit (Grundbruch) $\gamma_{Gr} = 1.40$
 $\sigma_{0t,k} / \sigma_{0t,d} = 2121.7 / 1515.47$ kN/m²
 $R_{n,k} = 623356.06$ kN
 $R_{n,d} = 445254.33$ kN
 $V_d = 1.35 \cdot 43803.00 + 1.50 \cdot 0.00$ kN
 $V_d = 59134.05$ kN
 μ (parallel zu y) = 0.133
cal $\varphi = 32.8^\circ$

Boden	γ [kN/m ³]	γ' [kN/m ³]	φ [°]	c [kN/m ²]	E_s [MN/m ²]	ν [-]	κ [-]	Bezeichnung
	17.0	9.0	30.0	0.0	30.0	0.00	1.000	seitl. A
	19.0	10.0	35.0	0.0	50.0	0.00	1.000	Sand, md
	20.0	10.0	30.0	2.0	25.0	0.00	1.000	G-mergel
	21.0	11.0	37.0	0.0	80.0	0.00	1.000	Sand, d



Berechnungsgrundlagen:
 WEA Nartum, WEA 5, BS-A
 Grundbruchformel nach DIN 4017:2006
 Teilsicherheitskonzept
 $\gamma_{Gr} = 1.40$
 $\gamma_G = 1.35$
 $\gamma_{Gf} = 1.50$
 Gleitsicherheit mit $\varphi = 30.00^\circ$

Gründungssohle = 1.29 m
 Grundwasser = 0.00 m
 Grenztiefe mit $p = 20.0\%$
 1. Kernweite
 2. Kernweite



Ergebnisse Einzelfundament:
 Lasten = ständig / veränderlich
 Vertikallast $F_{v,k} = 43834.00 / 0.00$ kN
 Horizontalkraft $F_{h,x,k} = 1372.00 / 0.00$ kN
 Horizontalkraft $F_{h,y,k} = 0.00 / 0.00$ kN
 Moment $M_{x,k} = 217919.00 / 0.00$ kN-m
 Moment $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$ kN-m
 Durchmesser $D = 25.000$ m
 Unter ständigen Lasten:
 Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
 Exzentrizität $e_y = -4.971$ m
Resultierende im 2. Kern (= 7.363 m)
 $a' = 12.785$ m
 $b' = 19.477$ m
 Unter Gesamtlasten:
 Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
 Exzentrizität $e_y = -4.971$ m
Resultierende im 2. Kern (= 7.363 m)
 $a' = 12.785$ m
 $b' = 19.477$ m

$cal\ c = 1.87$ kN/m²
 $cal\ \gamma_2 = 10.00$ kN/m³
 $cal\ \sigma_{\bar{u}} = 11.61$ kN/m²
 UK log. Spirale = 21.80 m u. GOK
 Länge log. Spirale = 83.58 m
 Fläche log. Spirale = 894.23 m²
 Tragfähigkeitsbeiwerte (y):
 $N_{c0} = 30.97$; $N_{d0} = 19.13$; $N_{b0} = 10.61$
 Formbeiwerte (y):
 $\nu_c = 1.350$; $\nu_d = 1.332$; $\nu_b = 0.803$
 Neigungsbeiwerte (y):
 $i_c = 0.954$; $i_d = 0.957$; $i_b = 0.927$

Gleitwiderstand:
 Teilsicherheit (Gleitwiderstand) $\gamma_{Gl} = 1.10$
 $N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{Gl} = 43834.00 \cdot \tan(30.00^\circ) / 1.10$
 $R_{t,d} = N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{Gl} = 23006.88$ kN
 $T_d = 1852.20$ kN
 $\mu = T_d / R_{t,d} = 0.081$

Setzung infolge Gesamtlasten:
 Grenztiefe $t_g = 15.51$ m u. GOK
 Setzung (Mittel aller KPs) = 3.16 cm
 Setzungen der KPs:
 oben = 0.41 cm
 unten = 5.91 cm
 Verdrehung(x) (KP) = 1 : 384.1

Grundbruch:
 Durchstanzen untersucht,
 aber nicht maßgebend.
 Teilsicherheit (Grundbruch) $\gamma_{Gr} = 1.40$
 $\sigma_{0t,k} / \sigma_{0t,d} = 1367.0 / 976.40$ kN/m²
 $R_{n,k} = 340398.87$ kN
 $R_{n,d} = 243142.05$ kN
 $V_d = 1.35 \cdot 43834.00 + 1.50 \cdot 0.00$ kN
 $V_d = 59175.90$ kN
 μ (parallel zu y) = 0.243
 $cal\ \varphi = 30.3^\circ$



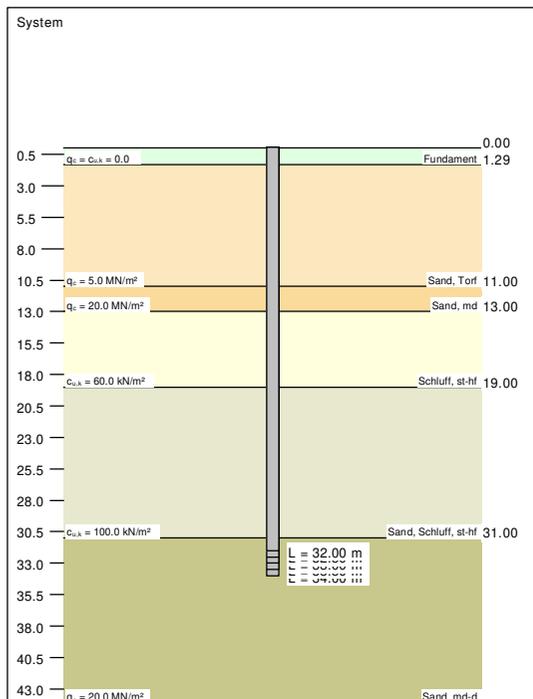
ANLAGE 8-1-8.4

Nachweis Drehfedersteifigkeit

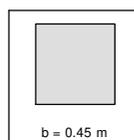


ANLAGE 9

Nachweis äußere Pfahltragfähigkeit

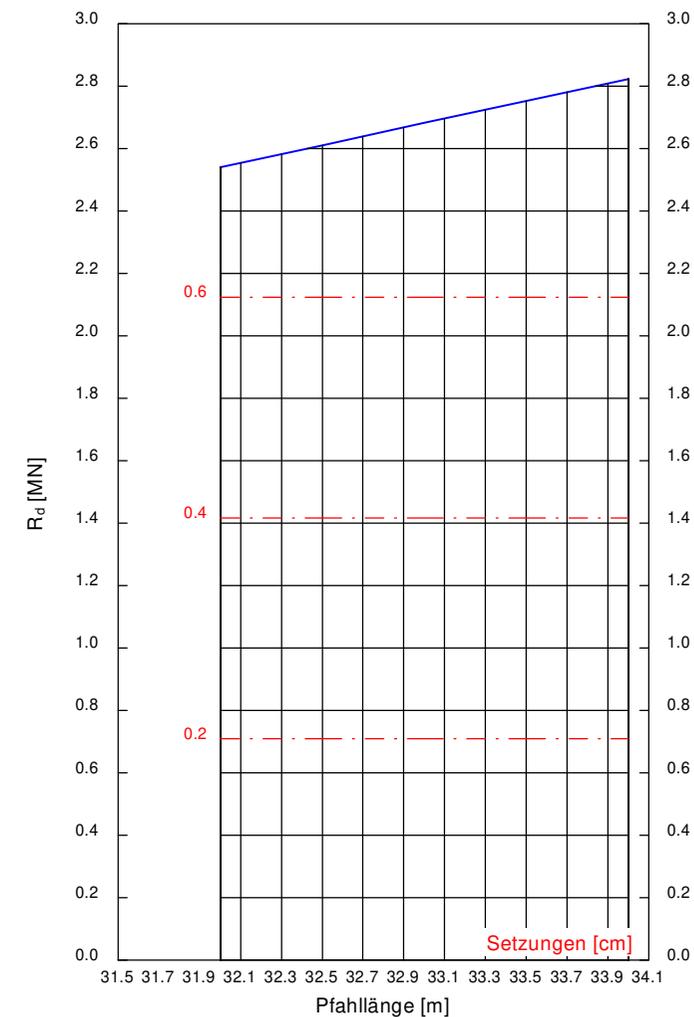
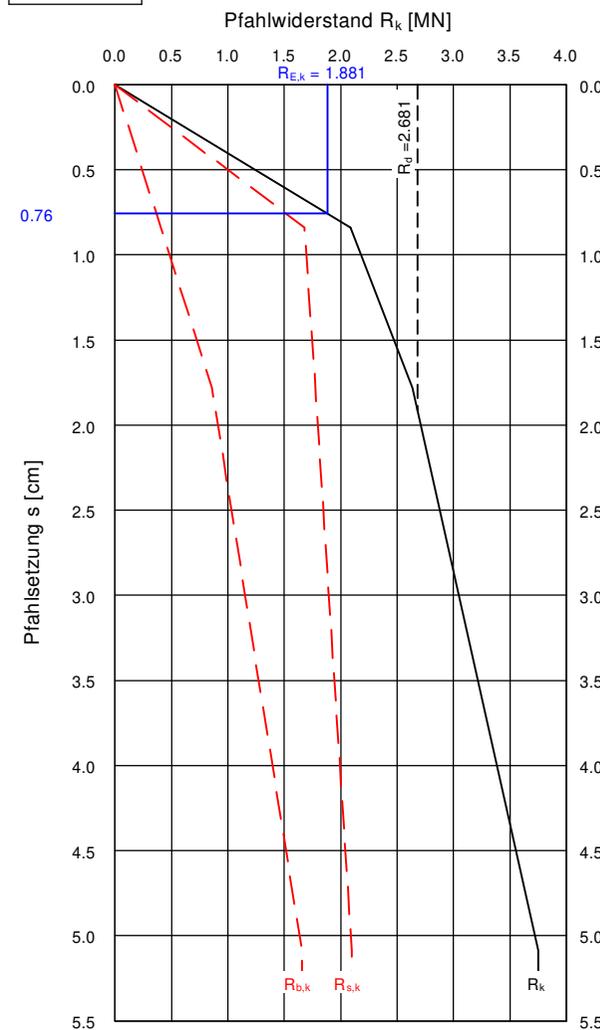


Boden	q_c [MN/m ²]	$c_{u,k}$ [kN/m ²]	$q_{b,k35}$ [MN/m ²]	$q_{b,k10}$ [MN/m ²]	$q_{s(sg),k}$ [MN/m ²]	$q_{s(sgl),k}$ [MN/m ²]	Bezeichnung
	0.0	0.0	0.000	0.000	0.0000	0.0000	Fundament
	5.0	0.0	0.000	0.000	0.0200	0.0267	Sand, Torf
	20.0	0.0	4.250	8.175	0.0750	0.1100	Sand, md
	0.0	60.0	0.000	0.000	0.0200	0.0200	Schluff, st-hf
	0.0	100.0	0.350	0.600	0.0267	0.0289	Sand, Schluff, st-hf
	20.0	0.0	4.250	8.175	0.0750	0.1100	Sand, md-d



Berechnungsgrundlagen
 WP Nartum, WEA 3, untere Werte
 Norm: EC 7
 Fertigrampfpfahl
 Stahlbeton und Spannbeton
 Verhältniswert (min, max) = 0.00
 Interpolation Mantelreibung:
 bei $q_c < 7.5$ MN/m² aktiviert
 bei $c_{u,k} < 60$ kN/m² deaktiviert

Pfahlbreite = 0.450 m
 $\gamma_p = 1.40$
 $\gamma_G = 1.35$
 $\gamma_Q = 1.50$
 Anteil Veränderliche Lasten = 0.500
 $\gamma_{(G,Q)} = 0.500 \cdot \gamma_Q + (1 - 0.500) \cdot \gamma_G$
 $\gamma_{(G,Q)} = 1.425$
 R_d
 - - - - - Setzung



b [m]	Länge [m]	R_k [MN]	R_d [MN]	$R_{E,k}$ [MN]	s [cm]
0.450	32.00	3.556	2.540	1.782	0.718
0.450	32.50	3.655	2.610	1.832	0.738
0.450	33.00	3.754	2.681	1.881	0.758
0.450	33.50	3.853	2.752	1.931	0.778
0.450	34.00	3.952	2.823	1.981	0.798

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

Widerstandssetzungslinie
für Pfahlänge = 33.00 m



ANLAGE 10

Hydraulische Berechnung

Hydraulische Berechnung

Aufsteller
Antragsteller
Baugrundstück

Flurstück
Flur
Gemarkung
Dränage

WP Nartum
WEA 5, Aushub bis 1,89 m

Absenkverfahren

Wassermenge
nach Davidenkoff:

$$Q = k_f \times s^2 \left[\left(\frac{1+t}{s} \right) m + \frac{L1}{R} (1 + t/s \times n) \right]$$

kf	Durchlässigkeitsbeiwert	6,70E-05
s	Absenkbetrag	1,2
t	Mächtigkeit der aktiven Zone [m] = Abstand zwischen Baugrubensohle und Oberkante Wasserstauer	1,2
L1	Baugrubenlänge	27,3
L2	Baugrubenbreite	27,3
R	Einflussradius, Reichweite nach Sichardt [m]: $R = 3000 \times s \times \sqrt{k_f}$	29
m	werden aus Diagrammen in	2,2
n	Abhängigkeit von R, t und L2	1,7
	Q=	

6,7E-04 m³/s
2,4 m³/h
58 m³/d



Dokumentation der Standortbesichtigung im Rahmen der Bewertung der Standorteignung von WEA am Standort Nartum

Referenz-Nummer: F2E-2021-TGR-016 - ungekürzte Fassung

Auftraggeber:

ENERGIEKONTOR AG
Mary-Somerville-Str. 5
28359 Bremen

Die Ausarbeitung der Dokumentation erfolgte durch:

Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG
Borsteler Chaussee 178, 22453 Hamburg, www.f2e.de

Verfasser:

Kay-Uwe Rosseburg, Sachverständiger,

Hamburg, 08.04.2021

Gepüft:

Dipl.-Ing. Kai Deponte, Sachverständiger,

Hamburg, 08.04.2021

Für weitere Auskünfte:

Tel.: 040 53303680-0 Fax: 040 53303680-79
Kai Deponte: deponte@f2e.de oder info@f2e.de



Urheber- und Nutzungsrecht:

Urheber des Berichts der Standortbesichtigung ist die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG. Der Auftraggeber erwirbt ein einfaches Nutzungsrecht entsprechend dem Gesetz über Urheberrecht und verwandte Schutzrechte (UrhG). Das Nutzungsrecht kann nur mit Zustimmung des Urhebers übertragen werden. Eine Veröffentlichung und Bereitstellung der ungekürzten Fassung des Gutachtens zum uneingeschränkten Download in elektronischen Medien sind verboten. Eine Einsichtnahme der gekürzten Fassung des Gutachtens gemäß UVPG §23 (2) über die zentralen Internetportale von Bund und Ländern gemäß UVPG §20 Absatz (1) wird gestattet.

1 Aufgabenstellung und Hintergrund

1.1 Aufgabenstellung der Standortbesichtigung

Gemäß DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen von 2012, ist eine Standortbesichtigung durchzuführen. Im Rahmen des Nachweises der Standorteignung dient die Standortbesichtigung der Dokumentation und Einschätzung der aktuellen Situation vor Ort und der Bestimmung der Geländekategorie nach DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12.

Weiterhin sollen Einzelstrukturen identifiziert werden, die auf Grund ihrer Entfernung und Höhe so groß sind, dass der direkte Einfluss der Nachlaufströmung dieser Einzelstrukturen auf den Rotor einer zu betrachtenden Windenergieanlage (WEA) nicht ausgeschlossen werden kann. Diese Einzelstrukturen können dann nicht als Rauigkeitselement aufgelöst werden und ihr Einfluss ist gesondert zu bewerten.

Die Aufgabenstellung der Standortbesichtigung ist

- die Dokumentation und Einschätzung der aktuellen Situation vor Ort auf Grundlage der DIBt 2012,
- die Bestimmung der Geländekategorie nach DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12 Anhang NA.B (siehe Anhang B),
- die Identifizierung relevanter Einzelstrukturen für geplante WEA und zu betrachtende bestehende WEA (typischerweise $8D_{\text{neu}}$ Abstand) wie z.B.:
 - ausgeprägte Waldkanten,
 - schroffe Geländekanten (z.B. Steilhänge, Klippen),
 - bauliche Strukturen.

Die Verifizierung der Windparkkonfiguration ist nicht Umfang der Standortbesichtigung. Benachbarte WEA sind nicht als Einzelstrukturen aufzuführen.



1.2 Vorgehensweise: Dokumentation und Datenerhebung

Standortbesichtigungen werden immer vor Ort im Windpark nach o.g. Richtlinien durchgeführt. Betrachtungen und Bewertungen nach Aktenlage, auf Grundlage von Satellitenfotos, etc. sind nicht ausreichend, da deren Datengrundlage veraltet sein kann. Berichte älter als ein Jahr können nicht als belastbar eingestuft werden.

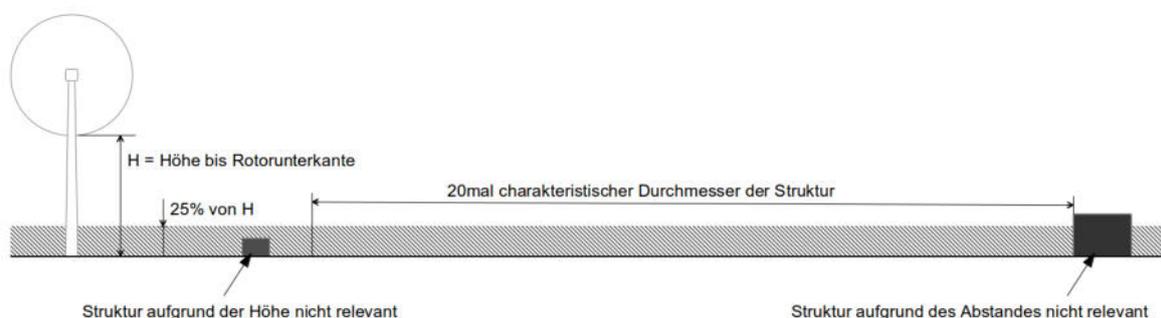
Die Erfassung der Einzelstrukturen während der Standortbesichtigungen können mit Bezug auf die einzelnen WEA-Standorte oder mit Bezug auf die einzelnen potentiell relevanten Strukturen durchgeführt werden.

D.h. es werden entweder ausgehend von jedem einzelnen WEA-Standort die Abstände zu potentiell relevanten Strukturen, sowie deren Höhe und Eigenschaft erfasst, oder alternativ werden die Position und Ausdehnung der einzelnen Strukturen (z.B. Eckpunkt-Koordinaten) sowie deren Höhe und Eigenschaft erfasst.

1.3 Erfassung von Einzelstrukturen

Einzelstrukturen sind dann eindeutig nicht relevant,

- wenn sie nicht höher sind als 25% der Höhe der Rotorunterkante über Grund (Hinweis: Bei Waldkanten darf die effektive Höhe je nach Dichte der Vegetation geringer angenommen werden als die Gesamthöhe der Bäume)
- oder
- wenn sie weiter vom WEA-Standort entfernt sind als das 20fache ihres charakteristischen Durchmesser bzw. Längenmaßes (z.B. Durchmesser eines Silos, längste sichtbare Kante eines Gebäudes, Höhe der Waldkante).



Alle Strukturen, die größer oder näher als o.g. Kriterien sind, werden als potentiell relevant eingestuft und werden erfasst. Sie werden im Weiteren durch einen F2E-Gutachter betrachtet und bewertet.



2 Eingangsdaten

2.1 *Windparkkonfiguration*

Am Standort Nartum plant der Auftraggeber die Errichtung von fünf WEA.

Die vom Auftraggeber übermittelten Daten zur Windparkkonfiguration sind nachfolgend in Tabelle 2.1.1 dargestellt.

Auf Basis der übermittelten Koordinaten, den Daten zu Nabenhöhe und Rotordurchmesser wurden die WEA festgestellt, die im Radius von $8D$ um die neu geplanten WEA liegen und deren Umfeld untersucht werden muss (siehe Abbildung 2.2.1).

Die in Tabelle 2.1.1 und Abbildung 2.2.1 dargestellten Daten entsprechen dem Planungsstand zum Zeitpunkt der Standortbesichtigung.

Table 2.1.1: Vom Auftraggeber übermittelte Daten zur Windparkkonfiguration.

	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Koordinaten (UTM ETRS89/WGS84)		WEA-Typ	PN [MW]	z _{hub} [m]	D [m]	25% Höhe Rotorunterkante ü. Grund [m]
			East	North					
	1	WEA 1	32516952	5893349	GE 5.5-158 HH>=120m (665kN)	5.5	161.0	158.0	20.5
	2	WEA 2	32517383	5893177	GE 5.5-158 HH>=120m (665kN)	5.5	161.0	158.0	20.5
	3	WEA 3	32517471	5893570	GE 5.5-158 HH>=120m (665kN)	5.5	161.0	158.0	20.5
	4	WEA 4	32517853	5893426	GE 5.5-158 HH>=120m (665kN)	5.5	161.0	158.0	20.5
	5	WEA 5	32518273	5893705	GE 5.5-158 HH>=120m (665kN)	5.5	161.0	158.0	20.5



2.2 Übersichtskarten Windpark

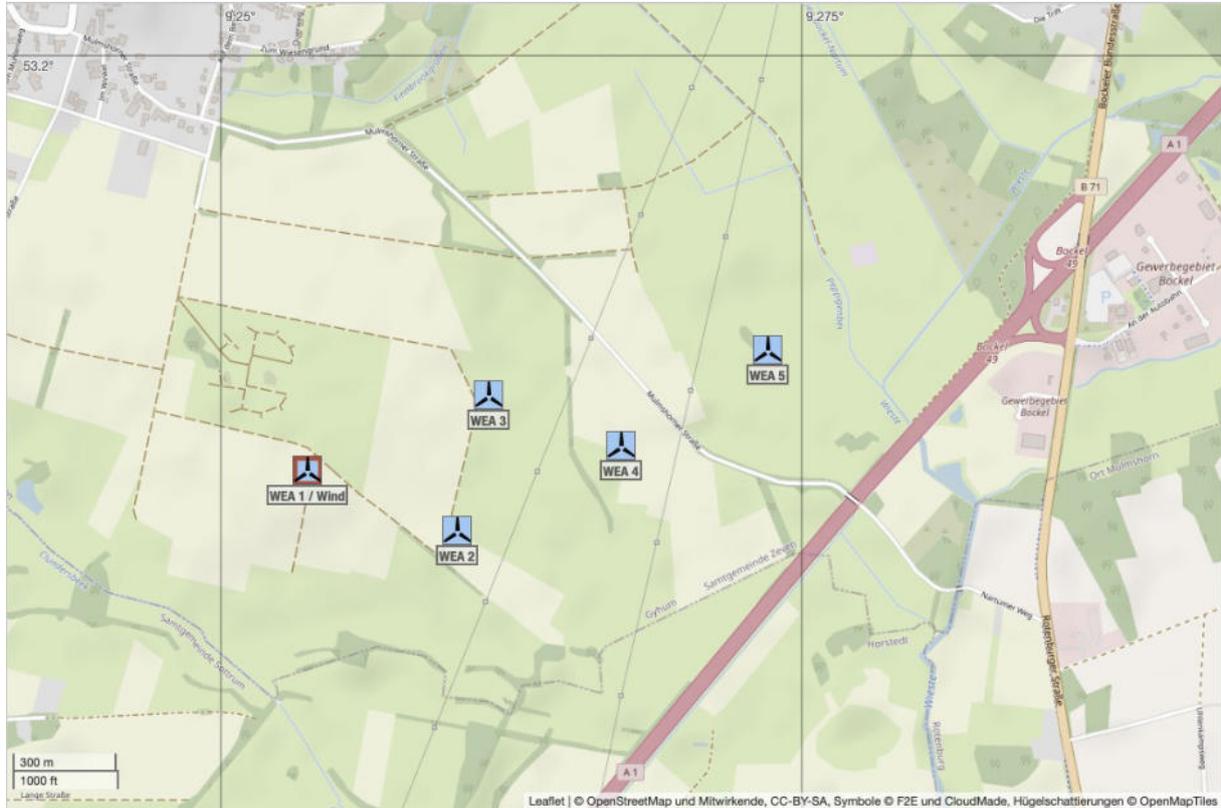


Abbildung 2.2.1: Gesamtübersichtskarte Windpark.

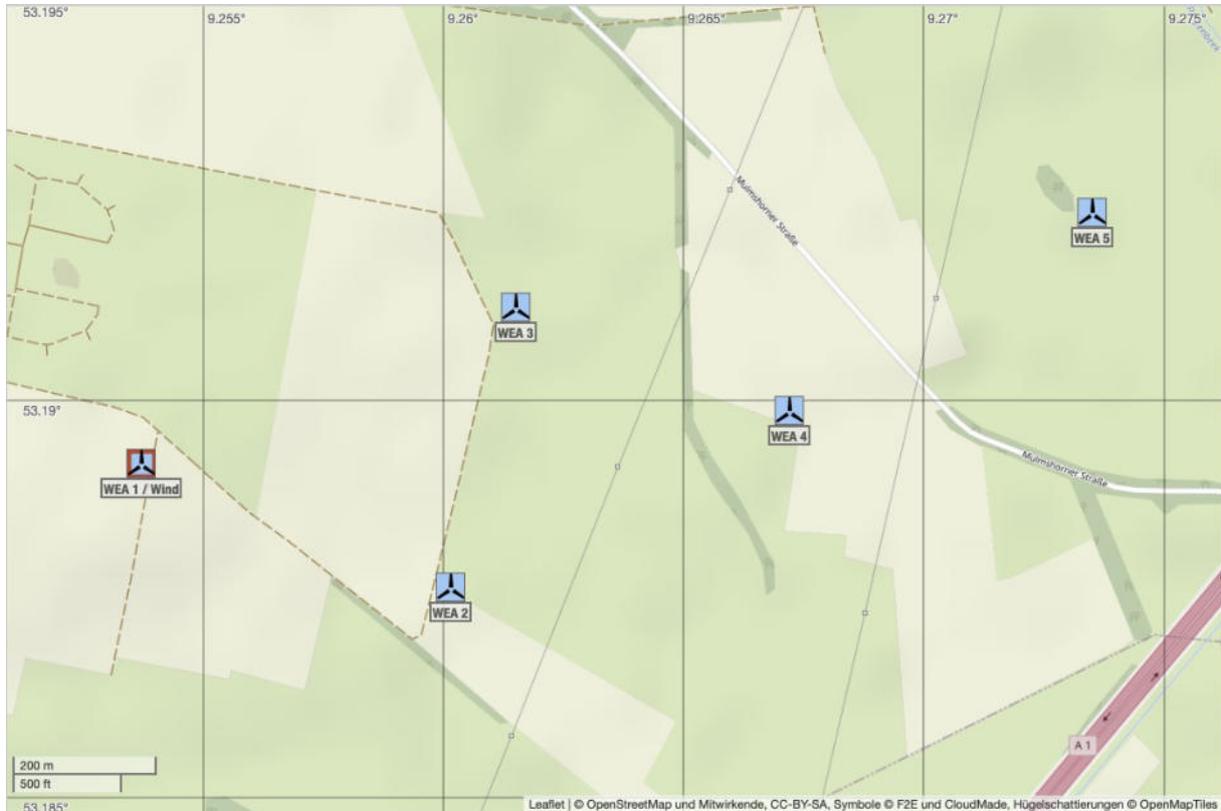


Abbildung 2.2.2: Teilübersichtskarte des Windparks.

Tabelle 2.2.1: Erläuterung der verwendeten Symbole.

Farbliche Zuordnung der Symbole	
	Geplante WEA.
	Benachbarte WEA, deren Umfeld aufgrund ihres Abstandes zu den geplanten WEA zu untersuchen ist.
	Benachbarte WEA, deren Umfeld aufgrund ihres Abstandes zu den geplanten WEA nicht zu untersuchen ist.



3 Dokumentation der Standortbesichtigung für den WEA-Standort Nartum

3.1 Allgemeine Angaben

Standort	Nartum
Besichtigt durch	Kay-Uwe Rosseburg
Datum der Besichtigung	31.03.2021
Besichtigungszeitraum vor Ort	11:15 - 12:15
Vorgeschlagene Geländekategorie nach DIN EN 1991-1-4/NA	II

3.2 Vorgehensweise bei dieser Standortbesichtigung

Zur Erfassung potentiell relevanter Einzelstrukturen wurde folgende Arbeitsweise gewählt:

- Fotodokumentation des Gebietes von zwei repräsentativen Standorten deren Positionen in Abbildung 3.4.1 eingetragen sind,
- Fotodokumentation aller potentiell relevanten Strukturen und orografischen Hindernisse,
- Erfassung der Koordinaten der potentiell relevanten Strukturen und orografischen Hindernisse sowie Abgleich mit dem Kartenmaterial,
- Erfassung der Details, wie Höhe, Durchmesser oder charakteristisches Längenmaß; bauliche, orografische, natürliche Eigenschaften.

Ferner wurde der Bereich, in dem sich die zu besichtigenden WEA befinden, großräumig abgefahren und auf potentiell relevante Strukturen hin untersucht.

3.3 Bemerkungen

Das zu untersuchende Gebiet ist ein flaches, offenes, agrar- und forstindustriell genutztes Gelände mit Wiesen und Äckern, durchsetzt von Baumreihen und Baumgruppen.

Die maximale Höhe der Bäume und Gehölze überragt in relevanter Entfernung an keiner Stelle 20m (Straßenbegleitgrün, Feldgehölze, kleinere angrenzende Wälder).

Die Fotostandorte wurden in die Abbildung 3.4.1 eingezeichnet.

Der Waldbestand des zu besichtigenden Gebietes entspricht weitgehend dem vorlie-



genden Kartenmaterial. In den Karten sind nur die größeren Waldgebiete verzeichnet. Daneben existieren noch zahlreiche kleinere Baumgruppen und Alleebäume.

Die Lage der potentiell relevanten Strukturen stimmt mit dem verwendeten Kartenmaterial überein.

Im Planungsgebiet befinden sich darüber hinaus keine baulichen oder natürliche Strukturen, die näher als das Zwanzigfache ihrer charakteristischen Eigenlänge an den Standorten der zu besichtigenden WEA liegen und höher als 25% der Höhe der Rotorunterkanten über Grund sind.

3.4 Fotostandorte

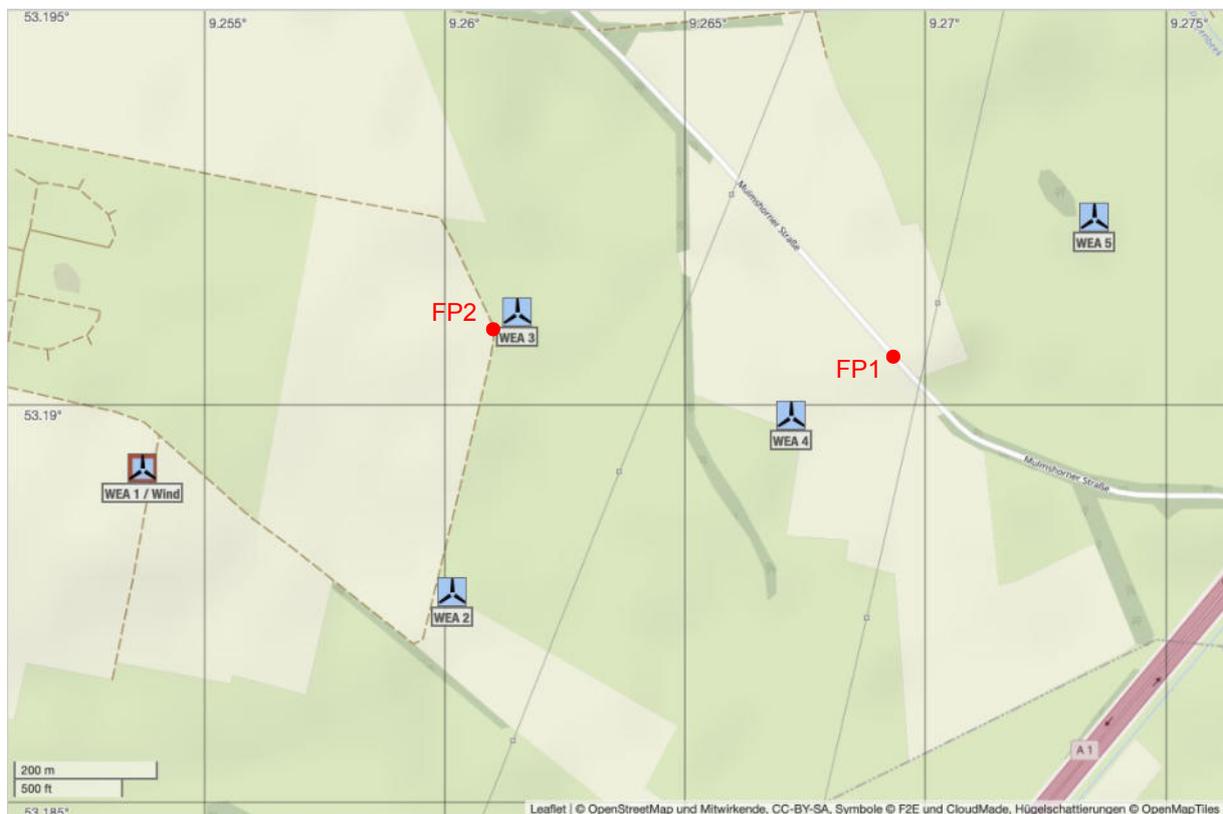


Abbildung 3.4.1: Karte mit eingetragenen Fotostandorten.



Tabelle 3.4.1: Erläuterung der verwendeten Symbole.

Farbliche Zuordnung der Symbole	
	Geplante WEA.
	Benachbarte WEA, deren Umfeld aufgrund ihres Abstandes zu den geplanten WEA zu untersuchen ist.
 	Benachbarte WEA, deren Umfeld aufgrund ihres Abstandes zu den geplanten WEA nicht zu untersuchen ist.
	Durchnummerierte Fotostandorte FP1, etc.
	Baumhöhen oder Höhen potentiell relevanter Strukturen

Tabelle 3.4.2: Fotografischer Nachweis der Standortbesichtigung.

Standort	Anhang	Foto GPS - Display
Fotostandort 1	Anhang A	
Fotostandort 2	Anhang A	

3.5 Potentiell relevante Strukturen und orografische Hindernisse für jede zu besichtigende WEA

Das Umfeld aller zu besichtigenden WEA wurde auf potentiell relevante Strukturen in Abhängigkeit von 25% der Höhe der Rotorunterkante über Grund untersucht. Die jeweiligen Beschreibungen befinden sich in Tabelle 3.5.1.

Tabelle 3.5.1 Beschreibung des Umfeldes der besichtigten WEA.

Lfd. Nr. WEA	Fotopunkt	Beschreibung des Umfeldes der WEA und potentiell relevanter Einzelstrukturen
1	2	Offenes, aus allen Richtungen gut einsehbares Feld, durchzogen von Feldgehölzen und Baumreihen mit einer Höhe von max. 20m;
2	2	Offenes, aus allen Richtungen gut einsehbares Feld, durchzogen von Feldgehölzen und Baumreihen mit einer Höhe von max. 20m;
3	2	Offenes, aus allen Richtungen gut einsehbares Feld, durchzogen von Feldgehölzen und Baumreihen mit einer Höhe von max. 20m;
4	1	Offenes, aus allen Richtungen gut einsehbares Feld, durchzogen von Feldgehölzen und Baumreihen mit einer Höhe von max. 20m;
5	1	Offenes, aus allen Richtungen gut einsehbares Feld, durchzogen von Feldgehölzen und Baumreihen mit einer Höhe von max. 20m;



4 Formelzeichen und Abkürzungen

WEA	Windenergieanlage	
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik	
PD	Potsdam-Datum	
ETRS89	Europäisches Terrestrisches Referenzsystem 1989	
UTM	Universale Transversale Mercator Projektion	
WGS84	World Geodetic System 1984	
GK	Geländekategorie	
üNN	über Normal-Null	
D	Rotordurchmesser	[m]
z_{hub}	Nabenhöhe	[m]
h	Höhe über Grund	[m]



Anhang A: Fotostrecken

A.1 Fotostrecke für Fotostandort 1

Blick in Richtung S:	Blick in Richtung SW:	Strukturen
		
Blick in Richtung W:	Blick in Richtung NW:	
		
Blick in Richtung N:	Blick in Richtung NO:	
		
Blick in Richtung O:	Blick in Richtung SO:	
		

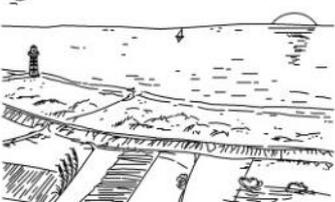
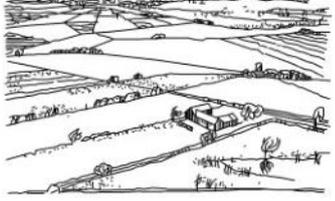
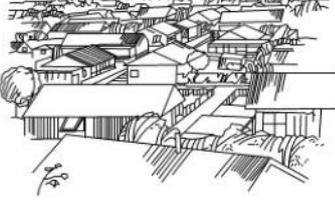
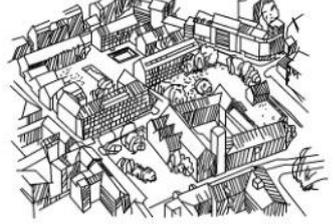


A.2 Fotostrecke für Fotostandort 2

Blick in Richtung S:	Blick in Richtung SW:	Strukturen
		
Blick in Richtung W:	Blick in Richtung NW:	
		
Blick in Richtung N:	Blick in Richtung NO:	
		
Blick in Richtung O:	Blick in Richtung SO:	
		



Anhang B: Geländekategorien nach DIN EN 1991-1-4/NA

<p>Geländekategorie I</p> <p>Offene See; Seen mit mindestens 5 km freier Fläche in Windrichtung; glattes, flaches Land ohne Hindernisse</p> <p>Rauigkeitslänge $z_0 = 0,01 \text{ m}$ Profilexponent $\alpha = 0,12$</p>	
<p>Geländekategorie II</p> <p>Gelände mit Hecken, einzelnen Gehöften, Häusern oder Bäumen, z. B. landwirtschaftliches Gebiet</p> <p>Rauigkeitslänge $z_0 = 0,05 \text{ m}$ Profilexponent $\alpha = 0,16$</p>	
<p>Geländekategorie III</p> <p>Vorstädte, Industrie- oder Gewerbegebiete; Wälder</p> <p>Rauigkeitslänge $z_0 = 0,30 \text{ m}$ Profilexponent $\alpha = 0,22$</p>	
<p>Geländekategorie IV</p> <p>Stadtgebiete, bei denen mindestens 15 % der Fläche mit Gebäuden bebaut sind, deren mittlere Höhe 15 m überschreitet</p> <p>Rauigkeitslänge $z_0 = 1,05 \text{ m}$ Profilexponent $\alpha = 0,30$</p>	



Gutachten zur Standorteignung von WEA am Standort Nartum

Referenz-Nummer:

F2E-2021-TGR-016, Rev. 1 - ungekürzte Fassung

Auftraggeber:

ENERGIEKONTOR AG

Mary-Somerville-Str. 5, 28359 Bremen

Die Ausarbeitung des Gutachtens erfolgte durch:

Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG

Borsteler Chaussee 178, 22453 Hamburg, www.f2e.de

Verfasser:

M.Sc. Susann Heise, Sachverständige,

Hamburg, 16.06.2021

Gepüft:

Dr.-Ing. Thomas Hahm, Sachverständiger,

Hamburg, 16.06.2021

Für weitere Auskünfte:

Tel.: 040 53303680-0

Fax: 040 53303680-79

Susann Heise: heise@f2e.de oder Dr. Thomas Hahm: hahm@f2e.de

Urheber- und Nutzungsrecht:

Urheber des Gutachtens ist die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG. Der Auftraggeber erwirbt ein einfaches Nutzungsrecht entsprechend dem Gesetz über Urheberrecht und verwandte Schutzrechte (UrhG). Das Nutzungsrecht kann nur mit Zustimmung des Urhebers übertragen werden. Eine Veröffentlichung und Bereitstellung der ungekürzten Fassung des Gutachtens zum uneingeschränkten Download in elektronischen Medien sind verboten. Eine Einsichtnahme der gekürzten Fassung des Gutachtens gemäß UVPG §23 (2) über die zentralen Internetportale von Bund und Ländern gemäß UVPG §20 Absatz (1) wird gestattet.



Inhaltsverzeichnis

1 Aufgabenstellung.....	3
2 Grundlagen.....	4
2.1 Nachweis durch Vergleich der Windbedingungen.....	4
2.2 Nachweis durch Vergleich der Lasten.....	10
2.3 Auslegungswerte.....	11
2.3.1 Turbulenzintensität.....	11
2.3.2 Windgeschwindigkeit.....	11
2.3.3 Weitere Windbedingungen.....	11
2.4 Erläuterungen zu den verwendeten Methoden.....	12
2.4.1 Bestimmung der Komplexität.....	12
2.4.2 Bestimmung der Umgebungsturbulenzintensität.....	13
2.4.3 Bestimmung der effektiven Turbulenzintensitäten.....	14
2.4.4 Bestimmung der Extremwerte der Turbulenzintensitäten.....	16
2.4.5 Bestimmung der Luftdichte.....	16
2.4.6 Bestimmung des Höhenexponenten.....	16
2.4.7 Bestimmung der Schräganströmung.....	17
2.4.8 Extrapolation der Winddaten.....	17
2.5 Gültigkeit der Ergebnisse.....	18
2.5.1 Betriebsbeschränkungen.....	19
3 Eingangsdaten.....	21
3.1 Windparkkonfiguration und Auslegungswerte.....	21
3.2 Windgeschwindigkeitsverteilung am Standort.....	21
3.3 Extremwind am Standort.....	22
3.4 Umgebungsturbulenzintensität am Standort.....	22
3.5 Sektorielle Betriebsbeschränkungen.....	22
4 Bestimmung der Standortbedingungen.....	22
4.1 Standortbesichtigung.....	22
4.2 Ergebnisse Standortbedingungen.....	23
4.2.1 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren.....	23
5 Nachweis der Standorteignung.....	24
5.1 Allgemeine Hinweise.....	24
5.2 Nachweis der Standorteignung durch einen Vergleich der Windbedingungen.....	24
5.2.1 Einschränkungen.....	24
5.3 Nachweis der Standorteignung durch einen Vergleich der Lasten.....	25
5.3.1 Erläuterungen und Hinweise.....	26
5.3.2 Einschränkungen.....	26
5.3.3 Betriebsbeschränkungen.....	27
6 Zusammenfassung.....	28
7 Literaturangaben.....	29
Anhang: wake2e-Bericht, Projektname Nartum	A.1



1 Aufgabenstellung

Die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG ist beauftragt worden, Windenergieanlagen (WEA) hinsichtlich ihrer Standorteignung gemäß Kapitel 16 (Standorteignung von Windenergieanlagen) der DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen von 2012 /2.8/ zu betrachten und zu bewerten.

Voraussetzung für einen Nachweis der Standorteignung ist gemäß /2.8/ das Vorliegen einer gültigen Typenprüfung bzw. Einzelprüfung für die WEA. Im Folgenden ist die Möglichkeit der Einzelprüfung stets eingeschlossen, wenn von Typenprüfung gesprochen wird, auch wenn dies nicht explizit erwähnt wird.

Der Nachweis der Standorteignung der WEA erfolgt entweder durch einen Vergleich der am jeweiligen Standort der WEA herrschenden Windbedingungen mit den Windbedingungen, die der Typenprüfung zugrunde liegen, oder durch einen Vergleich der standortspezifischen Lasten mit den Lasten, die der Typenprüfung zugrunde liegen (siehe auch Kapitel 2).

Die Windbedingungen sind in den jeweiligen DIBt-Richtlinien /2.6, 2.7, 2.8/ festgelegt und Bestandteil der Typenprüfung einer WEA. Auf Basis dieser Windbedingungen und der daraus resultierenden Lasten garantiert eine Typenprüfung nach /2.6, 2.7, 2.8/ eine Entwurfslebensdauer der WEA von mindestens 20 Jahren.

Aufgrund fehlender Kriterien für einen Immissionsgrenzwert für die durch Nachbar-WEA erhöhte Turbulenzbelastung einer WEA können ersatzweise die Kriterien der Standorteignung für eine Turbulenzimmissionsprognose im Rahmen eines BImSchG-Antrages herangezogen werden. Es wird dabei davon ausgegangen, dass die Reduktion der Lebenszeit und der zusätzliche Verschleiß der WEA zumutbar sind, solange die Standorteignung hinsichtlich der Auslegungswerte der Turbulenzintensität oder hinsichtlich der Auslegungslasten gewährleistet bleibt.

Das vorliegende Gutachten zur Standorteignung ist daher gleichzeitig eine Turbulenz-Immissionsprognose im Sinne des BImSchG.



2 Grundlagen

WEA sind Umweltbedingungen und elektrischen Bedingungen ausgesetzt, die Belastung, Haltbarkeit und den Betrieb beeinflussen können. Die Umweltbedingungen werden in Wind- und andere Umweltbedingungen unterteilt. Für die Integrität der Konstruktion sind die Windbedingungen die primär zu berücksichtigenden Einflussfaktoren.

Der Nachweis der Standsicherheit von Turm und Gründung einer WEA wird in Form einer Typenprüfung nach der jeweils gültigen DIBt-Richtlinie /2.6, 2.7, 2.8/ geführt. Hierzu definieren die Richtlinien Windzonen in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit und Turbulenzparametern, welche die meisten Anwendungsfälle erfassen sollen, jedoch keinen spezifischen Standort einer WEA exakt abbilden. Auf Basis der Windbedingungen der Windzone werden anschließend die Lasten der WEA durch den Hersteller ermittelt.

Das vom Hersteller verwendete Modell zur Berechnung der Lasten und die Berechnungsergebnisse werden durch unabhängige Berechnungen im Rahmen der Typenprüfung durch eine akkreditierte Stelle geprüft und bestätigt.

Im konkreten Einzelfall der Errichtung einer WEA ist die Anwendbarkeit der Typenprüfung nachzuweisen. Dies kann auf zwei Wegen geschehen. Zum einen durch einen Vergleich der standortspezifischen Windbedingungen mit den Windbedingungen der Typenprüfung oder zum anderen durch einen Vergleich der standortspezifischen Lasten mit den Lasten der Typenprüfung. Im zweiten Fall dienen die standortspezifischen Windbedingungen als Eingangswerte für die Ermittlung der standortspezifischen Lasten. Das bedeutet insbesondere, dass kein neuer Standsicherheitsnachweis für Turm und Gründung geführt wird, sondern dass jeweils die Randbedingungen der Typenprüfung, also des bestehenden Standsicherheitsnachweises, überprüft werden.

Abbildung 2.1.1 gibt einen Überblick über das Prüfverfahren.

2.1 Nachweis durch Vergleich der Windbedingungen

Gemäß /2.2, 2.3/ sind für neu geplante WEA folgende Windbedingungen auf Nabenhöhe nachzuweisen:

- 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren v_{50} ,
- Windgeschwindigkeitsverteilung im Bereich von $0.2v_{ref} - 0.4v_{ref}$
- Turbulenzintensität für Windgeschwindigkeiten von $0.2v_{ref} - 0.4v_{ref}$

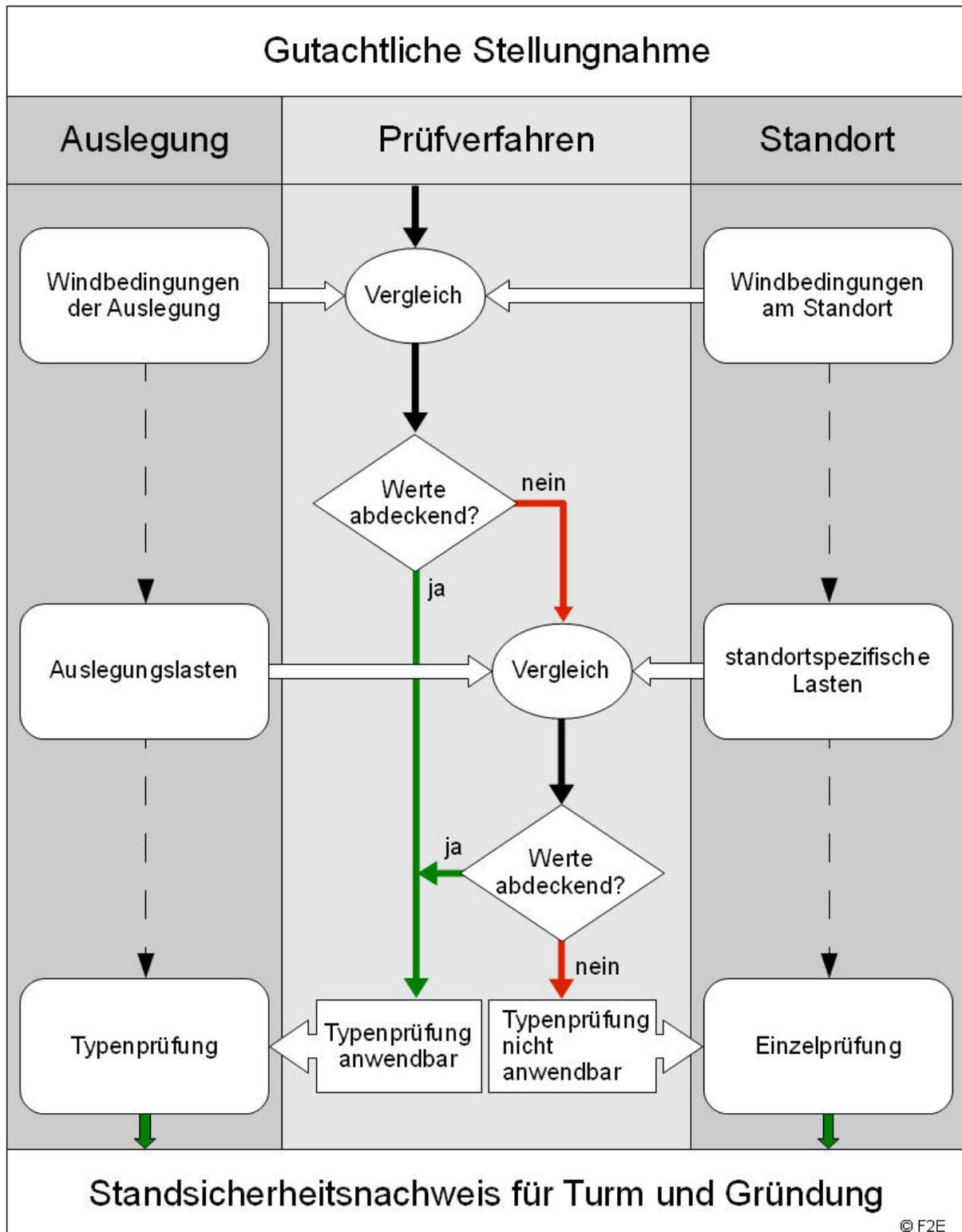


Abbildung 2.1.1: Schematische Darstellung des Prüfverfahrens.



- Extremwerte der Turbulenzintensität,
- Höhenexponent α des vertikalen Windgeschwindigkeitsprofils,
- mittlere Neigung der Anströmung,
- mittlere Luftdichte ρ für Windgeschwindigkeiten $\geq v_r$.

In /2.4/ wurde der Windgeschwindigkeitsbereich, für den die Windgeschwindigkeitsverteilung und die Turbulenzintensität nachgewiesen werden müssen, von $0.2v_{\text{ref}} - 0.4v_{\text{ref}}$ auf $v_{\text{ave}} - 2v_{\text{ave}}$ geändert. Dieser Windgeschwindigkeitsbereich kann daher alternativ zugrunde gelegt werden.

Überschreitungen der Extremwerte der Turbulenzintensität treten typischerweise stets mit Überschreitungen der Auslegungswerte der Turbulenzintensität auf. Für einen Nachweis durch einen Vergleich der Windbedingungen werden die Extremwerte der Turbulenzintensität daher nicht explizit ausgewiesen. Diese sind gegebenenfalls dann im Rahmen eines Nachweises durch einen Vergleich der Lasten (siehe Kapitel 2.2) zu berücksichtigen und werden daher in den Ergebnissen im Anhang aufgeführt.

Zusätzlich werden in /2.3/ Nachweise für Extremwerte des Windgradienten gefordert. Der Nachweis für Extremwerte des Windgradienten ist mit /2.4/ wieder entfallen und wird daher hier nicht berücksichtigt.

Werden abweichend von den in /2.2 - 2.4/ definierten Turbulenzkategorien individuelle Auslegungswerte der Turbulenzintensität definiert, kann es notwendig sein, den zu bewertenden Windgeschwindigkeitsbereich auf den gesamten Betriebsbereich der WEA auszudehnen.

Den Ermittlungen der Standortbedingungen ist nach /2.8/ dabei eine Standortbesichtigung zugrunde zu legen.

Alternativ zum oben genannten Nachweis nach /2.2, 2.3/ kann nach /2.8/ ein vereinfachtes Verfahren angewendet werden, wenn der jeweilige Standort der geplanten WEA nicht orografisch komplex gemäß der Definition in /2.2, 2.3/ ist. Nach dem vereinfachten Verfahren sind folgende Windbedingungen auf Nabenhöhe nachzuweisen:

- mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe,
- Turbulenzintensität,
- 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren v_{50} (nur wenn die Windzone der Typenprüfung nicht die Windzone des jeweiligen Standortes der WEA abdeckt).

Nach /2.8/ muss dabei die mittlere Jahreswindgeschwindigkeit v_{ave} auf Nabenhöhe



5% kleiner sein als der Auslegungswert oder die mittlere Jahreswindgeschwindigkeit v_{ave} auf Nabenhöhe muss kleiner gleich dem Auslegungswert und der Formparameter k der Weibull-Verteilung gleichzeitig größer gleich 2 sein.

Das vereinfachte Verfahren setzt an dieser Stelle voraus, dass der Auslegungswert des Formparameters der Weibullverteilung einen Wert von 2.0 aufweist. Bei abweichenden Auslegungswerten muss die Bewertung der mittleren Jahreswindgeschwindigkeit und des Formparameter k der Weibull-Verteilung über einen Vergleich der Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit mit der Verteilung der Auslegung entsprechend /2.2, 2.3/ erfolgen.

Im Rahmen der Überarbeitung der internationalen Richtlinie /2.2, 2.3/ wurde ein Verfahren entwickelt, das die Bewertung der Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit auf Basis der Parameter der entsprechenden Weibull-Verteilung ermöglicht /2.4/. Dieses Verfahren kann angewendet werden, wenn sich die standortspezifische Kurve der Häufigkeitsverteilung und die der Auslegung schneiden. Gemäß /2.4/ sind verschiedene Kombinationen des Formparameters k der Weibull-Verteilung und der normierten mittleren Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe möglich, die durch den schraffierten Bereich in Abbildung 2.1.2 dargestellt sind.

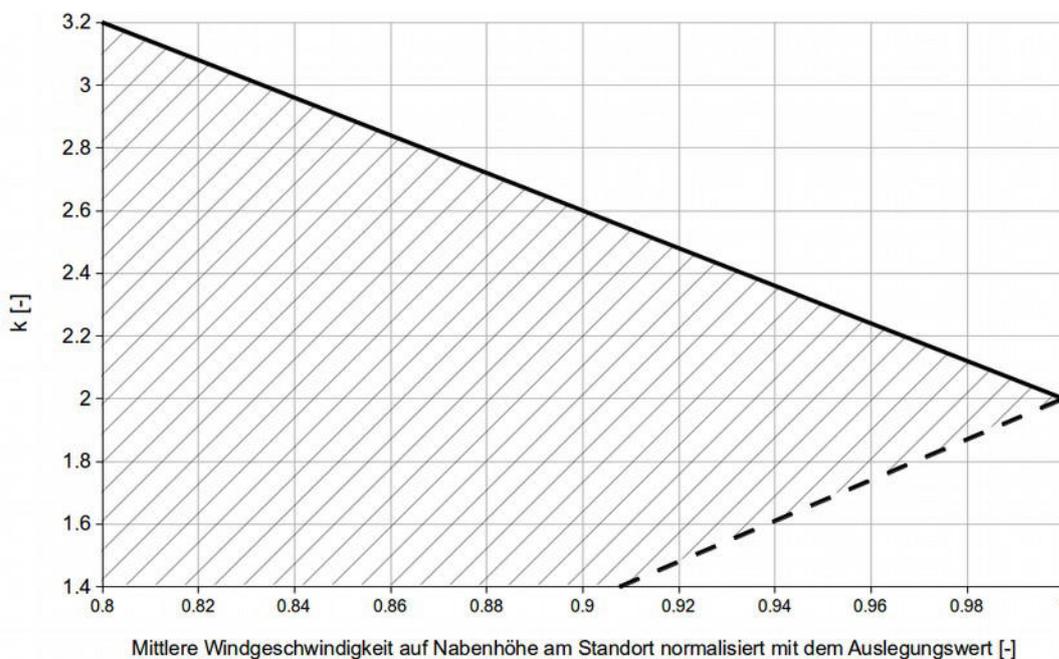


Abbildung 2.1.2: Mögliche Kombinationen von normierter Windgeschwindigkeit und Formparameter k der Weibull-Verteilung (schraffierter Bereich).



Für bestehende WEA, die nach den DIBt-Richtlinien von 1995 bzw. 2004 /2.6, 2.7/ errichtet wurden, darf der Nachweis der Standorteignung weiterhin nach dem in der DIBt-Richtlinie von 2004 /2.7/ genannten Verfahren erfolgen.

Gemäß /2.4/ kann bei Luftdichten, die die Auslegungswerte überschreiten, der Nachweis alternativ erbracht werden, indem gezeigt wird, dass folgende Bedingung erfüllt ist:

$$\rho_{Auslegung} \cdot (V_{ave, Auslegung})^2 \geq \rho_{Standort} \cdot (V_{ave, Standort})^2$$

Die Bedingung entspricht einem Vergleich des standortspezifischen, mittleren Geschwindigkeitsdrucks mit dem Wert der Auslegung.

Der nachzuweisenden Turbulenzintensität kommt insofern eine besondere Bedeutung zu, da die Turbulenzintensität die einzige Windbedingung ist, über die eine Bewertung des Einflusses der WEA untereinander erfolgt.

Dieser Einfluss ist nach DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen von 2012 /2.8/ zu berücksichtigen, wenn der auf den Rotordurchmesser D der jeweils größeren WEA bezogene Abstand zwischen zwei WEA für typische küstennahe Standorte kleiner gleich fünf und für typische Binnenstandorte kleiner gleich acht Rotordurchmesser beträgt /2.8/. Für größere Abstände braucht eine Beeinflussung der WEA untereinander nicht betrachtet zu werden. Im Folgenden wird dabei konservativ immer der größere Einflussbereich von 8D zugrunde gelegt.

Hieraus folgen unmittelbar die benachbarten WEA, für die eine Standorteignung im Rahmen des betrachteten Zubaus der geplanten WEA erneut nachzuweisen ist. Da es einen Einfluss der geplanten WEA auf diese benachbarten WEA nur in Form einer Erhöhung der Turbulenzintensität gibt, ist für benachbarte WEA unabhängig von der anzuwendenden DIBt-Richtlinie auch nur diese Windbedingung erneut zu überprüfen.

Abbildung 2.1.3 gibt einen Überblick über die jeweils nachzuweisenden Windbedingungen.

Liegt eine der oben aufgeführten für den Nachweis der Standorteignung erforderlichen Windbedingungen oberhalb des entsprechenden Auslegungswertes, der bei der jeweiligen Typenprüfung der WEA zugrunde gelegt wurde, ist ein Nachweis der Standorteignung der WEA durch einen Vergleich der Windbedingungen nicht möglich.

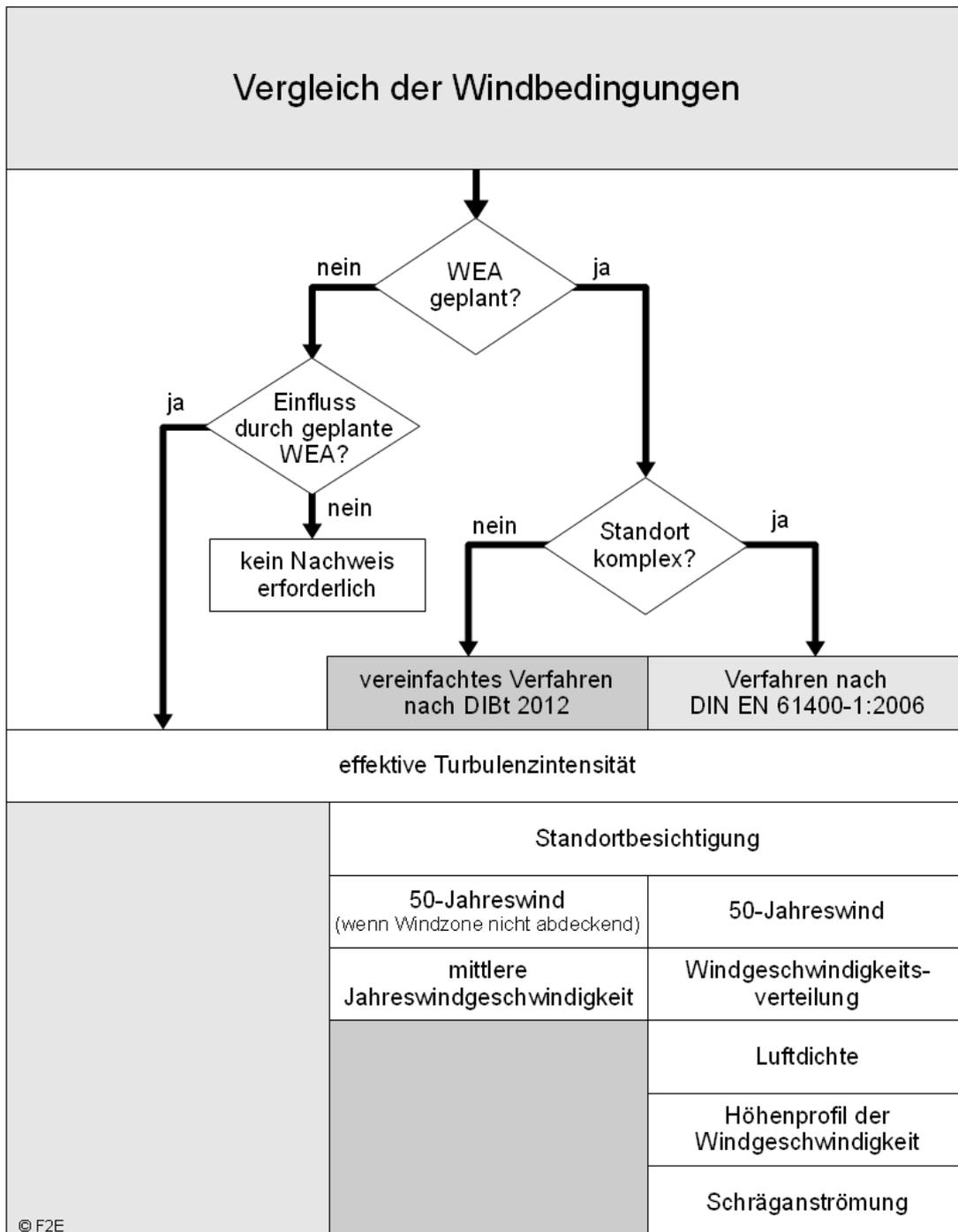


Abbildung 2.1.3: Nachweis durch Vergleich der Windbedingungen gemäß /2.8/.



2.2 Nachweis durch Vergleich der Lasten

Die entsprechend dem in Kapitel 2.1 beschriebenen Verfahren ermittelten Windbedingungen können als Eingangsparameter für einen standortspezifischen Nachweis durch einen Vergleich der Lasten verwendet werden.

Im Falle eines Windparks mit entsprechendem Einfluss von benachbarten WEA sind nach /2.2/ sowohl die Betriebs- als auch die Extremlasten nachzuweisen. Für die Betriebslasten sind gemäß /2.2, 2.3/ hierzu der Auslegungslastfall DLC 1.2 unter Berücksichtigung der effektiven Turbulenzintensität und für die Extremlasten die Auslegungslastfälle DLC 1.1 oder 1.3 sowie der DLC 1.5 nachzurechnen.

Alternativ hierzu kann nach /2.8/ ein vereinfachtes Verfahren angewendet werden, wenn der jeweilige Standort der geplanten WEA nicht orografisch komplex gemäß der Definition in /2.2, 2.3/ ist. Nach dem vereinfachten Verfahren sind folgende Lasten zu ermitteln:

- Betriebslasten, wenn die mittlere Windgeschwindigkeit oder die Turbulenzintensität überschritten sind.
- Extremlasten, wenn der 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren v_{ref} überschritten ist.

Eine solche standortspezifische, detaillierte Lastberechnung ist im Vergleich zu dem in Kapitel 2.1 dargestellten Nachweis durch einen Vergleich der Windbedingungen sehr aufwändig. Sie kann in der Regel nur vom jeweiligen Hersteller durchgeführt werden.

Diese standortspezifischen Lasten können mit den entsprechenden Auslegungslasten der Typenprüfung verglichen werden. Liegen die standortspezifischen Lasten unterhalb bzw. auf dem Niveau der Auslegungslasten, die bei der jeweiligen Typenprüfung der WEA zugrunde gelegt wurden, ist die Standorteignung der WEA gegeben.

Liegen die standortspezifischen Lasten oberhalb der Auslegungslasten, die bei der jeweiligen Typenprüfung der WEA zugrunde gelegt wurden, ist ein Nachweis der Standorteignung der WEA durch einen Vergleich der Lasten nicht möglich.

In diesem Fall kann die Typenprüfung der WEA nicht angewendet werden und ein Einzelnachweis durch den Hersteller ist erforderlich.



2.3 Auslegungswerte

2.3.1 Turbulenzintensität

Die Auslegungswerte der Turbulenzintensität sind in den DIBt-Richtlinien von 1993/1995 /2.6/ und 2004 /2.7/ noch unabhängig von der Windzone definiert. Der Auslegungswert liegt gemäß DIBt-Richtlinie von 1993/1995 konstant bei 0.2 (20%). Die DIBt-Richtlinie von 2004 /2.7/ schreibt die Turbulenzkategorie A nach /2.1/ vor.

In der DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen von 2012 /2.8/ wird die Turbulenzkategorie A nach DIN EN 61400-1:2006 /2.2/ nur noch empfohlen. Grundsätzlich können auch andere Auslegungswerte der Turbulenzintensität zugrunde gelegt werden. In vielen Fällen finden hier die in den internationalen Richtlinien /2.2, 2.3, 2.4/ definierten Turbulenzkategorien Anwendung.

2.3.2 Windgeschwindigkeit

Die Typenprüfung nach DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen von 2012 /2.8/ erfolgt für eine bestimmte Windzone. Abhängig von der Windzone ist sowohl der Auslegungswert des 10-min-Mittelwertes der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren v_{ref} als auch die mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe v_{ave} definiert. Diese Werte sind abhängig von der Nabenhöhe und unterscheiden sich in den einzelnen Windzonen. Der 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren v_{ref} kann weiterhin entweder gemäß /2.9/ oder nach einer vereinfachten Formel gemäß /2.8/ bestimmt werden. Die Auslegungswerte sind daher der individuellen Typenprüfung der WEA zu entnehmen und können nicht allgemeingültig angegeben werden. Die Windgeschwindigkeitsverteilung ergibt sich in allen Fällen aus der mittleren Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe unter Verwendung einer Rayleigh-Verteilung.

Nach den DIBt-Richtlinien /2.6, 2.7, 2.8/ werden die Auslegungswerte der Windgeschwindigkeit in die Windzonen 1 bis 4 bzw. I bis IV unterteilt, wobei die Windzone 4 oder IV die höchsten Auslegungswerte aufweist. In der zitierten Literatur werden hier sowohl arabische als auch römische Zahlen verwendet.

2.3.3 Weitere Windbedingungen

Den nach /2.2, 2.3/ zusätzlich nachzuweisenden Windbedingungen liegen im allgemeinen nach den DIBt-Richtlinien /2.7, 2.8/ folgende Auslegungswerte zugrunde:

- Höhenexponent des vertikalen Windgeschwindigkeitsprofils: $\alpha = 0.2$,



- mittlere Neigung der Anströmung: 8° ,
- mittlere Luftdichte: $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$.

2.4 Erläuterungen zu den verwendeten Methoden

Kommen im Einzelfall andere Berechnungsmethoden oder Eingangsdaten zur Anwendung als hier aufgeführt wird dies in Kapitel 4 entsprechend dargestellt.

2.4.1 Bestimmung der Komplexität

Große Geländesteigungen und Höhenunterschiede können zu erhöhten Umgebungsturbulenzintensitäten führen und müssen daher in orografisch komplexem Gelände bewertet werden. Der Einfluss der Geländeorografie kann nach /2.2, 2.3/ durch einen Turbulenzstrukturparameter erfasst werden, der als Faktor auf die Turbulenzintensität wirkt. Nach /2.2/ kann ein richtungsunabhängiger Turbulenzstrukturparameter definiert werden, der abhängig vom Anteil des Windes aus orografisch komplexen Richtungssektoren zwischen 1.0 und 1.15 liegt. Da im Folgenden die Umgebungsturbulenzintensitäten richtungsabhängig bestimmt werden, wird abweichend hiervon der Turbulenzstrukturparameter ebenfalls richtungsabhängig bestimmt. Dabei wird jedem Richtungssektor, der als orografisch komplex einzustufen ist, der maximale Turbulenzstrukturparameter von 1.15 zugeordnet.

Die Bewertung der orografischen Komplexität einer Koordinate erfolgt auf Basis von Geländesteigungen und Geländedifferenzen zu einer Ausgleichsebene, die durch die jeweilige zu betrachtende Koordinate gelegt wird. Die Ausgleichsebenen werden mit der Methode der kleinsten Fehlerquadrate durch die Höhendaten gelegt. Die Bewertung erfolgt entsprechend /2.2/ auf Nabenhöhe der WEA.

Entsprechend /2.2/ sind für jede WEA 25 Ausgleichsebenen zu ermitteln (siehe Tabelle 2.4.1.1). Wird eines der in Tabelle 2.4.1.1 genannten Kriterien überschritten, so ist der betreffende Sektor als komplex anzusehen. Der jeweilige Standort der WEA ist komplex, wenn mehr als 15% der im Wind enthaltenen Energie aus komplexen Sektoren kommt.

Tabelle 2.4.1.1: Komplexitätskriterien /2.3/.

Ausgleichsebenen		Komplexitätskriterien	
Radius	Azimut Winkel	Maximale Steigung	Maximale Geländedifferenz
$5 \cdot z_{\text{hub}}$	ein Sektor á 360°	10°	$0.3 \cdot z_{\text{hub}}$
$10 \cdot z_{\text{hub}}$	zwölf Sektoren á 30°		$0.6 \cdot z_{\text{hub}}$
$20 \cdot z_{\text{hub}}$	zwölf Sektoren á 30°		$1.2 \cdot z_{\text{hub}}$



2.4.2 Bestimmung der Umgebungsturbulenzintensität

Die Turbulenzintensität ist definiert als das Verhältnis der Standardabweichung der zeitlichen Windgeschwindigkeitsverteilung zu ihrem Mittelwert bezogen auf ein Intervall von 600s. Die Umgebungsturbulenzintensität beschreibt dabei ausschließlich die Turbulenz der freien Strömung ohne den Einfluss von WEA.

Für die spätere Berechnung der effektiven Turbulenzintensität ist nicht die mittlere Umgebungsturbulenzintensität sondern abhängig von der Auslegung der jeweiligen WEA die charakteristische Turbulenzintensität (DIBt 1993/95, DIBt 2004 und IEC 61400-1 Edition 2) bzw. die repräsentative Turbulenzintensität (DIBt 2012, IEC 61400-1 Edition 3) zugrunde zu legen. Die charakteristische Turbulenzintensität ergibt sich aus der Addition der mittleren Umgebungsturbulenzintensität und der einfachen Standardabweichung der Umgebungsturbulenzintensität. Die repräsentative Turbulenzintensität ergibt sich aus der Addition der mittleren Umgebungsturbulenzintensität und der 1.28fachen Standardabweichung der Umgebungsturbulenzintensität.

Wenn keine ausreichenden Messdaten zur Turbulenzintensität am Standort vorliegen, wird die mittlere langfristig zu erwartende Umgebungsturbulenzintensität rechnerisch ermittelt.

Im Bereich der atmosphärischen Bodengrenzschicht ergibt sich die zu berücksichtigende Umgebungsturbulenzintensität im Wesentlichen aus dem Einfluss der Rauigkeitselemente des Bodens wie Bäumen, Büschen, Bauwerken etc.. Hierzu erfolgt eine Typisierung von Geländeoberflächen hinsichtlich ihres Bewuchses, ihrer Bebauung und Nutzung auf Basis detaillierter Satellitendaten zur Bodenbedeckung /1.7/, wobei Geländeabschnitte bis 25km Entfernung um die jeweilige Koordinate einbezogen werden. Den einzelnen Geländeabschnitten werden anschließend Rauigkeitsklassen gemäß der Empfehlungen des für die Kommission der Europäischen Gemeinschaften veröffentlichten Europäischen Windatlanten /1.3/ zugeordnet. Der Einfluss der verschiedenen Geländeabschnitte wird abhängig vom Abstand zur Koordinate in zwölf Richtungssektoren à 30° bewertet, wodurch sich gewichtete Mittel für die Rauigkeiten in den jeweiligen Sektoren ergeben.

Auf Grundlage dieser Rauigkeitsklassifizierung werden die notwendigen Werte von uns auf Basis der Empfehlungen der VDI-Richtlinie VDI 3783 Blatt 12 /1.1/ sowie der DIN EN 1991-1-4 /2.9/ bestimmt.

Die zu berücksichtigenden Umgebungsturbulenzintensitäten sind im Gegensatz zu den Rauigkeiten nicht nur richtungsabhängig, sondern auch abhängig von der Windgeschwindigkeit und Höhe über Grund und werden entsprechend für die



verschiedenen Richtungen und Windgeschwindigkeiten für jede einzelne WEA auf Nabenhöhe ermittelt und in den weiteren Berechnungen berücksichtigt. Der Windgeschwindigkeitsverlauf orientiert sich dabei am Normalen Turbulenzmodell (NTM) der IEC 61400-1 /2.3/.

Einzelstrukturen und orografische Hindernisse, die auf Grund ihrer Entfernung und Höhe so groß sind, dass der direkte Einfluss der Nachlaufströmung dieser Einzelstrukturen und orografischen Hindernisse auf den Rotor einer WEA nicht ausgeschlossen werden kann, können nicht als Rauigkeitselemente aufgelöst werden. Ihr Einfluss ist gegebenenfalls gesondert zu bewerten (siehe hierzu Kapitel 4.1).

2.4.3 Bestimmung der effektiven Turbulenzintensitäten

In /1.4/ ist ein Verfahren beschrieben, um den Einfluss mehrerer, verschieden weit entfernter WEA unter Berücksichtigung der Häufigkeit der Nachlaufsituationen zu bewerten. Die Bewertung erfolgt mit Hilfe einer effektiven Turbulenzintensität. Die effektive Turbulenzintensität ist eine Ersatzgröße, welche über die gesamte Lebensdauer der WEA anzusetzen ist. Sie gewichtet die Belastung durch die Umgebungsturbulenzintensität und die zusätzlich durch die Nachlaufsituation induzierte Belastung. Das Verfahren wird sowohl im internationalen Regelwerk als auch in der DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen von 2012 /2.8/ empfohlen. Eine zusätzliche Belastung besteht nach diesem Berechnungsverfahren nicht mehr, wenn der Abstand zur benachbarten WEA mehr als zehn Rotordurchmesser beträgt. Da dieses Berechnungsverfahren im Folgenden Anwendung findet, wird bei der Berechnung der effektiven Turbulenzintensität einer WEA daher der Einfluss aller benachbarten WEA berücksichtigt, die bis zu 10D (bezogen auf ihren jeweiligen Rotordurchmesser) entfernt stehen.

Gegenüber der in /1.4/ dargestellten Form des Berechnungsverfahrens verwenden wir das Verfahren mit zwei Modifikationen, welche im Folgenden erläutert werden.

Das in /1.4/ eingesetzte Modell für die zusätzlich im Nachlauf produzierte Turbulenzintensität ist abhängig vom Schubbeiwert c_T der WEA. Hier verwenden wir für die Modellierung der zusätzlich im Nachlauf produzierten Turbulenzintensität ein aufwändigeres Modell nach /1.2/, in das neben dem Schubbeiwert c_T der WEA auch die Schnelllaufzahl der WEA und die Umgebungsturbulenzintensität als Parameter eingehen. Ist es möglich eine WEA leistungsreduziert oder in einem veränderten Betriebsmodus zu betreiben, verwenden wir die zur jeweiligen Nennleistung bzw. dem Betriebsmodus gehörenden oder abdeckende Parameter. Sowohl in /1.4/ als auch im internationalen Regelwerk /2.2, 2.3/ ist weiterhin ein Modell zur Bestimmung der zusätzlich im Nachlauf produzierten Turbulenzintensität angegeben, das



ganz ohne anlagenspezifische Parameter auskommt. Hier wird ein generalisierter, konservativer Verlauf der Schubbeiwerte zugrunde gelegt /1.4/. Dieses Modell wird von uns verwendet, wenn für eine WEA die anlagenspezifischen Parameter nicht vorliegen oder diese einen Verlauf zeigen, der deutlich von denen der WEA abweicht, die der ursprünglichen Validierung zugrunde lagen.

Die zweite Modifikation betrifft die Häufigkeit der jeweiligen Nachlaufsituation, die nach /2.8/ mit 6% angenommen werden kann. Dieser konstanten Häufigkeit liegt die Annahme eines voll ausgebildeten Nachlaufs (far wake) zugrunde, der sich typischerweise drei bis fünf Rotordurchmesser hinter der WEA einstellt. Um auch für geringe Anlagenabstände konservative Werte zu erhalten, wird die Häufigkeit der jeweiligen Nachlaufsituation von uns davon abweichend auf Basis der realen geometrischen Verhältnisse im Windpark und unter Berücksichtigung der Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen berechnet. Zusätzliche Sicherheit für den Nahbereich entsteht durch die Annahme, dass der Nachlauf der WEA von Anfang an eine deutlich größere Ausdehnung als der Rotor aufweist.

Die Ausdehnung des Nachlaufs wird auch in vertikaler Richtung berücksichtigt, so dass bei ausreichendem Höhenunterschied kein Einfluss des Nachlaufs auf die deutlich niedrigere bzw. höhere WEA mehr besteht.

Für den materialspezifischen Wöhlerlinien-Koeffizienten m wird der höchste Koeffizient für die schwächste Strukturkomponente der WEA zugrunde gelegt. Daraus ergibt sich ein abdeckender Wert von $m = 10$ /1.5/ für glasfaserverstärkte Kunststoffe mit einem Faseranteil von 30 bis 55 Volumen-% /2.5/. Für kohlefaserverstärkte Kunststoffe mit einem Faseranteil von 50 bis 60 Volumen-% wird nach /2.5/ ein Wert von $m = 14$ zugrunde gelegt. Herstellerspezifisch können abweichende Wöhlerlinien-Koeffizienten für die schwächste Strukturkomponente der WEA verwendet werden. Wenn nicht anders gekennzeichnet, beziehen sich die hier dargestellten effektiven Turbulenzintensitäten auf einen Wöhlerlinien-Koeffizienten von $m = 10$.

Die DIBt von 2004 und 2012 /2.7, 2.8/ definiert die Auslegungswerte der Turbulenzintensität windgeschwindigkeitsabhängig. Demgegenüber definiert die DIBt von 1995 /2.6/ einen konstanten mittleren Auslegungswert für die Turbulenzintensität von 20%, der allen Windgeschwindigkeiten zugeordnet ist.

Da im Falle eines standortspezifischen Nachweises der Betriebslasten diese auf Basis der ermittelten windgeschwindigkeitsabhängigen effektiven Turbulenzintensitäten berechnet werden müssen, werden für alle betrachteten WEA die windgeschwindigkeitsabhängigen Werte ausgewiesen.

Für die WEA, für die Auslegungswerte der Turbulenzintensität auf Basis der DIBt



von 1995 (1993) /2.6/ zugrunde gelegt werden, sind entsprechende konstante mittlere effektive Turbulenzintensitäten ausgewiesen. Benachbarte WEA mit einer sehr geringen oder sehr hohen Leistung pro Quadratmeter der Rotorfläche oder benachbarte WEA mit einer sehr niedrigen oder sehr hohen Nennwindgeschwindigkeit können dabei qualitativ abweichende Ergebnisse im Vergleich zu einer Bewertung auf Basis von windgeschwindigkeitsabhängigen Auslegungswerten hervorrufen. In diesen Fällen kann der Vergleich mit den windgeschwindigkeitsabhängigen Auslegungswerten zugrunde gelegt werden.

2.4.4 Bestimmung der Extremwerte der Turbulenzintensitäten

Die Extremwerte der Turbulenzintensität werden entsprechend den Vorgaben in /2.3/ unter Berücksichtigung der Nachlaufsituationen bestimmt. Als Maß dient der über alle Richtungen gebildete Maximalwert der Turbulenzintensität im Zentrum des Nachlaufs.

2.4.5 Bestimmung der Luftdichte

Zur Berechnung der Luftdichte wird die mittlere Temperatur in 2m Höhe über den Zeitraum von 1981 bis 2010 aus einem 1km-Raster des Deutschen Wetterdienstes zugrunde gelegt /1.9/. Die Luftdichte auf Nabenhöhe der WEA wird anschließend auf Grundlage der Berechnungsvorschrift nach DIN ISO 2533 /2.12/ ermittelt und gemäß /2.4/ für Windgeschwindigkeiten oberhalb der Nennwindgeschwindigkeit korrigiert.

2.4.6 Bestimmung des Höhenexponenten

Der Höhenexponent unterliegt sehr starken tageszeitlichen und saisonalen Schwankungen. Die Stabilität der Atmosphäre beeinflusst den Höhenexponenten dabei maßgeblich. Stabilitätsbedingte große Höhenexponenten sind dabei jedoch oft mit niedrigen Turbulenzen korreliert und werden bezüglich der Lasten durch diese oft ausgeglichen. Da entsprechend dem Regelwerk ein einziger über alle Zeiten, Windrichtungen und Windgeschwindigkeiten gemittelter Wert gefordert wird, erfolgt die Berechnung des mittleren Höhenexponenten daher alleine auf Basis der ermittelten Rauigkeiten. Einflüsse der Stabilität der Atmosphäre werden im Mittel dabei vernachlässigt.

Der Einfluss des Höhenexponenten auf die Lasten der einzelnen Komponenten einer WEA ist sehr unterschiedlich. Sowohl sehr kleine als auch sehr große Werte des Höhenexponenten können zu einer Erhöhung der Lasten führen. Ein einfacher Vergleich mit dem Auslegungswert des Höhenexponenten ist daher nicht möglich. Der Mittelwert des Höhenexponenten sollte bei einem Auslegungswert von 0.2



gemäß /2.4/ in einem Wertebereich von 0.05 bis 0.25 liegen und kann damit um 25% nach oben und um 75% nach unten abweichen. Für andere Auslegungswerte des Höhenexponenten können analoge Gültigkeitsbereiche definiert werden.

Stehen die geplanten WEA in orografisch exponierter Lage auf oder in der Nähe von Hügelkuppen oder sind schroffe Geländekanten oder Steilhänge in direkter Umgebung vorhanden, ist zu überprüfen, ob es zu erhöhten Windgeschwindigkeitsgradienten in vertikaler Richtung im Bereich des Rotors der WEA kommen kann. Falls erforderlich, wird hierauf in Kapitel 4 hingewiesen.

2.4.7 Bestimmung der Schräganströmung

Gemäß /2.3/ kann angenommen werden, dass die Anströmung parallel zu der in Kapitel 2.4.1 definierten Ausgleichsebene für einen Radius von fünffacher Nabenhöhe läuft. Die Steigung dieser Ausgleichsebene dient daher als Maß für die Schräganströmung. Im Falle ausgeprägter Kuppen- oder Kammlagen, sind eventuell weitere Ausgleichsebenen gemäß Kapitel 2.4.1 heranzuziehen und werden dann zusätzlich in Kapitel 4 ausgewiesen.

2.4.8 Extrapolation der Winddaten

Die zur Verfügung gestellten Winddaten werden nicht in der Horizontalen umgerechnet. Es findet vielmehr in Abstimmung mit dem Auftraggeber eine Zuordnung der WEA-Standorte zu dem oder den Windreferenzpunkten statt. Diese Zuordnung kann dem Anhang entnommen werden.

Besteht ein signifikanter Höhenunterschied zwischen Bezugshöhe der Winddaten und Nabenhöhe der WEA findet eine Umrechnung der Winddaten in der Vertikalen statt. Diese Extrapolation erfolgt unter Annahme eines logarithmischen Höhenprofils der Windgeschwindigkeit. Die erforderlichen mittleren Rauigkeitslängen werden für die WEA auf Basis der Rauigkeitsklassifizierung ermittelt.

Eine Haftung für die Richtigkeit der extrapolierten Werte wird nicht übernommen.

Mit zunehmendem Höhenunterschied zwischen Bezugshöhe der Winddaten und Nabenhöhe der WEA steigen die mit der Umrechnung verbundenen Unsicherheiten. Gleiches gilt für einen zunehmenden Abstand zwischen den WEA-Standorten und den Referenzpunkten der Winddaten. Diese Unsicherheiten können die Verwendung der Winddaten insbesondere als Eingangsdaten für eine standortspezifische Lastrechnung einschränken. Auf eine solche Einschränkung wird gegebenenfalls im Gutachten hingewiesen.



2.5 Gültigkeit der Ergebnisse

Alle Werte mit Höhenbezug beziehen sich, wenn nichts anderes angegeben ist, auf die Nabenhöhe (z_{hub}) der entsprechenden WEA.

Die für den Nachweis der Standorteignung notwendige effektive Turbulenzintensität hängt von mehreren Faktoren ab. Dies sind die Windparkkonfiguration in Form der WEA-Daten (Koordinaten, WEA-Typ, Nabenhöhe, Nennleistung und eventuelle vorhandene Betriebsbeschränkungen), die Windbedingungen (Häufigkeitsverteilung der Windrichtung, sektorielle Weibull-Parameter der Windgeschwindigkeitsverteilung sowie die Umgebungsturbulenzintensität) und die Typenprüfung der WEA, die festlegt, welcher statistische Wert der Umgebungsturbulenzintensität zugrunde zu legen ist.

Jede Änderung dieser Randbedingungen erfordert daher eine Neubewertung der Standorteignung hinsichtlich der Auslegungswerte der Turbulenzintensität.

Da bei den betrachteten WEA anlagenspezifische Werte (siehe Kapitel 2.1) berücksichtigt werden, kann insbesondere bei einem Wechsel auf einen anderen WEA-Typ mit z.B. kleinerem Rotordurchmesser nicht unterstellt werden, dass die Aussage des Gutachtens weiterhin gültig ist.

Bei den verwendeten anlagenspezifischen Werten (siehe Kapitel 2.1) kann es sich um berechnete oder gemessene Größen des Herstellers handeln. Diese können voneinander abweichen und zu unterschiedlichen Ergebnissen führen.

Die Ergebnisse beziehen sich dabei auf eine vorliegende gültige Typenprüfung für die betrachteten WEA. Der Typenprüfung müssen mindestens die jeweils aufgeführten Auslegungswerte zugrunde liegen. Es wird davon ausgegangen, dass alle betrachteten WEA die in der Typenprüfung zugrunde gelegte Entwurfslebensdauer noch nicht überschritten haben.

Zum Zeitpunkt der Erstellung des Gutachtens steht nicht fest, welche Dokumente im Rahmen des Genehmigungsverfahrens später bei der Behörde eingereicht werden. Die im Gutachten zitierten Quelldokumente der verwendeten Auslegungswerte müssen daher nicht zwingend mit den Dokumenten übereinstimmen, welche im Rahmen des Bauantrages bzw. der Baugenehmigung vorgelegt werden. Sie dienen hier lediglich als Quellenangabe für die verwendeten Auslegungswerte.

Wenn in den uns vorliegenden Dokumenten zur Auslegung der WEA kein eindeutiger Rückschluss auf Auslegungswerte möglich ist, verwenden wir konservativ abdeckende Werte. Eine Haftung für die Richtigkeit der ermittelten Werte wird nicht übernommen.



Auf Basis des Gutachtens ist zu prüfen, ob die im Gutachten aufgeführten Auslegungswerte mit den Auslegungswerten in den zur Baugenehmigung vorgelegten Dokumenten übereinstimmen. Wenn die Auslegungswerte übereinstimmen ist die Gültigkeit des Gutachtens unabhängig von den zitierten Quelldokumenten gegeben.

Die bei sehr geringen Abständen mögliche gegenseitige Beeinflussung benachbarter WEA durch die Nachlaufschleppe der Turmbauwerke wird nicht betrachtet. Ebenso wird ein möglicher Einfluss von sehr nahe liegenden großen Einzelstrukturen wie z.B. hohen Gebäuden auf betrachtete WEA nicht untersucht.

2.5.1 Betriebsbeschränkungen

Wenn bei sonst gleichbleibenden Randbedingungen WEA entfallen oder zusätzliche Betriebsbeschränkungen definiert werden, führt dies stets zu gleichbleibenden bzw. niedrigeren effektiven Turbulenzintensitäten. Die getroffenen Aussagen zur Standorteignung sind daher in diesen Fällen weiterhin anwendbar.

Der Einfluss neu geplanter WEA auf bestehende WEA kann sich aber stärker abbilden. Aussagen zu einem nicht signifikanten Einfluss neu geplanter WEA auf bestehende WEA behalten in diesen Fällen daher nicht immer ihre Gültigkeit und sind neu zu bewerten.

Da die Lasten bei einer abgeschalteten WEA auch in der erhöhten Turbulenz der Nachlaufströmung der verursachenden Nachbar-WEA geringer sind als im Betrieb bei ungestörter Anströmung, kann statt der windaufwärts gelegenen, verursachenden WEA die zu schützende WEA abgeschaltet werden. Alternative 1b in Tabelle 2.5.1.1 ist also äquivalent zu 1a und umgekehrt. Der in Tabelle 2.5.1.1 angegebene Windgeschwindigkeitsbereich bezieht sich stets auf die Nabenhöhe der eingeschränkten WEA. Bei unterschiedlichen Nabenhöhen ist daher darauf zu achten, dass bei einem Wechsel von Alternativen 1a auf 1b und umgekehrt der Windgeschwindigkeitsbereich auf die andere Nabenhöhe umgerechnet werden muss.

Betriebsbeschränkungen, bei denen für einen bestimmten Windgeschwindigkeits- und Windrichtungsbereich Abschaltungen definiert sind, decken Betriebsbeschränkungen, bei denen ein anderer Betriebsmodus oder eine Blattwinkelverstellung für dieselben Bereiche definiert wird ab. Alternative 2 (Blattwinkelverstellung) oder 3 (Betriebsmodus) in Tabelle 2.5.1.1 sind durch die Alternativen 1a und 1b in beiden Fällen abgedeckt.

In den Ergebnissen wird in der Regel nur eine der Abschaltungsvarianten dargestellt. D.h., wenn Alternative 1a aus Tabelle 2.5.1.1 dargestellt wird, ist Alternative 1b möglich und umgekehrt. Wenn Alternative 2 oder 3 dargestellt wird, sind auch die Alternativen 1a und 1b möglich.



Table 2.5.1.1: Allgemeines Beispiel für alternative Betriebsbeschränkungen (Erläuterungen zu den Symbolen siehe Anhang Kapitel A.6).

Alternative	Beschränkte WEA	Zu schützende WEA	Abschaltung	Betriebsmodus	β [°]	γ_{start} [°]	γ_{stop} [°]	v_{start} [m/s]	v_{stop} [m/s]
1a	WEA n	WEA m	X	-	-	10.2	44.7	5.5	9.5
1b	WEA m	WEA m	X	-	-	10.2	44.7	5.5	9.5
2	WEA n	WEA m	-	-	3	10.2	44.7	5.5	9.5
3	WEA n	WEA m	-	1.6MW	-	10.2	44.7	5.5	9.5

Aufgeführte Betriebsbeschränkungen stellen Mindestanforderungen dar. Eine Prüfung der technischen Umsetzbarkeit wird nicht vorgenommen.



3 Eingangsdaten

3.1 Windparkkonfiguration und Auslegungswerte

Am Standort Nartum (Niedersachsen) plant der Auftraggeber die Errichtung von fünf Windenergieanlagen (WEA 1 - 5). Am Standort befindet sich keine weitere benachbarte WEA.

Die vom Auftraggeber übermittelten Daten zur Windparkkonfiguration sind in Tabelle A.2.2.1 des Anhangs bzw. in Abschnitt A.2.7 des Anhangs dargestellt.

Die Zuordnung der einzelnen WEA zu den Winddatensätzen (Kapitel A.2.4 des Anhangs und gegebenenfalls zu den Datensätzen der Umgebungsturbulenzintensität (Kapitel A.2.1 des Anhangs) kann den letzten beiden Spalten (Datensatz-Nr.) der Tabelle A.2.2.1 des Anhangs entnommen werden.

Alle Benennungen von WEA im Dokument beziehen sich auf die Nomenklatur von Spalte 2 (Nr.) in Tabelle A.2.2.1 des Anhangs.

Für die zu betrachtenden WEA werden die in Tabelle 3.1.1 dargestellten Auslegungen zugrunde gelegt.

Die zu den Auslegungen gehörenden Auslegungswerte sind im Anhang in den Tabellen A.2.3.1 und A.2.3.2 dargestellt.

Tabelle 3.1.1: Auslegungen der zu betrachtenden WEA (Detailwerte und Quellenangaben siehe Anhang Tabellen A.2.3.1 und A.2.3.2 sowie A.5).

WEA		Auslegung	
	Lfd. Nr.	Richtlinie	Windzone
	1 - 5	DIBt 2012	WZ S GK II

3.2 Windgeschwindigkeitsverteilung am Standort

Die relativen Häufigkeiten der Windrichtung und Windgeschwindigkeiten zum Standort Nartum wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt /3.1/ und sind in Kapitel A.2.4 des Anhangs dargestellt.

Die in Kapitel A.2.4 des Anhangs dargestellten Koordinaten werden eventuell nicht im Original-Koordinatensystem aus /3.1/ dargestellt, sondern auf das hier verwendete Koordinatensystem umgerechnet (siehe Kapitel A.1.1 des Anhangs). Für die Umrechnung der Koordinaten wird keine Gewähr übernommen.

Die verwendeten Daten werden als richtig und repräsentativ für die freie Anströmung im Windpark am Standort Nartum vorausgesetzt.



3.3 Extremwind am Standort

Als Eingangswert für den 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren wird der Auslegungswert der Windzone verwendet.

3.4 Umgebungsturbulenzintensität am Standort

Die Ermittlung der Umgebungsturbulenzintensität erfolgt gemäß Kapitel 2.4.2 und den dort genannten Eingangsdaten.

Die Bewertung des Orografieeinflusses erfolgt im vorliegenden Fall auf Basis von Höhendaten nach /1.8/.

3.5 Sektorielle Betriebsbeschränkungen

Die jeweils in den Berechnungsvarianten im Anhang berücksichtigten Betriebsbeschränkungen sind in Kapitel A.2.6 des Anhangs dargestellt.

4 Bestimmung der Standortbedingungen

4.1 Standortbesichtigung

Gemäß DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen von 2012 /2.8/ ist eine Standortbesichtigung durchzuführen. Im Rahmen des Nachweises der Standorteignung dient die Standortbesichtigung der Dokumentation der aktuellen Situation vor Ort und der Bestimmung der Geländekategorie nach /2.9/.

Weiterhin sollen Einzelstrukturen und orografische Hindernisse identifiziert werden, die auf Grund ihrer Entfernung und Höhe so groß sind, dass der direkte Einfluss der Nachlaufströmung dieser Einzelstrukturen und orografischen Hindernisse auf den Rotor einer WEA nicht ausgeschlossen werden kann. Diese Einzelstrukturen können dann nicht als Rauigkeitselement aufgelöst werden und ihr Einfluss ist gesondert zu bewerten. Benachbarte WEA sind nicht als Einzelstrukturen zu betrachten. Die Verifizierung der Windparkkonfiguration (siehe Kapitel 3) ist daher nicht Umfang der Standortbesichtigung.

Der Standort Nartum wurde am 31.03.2021 besichtigt /3.2/.

Der Standort lässt sich in die Geländekategorie II nach /2.9/ einordnen.

Relevante Einzelstrukturen, deren Nachlaufströmungen gesondert zu betrachten wären, wurden nicht identifiziert.



4.2 Ergebnisse Standortbedingungen

Die ermittelten Standortbedingungen sind in den Tabellen A.3.1.1 - A.3.1.3 des Anhangs dargestellt. Überschreitungen der Auslegungswerte der Turbulenzintensität sind in Tabelle A.3.1.1 des Anhangs rot markiert.

Entsprechend der DIBt-Richtlinie /2.8/ werden die Ergebnisse für alle WEA ausgewiesen, deren Abstand bezogen auf den Rotordurchmesser D der geplanten WEA kleiner gleich acht Rotordurchmesser ist. Diese Betrachtungsweise ist abdeckend für alle Referenzwindgeschwindigkeiten v_{ref} (siehe Kapitel 2).

Die WEA, an deren Standorten mehr als 15% der Energie des Windes aus komplexen Sektoren kommt, sind in Tabelle A.3.1.3 des Anhangs als komplex markiert. Für diese WEA kann das vereinfachte Verfahren zum Nachweis der Standorteignung nach DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen von 2012 /2.8/ nicht angewendet werden.

In Tabelle A.2.5.1 ist eine Übersicht aller durchgeführten Berechnungsvarianten dargestellt.

Es sind zusätzlich in den Tabellen A.3.2.1 und A.3.3.1 des Anhangs effektive Turbulenzintensitäten für die Wöhlerlinien-Koeffizienten $m = 4$ und 10 dargestellt.

4.2.1 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren

Die Windzone der Standorte der geplanten WEA und der zugehörige 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren wurden gemäß /2.10/ bzw. /2.11/ ermittelt und können Tabelle A.3.1.3 des Anhangs entnommen werden.

Sofern in Kapitel 3.3 kein standortspezifischer Wert ermittelt wurde, finden diese Werte Anwendung.

Sofern es sich um einen küstennahen Standort der höchsten Windzone handelt wird der 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren sowohl für die Geländekategorie I als auch für die Geländekategorie II angegeben. Der Wert für die Geländekategorie I ist zu verwenden, wenn die Standortbesichtigung eine Einordnung in Geländekategorie I ergeben hat (siehe Kapitel 4.1). In allen anderen Fällen kann der Wert der Geländekategorie II angesetzt werden.



5 Nachweis der Standorteignung

5.1 Allgemeine Hinweise

- Bezüglich der Gültigkeit der getroffenen Aussagen gelten die in Kapitel 2.5 genannten Anmerkungen.

5.2 Nachweis der Standorteignung durch einen Vergleich der Windbedingungen

In Tabelle 5.2.1 ist das Ergebnis des Nachweises der Standorteignung durch einen Vergleich der Windbedingungen sowie die Einzelergebnisse für die einzelnen Windparameter in einer Übersicht dargestellt. Die Bewertung beruht auf einem Vergleich der in den Tabellen A.3.1.1 und A.3.1.3 des Anhangs dargestellten Werte mit den Auslegungswerten in den Tabellen A.2.3.1 und A.2.3.2. Für die Bewertung der Windgeschwindigkeitsverteilung werden die Parameter A und k der Weibullverteilung dabei nicht direkt verglichen, sondern dienen als Eingangswerte für die in Kapitel 2.1 aufgeführten Nachweismethoden.

Das Gesamtergebnis ist nur positiv, wenn alle Einzelergebnisse positiv bewertet sind. Für bestehende WEA wird nur der Einfluss der geplanten WEA auf Auslegungswerte der Turbulenzintensität betrachtet (siehe Kapitel 2.1).

Tabelle 5.2.1: Übersicht über das Ergebnis des Nachweises der Standorteignung durch einen Vergleich der Windbedingungen (+: erfüllt, -: nicht erfüllt, ---: Bewertung nicht erforderlich).

WEA			Einzelergebnisse						Gesamtergebnis
	Lfd. Nr.	Bezeichnung	I_{eff}	α	φ	ρ	A, k	v_{50}	
	1	WEA 1	-	---	---	---	-	+	-
	2	WEA 2	-	---	---	---	-	+	-
	3	WEA 3	-	---	---	---	-	+	-
	4	WEA 4	-	---	---	---	-	+	-
	5	WEA 5	-	---	---	---	+	+	-

5.2.1 Einschränkungen

Die Aussagen zum Nachweis der Standorteignung durch einen Vergleich der Windbedingungen unterliegen keinen Einschränkungen.



5.3 Nachweis der Standorteignung durch einen Vergleich der Lasten

Die in den Tabellen A.3.1.1 - A.3.1.3, A.3.2.1 und A.3.3.1 des Anhangs dargestellten Werte oder diese bezüglich der Lasten abdeckende Werte können als Eingangsparameter für standortspezifische Berechnungen der Betriebs- und Extremlasten durch den Hersteller verwendet werden, um die Standorteignung der zu betrachtenden WEA durch einen Vergleich mit den Auslegungslasten zu überprüfen.

Die Komplexität von WEA-Standorten kann dabei entweder in der effektiven Turbulenzintensität über entsprechende Turbulenzstrukturparameter erfasst werden oder sie ist in den standortspezifischen Berechnungen der Betriebslasten gemäß /2.2, 2.3/ durch eine Erhöhung der lateralen und vertikalen Komponente der Standardabweichung der Windgeschwindigkeit auf den einfachen bzw. den 0.7fachen Wert der longitudinalen Komponente zu berücksichtigen.

Die Richtlinien /2.1 - 2.4, 2.6 - 2.8/ definieren keine Anwendungsgrenzen für die Verwendung effektiver Turbulenzintensitäten als Eingangsdaten für eine Lastrechnung hinsichtlich enger Abstände zwischen den WEA. Grundsätzlich gelten die effektiven Turbulenzintensitäten auch im sogenannten near-wake-Bereich, der sich auf einen Abstand von etwa 2 bis 3 Rotordurchmesser hinter der WEA erstreckt /1.4/. Werden Lastrechnungsmodelle im near-wake-Bereich eingesetzt, wird deren Anwendbarkeit vorausgesetzt. Besondere Anforderungen an die Modellierung, die eventuell in den verschiedenen Lastrechnungsmodellen für den near-wake-Bereich existieren, obliegen der Verantwortung des Erstellers der Lastrechnung und sind nicht Teil der hier durchgeführten Plausibilitätsprüfung der Lastrechnung.

Die Windbedingungen der Lastrechnung müssen die hier genannten Werte abdecken. Für Windbedingungen, die im Rahmen dieses Gutachtens nicht ermittelt wurden, können die entsprechenden Auslegungswerte verwendet werden. Standortspezifische Windbedingungen, die in diesem Gutachten nicht ermittelt wurden, werden im Rahmen der Prüfung der Lastrechnung nur auf Plausibilität überprüft.

Auf Basis eines Lastvergleichs wurden für die WEA 1 – 5 in /3.3, 3.4/ die WEA 1 - 5 als die am stärksten belasteten WEA identifiziert. Mit den Windbedingungen für die WEA 1 - 5 wurden standortspezifische, detaillierte Lastrechnungen durchgeführt (siehe auch Kapitel 2.2). Die vorliegende standortspezifische, detaillierte Lastberechnung /3.3, 3.4/ wird als richtig vorausgesetzt und wurde auf Plausibilität überprüft. Die mit den standortspezifischen Windbedingungen ermittelten relativen schädigungsäquivalenten Einstufenkollektive für repräsentative Momente am Blattanschluss, Nabe, Antriebswelle, Turmfuß und -kopf wurden dahingehend überprüft, ob



die Standorteignung der WEA 1 - 5 gegeben ist.

Die Überprüfung ergab keine Gefährdung der Standorteignung der WEA 1 - 5. Damit ist anhand des in /3.3, 3.4/ durchgeführten Vergleichs die Standorteignung der am Standort Nartum betrachteten WEA 1 - 5 durch einen Vergleich mit den Auslegungslasten nachgewiesen.

Es ergeben sich Überschreitungen der Auslegungslasten an den WEA 1 und 5, die laut Aussage des Herstellers von diesem bzw. von dessen Zulieferern im Detail geprüft worden sind. Die Überprüfungen ergaben laut Aussage des Herstellers, dass die Standsicherheit der WEA 1 und 5 weiterhin bestätigt werden kann.

5.3.1 Erläuterungen und Hinweise

Die vorliegende standortspezifische Lastberechnung /3.3, 3.4/ für die WEA 1 - 5 gilt nur vorbehaltlich einer vorliegenden gültigen Typen- bzw. Einzelprüfung für die WEA 1 - 5. Der Typen- bzw. Einzelprüfung müssen dabei mindestens die in /3.3, 3.4/ unterstellten Auslegungslasten zugrunde liegen, die zu den in Tabelle 5.3.1.1 dargestellten Auslegungswerten gehören.

Tabelle 5.3.1.1: In /3.3, 3.4/ zugrunde gelegte Auslegungswerte.

WEA	Auslegungswerte						
Lfd. Nr.	Richtlinie	Windzone	Turbulenzkategorie	τ_{design} [a]	v_{ave} [m/s]	k	[-]
 1 - 5	DIBt 2012	WZ S	Iref15= 14%	25	7.5	2	

Entsprechend /3.3, 3.4/ gelten die dort getroffenen Aussagen für die in Tabelle 5.3.1.2 näher spezifizierten Turm- und Blattvarianten.

Tabelle 5.3.1.2: In /3.3, 3.4/ betrachtete Turm- und Blattvarianten.

WEA Lfd. Nr.	Anlagentyp	Turmbezeichnung
1 - 5	GE 5.5-158, 700kN	161 m NH Hybrid-Turm (Bögl, G20)

5.3.2 Einschränkungen

Die in /3.3, 3.4/ getroffenen und überprüften Aussagen unterliegen den folgenden Einschränkungen:

- Eine Haftung für die in /3.3, 3.4/ dargestellten Inhalte und Aussagen wird vom Verfasser nicht übernommen.



- Zur Überprüfung der Überschreitung der Auslegungslasten durch den Hersteller bzw. durch die Zulieferer lagen keine Unterlagen vor.

5.3.3 Betriebsbeschränkungen

Im Rahmen des Nachweises der Standorteignung durch einen Vergleich der Lasten wurden folgende Betriebsbeschränkungen definiert:

- Es müssen die in /3.3, 3.4/ in Tabelle 3 (siehe Abbildung 5.3.3.1) aufgeführten Betriebsbeschränkungen umgesetzt werden:

Tabelle 3: Betriebsbeschränkung für Extremlasten und Betriebslasten

Turbinen ID	Turbinen Modell	Komponente	Maßnahme	Lastfall
[Kunde]				
WEA 1	5.5-158 161m NH	Blatt Bolzen	Austausch in Jahr 14	Fatigue
WEA 2	5.5-158 161m NH	Blatt Bolzen	Austausch in Jahr 12.5	Fatigue
WEA 3	5.5-158 161m NH	Blatt Bolzen	Austausch in Jahr 10	Fatigue
WEA 4	5.5-158 161m NH	Blatt Bolzen	Austausch in Jahr 11	Fatigue
WEA 5	5.5-158 161m NH	Blatt Bolzen	Austausch in Jahr 14	Fatigue
WEA 1	5.5-158 161m NH	Hub Casting	Erweiterte Wartung (5. Jahreszyklus)	Fatigue
WEA 2	5.5-158 161m NH	Hub Casting	Erweiterte Wartung (5. Jahreszyklus)	Fatigue
WEA 3	5.5-158 161m NH	Hub Casting	Erweiterte Wartung (5. Jahreszyklus)	Fatigue
WEA 4	5.5-158 161m NH	Hub Casting	Erweiterte Wartung (5. Jahreszyklus)	Fatigue
WEA 5	5.5-158 161m NH	Hub Casting	Erweiterte Wartung (5. Jahreszyklus)	Fatigue

Abbildung 5.3.3.1: In /3.3, 3.4/ definierte Betriebsbeschränkungen für die WEA 1 - 5.

- Im Gegensatz zu den Auslegungslastfällen, die auf eine Entwurfslebensdauer von 25 Jahren bezogen sind, ist die Entwurfslebensdauer der WEA 3 am Standort auf 20 Jahre und der WEA 4 auf 22 Jahre begrenzt.



6 Zusammenfassung

Am Standort Nartum (Niedersachsen) plant der Auftraggeber die Errichtung von fünf Windenergieanlagen (WEA). Am Standort befindet sich keine weitere benachbarte WEA.

Die Planung wurde von uns daraufhin bewertet, ob die Standorteignung der zu betrachtenden WEA gemäß DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen von 2012 /2.8/ gewährleistet ist.

Die Ergebnisse beziehen sich dabei auf eine vorliegende gültige Typenprüfung für die betrachteten WEA. Der Typenprüfung müssen mindestens die in den Tabellen A.2.3.1 und A.2.3.2 aufgeführten Auslegungswerte zugrunde liegen.

Die Ergebnisse dienen gleichzeitig als Turbulenz-Immissionsprognose im Sinne des BImSchG. Das heißt, die Immissionen sind zumutbar, solange die Standorteignung hinsichtlich der Auslegungswerte der Turbulenzintensität oder hinsichtlich der Auslegungslasten gewährleistet bleibt.

Die abschließenden Aussagen zur Standorteignung der geplanten WEA bzw. der weiteren zu betrachtenden WEA sind in Tabelle 6.1 dargestellt.

Tabelle 6.1: Ergebnisübersicht für alle zu betrachtenden WEA.

Getroffene Aussagen zu den WEA	WEA lfd. Nr.	Einschränkungen	
		BBS	Sonstige
Standorteignung der geplanten WEA:			
Die Standorteignung folgender WEA ist durch einen Vergleich mit den Auslegungslasten nachgewiesen.	1 - 5	Kapitel 5.3.3	Kapitel 5.3.2



7 Literaturangaben

Allgemein

- /1.1/ Verein Deutscher Ingenieure; VDI 3783 Blatt 12; Umweltmeteorologie - Physikalische Modellierung von Strömungs- und Ausbreitungsvorgängen in der atmosphärischen Grenzschicht; Dezember 2000; Düsseldorf, Deutschland.
- /1.2/ ECN Solar & Wind Energy; Dekker, J.W.M.; Pierik, J.T.G. (Eds.); European Wind Turbine Standards II; 1998; Petten, Netherlands.
- /1.3/ Risø National Laboratory; European Wind Atlas; 1989; Risø, Denmark.
- /1.4/ Risø National Laboratory; Frandsen, St. T.; Turbulence and turbulence-generated structural loading in windturbine clusters; Wind Energy Department; Januar 2007; Roskilde, Risø-R-1188(EN), Denmark.
- /1.5/ Kunte A.; Landesamt für Landwirtschaft; Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein; Turbulenz-Immissionsprognosen vereinheitlicht; WIND-KRAFT Journal; Verlag Natürliche Energien, Ausgabe 4/2009, Seite 28-30; Seevetal, Deutschland.
- /1.6/ OpenStreetMap und Mitwirkende; siehe Internet: <http://www.openstreetmap.org>, <http://opendatacommons.org>, <http://creativecommons.org>.
- /1.7/ European Environment Agency; CORINE Land Cover (CLC) 2018, Version 20.0; Juni 2019; Copenhagen, Denmark.
- /1.8/ Jarvis A., H.I. Reuter, A. Nelson, E. Guevara; Hole-filled seamless SRTM data V3; International Centre for Tropical Agriculture (CIAT); 2006; Washington, USA.
- /1.9/ Deutscher Wetterdienst; DWD Climate Data Center (CDC), Vieljährige mittlere Raster der Lufttemperatur (2m) für Deutschland 1981-2010, Version v1.0; Offenbach, Deutschland.

Normen

- /2.1/ International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 61400-1, Wind turbines - Part 1: Design requirements; Edition 2, 1999-02; Geneva, Switzerland (Deutsche Fassung: Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN 61400-1 (VDE 0127-1); Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:1999); August 2004; Berlin, Deutschland).
- /2.2/ International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 61400-1, Wind turbines - Part 1: Design requirements; Edition 3, 2005-08; Geneva, Switzerland (Deutsche Fassung: Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN 61400-1 (VDE 0127-1); Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2005); Juli 2006; Berlin, Deutschland).
- /2.3/ International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 61400-1, Amendment 1, Wind turbines - Part 1: Design requirements; Edition 3, 2010-10; Geneva, Switzerland (Deutsche Fassung: Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN 61400-1 (VDE 0127-1):2011-08; Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2005 + A1:2010); August 2011; Berlin, Deutschland).
- /2.4/ International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 61400-1, Wind energy generation systems - Part 1: Design requirements; Edition 4, 2019-12; Geneva, Switzerland (Deutsche Fassung: Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN IEC 61400-1 (VDE 0127-1); Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2019); Dezember 2019; Berlin, Deutschland).



- /2.5/ Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH; Guidelines for the Certification of Wind Turbines; 2010; Hamburg, Deutschland.
- /2.6/ Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt); Richtlinie für Windkraftanlagen - Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung; Fassung Juni 1993; 2. Aufl., 1995; Berlin, Deutschland.
- /2.7/ Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt); Richtlinie für Windkraftanlagen - Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung; Fassung März 2004; Berlin, Deutschland.
- /2.8/ Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt); Richtlinie für Windkraftanlagen - Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung; Fassung Oktober 2012 sowie korrigierte Fassung März 2015; Berlin, Deutschland.
- /2.9/ Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN 1991-1-4 und DIN EN 1991-1-4/NA (Nationaler Anhang); Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten; Dezember 2010; Berlin, Deutschland.
- /2.10/ Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt); Zuordnung der Windzonen nach Verwaltungsgrenzen, 'Windzonen_Formular_nach_Verwaltungsgrenzen.xlsx'; Fassung April 2019.
- /2.11/ DIN Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN 4131; Antennentragwerke aus Stahl; November 1991; Berlin, Deutschland.
- /2.12/ Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN ISO 2533; Normatmosphäre; Dezember 1979; Berlin, Deutschland.

Projektspezifisch

- /3.1/ Ramboll IMS Ingenieurgesellschaft mbH; WindPRO Ergebnisausdruck, PARK - Analyse der Windverhältnisse, Projekt 17-1-2124-000 Nartum; 30.10.2018; Hamburg, Deutschland.
- /3.2/ Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG; Dokumentation der Standortbesichtigung im Rahmen der Bewertung der Standorteignung von WEA am Standort Nartum; Referenz-Nr.: F2E-2021-TGR-016; April 2021; Hamburg, Deutschland.
- /3.3/ GE Renewable Energy; Standortspezifische Lastrechnung; Nartum / Deutschland (pdf-File); Projekt # 1204406, 5 X 5.5-158 / 161m HH / 50Hz / 700kN; Revision 00; MLA_Nartum_1204406_5x5.5-158_161mHH_700kN_Rev00; 2021-06-03.
- /3.4/ GE Renewable Energy; Addendum_MLA_Nartum_1204406_5x5.5-158_161mHH_700kN_Rev00.

A.1 Allgemeine Daten

A.1.1 Einstellungen

Benutzername	Susann Heise, F2E
Kunde	ENERGIEKONTOR AG
Projektname	Nartum
Variante	—
Referenznummer	F2E-2021-TGR-016
Revision	1
Software	Wake2e 3.10.5.3 WEA-Bibliothek Version 7.357.0
Koordinatensystem	UTM WGS84/ETRS89, Nord-Hemisphäre
Abstand der relevanten WEA	8.0D

A.1.2 Filter-Einstellungen

Geplante WEA	Angezeigt
Relevante WEA	Angezeigt
Vorhandene WEA	Eingabedaten angezeigt, Ergebnisse nicht angezeigt
Irrelevante WEA	Eingabedaten angezeigt, Ergebnisse nicht angezeigt
Inaktive WEA	Nicht angezeigt

A.1.3 Standortbesichtigung

Datum der Besichtigung	31.03.2021
Durchgeführt von	Kay-Uwe Rosseburg für F2E
Ermittelte Geländekategorie	II
Orografisch relevante Struktur	Nein



A.2 Eingabedaten

A.2.1 Umgebungsturbulenzintensitäten

Methode Rauigkeitsdaten für jeden WEA-Standort aus den Landnutzungsdaten
Datensatz European Environment Agency; CORINE Land Cover (CLC) 2018, Version 20; June 2019; Copenhagen, Denmark.
Höhendaten Jarvis A., H.I. Reuter, A. Nelson, E. Guevara; Hole-filled seamless SRTM data V3; International Centre for Tropical Agriculture (CIAT); 2006; Washington, USA.

A.2.2 Windparkkonfiguration

Tabelle A.2.2.1: Windparkkonfiguration

WEA							Koordinaten		Datensatz-Nr.	
	Nr.	Bezeichnung	WEA-Typ	P_N [MW]	D [m]	z_{hub} [m]	Ost	Nord	Wind	Turbulenz
	1	WEA 1	GE 5.5-158 HH >=120m 5.5MW (700kN) restricted HH121 preliminary	5.5	158	161	32516952	5893349	1	—
	2	WEA 2	GE 5.5-158 HH >=120m 5.5MW (700kN) restricted HH121 preliminary	5.5	158	161	32517383	5893177	5	—
	3	WEA 3	GE 5.5-158 HH >=120m 5.5MW (700kN) restricted HH121 preliminary	5.5	158	161	32517471	5893570	2	—
	4	WEA 4	GE 5.5-158 HH >=120m 5.5MW (700kN) restricted HH121 preliminary	5.5	158	161	32517853	5893426	3	—
	5	WEA 5	GE 5.5-158 HH >=120m 5.5MW (700kN) restricted HH121 preliminary	5.5	158	161	32518273	5893705	4	—

A.2.3 Auslegungswerte

Tabelle A.2.3.1: WEA-Auslegung

	Nr.	Richtlinie	WZ	I_{amb}	I_{des}	τ_{design}	v_{ave}	k	α_{min}	α_{max}	ψ	ρ	v_{50}	Quellen
	1	DIBt 2012	WZ S GK II	Repräsentativ	31	25	7.5	2	0.2	0.2	8	1.225	40.2	/A.1/
	2	DIBt 2012	WZ S GK II	Repräsentativ	31	25	7.5	2	0.2	0.2	8	1.225	40.2	/A.1/
	3	DIBt 2012	WZ S GK II	Repräsentativ	31	25	7.5	2	0.2	0.2	8	1.225	40.2	/A.1/

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Tabelle A.2.3.1: WEA-Auslegung

	Nr.	Richtlinie	WZ	I _{amb}	I _{des}	τ _{design}	v _{ave}	k	α _{min}	α _{max}	φ	ρ	v ₅₀	Quellen
	4	DIBt 2012	WZ S GK II	Repräsentativ	31	25	7.5	2	0.2	0.2	8	1.225	40.2	/A.1/
	5	DIBt 2012	WZ S GK II	Repräsentativ	31	25	7.5	2	0.2	0.2	8	1.225	40.2	/A.1/

Tabelle A.2.3.2: Auslegungswerte der Turbulenzintensität I-des [%]

WEA		Auslegungswerte für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																											
Id	Turbulenzkategorie	Alle	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
31	GE 5.5-158 DIBt (high thrust) preliminary	—	37.0	32.0	28.0	24.0	21.0	18.6	17.2	16.4	15.7	15.2	14.8	14.4	14.0	13.8	13.5	13.3	13.1	12.9	12.7	12.6	12.4	12.3	12.2	—	—	—	—

A.2.4 Winddaten

Quelle
Dateiname

Externe Datei
nartum_rev1_winddata.csv

Tabelle A.2.4.1: Wind-Datensatz "WEA 1"

	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Mittelwerte über alle Richtungen			Koordinaten des Referenzpunkts	
A [m/s]	6.17	6.77	7.58	8.31	8.4	8.11	9.07	9.81	9.79	9.21	7.97	6.59	A [m/s]	8.66	Aus der Eingabedatei	Höhe über Grund [m]	161
k [-]	2.416	2.506	3.041	3.229	3.064	2.904	3.068	3.225	2.842	2.627	2.58	2.604	k [-]	2.678	Aus der Eingabedatei	Ost	32516952
Häufigkeit (100%=1)	0.039	0.046	0.054	0.074	0.071	0.061	0.078	0.133	0.174	0.128	0.098	0.044	v _{ave} [m/s]	7.70	Aus der Eingabedatei	Nord	5893349

Tabelle A.2.4.2: Wind-Datensatz "WEA 3"

	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Mittelwerte über alle Richtungen			Koordinaten des Referenzpunkts	
A [m/s]	6.15	6.71	7.42	8.12	8.29	8.08	9.05	9.7	9.58	9.02	7.87	6.6	A [m/s]	8.53	Aus der Eingabedatei	Höhe über Grund [m]	161
k [-]	2.416	2.514	3.041	3.232	3.064	2.904	3.068	3.217	2.842	2.627	2.58	2.588	k [-]	2.686	Aus der Eingabedatei	Ost	32517471
Häufigkeit (100%=1)	0.04	0.046	0.053	0.073	0.071	0.062	0.079	0.135	0.171	0.126	0.098	0.045	v _{ave} [m/s]	7.59	Aus der Eingabedatei	Nord	5893570

Tabelle A.2.4.3: Wind-Datensatz "WEA 4"

	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Mittelwerte über alle Richtungen			Koordinaten des Referenzpunkts	
													A [m/s]			Höhe über Grund [m]	
A [m/s]	6.16	6.59	7.39	8.1	8.18	8.02	8.99	9.72	9.67	9.03	7.75	6.6	A [m/s]	8.52	Aus der Eingabedatei	Höhe über Grund [m]	161
k [-]	2.416	2.521	3.045	3.229	3.061	2.904	3.068	3.221	2.846	2.627	2.58	2.596	k [-]	2.670	Aus der Eingabedatei	Ost	32517853
Häufigkeit (100%=1)	0.039	0.046	0.054	0.074	0.071	0.061	0.078	0.134	0.173	0.127	0.098	0.044	v _{ave} [m/s]	7.57	Aus der Eingabedatei	Nord	5893427

Tabelle A.2.4.4: Wind-Datensatz "WEA 5"

	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Mittelwerte über alle Richtungen			Koordinaten des Referenzpunkts	
													A [m/s]			Höhe über Grund [m]	
A [m/s]	6.14	6.55	7.35	8.09	8.19	8.03	8.97	9.66	9.62	9.01	7.76	6.6	A [m/s]	8.49	Aus der Eingabedatei	Höhe über Grund [m]	161
k [-]	2.416	2.518	3.041	3.232	3.061	2.904	3.068	3.225	2.85	2.627	2.58	2.6	k [-]	2.678	Aus der Eingabedatei	Ost	32518273
Häufigkeit (100%=1)	0.039	0.046	0.053	0.074	0.072	0.062	0.079	0.133	0.172	0.127	0.098	0.045	v _{ave} [m/s]	7.55	Aus der Eingabedatei	Nord	5893705

Tabelle A.2.4.5: Wind-Datensatz "WEA 2"

	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Mittelwerte über alle Richtungen			Koordinaten des Referenzpunkts	
													A [m/s]			Höhe über Grund [m]	
A [m/s]	6.14	6.75	7.51	8.19	8.28	8.03	8.99	9.77	9.81	9.11	7.88	6.58	A [m/s]	8.60	Aus der Eingabedatei	Höhe über Grund [m]	161
k [-]	2.416	2.506	3.041	3.229	3.064	2.904	3.064	3.221	2.846	2.627	2.58	2.6	k [-]	2.670	Aus der Eingabedatei	Ost	32517383
Häufigkeit (100%=1)	0.039	0.046	0.054	0.074	0.071	0.061	0.078	0.134	0.174	0.127	0.098	0.044	v _{ave} [m/s]	7.65	Aus der Eingabedatei	Nord	5893178

A.2.5 Berechnungsvarianten

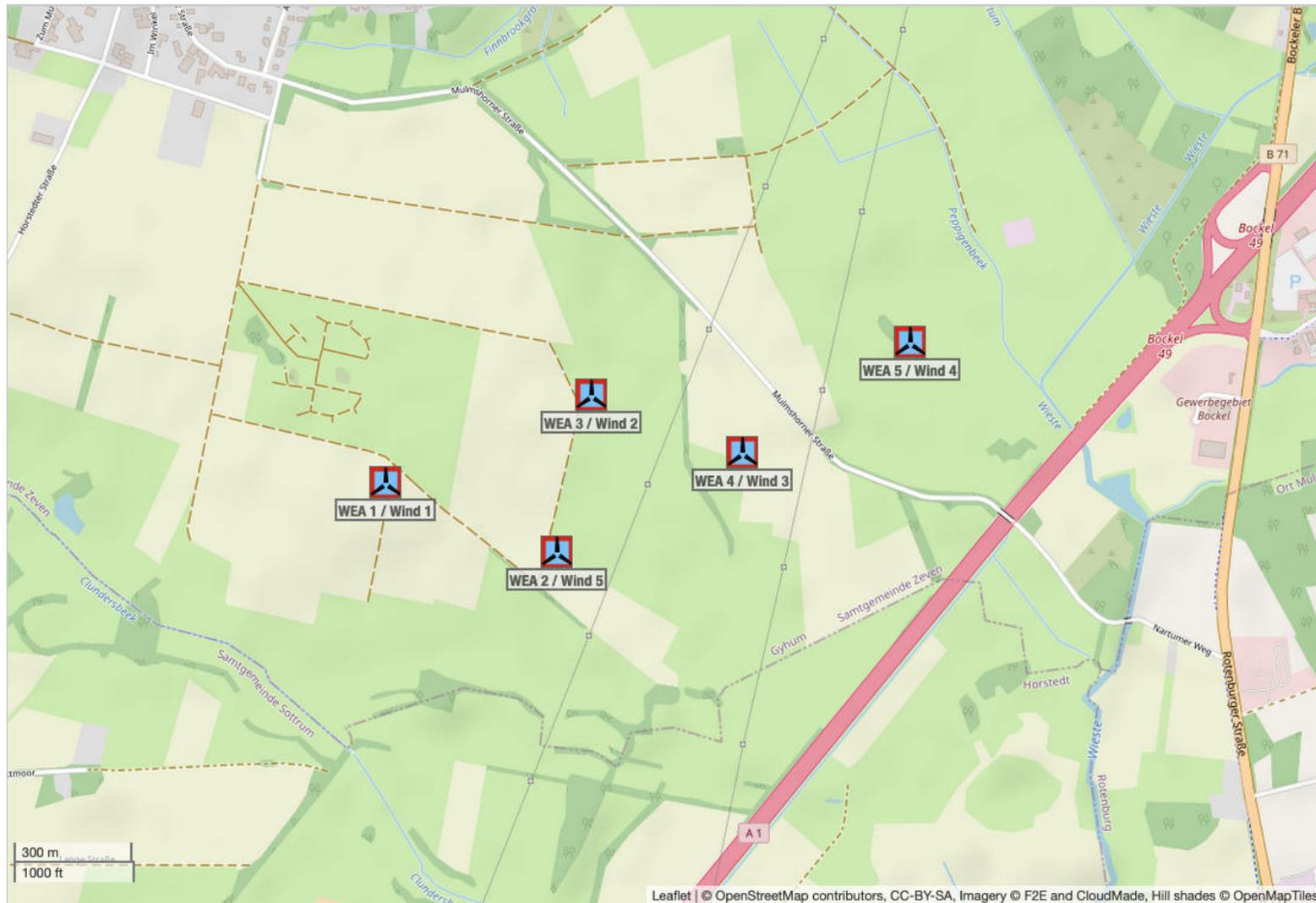
Tabelle A.2.5.1: Berechnungsvarianten

Id	Beschriftung	BBS-Gruppe	Wöhlerlinien-Koeffizient	Einfluss der Orografie ignorieren	Ergebnisse im Abschnitt
2	Situation nach dem Zubau	—	Projekt-Vorgabewert	Nein	A.3.1
3	Woehlerlinienkoeffizient m=4	—	4	Nein	A.3.2
4	Woehlerlinienkoeffizient m=10	—	10	Nein	A.3.3

A.2.6 Betriebsbeschränkungen (BBS)

Es gibt in diesem Bericht keine Betriebsbeschränkungen.

A.2.7 Karte des Windparks



A.2.8 Abstände zwischen aktiven Windenergieanlagen

Tabelle A.2.8.1: Abstände zu den nächsten fünf aktiven WEA in Rotordurchmessern der jeweiligen Nachbar-WEA

	WEA		Nachbar 1		Nachbar 2		Nachbar 3		Nachbar 4		Nachbar 5	
	Nr.	Bezeichnung	Nr.	Entfernung								
	1	WEA 1	2	2.94	3	3.57	4	5.72	5	8.66		
	2	WEA 2	3	2.55	1	2.94	4	3.37	5	6.55		
	3	WEA 3	2	2.55	4	2.58	1	3.57	5	5.15		
	4	WEA 4	3	2.58	5	3.19	2	3.37	1	5.72		
	5	WEA 5	4	3.19	3	5.15	2	6.55	1	8.66		

A.3 Ergebnisse

A.3.1 Situation nach dem Zubau

BBS definiert Nein
 Einfluss der Orografie bewerten Ja
 Ist Vorherfall Nein

Tabelle A.3.1.1: Effektive Turbulenzintensitäten auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]

WEA				Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																																	
	Nr.	Bezeichnung	m	Alle	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29						
	1	WEA 1	14	—	30.7	28.8	27.0	25.2	23.7	21.7	19.0	17.1	15.6	14.2	13.1	12.3	11.8	11.4	11.2	11.0	10.8	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	—	—	—	—		
	2	WEA 2	14	—	34.4	32.6	30.4	27.9	25.9	23.2	20.0	17.7	15.9	14.4	13.1	12.3	11.7	11.4	11.1	10.9	10.7	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5
	3	WEA 3	14	—	33.5	32.4	30.8	28.8	27.2	24.9	21.7	19.5	17.8	16.2	14.8	13.7	12.9	12.3	11.9	11.5	11.2	10.9	10.8	10.7	10.6	10.6	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5
	4	WEA 4	14	—	34.4	32.8	30.8	28.6	26.8	24.3	21.2	18.9	17.2	15.7	14.4	13.5	12.8	12.3	11.9	11.5	11.2	10.9	10.8	10.7	10.6	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5
	5	WEA 5	14	—	30.1	27.7	25.9	24.2	22.8	21.0	18.7	17.0	15.9	14.8	13.8	13.1	12.6	12.2	11.9	11.6	11.3	11.1	10.9	10.8	10.8	10.7	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6

Tabelle A.3.1.2: Extremwerte der Turbulenzintensität auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]

WEA				Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																																	
	Nr.	Bezeichnung	m	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29							
	1	WEA 1	14	35.4	33.6	31.5	29.3	27.5	25.1	22.0	19.8	18.2	16.7	15.4	14.3	13.6	12.9	12.5	12.0	11.7	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4
	2	WEA 2	14	38.5	37.2	35.2	32.8	30.9	28.2	24.5	21.9	20.0	18.2	16.7	15.4	14.5	13.8	13.2	12.7	12.3	11.9	11.7	11.5	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4
	3	WEA 3	14	37.8	36.4	34.4	32.1	30.2	27.6	24.0	21.5	19.6	17.8	16.3	15.1	14.2	13.5	13.0	12.5	12.1	11.7	11.5	11.5	11.4	11.4	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3
	4	WEA 4	14	37.8	36.5	34.5	32.1	30.2	27.6	24.0	21.5	19.6	17.9	16.3	15.1	14.3	13.6	13.0	12.5	12.1	11.7	11.5	11.3	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2
	5	WEA 5	14	33.7	31.6	29.5	27.4	25.7	23.5	20.7	18.7	17.2	15.8	14.6	13.7	13.0	12.5	12.0	11.7	11.5	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4

Tabelle A.3.1.3: Eigenschaften und Windbedingungen der jeweiligen WEA

WEA-Eigenschaften					Nächste WEA		Ergebnisse														
	Nr.	WEA-Typ	z _{hub} [m]	D [m]	BBS	Abstand in D	Nr.	Geschützt durch BBS	m [-]	Komplex	α _n [-]	φ [°]	ρ [kg/m ³]	WZ	v ₅₀ GK2 [m/s]	v ₅₀ GK1 [m/s]	A [m/s]	A _ρ [m/s]	k [-]	v _{ave} [m/s]	v _{ave} ρ [m/s]
	1	GE 5.5-158 HH >=120m 5.5MW (700kN) restricted HH121 preliminary	161	158	Nein	2.937	2	Nein	14	Nein	0.12	0.7	1.234	2 / II	39		8.66	8.69	2.678	7.7	7.73
	2	GE 5.5-158 HH >=120m 5.5MW (700kN) restricted HH121 preliminary	161	158	Nein	2.548	3	Nein	14	Nein	0.12	0.6	1.235	2 / II	39		8.6	8.64	2.67	7.65	7.68
	3	GE 5.5-158 HH >=120m 5.5MW (700kN) restricted HH121 preliminary	161	158	Nein	2.548	2	Nein	14	Nein	0.12	0.7	1.235	2 / II	39		8.53	8.57	2.686	7.59	7.62
	4	GE 5.5-158 HH >=120m 5.5MW (700kN) restricted HH121 preliminary	161	158	Nein	2.583	3	Nein	14	Nein	0.12	0.4	1.235	2 / II	39		8.52	8.55	2.67	7.57	7.6
	5	GE 5.5-158 HH >=120m 5.5MW (700kN) restricted HH121 preliminary	161	158	Nein	3.191	4	Nein	14	Nein	0.12	0.2	1.235	2 / II	39		8.49	8.53	2.678	7.55	7.58

A.3.2 Berechnungsvariante "Woehlerlinienkoeffizient m=4"

BBS definiert Nein
 Einfluss der Orografie bewerten Ja
 Ist Vorherfall Nein

Tabelle A.3.2.1: Effektive Turbulenzintensitäten auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]

WEA				Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																												
	Nr.	Bezeichnung	m	Alle	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	
	1	WEA 1	4	—	29.0	25.3	23.0	21.2	19.8	18.2	16.4	15.1	14.1	13.2	12.5	12.0	11.7	11.4	11.2	11.0	10.8	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
	2	WEA 2	4	—	32.2	28.8	26.1	23.5	21.5	19.3	16.9	15.3	14.2	13.2	12.5	12.0	11.6	11.3	11.0	10.8	10.7	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5
	3	WEA 3	4	—	31.1	28.4	26.6	24.9	23.6	21.9	19.5	17.8	16.5	15.2	14.1	13.3	12.7	12.2	11.8	11.5	11.2	10.9	10.8	10.8	10.7	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6
	4	WEA 4	4	—	32.2	29.3	27.0	24.9	23.2	21.2	18.7	17.0	15.8	14.7	13.8	13.1	12.6	12.2	11.9	11.6	11.3	11.1	11.0	10.9	10.8	10.7	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Tabelle A.3.2.1: Effektive Turbulenzintensitäten auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]

WEA				Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																											
	Nr.	Bezeichnung	m	Alle	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	5	WEA 5	4	—	29.5	25.5	23.1	21.2	20.0	18.7	17.2	16.1	15.3	14.6	14.0	13.5	13.1	12.8	12.6	12.4	12.2	12.0	11.9	11.8	11.7	11.6	11.6	—	—	—	—

A.3.3 Berechnungsvariante “Woehlerlinienkoeffizient m=10”

BBS definiert Nein
 Einfluss der Orografie bewerten Ja
 Ist Vorherfall Nein

Tabelle A.3.3.1: Effektive Turbulenzintensitäten auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]

WEA				Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																																	
	Nr.	Bezeichnung	m	Alle	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29						
	1	WEA 1	10	—	30.0	27.6	25.8	24.0	22.6	20.6	18.1	16.3	15.0	13.8	12.8	12.2	11.7	11.4	11.2	11.0	10.8	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	—	—	—	—		
	2	WEA 2	10	—	33.5	31.5	29.2	26.7	24.7	22.1	19.0	16.8	15.2	13.9	12.8	12.1	11.7	11.3	11.1	10.8	10.7	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5
	3	WEA 3	10	—	32.6	31.2	29.7	27.8	26.3	24.1	21.1	19.0	17.4	15.8	14.5	13.5	12.8	12.2	11.8	11.5	11.2	10.9	10.8	10.7	10.6	10.6	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5
	4	WEA 4	10	—	33.6	31.8	29.8	27.6	25.8	23.5	20.5	18.3	16.7	15.3	14.2	13.3	12.7	12.2	11.8	11.5	11.2	10.9	10.8	10.7	10.6	10.6	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5
	5	WEA 5	10	—	29.6	26.8	24.9	23.2	21.9	20.2	18.1	16.6	15.6	14.6	13.8	13.1	12.6	12.3	11.9	11.7	11.4	11.2	11.1	11.0	10.9	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8

A.4 Legende

Erläuterung der Begriffe		
	Geplante WEA	WEA, deren Standorteignung im Rahmen des Gutachtens zu bewerten ist.
	Benachbarte WEA	Alle weiteren WEA, die vom Auftraggeber übermittelt wurden. Es ist dabei unerheblich, ob sich einzelne benachbarte WEA ebenfalls in Planung oder Bau befinden. Entscheidend ist die Windparkkonfiguration, die als Vorbelastung für die geplanten WEA zu unterstellen ist. Alle benachbarten WEA gehen in die Berechnungen ein.
	Inaktive WEA	WEA, die nicht als Vorbelastung zu berücksichtigen sind und daher nicht in die Berechnungen eingehen. Diese WEA werden in der Regel nicht im Gutachten aufgeführt.
	Betrachtete WEA	Für alle betrachteten WEA werden Ergebnisse ausgewiesen und abschließende Aussagen getroffen.
	Windpark	Der Begriff wird im Sinne des Anhangs A der DIBt-Richtlinie von 2004 verwendet und umfasst "geplante" und "benachbarte" WEA.
	Referenzpunkt der Winddaten	Jeweiliger Standort, auf dessen Koordinaten sich die verwendeten Winddaten beziehen.

Farbliche Zuordnung der Symbole	
	Geplante WEA
	Benachbarte WEA, die aufgrund ihres Abstandes zu den geplanten WEA zu betrachten sind.
	Benachbarte WEA, die aufgrund ihres Abstandes zu den geplanten WEA nicht zu betrachten sind, die aber Einfluss auf die zu betrachtenden WEA () ausüben. Diese WEA sind eventuell nur zum Teil in der Kartendarstellung abgebildet.
	Benachbarte WEA, die aufgrund ihres Abstandes zu den geplanten WEA nicht zu betrachten sind und die keinen Einfluss auf die zu betrachtenden WEA () ausüben. Diese WEA sind eventuell nur zum Teil in der Kartendarstellung abgebildet.
	Inaktive WEA.
	Referenzpunkte der Winddaten.
	Referenzpunkt der Winddaten auf den Koordinaten einer (in diesem Fall geplanten) WEA.

A.5 Literaturangaben

/A.1/ GE Wind Energy GmbH; Daten zur GE 4.X und 5.X-158; per E-Mail; 23.01.2020.



F2E

A.6 Abkürzungen und Formelzeichen

WEA	Windenergieanlage	D	Rotordurchmesser	[m]
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik	z_{hub}	Nabenhöhe der WEA	[m]
IEC	Internationale Elektrotechnische Kommission	P_N	Nennleistung der WEA	[MW]
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz	c_T	Schubbeiwert des Rotors	[-]
NTM	Normales Windturbulenzmodell	I_{eff}	Effektive Turbulenzintensität	[-]
DLC	Auslegungslastfall	A	Skalierungsparameter der Weibull-Verteilung	[m/s]
PD	Potsdam-Datum	k	Formparameter der Weibull-Verteilung	[-]
ETRS89	Europäisches Terrestrisches Referenzsystem 1989	h	Höhe über Grund	[m]
UTM	Universale Transversale Mercator Projektion	m	Wöhlerlinienkoeffizient	[-]
WGS84	World Geodetic System 1984	v	Windgeschwindigkeit	[m/s]
WZ	Windzone	v_{ave}	Jahresmittel der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe	[m/s]
BBS	Betriebsbeschränkung	v_{ref}	Referenz-Windgeschwindigkeit (Auslegungswert für v_{50})	[m/s]
LR	Lastrechnung	v_{50}	10-min-Mittel der extremen Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren	[m/s]
GK	Geländekategorie	v_r	Nennwindgeschwindigkeit der WEA	[m/s]
üNN	über Normal-Null	v_{in}	Einschaltwingsgeschwindigkeit der WEA	[m/s]
		v_{out}	Abschaltwingsgeschwindigkeit der WEA	[m/s]
		Σ	Summe	[-]
		α	Höhenexponent des vertikalen Windgeschwindigkeitsprofils	[-]
		α_n	Höhenexponent des vertikalen Windgeschwindigkeitsprofils für neutrale Schichtung	[-]
		φ	Neigung der Anströmung	[°]
		β	Blattwinkelverstellung	[°]
		γ_{start}	Startwinkel der BBS	[°]
		γ_{stop}	Endwinkel der BBS	[°]
		v_{start}	Startwindgeschwindigkeit der BBS	[m/s]
		v_{stop}	Endwindgeschwindigkeit der BBS	[m/s]
		ρ	Mittlere Luftdichte	[kg/m ³]
		τ_{design}	Entwurfslebensdauer in Jahren	[a]
			Altgrad (Vollkreis = 360°)	[°]