



**Ingenieurgeologie**  
**Dr. Lübbe**

Füchteler Straße 29  
49377 Vechta  
Telefon 0 44 41 – 979 75-0  
Telefax 0 44 41 – 979 75-29

[www.ig-luebbe.de](http://www.ig-luebbe.de)  
[office@ig-luebbe.de](mailto:office@ig-luebbe.de)

# GEOTECHNISCHER BERICHT

**PROJEKT:**  
840-20-1

Windpark Gyhum  
5 x WEA GE 5.5-158, 161 mNH

**Auftraggeber:**  
Windwärts Energie GmbH  
Pfarrweg 6  
31226 Peine

20. Oktober 2020

Baugrunderkundungen  
Gründungsgutachten  
Baugrundlabor  
Altlastenuntersuchungen  
Gefährdungsabschätzungen  
Sanierungskonzepte  
Hydrogeologie

In Kooperation mit der  
TERRA Umwelt Consulting GmbH



**Projektdaten:**

**Projekt:** 840-20-1  
WP Gyhum  
5 x GE 5.5-158, 161 mNH

**Auftraggeber:** Windwärts Energie GmbH  
Dipl.-Umweltwiss. Joane Brandes  
Pfarrweg 6  
31226 Peine

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

**Projektbearbeiterin:** Dipl.-Geol. Petra Müller

**Exemplare:** 1 Stück

Dieser Geotechnische Bericht umfasst 19 Seiten, 10 Tabellen und 8 Anlagen.

Vechta, 20 Oktober 2020

G.WP Gyhum, 5 x GE 158, 161 mNH

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

<b>I. VERANLASSUNG UND BEAUFTRAGUNG.....</b>	<b>5</b>
1. Unterlagen.....	5
2. Angaben zum Bauwerk.....	5
<b>II. DURCHGEFÜHRTE UNTERSUCHUNGEN.....</b>	<b>6</b>
<b>III. BODEN- UND GRUNDWASSERVERHÄLTNISSE.....</b>	<b>7</b>
1. Boden.....	7
2. Grundwasser.....	10
3. Bodenmechanische Laboranalysen.....	10
4. Erdbebenzone.....	12
5. Bodenklassifizierung nach DIN 18300/DIN 18196.....	12
6. Bodenkennwerte.....	13
<b>IV. GRÜNDUNGEN.....</b>	<b>13</b>
1. Geotechnische Kategorie.....	13
2. Auswertung und Bewertung.....	14
3. Zusammenfassung der Gründungsempfehlungen.....	15
<b>V. KRANSTELLFLÄCHEN UND ZUWEGUNGEN.....</b>	<b>16</b>
<b>VI. HINWEISE ZUR BAUAUSFÜHRUNG.....</b>	<b>17</b>
1. Baugrube, Böschungen.....	17
3. Wasserhaltung.....	17
3. Seitliche Fundamentanfüllungen, Fundamentüberdeckung, Wieder- verwendung Bodenaushub, Verdichtung.....	18
4. Frischbetoneigengewicht.....	19
<b>VII. SCHLUSSWORT.....</b>	<b>19</b>



## TABELLENVERZEICHNIS

<b>Tabelle 1:</b>	Charakteristische Lastfälle für Fundamente.....	6
<b>Tabelle 2:</b>	Anlagentyp, Koordinaten und ungefähre Geländehöhen.	6
<b>Tabelle 3:</b>	Korrelation Lagerungsdichte, Spitzenwiderstand und Reibungswinkel.....	8
<b>Tabelle 4:</b>	Bodenprofil am Standort.....	8
<b>Tabelle 5:</b>	Ergebnisse der Wassergehaltsbestimmungen, Körnungsanalysen und kf-Werte.....	11
<b>Tabelle 6:</b>	Durchlässigkeitsbereiche nach DIN 18130.....	11
<b>Tabelle 7:</b>	Bodenklassifizierung nach DIN 18300 und DIN 18196.....	12
<b>Tabelle 8:</b>	Bodenkennwerte in Anlehnung an TÜRKE (1998), EAU (2012), Grundbau Taschenbuch (5. Auflage), Ergebnissen der Drucksondierungen und eigenen Erfahrungswerten.....	13
<b>Tabelle 9:</b>	Setzungen, Setzungsdifferenzen und Grundbruchsicherheit.....	14
<b>Tabelle 10:</b>	Zusammenfassung der Gründungsempfehlungen.....	16

## ANLAGENVERZEICHNIS:

<b>ANLAGE 1.1-1.6:</b>	Lagepläne
<b>ANLAGE 2.1-2.12:</b>	Bohrprofile nach DIN 4023, Drucksondierdiagramme nach DIN 4094 und Rammdiagramme (DPH gem. DIN EN ISO 22476-2)
<b>ANLAGE 3:</b>	Drucksondierprotokolle
<b>ANLAGE 4:</b>	Bestimmung des Wassergehaltes, DIN 18121
<b>ANLAGE 5:</b>	Körnungslinien, DIN 18123
<b>ANLAGE 6.1-6.6:</b>	Setzungsberechnungen, Grundbruch
<b>ANLAGE 7.1-7.5:</b>	Nachweis Drehfedersteifigkeit
<b>ANLAGE 8:</b>	Hydraulische Berechnung



## I. VERANLASSUNG UND BEAUFTRAGUNG

Im Landkreis Rothenburg Wümme, Niedersachsen, soll in der Samtgemeinde Zeven westlich der Ortschaft Gyhum und östlich der Autobahn A1 ein Windpark mit fünf Windenergieanlagen (WEA 1 bis WEA 5) vom Typ GE 5.5-158 mit einer Nabenhöhe von je 161 m errichtet werden.

Unser Büro wurde mit Schreiben vom 10.08.2020 von der Windwärts Energie GmbH, Hannover, auf der Grundlage unserer Angebote vom 19.06.2020 bzw. 10.09.2020 beauftragt, die Baugrundverhältnisse an den Anlagenstandorten, den Kranstellflächen und der Zuwegung zu untersuchen und im Hinblick auf die Gründung in einem Geotechnischen Bericht zu bewerten. Außerdem sollten die Sondieransatzstellen mittels Magnetometersonde im Hinblick auf mögliche Kampfmittel im Untergrund freigemessen werden.

### 1. Unterlagen

Zur Durchführung der Untersuchungen erhielten wir folgende Unterlagen:

- Übersichtslageplan, 12.06.2020, Maßstab 1 : 7000,
- Lageplan WEA, 18.06.2020, Maßstab 1 : 2.500,
- Schalplan Fundament  $\varnothing$  25.00 m Projekt-Nr. 21683, 29.01.2018, Maßstab 1 : 50,
- Technische Dokumentation Windenergieanlagen GE-All Turbine Types, Allgemeine Beschreibung, Geotechnische Anforderungen - Mindestanforderungen an das Baugrundgutachten, General Electric Company, 2014,
- Technische Dokumentation Windenergieanlagen Alle WEA-Typen-50 Hz, Anforderungsspezifikationen Herstellungs- & Rohbaukosten, Rev. 01-Doc-0081261-DE, 2020-04-23,
- Spezifikation für Zuwegungen und Kranstellflächen, Generell Electric Company, 2018.

### 2. Angaben zum Bauwerk

Die Gründung der Windenergieanlagen erfolgt über Kreisfundamente mit einem Fundamentdurchmesser von 25,00 m bei Flachgründung. Die Fundamentunterkante liegt bei 1,29 m unter Gelände.

Nach den vorliegenden statischen Unterlagen ergibt sich rechnerisch im Lastfall BS-P eine maximale charakteristische Kantenpressung von  $\delta_{R,k} = 238,63 \text{ kN/m}^2$  und im Lastfall BS-A von  $\delta_{R,k} = 275,35 \text{ kN/m}^2$ .

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



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:** Charakteristische Lastfälle für Fundamente.

Für die Erdüberschüttung wird zusätzlich eine Vertikallast von 8588 kN (mit Auftrieb) bzw. 3578 kN (ohne Auftrieb) berücksichtigt.

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

Die maximale Schiefstellung des Turms infolge Baugrundsetzungen (Setzungsdifferenzen) darf  $\Delta s = 3$  mm/m nicht überschreiten. Bei einem Fundamentdurchmesser von 25,00 m entspricht dies 7,5 cm.

Für eine Pfahlgründung liegen keine Fundamentdaten vor.

Die UTM-Koordinaten (UTM32 ETRS89) und die Geländehöhen der Anlagenmittelpunkte wurden den Planunterlagen wie folgt entnommen (Tabelle 2):

Standort	Anlagentyp	Rechtswert	Hochwert	Geländehöhe (mNN)
WEA 1	GE 5.5-158, 161 mNH	32.520.662	5.895.078	30,30
WEA 2	GE 5.5-158, 161 mNH	32.520.439	5.894.739	26,90
WEA 3	GE 5.5-158, 161 mNH	32.520.377	5.894.260	28,90
WEA 4	GE 5.5-158, 161 mNH	32.520.769	5.894.401	28,50
WEA 5	GE 5.5-158, 161 mNH	32.521.214	5.894.237	30,30

**Tabelle 2:** Anlagentyp, Koordinaten und ungefähre Geländehöhen.

## II. DURCHGEFÜHRTE UNTERSUCHUNGEN

Zur Erkundung der Baugrundverhältnisse wurde vom 30.09. bis 01.10.2020 an jedem Anlagenmittelpunkt eine Kleinbohrung/Rammkernsondierung (RKS 1 bis RKS 5) bis 10,00 m unter Geländeoberkante abgeteuft.

Durch die Fugro Consult GmbH, Lilienthal, wurden jeweils am Mittelpunkt eine Drucksondierung mit Magnetometermessung bis 10,00 m und in einem Abstand von ca. 13,0 m vom Mittelpunkt entfernt und in etwa gleichmäßig um den Um-



fang verteilt im Norden, Osten, Süden und Westen jeweils vier elektrische Drucksondierungen mit Magnetometermessung bis 20,0 m bzw. 35,0 m unter Gelände durchgeführt (*CPT 1-N bis CPT 5-W*).

Bei weniger als 30,0 m Aufschlusstiefe der Drucksondierungen konnte über die erreichten Aufschlusstiefen hinaus aufgrund der in den Endteufen anstehenden sehr dicht gelagerten Sande kein weiterer Sondierfortschritt erreicht und die Sondierungen mussten abgebrochen werden.

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

Entlang der neuen Zuwegung wurden neun Rammkernsondierungen (*RKS Z1 bis RKS Z9*) sowie vier schwere Rammsondierungen (*DPH 1 bis DPH 4, gem. DIN EN ISO 22476-2*) bis 3,0 m unter Geländeoberkante ausgeführt.

Die Lage der Sondieransatzpunkte ist in Anlage 1.1-1.6 dargestellt. Die erbohrten Bodenprofile wurden entsprechend DIN 4022 ingenieurgeologisch vor Ort angesprochen und in Schichtenverzeichnissen aufgenommen. Die Ergebnisse sind in Anlage 2.1-2.12 als Bohrprofile nach DIN 4023 zusammen mit den Drucksondierdiagrammen und den Rammdiagrammen dargestellt. Die Drucksondierprotokolle liegen in Anlage 3 vor.

An insgesamt 13 repräsentativ ausgewählten Bodenproben wurden die Wassergehalte nach DIN 18121 (*Anlage 4*) bestimmt. An fünf Bodenproben erfolgten Körnungsanalysen (*DIN 18123*) nach nassem Abtrennen der Feinanteile oder durch kombinierte Sieb- und Schlämmanalysen (*Anlage 5*).

Die Setzungsermittlungen sind als Anlage 6.1-6.6, die Berechnungen der Drehfedersteifigkeiten für eine Flachgründung in den Anlagen 7.1-7.5 und eine hydraulische Berechnung in Anlage 8 beigelegt.

### III. BODEN- UND GRUNDWASSERVERHÄLTNISSE

#### 1. Boden

Das Gelände ist leicht hügelig und steigt leicht in östliche Richtung an. Nach der topographischen Karte TK10 beträgt der Höhenunterschied zwischen den Standorten WEA 2 (ca. 27 mNN) und der WEA 5 (ca. 30 mNN) etwa 3,0 m.

Nach den geologischen Kartenunterlagen des LBEG, Geologische Karte 1 : 50 000, stehen im Untersuchungsgebiet weichselzeitlicher Geschiebedecksand über drentheezeitlichen Geschiebelehm oder über glazifluviatilen Schmelzwassersanden an. Im nördlichen Bereich des Windparks sind Torfüberlagerungen möglich.

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 (qc) (aus CPT) MN/m <sup>2</sup>	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.

In bindigen Böden (*hier: Geschiebelehm*) sind die Spitzendrücke wegen ihrer Plastizität gewöhnlich klein. Nach Grundbau Taschenbuch, Fünfte Auflage, Teil 1, kennzeichnet ein Wert von  $q_c = 5 \text{ MN/m}^2$  bereits eine feste Beschaffenheit. Bereits bei Werten von  $q_c = 1,5 \text{ MN/m}^2$  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):

Tiefe (bis m u. GOK min./max.)	Mächtigkeit (m)	Bodenschicht (Spitzendruck $q_c$ in $\text{MN/m}^2$ )	nicht bindig/ bindig	Baugrunde- eigen- schaften
0,30/0,45	0,30-0,45	<b>Oberboden</b> , Feinsand, schluffig, humos, pflanzliche Reste (-)	-	nicht geeignet
1,30/4,00	0,85-3,70	<b>Decksand: Fein- bis Mittelsand</b> , schwach grobsandig bis grobsandig, <b>mitteldicht</b> ( $q_c = 5-20$ )	nicht bindig	gut
4,00/8,00	1,30-6,70	<b>Geschiebelehm: Sand</b> , schluffig, schwach tonig; <b>weich bis steif</b> ( $q_c = 0,5-2$ ) mitteldicht bis dicht gelagerte Sandzwischenlagen möglich	bindig	mäßig geeignet
tieferer Untergrund > 35,0 m	> 28,00	<b>Geschiebemergel: Sand</b> , schluffig, schwach tonig: <b>steifplastisch, <math>q_c \geq 2</math></b> <b>mit zunehmender Tiefe steif- halbfest, <math>q_c \geq 5</math>;</b> <b>In tieferen Bereichen halbfest oder sehr dicht, <math>q_c &gt; 10</math></b> mitteldicht bis dicht gelagerte Sandzwischenlagen möglich	bindig	steifplastisch = geeignet bis gut halbfest = gut halbfest/ dicht = sehr gut

Tabelle 4: Bodenprofil an den Anlagenstandorten und Kranstellflächen.





Nach den vorliegenden Baugrunderkundungen wurden typische eiszeitliche Sedimente aus Decksand, 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 Geschiebemergel. Der Baugrund ist für eine Gründungsempfehlung mit den vorliegenden Aufschlüssen ausreichend erkundet.

### Zuwegung

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

#### ***Künstliche Anfüllungen:***

- **Petrographie:** Recyclingschotter oder Schlacke.
- **Farbe:** dunkelgrau, rot-grau.
- **bis Meter unter Gelände (min./max.):** 0,10/0,20.
- **Mächtigkeit:** 0,10 m bis 0,20 m.
- **Lagerungsdichte:** -.
- **Baugrundeigenschaften:** geeignet.

Künstliche Anfüllungen aus gering mächtigen Lagen aus RC-Schotter oder Schlacke wurden im Bereich vorhandener Wegebefestigungen angetroffen. Der vorhandene Oberboden wurde überbaut.

#### ***Oberboden, Mutterboden (RKS Z1 bis RKS Z5, RKS Z7 bis RKS Z9) oder humoser Mischboden (RKS Z6):***

- **Petrographie:** Sand, schluffig, stark, humos.
- **Farbe:** schwarz.
- **bis Meter unter Gelände (min./max.):** 0,25/0,50.
- **Mächtigkeit:** 0,25 m bis 0,45 m.
- **Lagerungsdichte:** locker.
- **Baugrundeigenschaften:** nicht geeignet.

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

#### ***Sand:***

- **Petrographie:** Fein- bis Mittelland, z. T. schwach grobsandig oder schwach kiesig, z. T. schwach schluffig. Auch Mittel- bis Grobsand
- **Farbe:** beige, hellgrau.
- **bis Meter unter Gelände (min./max.):** 2,00/> maximale Aufschlusstiefe von 3,0 m.
- **Mächtigkeit:** 2,00 m bis > 3,00 m.
- **Lagerungsdichte:** mitteldicht bis gut mitteldicht.
- **Baugrundeigenschaften:** gut.



### **Geschiebelehm:**

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

## **2. Grundwasser**

Bei den Bohrarbeiten im September/Oktober 2019 wurde Grundwasser als Stauwasser in den oberen Decksanden ab 1,58 m bzw. 2,68 m unter Geländeoberkante oder als Schichtenwasser in wassergesättigten Sandschichten innerhalb des Geschiebelehms angetroffen. Das Schichtenwasser innerhalb der Sandzwischenlagen ist z. T. gespannt.

Aus den hydrogeologischen Kartenunterlagen des LBEG können mittlere Grundwasserstände zwischen 25 mNN und 28 mNN abgeleitet werden. Dies entspricht 1,50 m bzw. 2,00 m unter GOK. Die gemessenen Wasserstände stimmen mit den Angaben der Kartenunterlagen gut überein.

Die Grundwasserstände können je nach Jahreszeit und vorausgegangenen Niederschlagsmengen stark schwanken. Vom Untersuchungs Gelände liegen uns keine langfristigen Grundwasserstandsbeobachtungen vor. Daher kann der Grundwasserschwankungsbetrag nur abgeschätzt angegeben werden. Nach ergebnissen Niederschlagsperioden ist mit einem Grundwasseranstieg von ca. 0,50 m über die gemessenen Wasserstände hinaus zu rechnen. Außerdem kann sich versickerndes Niederschlagswasser im Gründungsbereich aufstauen.

**Die Gründungstiefen der geplanten WKA betragen 1,29 m unter Gelände. Die Fundamente können zumindest zeitweilig unter Grundwasser- oder Stauwassereinfluss stehen. Der Bemessungswasserstand sollte daher bei 1,00 m unter GOK angenommen werden.**

## **3. Bodenmechanische Laboranalysen**

Zur Überprüfung der Bodenansprache am Bohrkern und zur Klassifizierung der anstehenden Bodenarten, wurden an insgesamt 13 repräsentativ ausgewählten Bodenproben in oder unterhalb der Gründungsebene die Wassergehalte nach DIN 18121 und an fünf Bodenproben die Körnungslinien nach DIN 18123 (*Sieb-analyse nach nassem Abtrennen der Feinanteile oder 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/ Probe- nummer	Entnahme- tiefe (m u. GOK)	Wasser- gehalt (M.-%)	Anteil <0,063 mm (M.-%)	Bodenart	k <sub>f</sub> -Wert (m/s)
WEA 1, 1-3	1,30-2,30	11,4	27,7	Geschiebelehm, steifplastisch: Sand, schluffig, schwach tonig, schwach kiesig	(3,5 x 10 <sup>-8</sup> )
WEA 1, 1-4	2,30-3,30	11,8	n. e.	Geschiebelehm, steifplastisch	n. e.
WEA 1, 1-5	3,30-4,50	15,8	n. e.	Geschiebelehm, weich	n. e.
WEA 1, 1-6	4,50-5,70	17,4	n. e.	Geschiebelehm, weich	n. e.
WEA 2, 2-3	1,30-2,20	22,9	n. e.	Geschiebelehm, weich bis steif	n. e.
WEA 2, 2-4	2,20-3,40	17,1	n. e.	Geschiebelehm, weich bis steif	n. e.
WEA 2, 2-5	3,40-4,50	13,6	n. e.	Geschiebemergel, steifplastisch	n. e.
WEA 3, 3-2	0,80-1,80	5,5	2,7	Mittelsand, feinsandig, grobsandig	1,3 x 10 <sup>-4</sup>
WEA 4, 4-4	2,70-3,30	20,1	1,5	Fein- bis Mittelsand, schwach grobsandig	1,3 x 10 <sup>-4</sup>
WEA 5, 5-4	2,40-3,60	13,6	2,3	Mittelsand, feinsandig, grobsandig, schwach feinkiesig	2,3 x 10 <sup>-4</sup>
WEA 5, 5-6	4,90-6,30	20,2	19,8	Geschiebelehm: Sand, schluffig, schwach tonig	3,5 x 10 <sup>-8</sup>
WEA 5, 5-7	6,30-7,50	12,9	n. e.	Geschiebemergel, steifplastisch	n. e.
WEA 5, 5-8	7,50-8,70	12,8	n. e.	Geschiebemergel, steifplastisch	n. e.

n. e. = nicht ermittelt.

**Tabelle 5:** Ergebnisse der Wassergehaltsbestimmungen, Körnungsanalysen und k<sub>f</sub>-Werte.

Nach DIN 18130 werden in Abhängigkeit vom Durchlässigkeitsbeiwert (k<sub>f</sub>-Wert) folgende Durchlässigkeitsbereiche unterschieden (*Tabelle 6*):

k <sub>f</sub> -Wert (m/s)	Bereich
unter 10 <sup>-8</sup>	sehr schwach durchlässig
10 <sup>-8</sup> bis 10 <sup>-6</sup>	schwach durchlässig
über 10 <sup>-6</sup> bis 10 <sup>-4</sup>	durchlässig
über 10 <sup>-4</sup> bis 10 <sup>-2</sup>	stark durchlässig
über 10 <sup>-2</sup>	sehr stark durchlässig

**Tabelle 6:** Durchlässigkeitsbereiche nach DIN 18130.



Der Geschiebelehm und der Geschiebemergel (*schwach toniger, schluffiger Sand*) sind mit  $k_f \approx 3,5 \times 10^{-8}$  m/s schwach durchlässig und wirken wasserstauend.

Die anstehenden Sande sind je nach Schluffgehalt mit  $k_f = 1,3 \times 10^{-4}$  m/s bis  $2,3 \times 10^{-4}$  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	Decksand	Geschiebelehm weich bis steif	Geschiebemergel steif
Tiefenbereich m u. GOK		bis 0,45 m	1,30/4,00	4,00/8,00	> 25,0 m
Korngrößenverteilung	≤ 0,06 mm (%)	5-20*	1-3	25-30	25-30
	>0,06-2,0 mm (%)	80-95*	87-99	60-70	60-70
	>2,0-63 mm (%)	-	0-10	3-10	3-10
Massenanteil an Steinen/Blöcken	>63-200 mm (%)	-	-	möglich	möglich
	>200-630 mm (%)	-	-	möglich	möglich
Dichte* (g/cm <sup>3</sup> )		1,6-1,7	1,8-1,9	1,9-2,0	1,9-2,1
Undrainierte Scherfestigkeit* (kN/m <sup>2</sup> )		-	-	20-50	50-100
Wassergehalt (%)		5-15*	5-20	15-23	10-15
Lagerungsdichte (%)		15-25	30-50	-	-
Organischer Anteil (%)		> 5*	< 2	< 2	< 2
Bodengruppe, DIN 18196		OH	SE	ST, ST*, UL	ST, ST*, UL
Altes System DIN 18300: 2002		1	3	4	4

\*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 $\gamma$ / cal $\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Reibun- gs- winkel  cal $\phi$ [°]	Kohäsion  cal-c' kN/m <sup>2</sup>	Steifemodul statisch/ dynamisch  E <sub>s</sub> [MN/m <sup>2</sup> ]	Poisson- zahl (-)
Oberboden, Mutterboden, humose Feinsande	OH	locker/-	16/6	keine Angabe, da nicht gründungsrelevant			
Fein- bis Mittel- sand, grobsandig, z. T. schwach schluffig, z. T. schwach kiesig	SE	locker/ -	18/10	32	0	20-30/ 120-150	0,35
		mitteldicht/ -	19/10	35	0	40-60/ 160-210	0,32
		dicht/-	20/11	37,5	0	60-80/ 210-240	0,30
Geschiebelehm, Sand, schluffig, schwach tonig	ST, ST*, UL	-/ weich-steif	19-20/ 10-11	30	0-5	5-20/ 50-100	0,40
Geschiebe- mergel, Sand, schluffig, schwach tonig	ST, ST*, UL	-/ steif bis halbfest	20-21/ 11-12	30	5-20	20-80 60-110	0,35

**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 Grundwasserverhältnisse aus typischen eiszeitlichen Sedimenten (*Decksand, Geschiebelehm, Geschiebemergel*) angetroffen (*Geotechnische Kategorie GK 2 in Anlehnung an DIN 4020*).

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

Im geplanten Windpark stehen tragfähige **Decksande** über mäßig tragfähigen weichen bis steifplastischem Geschiebelehm an. Darunter folgen tragfähige, steifplastische bis halbfeste Geschiebemergel.

Die Gründungsebene der Fundamente liegt bei 1,29 m unter Geländeoberkante.

Für die Gründungsempfehlung ist es entscheidend, ob die zulässigen Setzungen bzw. Setzungsdifferenzen von  $\Delta s = 7,5$  cm, die Grundbruchsicherheit mit  $\mu < 1,00$  sowie der Drehfedersteifigkeit von  $k_{\text{phi,dyn}} = 173.800$  MNm/rad bzw.  $k_{\text{phi,stat}} = 34.760$  MNm/rad eingehalten werden.

Die Setzungs- und Grundbruchberechnungen mit den im Schalplan angegebenen charakteristischen Lasten für die Lastfälle BS-P und BS-A liegen in Anlage 6.1-6.6 vor. Unter Berücksichtigung der Fundamentüberdeckung ergaben sich folgende Ergebnisse (*Tabelle 9*):

Standort	Lastfall	Setzungen (cm)		Setzungsdifferenz (cm)	Ausnutzung Grundbruchsicherheit (-)	Bewertung
		min	max			
WEA 1	BS-P	0,7	10,7	10,0	0,198	zulässige Setzungsdifferenzen schon im Lastfall BS-P nicht eingehalten. Grundbruchsicherheit ist gegeben.
WEA 2	BS-P	0,5	7,7	7,2	0,144	zulässige Setzungsdifferenzen schon im Lastfall BS-P nur knapp eingehalten. Grundbruchsicherheit ist gegeben.
WEA 3	BS-P	0,8	8,5	7,7	0,144	zulässige Setzungsdifferenzen schon im Lastfall BS-P nicht eingehalten. Grundbruchsicherheit ist gegeben.
WEA 4	BS-P	0,8	9,3	7,5	0,150	zulässige Setzungsdifferenzen schon im Lastfall BS-P nur knapp eingehalten. Grundbruchsicherheit ist gegeben.
WEA 5	BS-P	0,6	6,6	6,0	0,139	zulässige Setzungsdifferenzen nur knapp eingehalten. Grundbruchsicherheit ist gegeben.
	BS-A	0,3	7,6	7,3	0,173	

**Tabelle 9:** Setzungen, Setzungsdifferenzen und Grundbruchsicherheit.



Die Geschiebelehme in weicher bis steifplastischer Konsistenz weisen ein deutliches Setzungsrisiko auf. Die zulässigen Setzungsdifferenzen von  $\Delta s = 7,5$  cm werden nicht oder nur knapp eingehalten. Für eine sichere Gründung wird daher an allen Standorten eine tiefreichende Baugrundverbesserung mit Rüttelstopfverdichtung (RSV) oder eine Pfahlgründung empfohlen.

Voraussetzung für eine Baugrundverbesserung mit RSV sind die entsprechenden Nachweise (*Anzahl und Abstände der Schottersäulen, Setzungen, Grundbruch etc.*) von einem ausführenden Spezialtiefbauunternehmen. Üblicherweise gehört zu einer in-situ-Baugrundverbesserung noch ein Lastverteilungspolster aus Schotter, das unter Berücksichtigung eines seitlichen Überstandes im Lastausbreitungsbereich von  $45^\circ$  und in einer Stärke von 0,50 m eingebaut wird.

**Sowohl bei einer Baugrundertüchtigung als auch bei einer Pfahlgründung sind Bohr- oder Rammhindernisse (*Stein, Blöcke*) im Geschiebelehm und Geschiebemergel nicht auszuschließen.**

#### **Drehfedersteifigkeit:**

Die Anforderungen an die dynamische Drehfedersteifigkeit von mindestens  $k_{\phi, \text{dyn}} \geq 173\,800$  MNm/rad und  $k_{\phi, \text{stat}} \geq 34\,760$  MNm/rad werden an den Standorten nicht durchgehend erfüllt (vgl. *Anlage 7.1-7.5*). Daher ist auch aus dieser Anforderung heraus eine Baugrundverbesserung erforderlich.

### **3. 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 5.5-158, 161 mNH	1,29	1,89	FmA + Baugrundverbesserung durch RSV + 0,50 m STS + 0,10 m SBKS oder Pfahlgründung
WEA 2		1,29	1,89	FmA + Baugrundverbesserung durch RSV + 0,50 m STS oder Pfahlgründung
WEA 3		1,29	1,89	FmA + Baugrundverbesserung durch RSV + 0,50 m STS + 0,10 m SBKS oder Pfahlgründung
WEA 4		1,29	1,89	FmA + Baugrundverbesserung durch RSV + 0,50 m STS + 0,10 m SBKS oder Pfahlgründung
WEA 5		1,29	1,89	FmA + Baugrundverbesserung durch RSV + 0,50 m STS + 0,10 m SBKS oder Pfahlgründung

\*FmA = Flachgründung mit Auftrieb, RSV = Rüttelstopfverdichtung, STS = Schotterausgleichs- oder -tragschicht, SBKS = Sauberkeitsschicht.

**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  $\geq 200$  t aufweisen, die über Lastverteilerplatten auf die Kranstellfläche übertragen werden. Es resultieren Flächenpressungen von bis zu  $260 \text{ kN/m}^2$ .

Die Kранаufstellflächen befinden sich auf bisher unbefestigter Fläche. Der 0,30 m bis 0,50 m mächtige Oberboden ist unter Berücksichtigung eines seitlichen Überstandes von  $45^\circ$  abzuschleifen.

Darunter stehen tragfähige Sandböden an, auf denen der Aufbau der Kranstellfläche mit einem ausreichend dimensioniertem Schotteroberbau grundsätzlich erfolgen kann.

Falls nach Abschleifen des Oberbodens in der Aushubebene weiche Lehmböden angetroffen werden sollten, sind diese gegen Füllsand (SE, SW, gem. DIN 18196) auszutauschen.





Für die Befestigung kann für die unteren Lagen Füllsand (SE, SW, gem. DIN 18196) und für die obere Lage eine mindestens 0,30 m mächtige Schottertragschicht ( $E_{v2} \geq 120 \text{ MN/m}^2$ ,  $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,30$ ) vorgesehen werden.

**Zusätzlich sind unter den Aufstandsflächen des Krans ausreichend dimensionierte Lastverteilungsmatten erforderlich. Für einen abschließenden Gründungsvorschlag sind nach Vorliegen der Kransdaten Grundbruchberechnungen erforderlich.**

Im Bereich der **neu anzulegenden Zuwegungen** über unbefestigtes Gelände wurde eine Oberbodenmächtigkeit von bis zu 0,50 m festgestellt. Darunter stehen tragfähige Sandböden an.

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

Der Wegeaufbau erfolgt analog zu der Kranstellfläche. Je nach erforderlichem Höhenangleich erfolgt der Einbau für die 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*).

Aufgrund der bindigen Böden im Untergrund sind bauzeitliche Setzungen und Sackungen der Wege nicht ausgeschlossen. Ausbesserungsarbeiten sollten eingeplant werden.

## VI. HINWEISE ZUR BAUAUSFÜHRUNG

### 1. Baugrube, Böschungen

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

Die planmäßige Gründungstiefe des Fundamentes beträgt 1,29 m unter GOK. Für den Einbau der Sauberkeits- und der Schotterausgleichsschicht sind Aushubtiefen bis 1,89 m unter GOK erforderlich.

### 2. Wasserhaltung

Bei den Bohrarbeiten im September und Oktober 2020 wurde Stau- oder Schichtenwasser ab 1,58 m bzw. 2,68 m angetroffen. Für die Erdarbeiten mit Aushubtiefen von ca. 1,90 m wird voraussichtlich nur bei bauzeitlich hohen Grundwasserständen und in den niedrigeren Geländebereichen (RKS 4) eine Grundwasserabsenkung über eine Tiefendränage erforderlich. Eine hydraulische Bemessung liegt dafür in Anlage 8 bei.

Die zu fördernde Wassermenge mit einem kf-Wert =  $1,3 \times 10^{-4} \text{ m/s}$  wurde rechnerisch mit  $2,9 \text{ m}^3/\text{h} = 69 \text{ m}^3/\text{d}$  ermittelt. Wahrscheinlich bluten die Sande rasch aus. Die rechnerisch ermittelte Reichweite beträgt  $R = 34 \text{ m}$ .



Die angegebenen Wassermengen dienen der ersten Kalkulation. Die tatsächlich anfallenden Wassermengen können aufgrund der abweichenden natürlichen Verhältnisse von den mit vereinfachten Modellannahmen rechnerisch ermittelten Werten deutlich nach oben oder unten abweichen. Der Nachweis der Reichweite und der Wassermengen ist nicht als Ausführungsanleitung für die Wasserhaltung zu verstehen.

Zur Aufnahme der anfallenden Wassermengen ist für eine geeignete Vorflut und für eine Einleitgenehmigung bei den zuständigen Behörden zu sorgen.

Ansonsten ist zum Ableiten von Stau- oder Schichtenwasser je nach bauzeitlichen Niederschlagsmengen eine offene Wasserhaltung mit Stichdräns und Pumpensumpf, bei stärkerem Wasserandrang auch mit Ringdränage, erforderlich.

### **3. Seitliche Fundamentanfüllung, Fundamentüberdeckung, Wiederverwendung Bodenaushub, Verdichtung**

Für einen Bodenaustausch kann grobkörniger, verdichtungsfähiger Füllsand (*SE, SW, gem. DIN 18196*) verwendet werden.

Für Schottertragschichten an den Kranstellflächen, unter den Fundamenten und im Wegebau ist ein Mineralgemisch, Schotter Körnung 0/45 oder 0/32, vorzusehen.

Um eine ausreichende Dichte zu erreichen ist der Bodenaustausch lagenweise ( $d = \max. 0,30 \text{ m}$ ) mit einem mindestens mittelschweren Flächenrüttler und mindestens drei bis fünf Übergängen je Lage gleichmäßig verdichtet auf 100 % Proctordichte einzubauen.

Beim Bodenaushub fallen überwiegend Sandböden an, die bei günstigen Wassergehalten (*maximal erdfeucht*) verdichtungsfähig sind und zum Verfüllen der Arbeitsräume **außerhalb** des Gründungsbereiches der Kranstellflächen und für die Fundamentüberschüttung wieder verwendet werden können. Bei fachgerechter Verdichtung wird eine Wichte  $\geq 18 \text{ kN/m}^3$  erreicht.

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 oder DPL, gem. DIN EN ISO 22476-2*) nachgewiesen werden.

Für die Bodenaustauscharbeiten im Fundamentbereich aus Sand sind im Lastplattendruckversuch (*DIN 18134*)  $E_{v2} \geq 80 \text{ MN/m}^2$  und für die Schotterausgleichsschicht  $E_{v2} \geq 100 \text{ MN/m}^2$  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. 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 20. Oktober 2020

Dipl.-Geol. Dr. Joachim Lübbe

Dipl.-Geol. Petra Müller

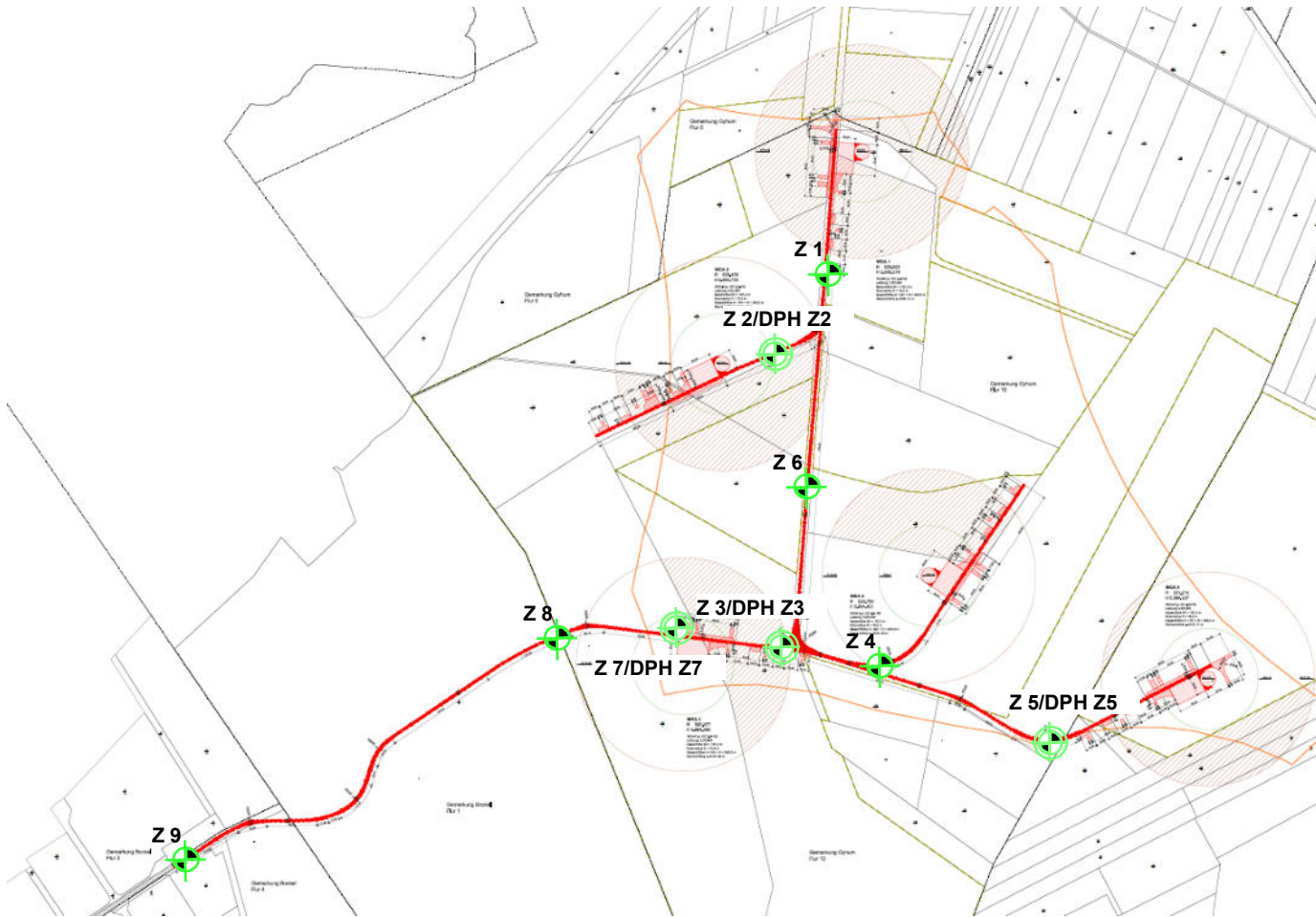
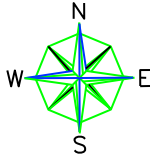
Der Bericht wird dem Auftraggeber auch im pdf-Format zur Verfügung gestellt.

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



**ANLAGE 1.1-1.6**

Lageplan



## LEGENDE

Z 1



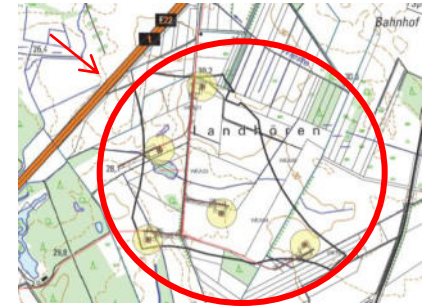
Rammkernsondierung  
Zuwegung

Z 1/DPH Z2



Rammkernsondierung und  
schwere Rammsondierung  
Zuwegung

## ÜBERSICHTSPLAN:



Projekt: 840-20-1  
WP Gyhum-Hesedorf  
Zuwegungen

Auftraggeber:  
Windwärts Energie GmbH  
Hanomaghof 1  
30449 Hannover

Titel: **Lageplan**

gez.: N. Willers

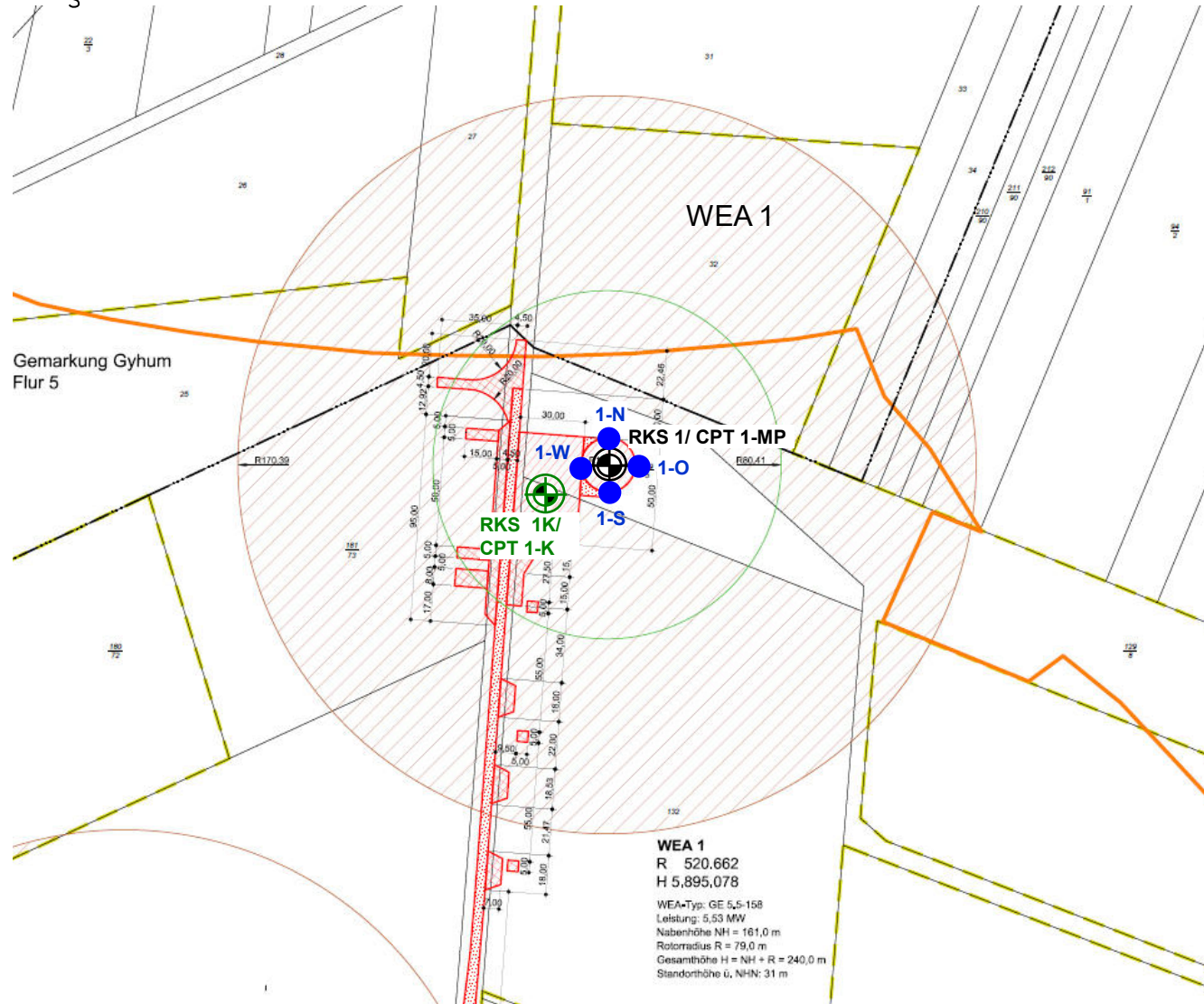
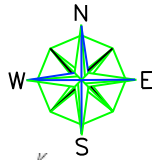
gepr.: Dipl.-Geol. P. Müller

Maßstab:

Datum: 09.10.2020




Anlage: 1.1





**WEA 1**  
 R 520.662  
 H 5,895,078  
 WEA-Typ: GE 5,5-158  
 Leistung: 5,53 MW  
 Nabenhöhe NH = 161,0 m  
 Rotorradius R = 79,0 m  
 Gesamthöhe H = NH + R = 240,0 m  
 Standorthöhe ü. NHN: 31 m

## LEGENDE

- RKS 1/ CPT 1-MP**  
 Rammkernsondierung WEA und Drucksondierung Mittelpunkt
- 1-N**  
 Drucksondierung
- RKS 1K/ CPT 1-K**  
 Rammkernsondierung und Drucksondierung KAF

## ÜBERSICHTSPLAN:



Projekt: 840-20-1  
 WP Gyhum-Hesedorf  
 WEA 1

Auftraggeber:  
 Windwärts Energie GmbH  
 Hanomag Hof 1  
 30449 Hannover

Titel: **Lageplan**

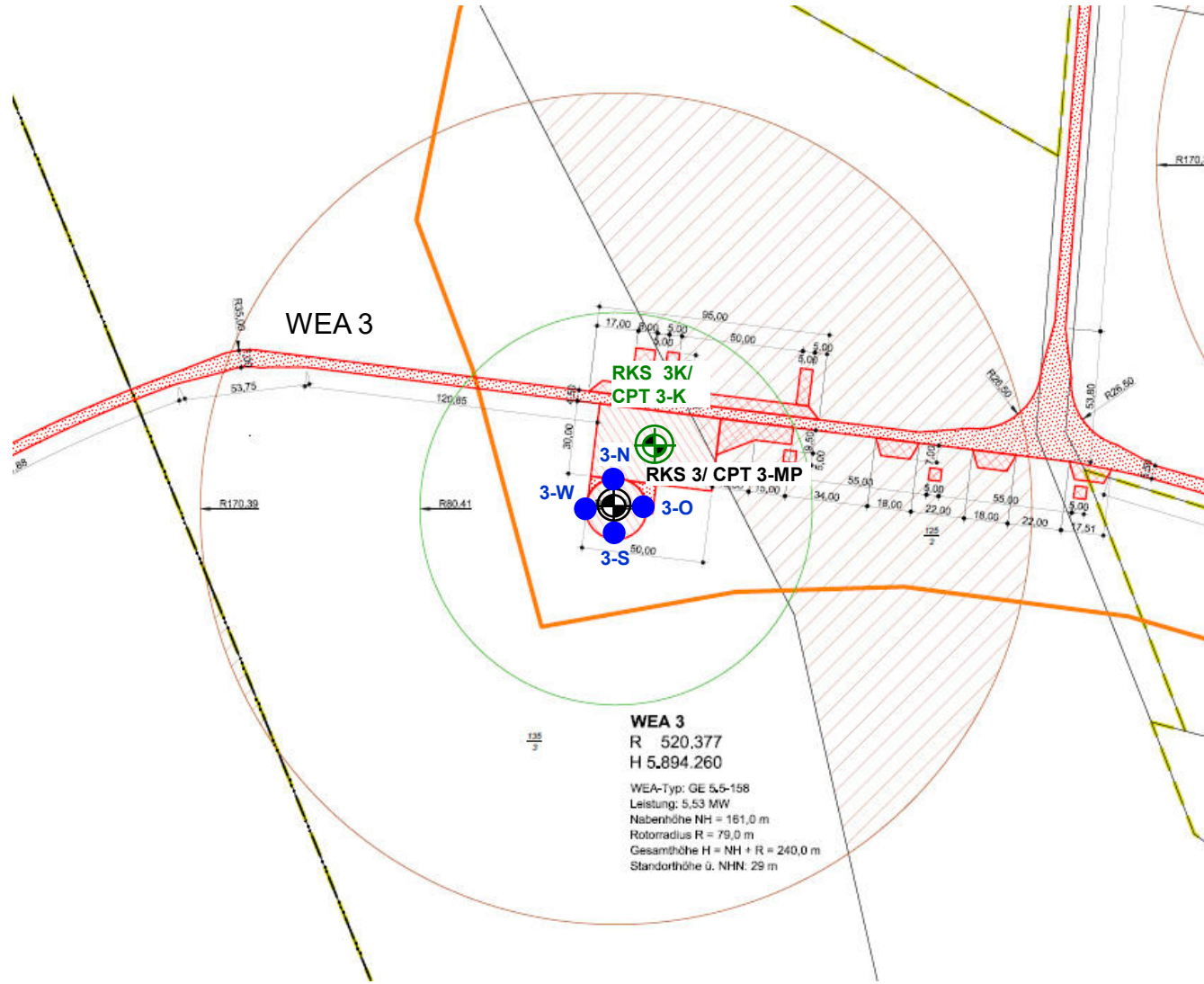
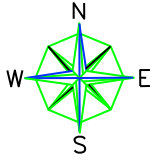
gez.: N. Willers      gepr.: Dipl.-Geol. P. Müller

Maßstab:

Datum: 09.10.2020      Anlage: 1.2







**WEA 3**  
 R 520,377  
 H 5.894,260

WEA-Typ: GE 5,5-158  
 Leistung: 5,53 MW  
 Nabenhöhe NH = 161,0 m  
 Rotorradius R = 79,0 m  
 Gesamthöhe H = NH + R = 240,0 m  
 Standorthöhe ü. NHN: 29 m

## LEGENDE

**RKS 3/ CPT 3-MP**



Rammkernsondierung WEA und  
 Drucksondierung Mittelpunkt

**3-N**



Drucksondierung

**RKS 3K/ CPT 3-K**



Rammkernsondierung und  
 Drucksondierung KAF

## ÜBERSICHTSPLAN:



Projekt: 840-20-1  
 WP Gyhum-Hesedorf  
 WEA 3

Auftraggeber:  
 Windwärts Energie GmbH  
 Hanomag Hof 1  
 30449 Hannover

Titel: **Lageplan**

gez.: N. Willers

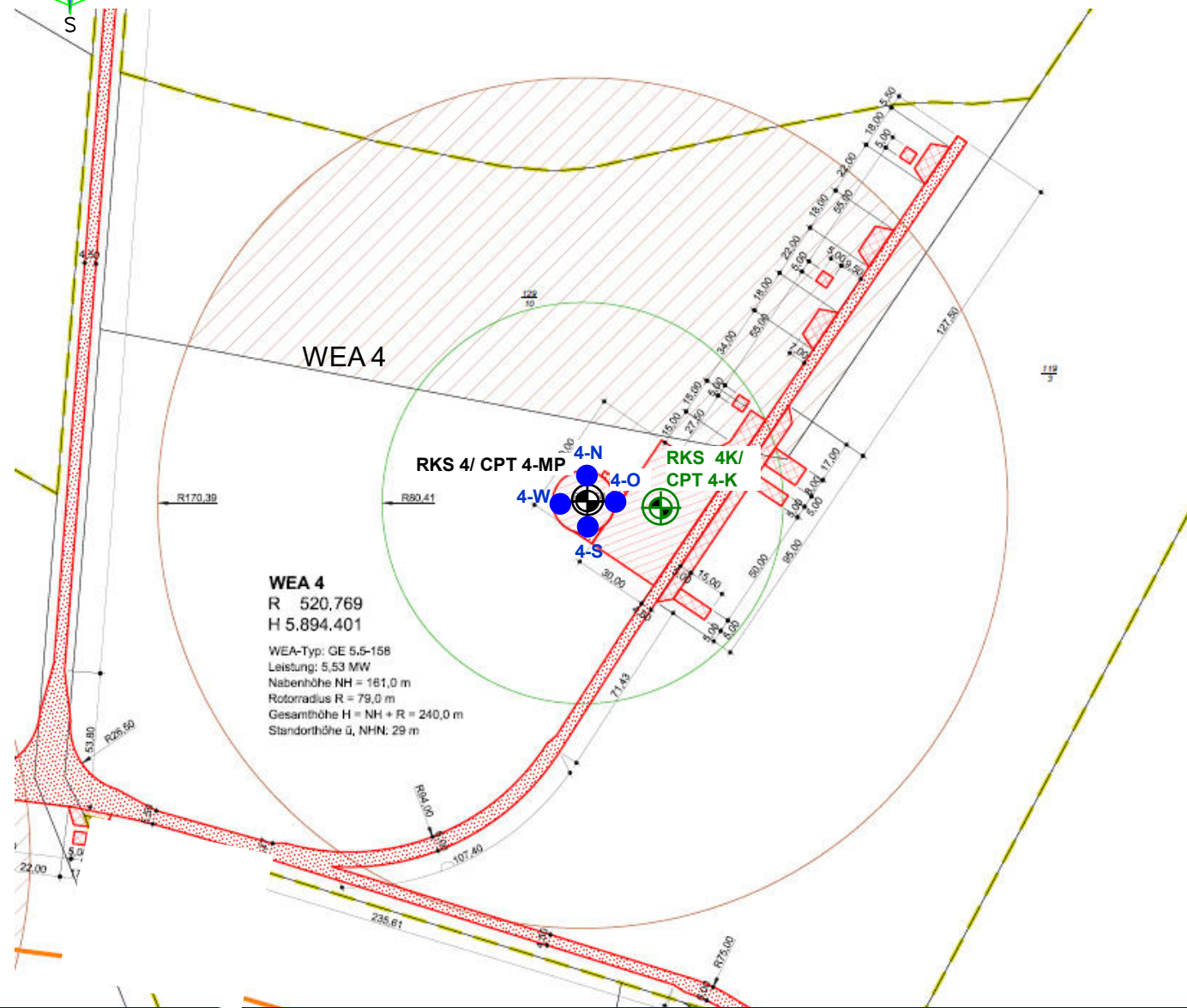
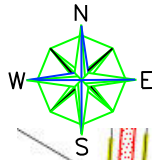
gepr.: Dipl.-Geol. P. Müller

Maßstab:

Datum: 09.10.2020

Anlage: 1.4





**WEA 4**  
 R 520.769  
 H 5.894.401  
 WEA-Typ: GE 5.5-158  
 Leistung: 5,53 MW  
 Nabenhöhe NH = 161,0 m  
 Rotordradius R = 79,0 m  
 Gesamthöhe H = NH + R = 240,0 m  
 Standorthöhe  $\bar{u}$ , NHN. 29 m

## LEGENDE

- RKS 4/ CPT 4-MP**  
 Rammkernsondierung WEA und Drucksondierung Mittelpunkt
- 4-N**  
 Drucksondierung
- RKS 4K/ CPT 4-K**  
 Rammkernsondierung und Drucksondierung KAF

### ÜBERSICHTSPLAN:



Projekt: 840-20-1  
 WP Gyhum-Hesedorf  
 WEA 4

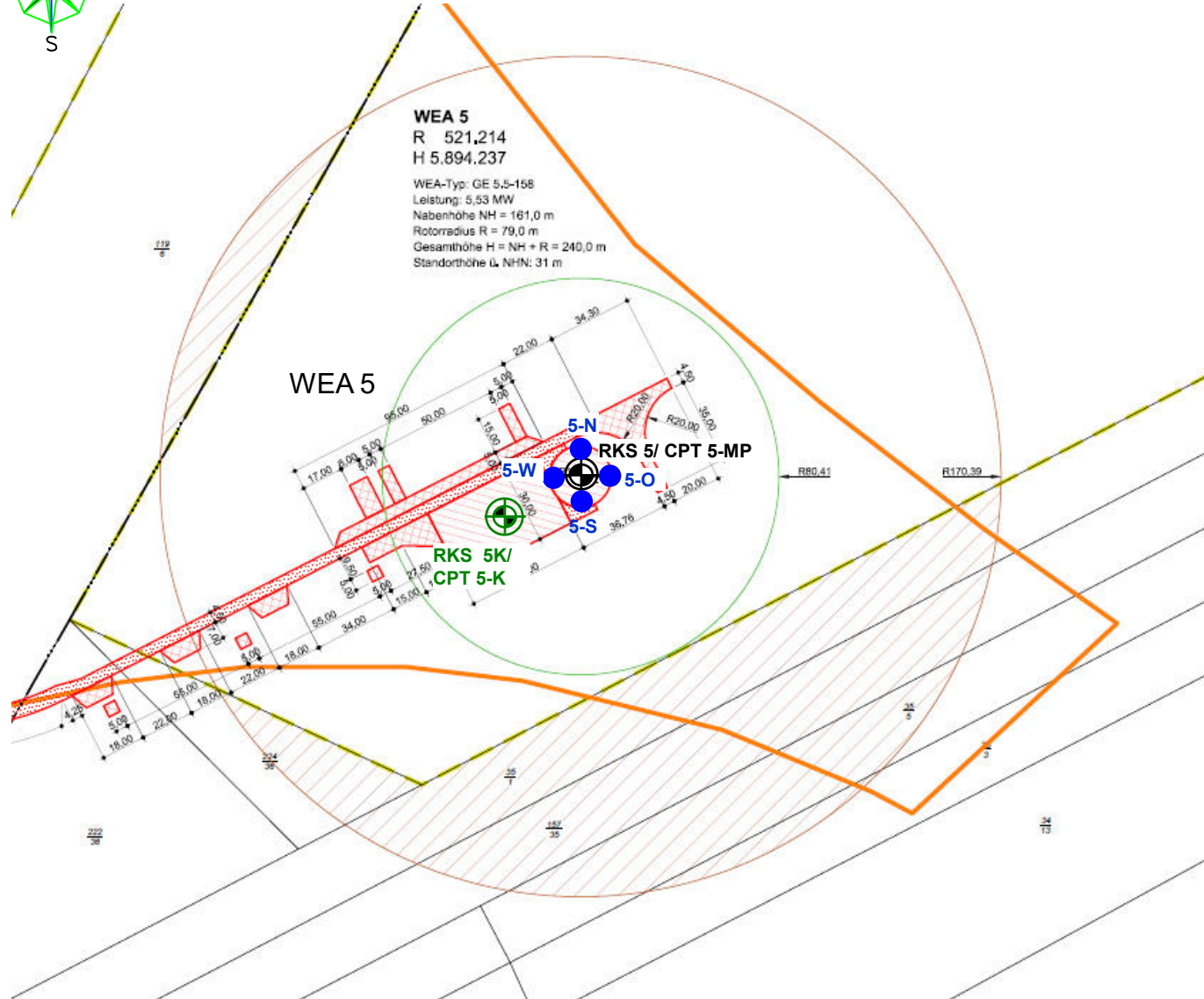
Auftraggeber:  
 Windwärts Energie GmbH  
 Hanomag Hof 1  
 30449 Hannover

Titel: **Lageplan**

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

Maßstab:

Datum: 09.10.2020 | Anlage: 1.5



**WEA 5**  
 R 521,214  
 H 5.894,237  
 WEA-Typ: GE 5.5-158  
 Leistung: 5,53 MW  
 Nabenhöhe NH = 161,0 m  
 Rotorradius R = 79,0 m  
 Gesamthöhe H = NH + R = 240,0 m  
 Standorthöhe  $\bar{u}$  NHN: 31 m

WEA 5

RKS 5K/  
 CPT 5-K

RKS 5/ CPT 5-MP

5-N

5-W

5-S

5-O

R170,41

R170,39

## LEGENDE

RKS 5/ CPT 5-MP



Rammkernsondierung WEA und  
 Drucksondierung Mittelpunkt

5-N



Drucksondierung

RKS 5K/ CPT 5-K



Rammkernsondierung und  
 Drucksondierung KAF

## ÜBERSICHTSPLAN:



Projekt: 840-20-1  
 WP Gyhum-Hesedorf  
 WEA 5

Auftraggeber:  
 Windwärts Energie GmbH  
 Hanomag Hof 1  
 30449 Hannover

Titel: **Lageplan**

gez.: N. Willers

gepr.: Dipl.-Geol. P. Müller

Maßstab:

Datum: 09.10.2020

Anlage: 1.6



**ANLAGE 2.1-2.12**

Bohrprofile nach DIN 4023 und  
Drucksondierdiagramme nach DIN 4094

# WEA 1

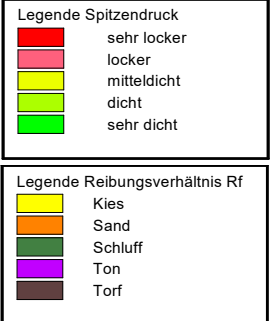
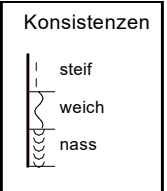
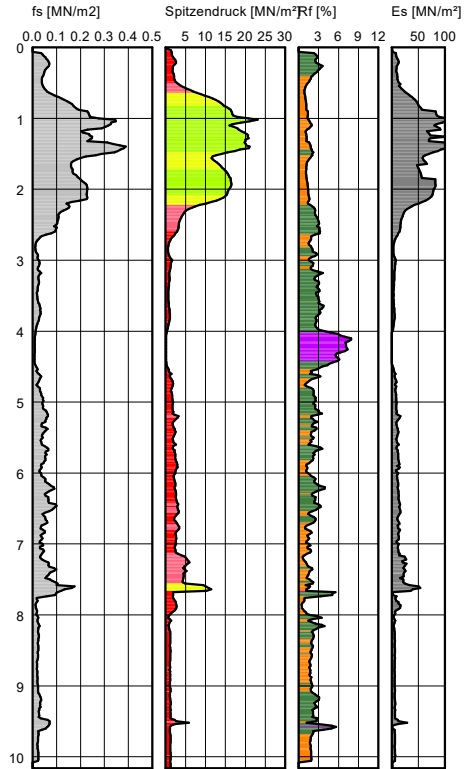
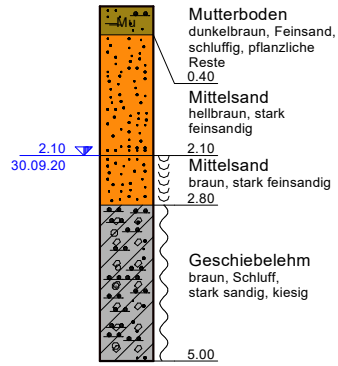
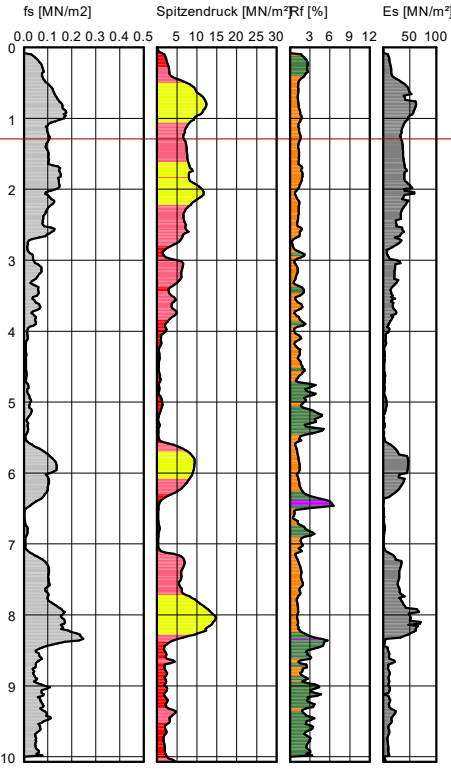
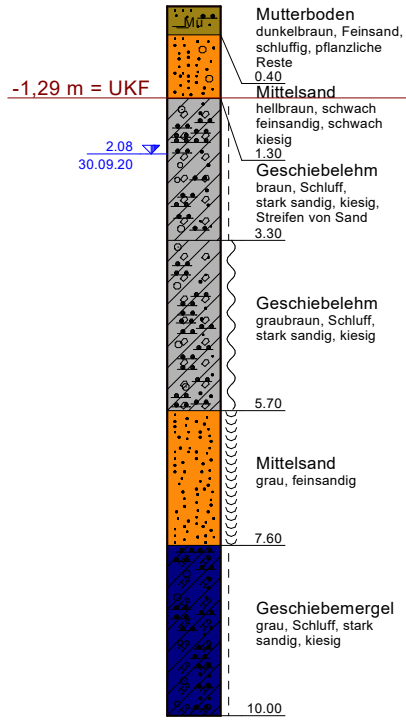
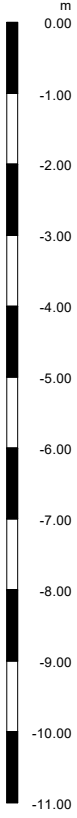
# KAF

RKS 1  
0.00 m

CPT 1-MP  
0.00 m

RKS 1K  
0.00 m

CPT 1-K  
0.00 m



**LEGENDE:**

RKS: Rammkernsondierung  
 CPT: Drucksondierung  
 UKF: Unterkante Fundament

**Grundwasser m u. GOK Datum**

2.08  
30.09.20

Projekt: 840-20-1  
 WEA 1, WP Gyhum-Hesedorf

Auftraggeber: Windwärts Energie GmbH  
 Hanomaghof 1  
 30449 Hannover

Bearbeiter: Dipl.-Geol. P. Müller

Maßstab: Höhe: 1 : 75

**Ingenieurgeologie Dr. Lübbe**

Titel: Bohrprofile nach DIN 4023 und Drucksondierdiagramme nach DIN 4094

Anlage: 2.1

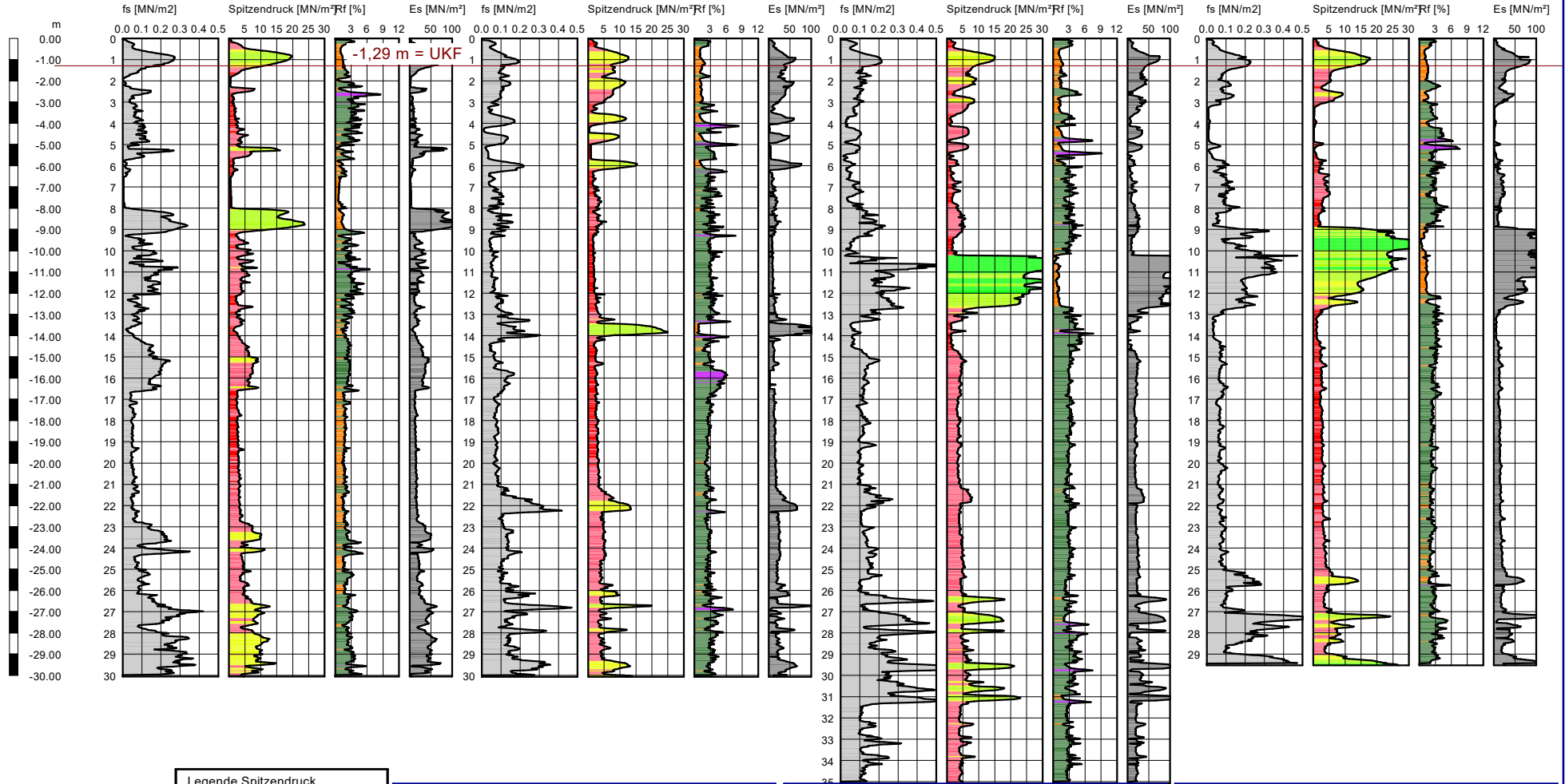
WEA 1

CPT 1-N  
0.00 m

CPT 1-O  
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 Rf**

- Kies
- Sand
- Schluff
- Ton
- Torf

LEGENDE:

CPT:   Drucksondierung  
UKF:   Unterkante Fundament

Projekt:   840-20-1  
          WEA 1, WP Gyhum

Auftraggeber:   Windwärts Energie GmbH  
                  Hanomaghof 1  
                  30449 Hannover

Bearbeiter:   Dipl.-Geol. P. Müller

Maßstab:     Höhe: 1 : 200



Ingenieurgeologie  
Dr. Lübbe

Titel:                   Drucksondierdiagramme nach DIN 4094

Anlage: 2.2



# WEA 2

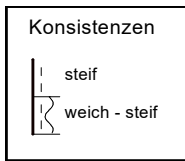
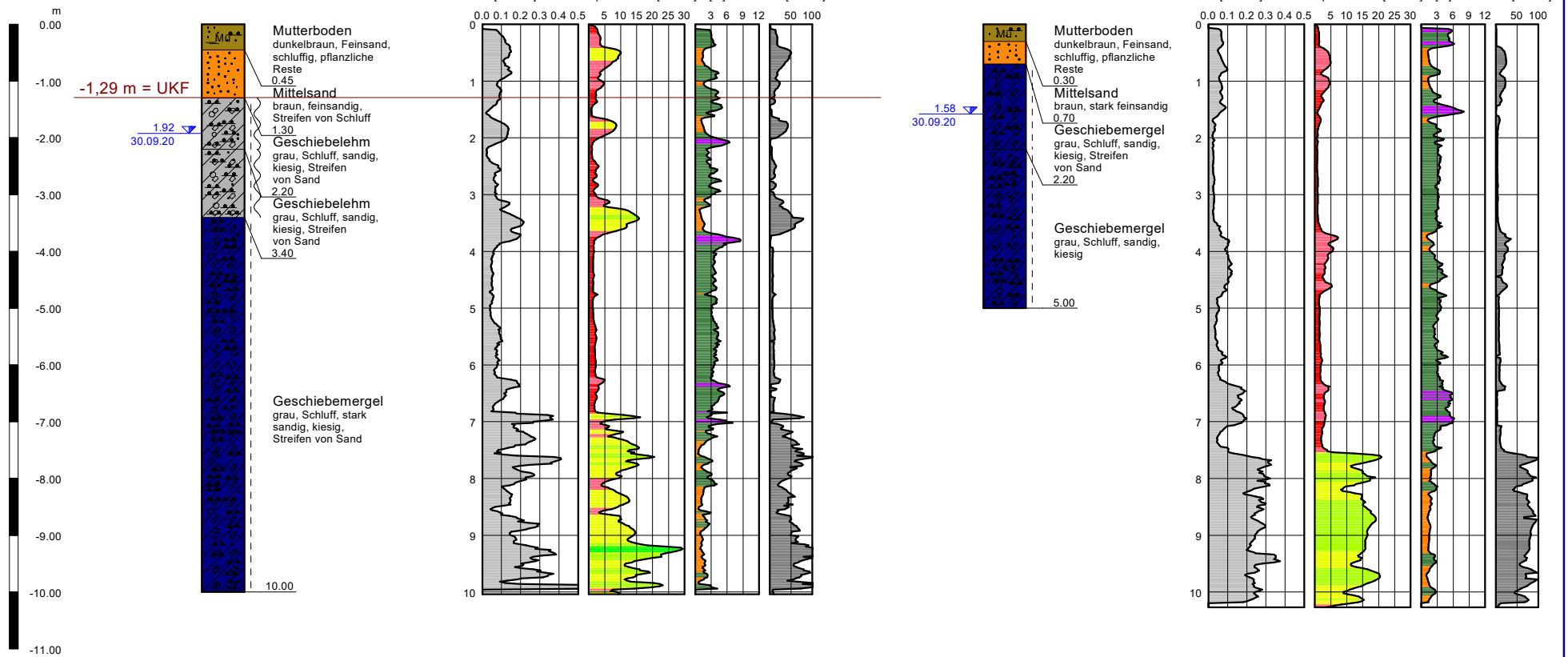
# KAF

RKS 2  
0.00 m

CPT 2-MP  
0.00 m

RKS 2K  
0.00 m

CPT 2-K  
0.00 m



**Legende Spitzendruck**

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

**Legende Reibungsverhältnis Rf**

- Kies
- Sand
- Schluff
- Ton
- Torf

**LEGENDE:**

RKS: Rammkernsondierung  
 CPT: Drucksondierung  
 UKF: Unterkante Fundament

1.92 m  
30.09.20 Grundwasser m u. GOK Datum

Projekt: 840-20-1  
WEA 2, WP Gyhum-Hesedorf

Auftraggeber: Windwärts Energie GmbH  
Hanomaghof 1  
30449 Hannover

Bearbeiter: Dipl.-Geol. P. Müller

Maßstab: Höhe: 1 : 75

**Ingenieurgeologie Dr. Lübbe**

Titel: Bohrprofile nach DIN 4023 und Drucksondierdiagramme nach DIN 4094

Anlage: 2.3

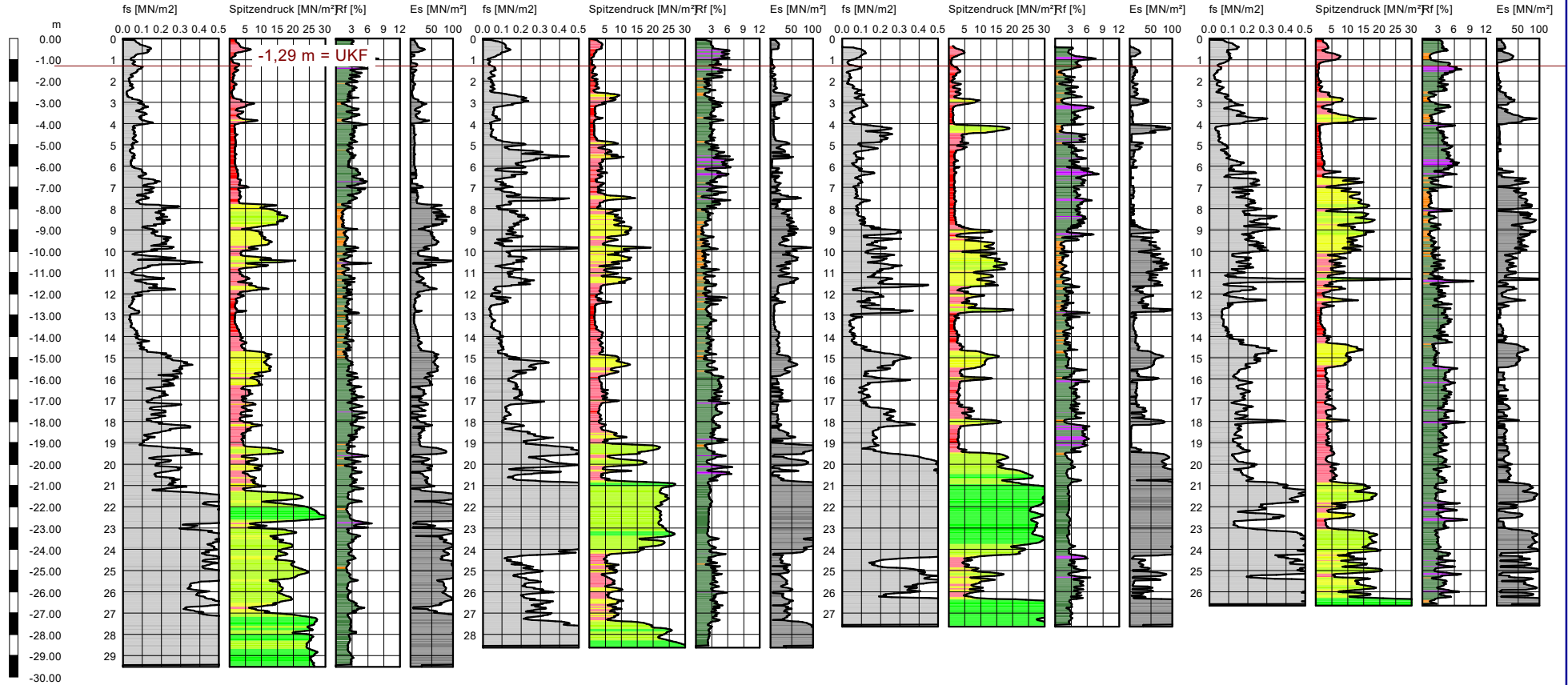
WEA 2

CPT 2-N  
0.00 m

CPT 2-O  
0.00 m

CPT 2-S  
0.00 m

CPT 2-W  
0.00 m



**Legende Spitzendruck**

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

**Legende Reibungsverhältnis Rf**

- Kies
- Sand
- Schluff
- Ton
- Torf

LEGENDE:

CPT:    Drucksondierung  
 UKF:    Unterkante Fundament

Projekt:    840-20-1  
             WEA 2, WP Gyhum-Hesedorf

Auftraggeber:    Windwärts Energie GmbH  
                     Hanomaghof 1  
                     30449 Hannover

Bearbeiter:    Dipl.-Geol. P. Müller

Maßstab:      Höhe: 1 : 200



Ingenieurgeologie  
Dr. Lübke

Titel:                      Drucksondierdiagramme nach DIN 4094

Anlage: 2.4

# WEA 3

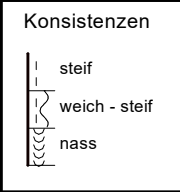
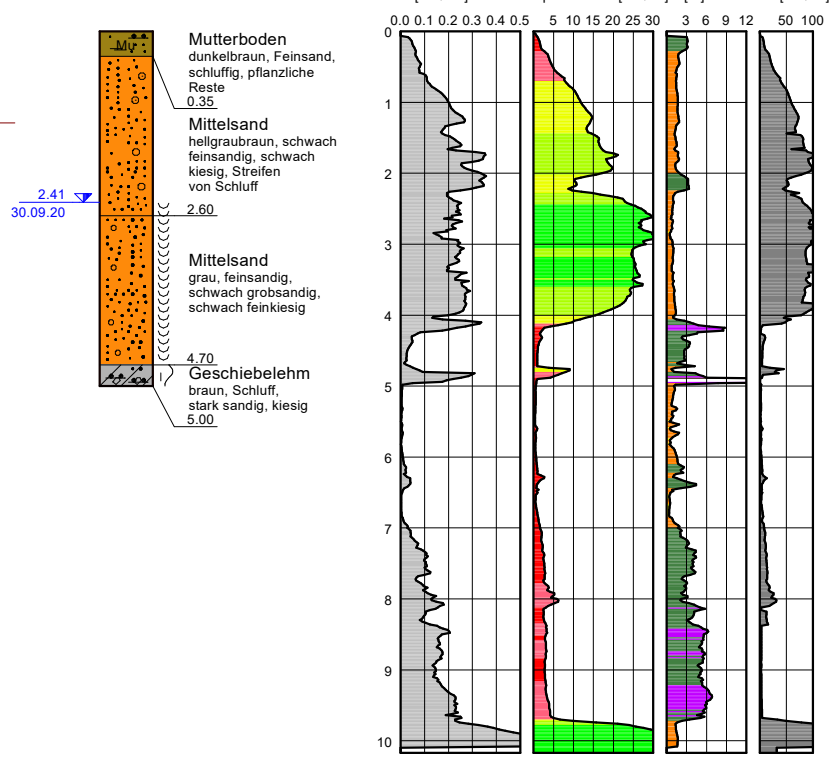
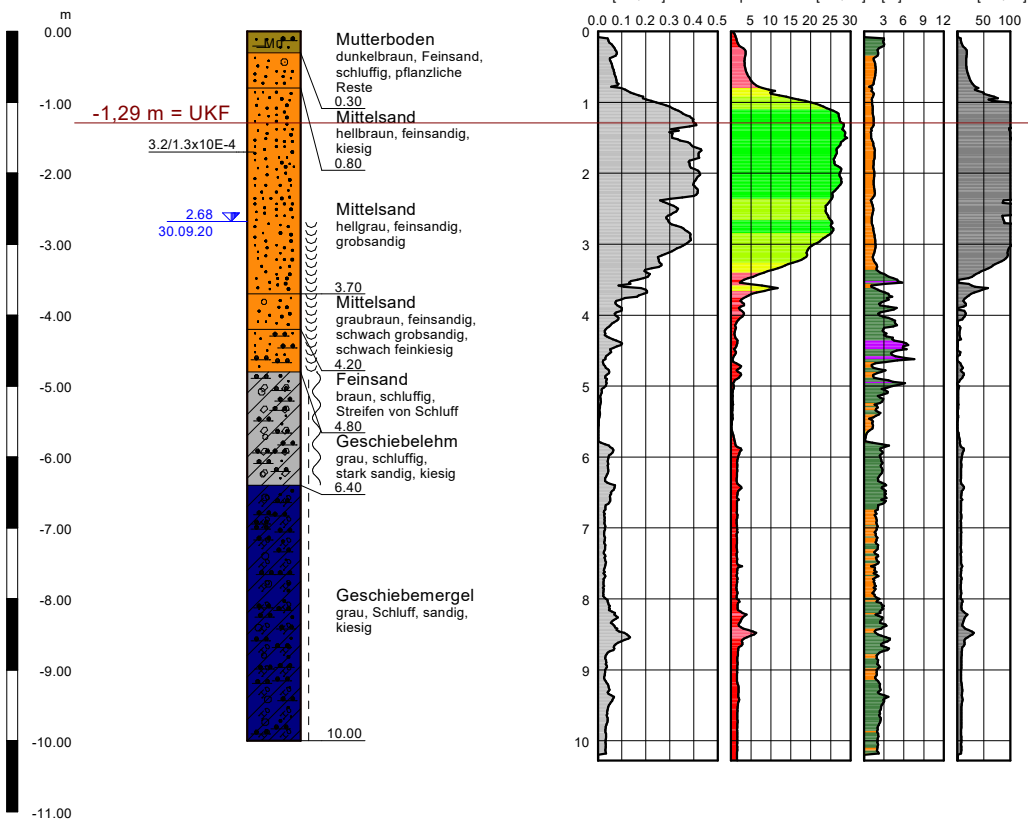
# KAF

RKS 3  
0.00 m

CPT 3-MP  
0.00 m

RKS 3K  
0.00 m

CPT 3-K  
0.00 m



Legende Spitzendruck

Red	sehr locker
Light Red	locker
Yellow	mitteldicht
Green	dicht
Dark Green	sehr dicht

Legende Reibungsverhältnis Rf

Orange	Kies
Light Green	Sand
Dark Green	Schluff
Purple	Ton
Brown	Torf

**LEGENDE:**

RKS: Rammkernsondierung  
 CPT: Drucksondierung  
 UKF: Unterkante Fundament

3.2/1.3x10<sup>-4</sup> Proben-Nr./kf-Wert in m/s

2.68 Grundwasser m u. GOK  
 30.09.20 Datum

Projekt: 840-20-1  
 WEA 3, WP Gyhum-Hesedorf

Auftraggeber: Windwärts Energie GmbH  
 Hanomaghof 1  
 30449 Hannover

Bearbeiter: Dipl.-Geol. P. Müller

Maßstab: Höhe: 1 : 75

**Ingenieurgeologie  
Dr. Lübke**

Titel: Bohrprofile nach DIN 4023 und Drucksondierdiagramme nach DIN 4094

Anlage: 2.5



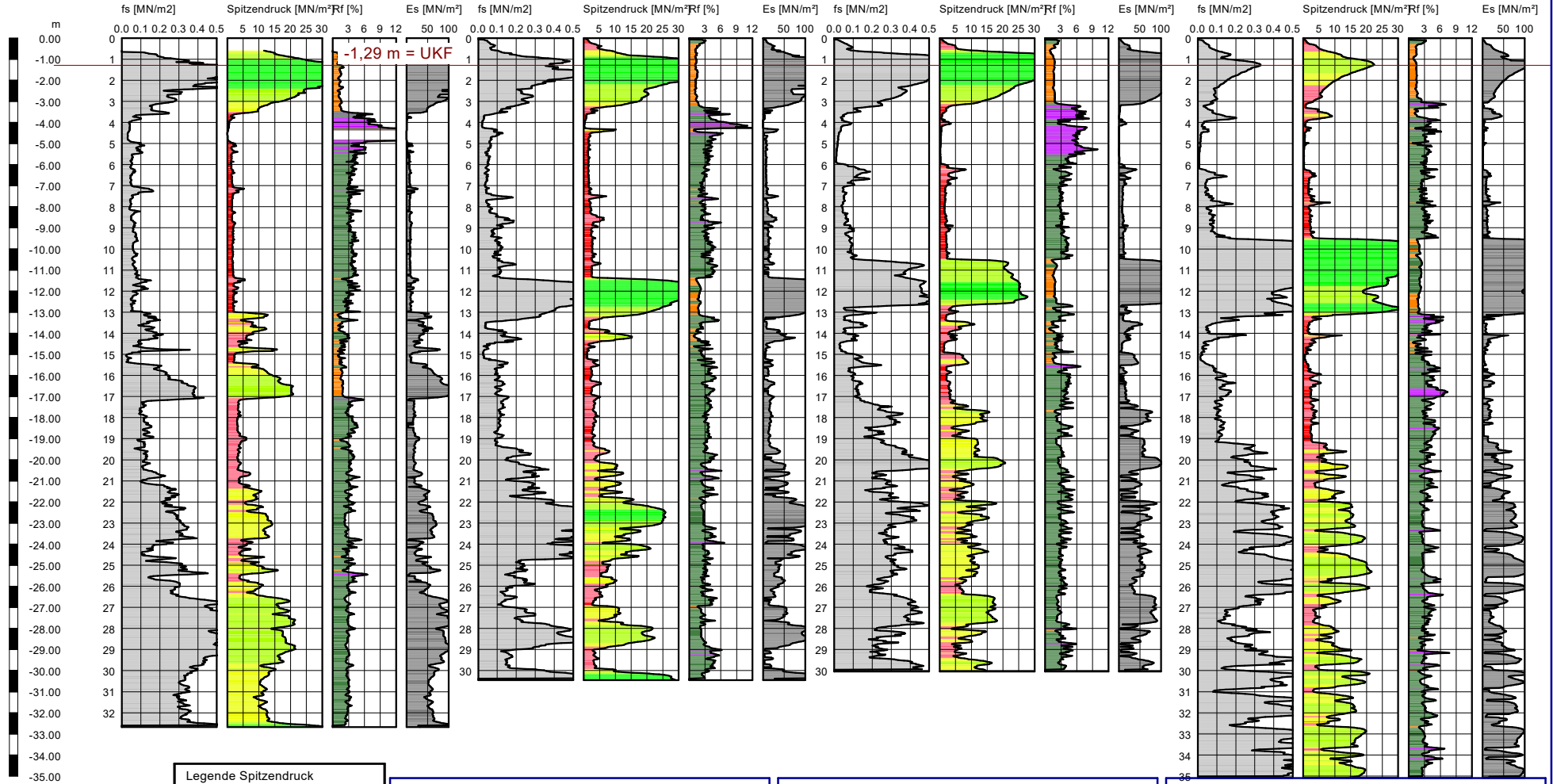
WEA 3

CPT3-N  
0.00 m

CPT 3-O  
0.00 m

CPT 3-S  
0.00 m

CPT 3-W  
0.00 m



**Legende Spitzendruck**

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

**Legende Reibungsverhältnis Rf**

- Kies
- Sand
- Schluff
- Ton
- Torf

**LEGENDE:**

CPT: Drucksondierung  
 UKF: Unterkante Fundament

Projekt: 840-20-1  
 WEA 3, WP Gyhum-Hesedorf

Auftraggeber:  
 Windwärts Energie GmbH  
 Hanomaghof 1  
 30449 Hannover

Bearbeiter: Dipl.-Geol. P. Müller

Maßstab: Höhe: 1 : 200



**Ingenieurgeologie**  
**Dr. Lübbe**

Titel:  
 Drucksondierdiagramme nach DIN 4094

Anlage: 2.6

# WEA 4

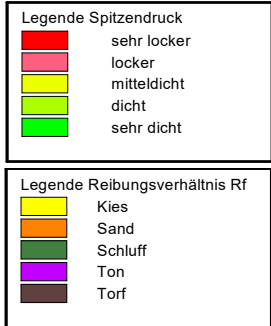
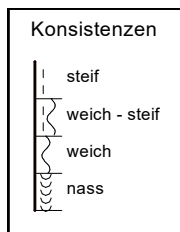
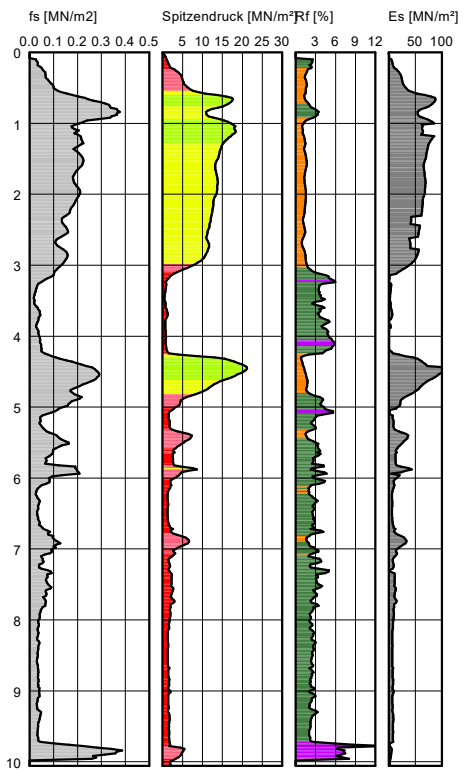
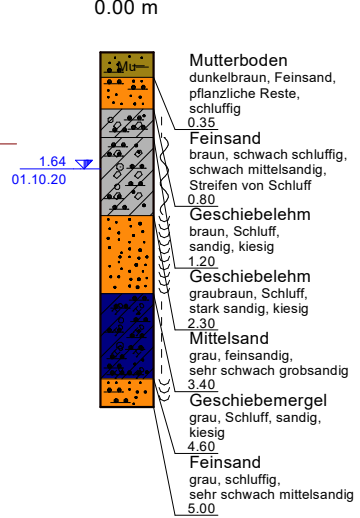
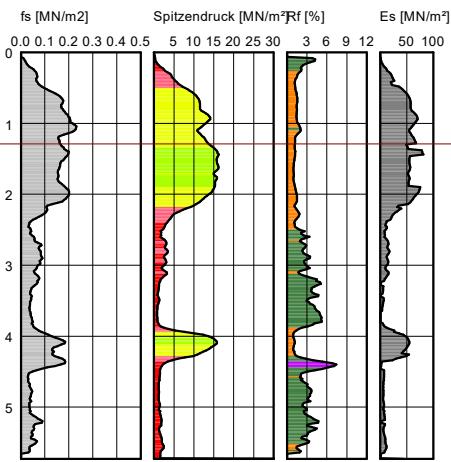
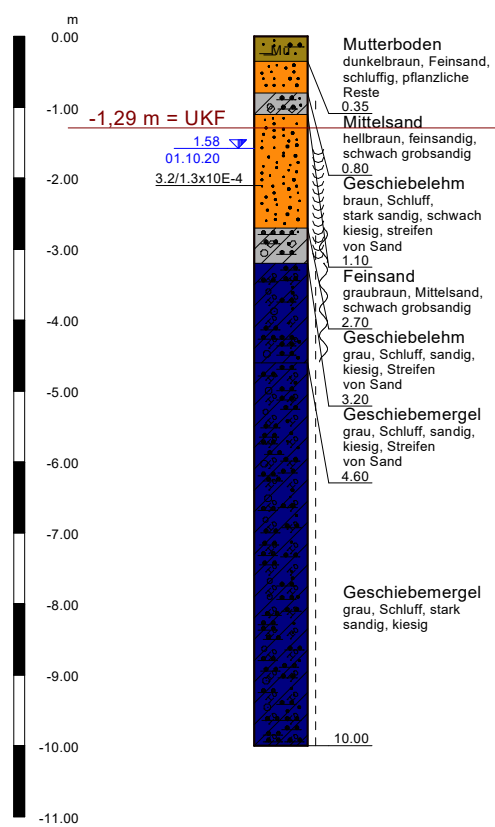
# KAF

RKS 4  
0.00 m

CPT 4-MP  
0.00 m

RKS 4K  
0.00 m

CPT 4-K  
0.00 m



**LEGENDE:**

RKS: Rammkernsondierung  
 CPT: Drucksondierung  
 UKF: Unterkante Fundament

3.2/1.3x10E-4 Proben-Nr./kf-Wert in m/s

1.58 Grundwasser m u. GOK  
 01.10.20 Datum

Projekt: 840-20-1  
 WEA 4, WP Gyhum-Hesedorf

Auftraggeber: Windwärts Energie GmbH  
 Hanomaghof 1  
 30449 Hannover

Bearbeiter: Dipl.-Geol. P. Müller

Maßstab: Höhe: 1 : 75

Ingenieurgeologie  
 Dr. Lübbe

Titel: Bohrprofile nach DIN 4023 und Drucksondierdiagramme nach DIN 4094

Anlage: 2.7

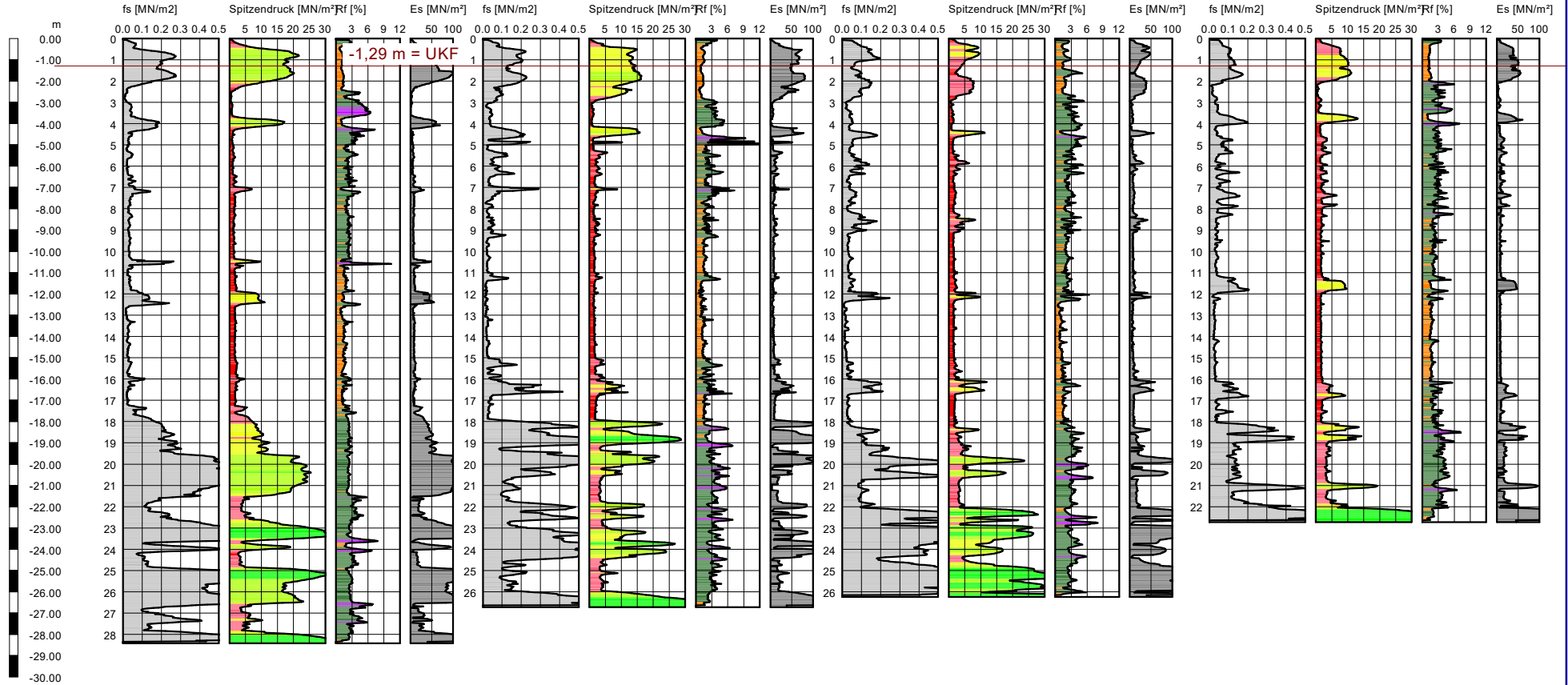
**WEA 4**

**CPT4-N**  
0.00 m

**CPT4-O**  
0.00 m

**CPT 4-S**  
0.00 m

**CPT 4-W**  
0.00 m



**Legende Spitzendruck**

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

**Legende Reibungsverhältnis Rf**

- Kies
- Sand
- Schluff
- Ton
- Torf

**LEGENDE:**

CPT: Drucksondierung  
UKF: Unterkante Fundament

Projekt: 840-20-1  
WEA 4, WP Gyhum-Hesedorf

Auftraggeber: Windwärts Energie GmbH  
Hanomaghof 1  
30449 Hannover

Bearbeiter: Dipl.-Geol. P. Müller

Maßstab: Höhe: 1 : 200



**Ingenieurgeologie**  
**Dr. Lübbe**

Titel: Drucksondierdiagramme nach DIN 4094

Anlage: 2.8

# WEA 5

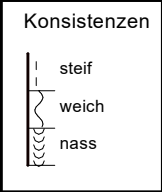
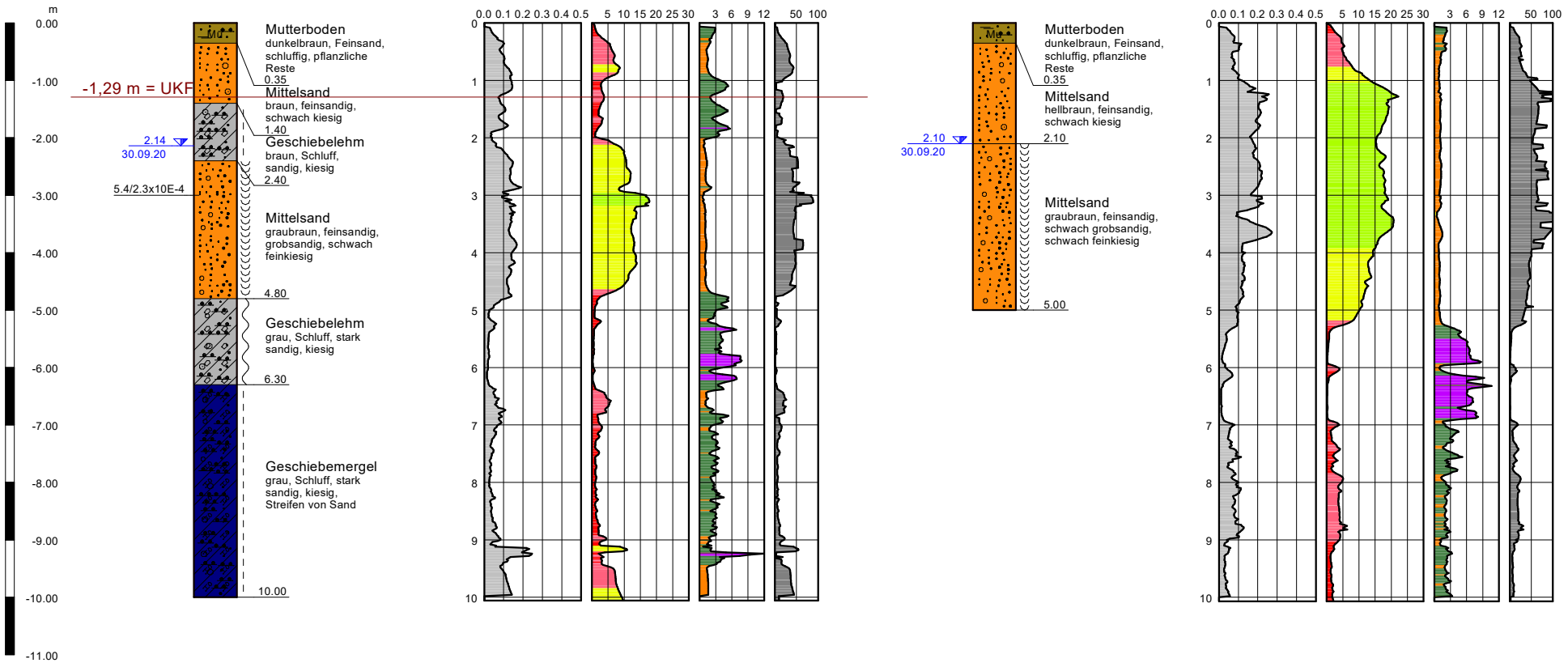
# KAF

RKS 5  
0.00 m

CPT5-MP  
0.00 m

RKS 5K  
0.00 m

CPT5-K  
0.00 m



**Legende Spitzendruck**

- sehr locker (red)
- locker (pink)
- mitteldicht (yellow)
- dicht (green)
- sehr dicht (dark green)

**Legende Reibungsverhältnis Rf**

- Kies (orange)
- Sand (yellow)
- Schluff (green)
- Ton (purple)
- Torf (brown)

**LEGENDE:**

RKS: Rammkernsondierung  
 CPT: Drucksondierung  
 UKF: Unterkante Fundament

5.4/2.3x10E-4 Proben-Nr./kf-Wert in m/s

2.14 30.09.20 Grundwasser m u. GOK Datum

Projekt: 840-20-1  
WEA 5, WP Gyhum-Hesedorf

Auftraggeber: Windwärts Energie GmbH  
Hanomaghof 1  
30449 Hannover

Bearbeiter: Dipl.-Geol. P. Müller

Maßstab: Höhe: 1 : 75

**Ingenieurgeologie  
Dr. Lübbe**

Titel: Bohrprofile nach DIN 4023 und Drucksondierdiagramme nach DIN 4094

Anlage: 2.9

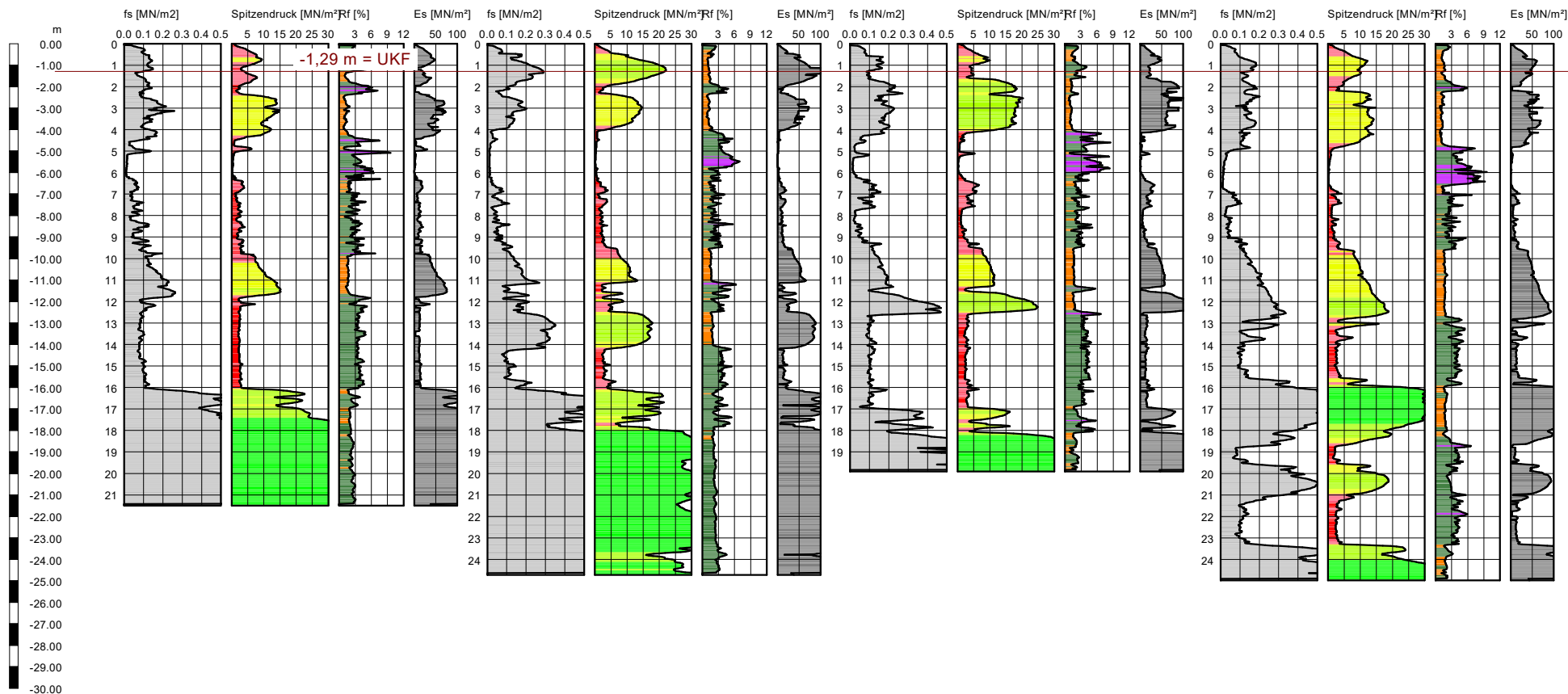
WEA 5

CPT5-N  
0.00 m

CPT5-O  
0.00 m

CPT 5-S  
0.00 m

CPT5-W  
0.00 m



**Legende Spitzendruck**

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

**Legende Reibungsverhältnis Rf**

- Kies
- Sand
- Schluff
- Ton
- Torf

**LEGENDE:**

CPT: Drucksondierung  
UKF: Unterkante Fundament

Projekt: 840-20-1  
WEA 5, WP Gyhum-Hesedorf

Auftraggeber: Windwärts Energie GmbH  
Hanomaghof 1  
30449 Hannover

Bearbeiter: Dipl.-Geol. P. Müller

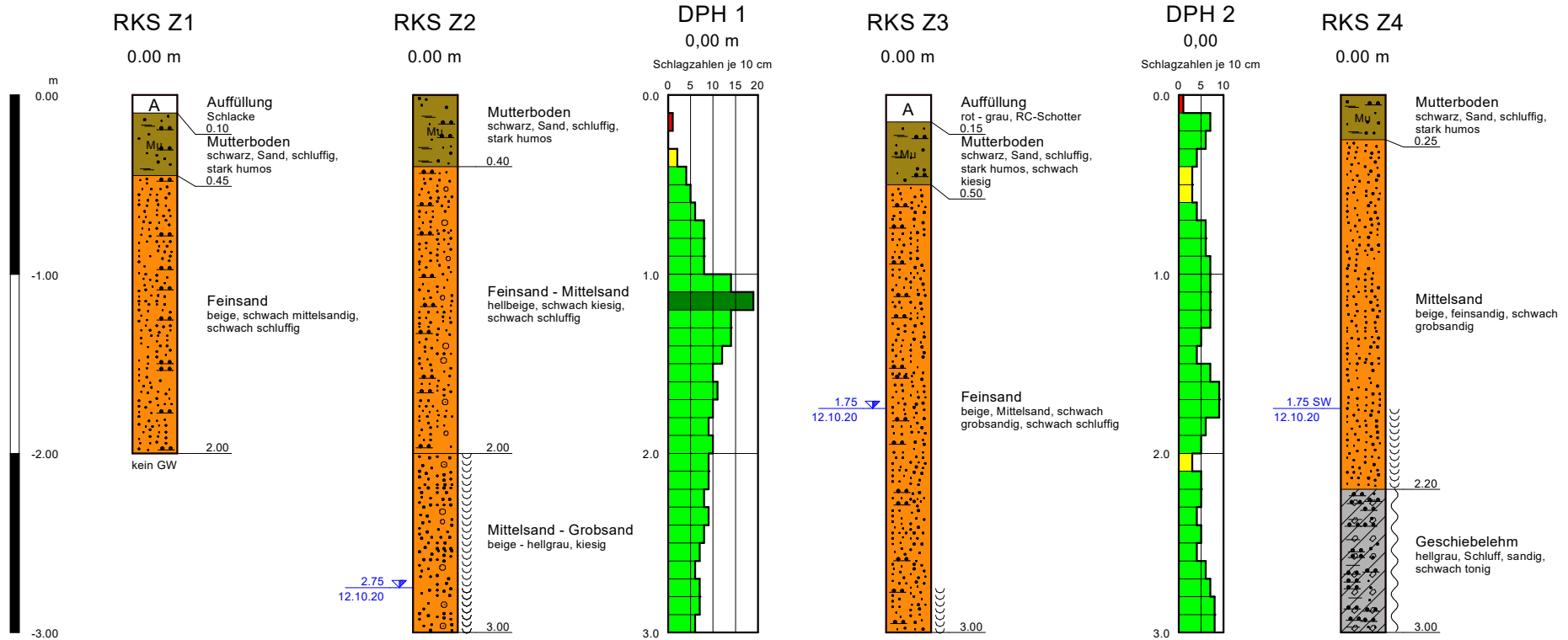
Maßstab: Höhe: 1 : 200

 **Ingenieurgeologie  
Dr. Lübbe**

Titel: Drucksondierdiagramme nach DIN 4094

Anlage: 2.10

# Zuwegung



**Konsistenzen**

	weich
	nass

**Legende DPH**

	sehr locker
	locker
	mitteldicht
	dicht
	sehr dicht

**LEGENDE:**

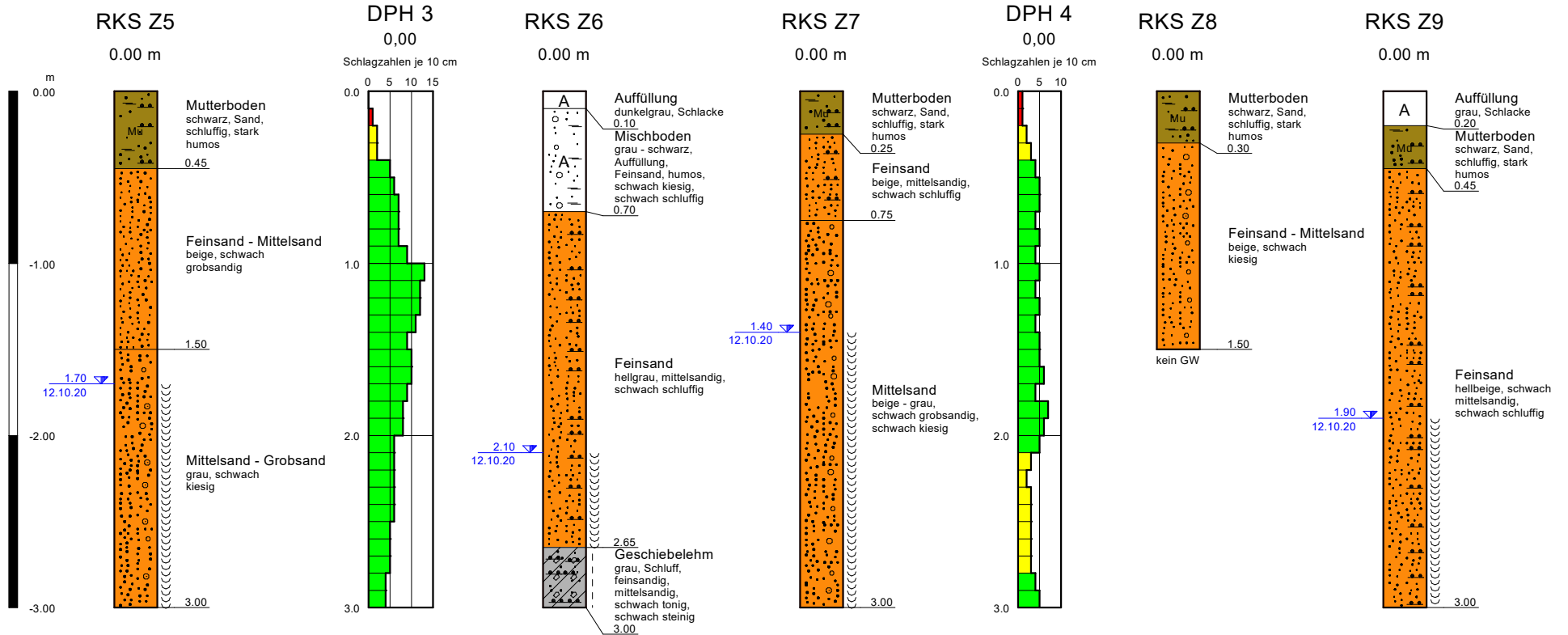
RKS: Rammkernsondierung  
DPH: Schwere Rammsondierung  
GW: Grundwasser

1.75 SW 12.10.20 Grundwasser m u. GOK Datum

Projekt:	840-20-1 WP Gyhum-Hesedorf Zuwegung
Auftraggeber:	Windwärts Energie GmbH Hanomaghof 1 30449 Hannover
Bearbeiter:	Dipl.-Geol. P. Müller
Maßstab:	Höhe: 1 : 25

Titel: Bohrprofile nach DIN 4023 und Ramm- diagramme nach DIN EN ISO 22476-2	
Anlage: 2.11	

# Zuwegung



**Konsistenzen**

—	steif
⋯	nass

**Legende DPH**

■ (rot)	sehr locker
■ (gelb)	locker
■ (hellgrün)	mitteldicht
■ (dunkelgrün)	dicht
■ (schwarz)	sehr dicht

**LEGENDE:**

RKS: Rammkernsondierung  
DPH: Schwere Rammsondierung  
GW: Grundwasser

1.70 m (12.10.20) Grundwasser m u. GOK Datum

Projekt: 840-20-1  
WP Gyhum-Hesedorf  
Zuwegung

Auftraggeber: Windwärts Energie GmbH  
Hanomaghof 1  
30449 Hannover

Bearbeiter: Dipl.-Geol. P. Müller

Maßstab: Höhe: 1 : 25

 **Ingenieurgeologie Dr. Lübbe**

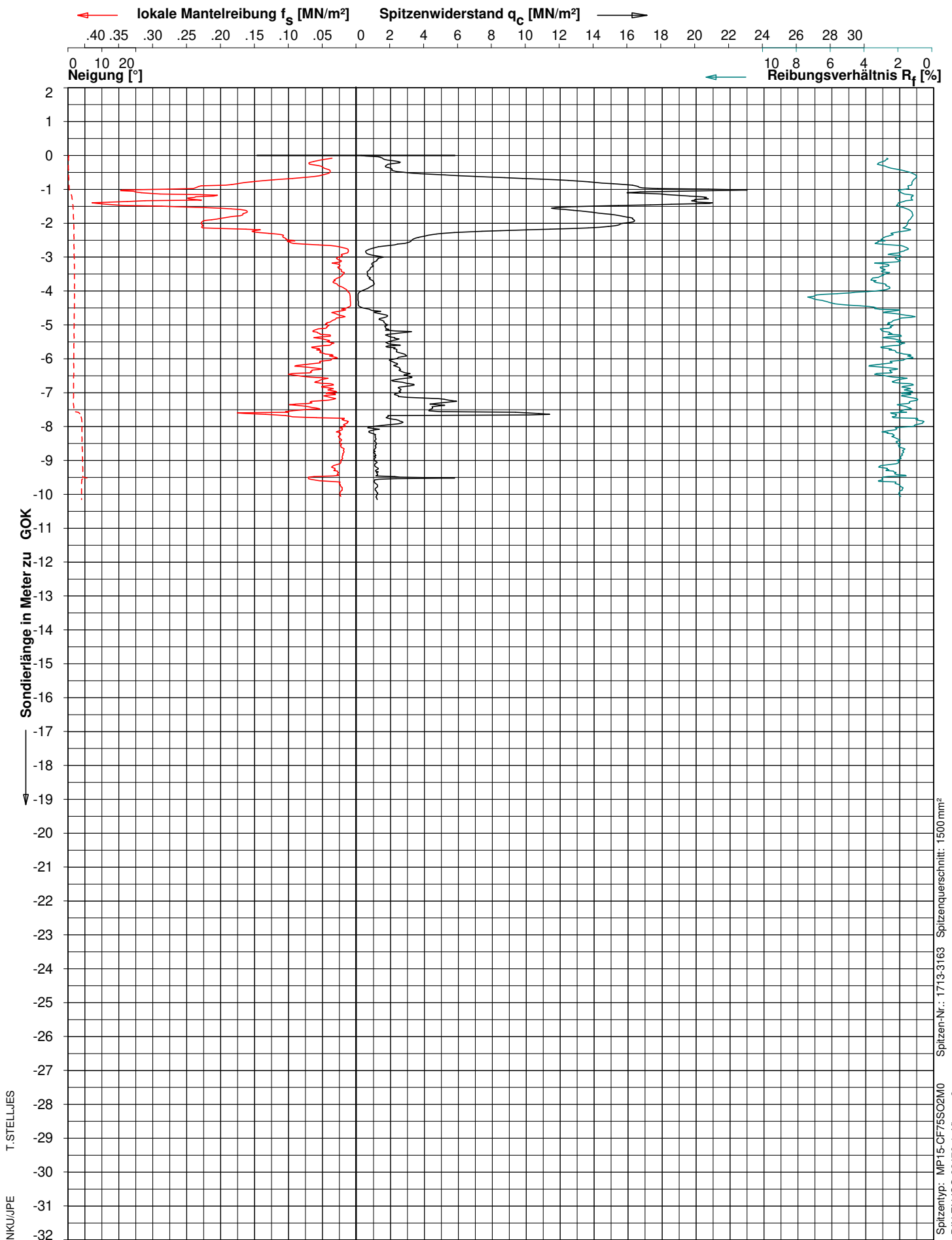
Titel: Bohrprofile nach DIN 4023 und Ramm-diagramme nach DIN EN ISO 22476-2

Anlage: 2.12



**ANLAGE 3**  
Drucksondierprotokolle





ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke  
WP Gyhum-Hesedorf

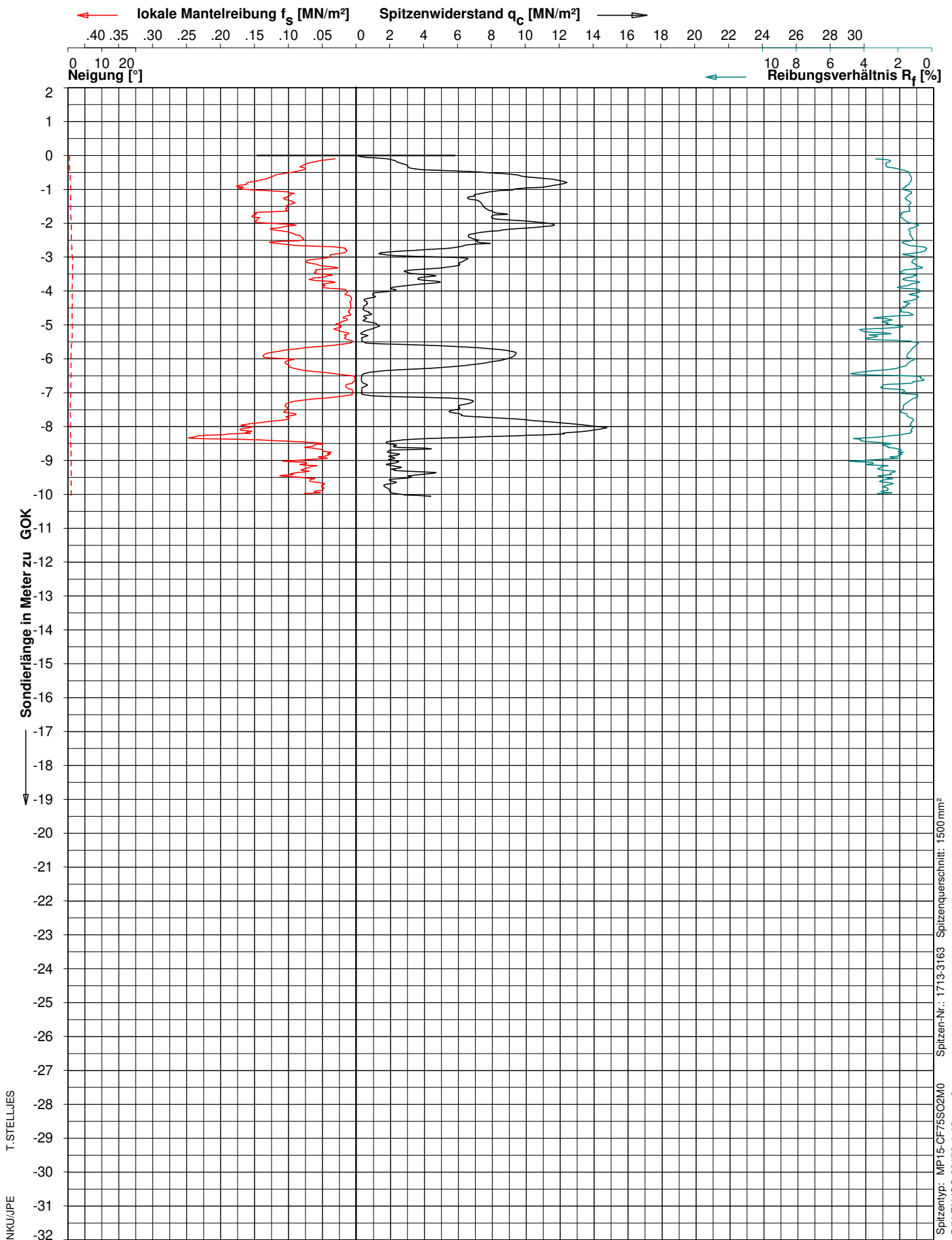


**Fugro Germany Land GmbH**  
 Land Site Characterisation CPT  
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal  
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 29-Sep-2020  
 Sondierende : Solltiefe  
 Gelände : 0.00 m zu GOK  
 Endteufe : -10.17 m zu GOK

Projekt: 620-20-0474-L  
 Sondierung : WEA 01-K

DIN ISO 9001



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübbe  
WP Gyhum-Hesedorf

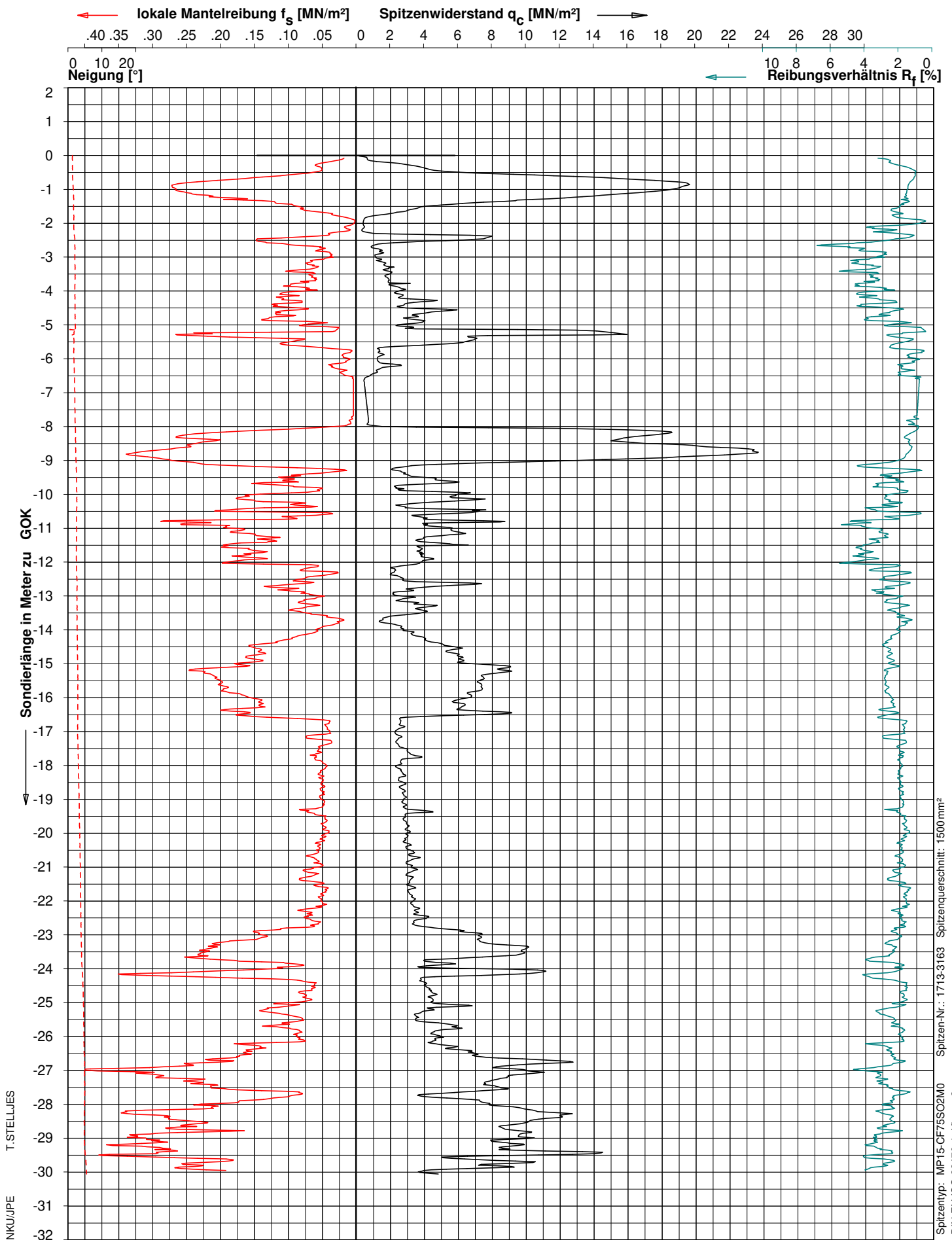


**Fugro Germany Land GmbH**  
 Land Site Characterisation CPT  
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal  
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 29-Sep-2020  
 Sondierende : Solltiefe  
 Gelände : 0.00 m zu GOK  
 Endteufe : -10.07 m zu GOK

Projekt: 620-20-0474-L  
 Sondierung : WEA 01-MP

DIN ISO 9001



Spitzentyp: MP15-CF75S02M0  
 Spitzen-Nr.: 1713-3163  
 Spitzenquerschnitt: 1500 mm<sup>2</sup>  
 DIN EN ISO 22476-1, Klasse 2

ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

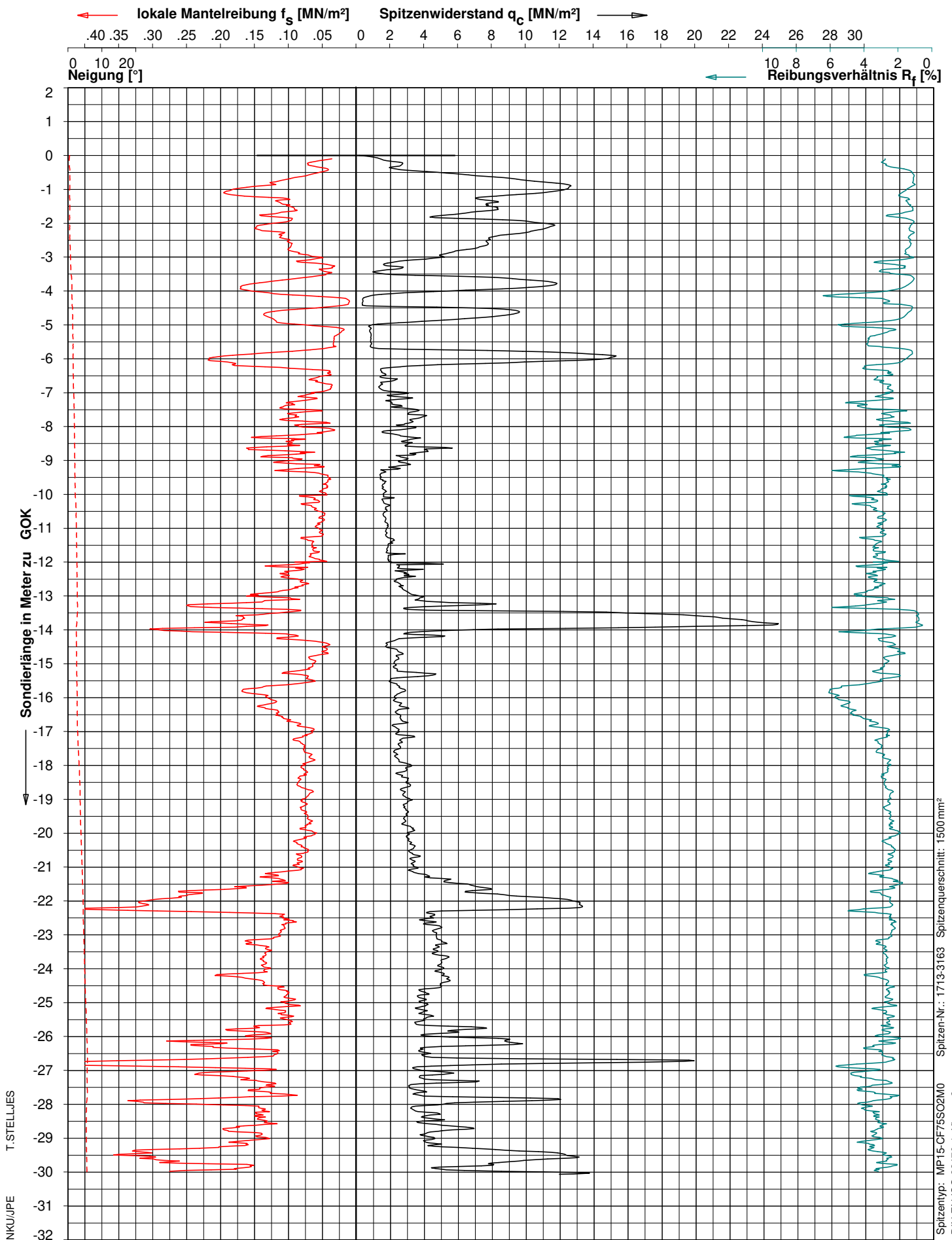
Ingenieurgeologie Dr. Lübke  
 WP Gyhum-Hesedorf

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

Datum : 29-Sep-2020  
 Sondierende : Solltiefe  
 Gelände : 0.00 m zu GOK  
 Endteufe : -30.06 m zu GOK

Projekt: 620-20-0474-L  
 Sondierung : WEA 01-N

DIN ISO 9001



Spitzentyp: MP15-CF/5S02M0  
 Spitzen-Nr.: 1713-3163  
 Spitzenquerschnitt: 1500 mm<sup>2</sup>  
 DIN EN ISO 22476-1, Klasse 2

ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke  
 WP Gyhum-Hesedorf

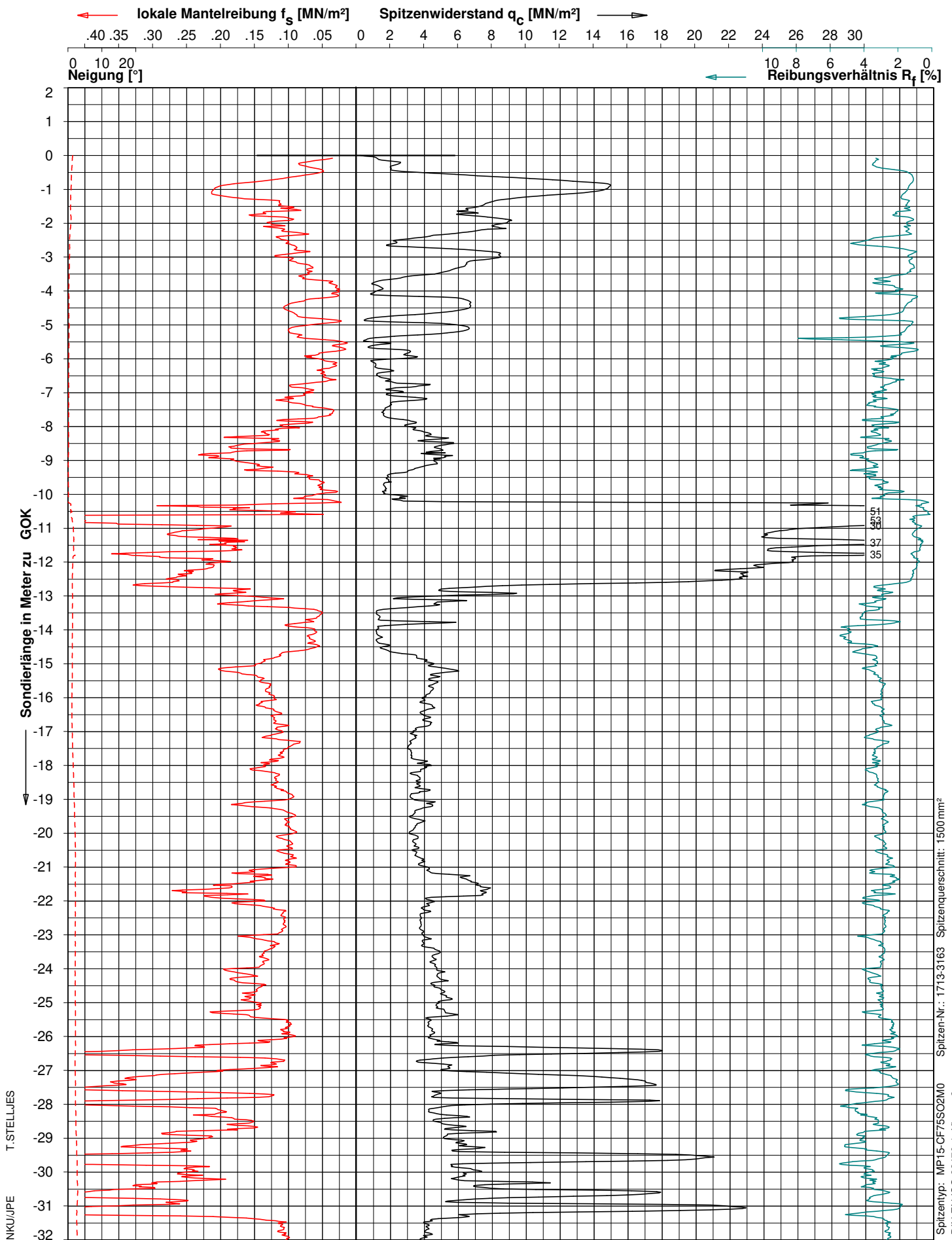


**Fugro Germany Land GmbH**  
 Land Site Characterisation CPT  
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal  
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 29-Sep-2020  
 Sondierende : Solltiefe  
 Gelände : 0.00 m zu GOK  
 Endteufe : -30.07 m zu GOK

Projekt: 620-20-0474-L  
 Sondierung : WEA 01-O

DIN ISO 9001



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke  
 WP Gyhum-Hesedorf

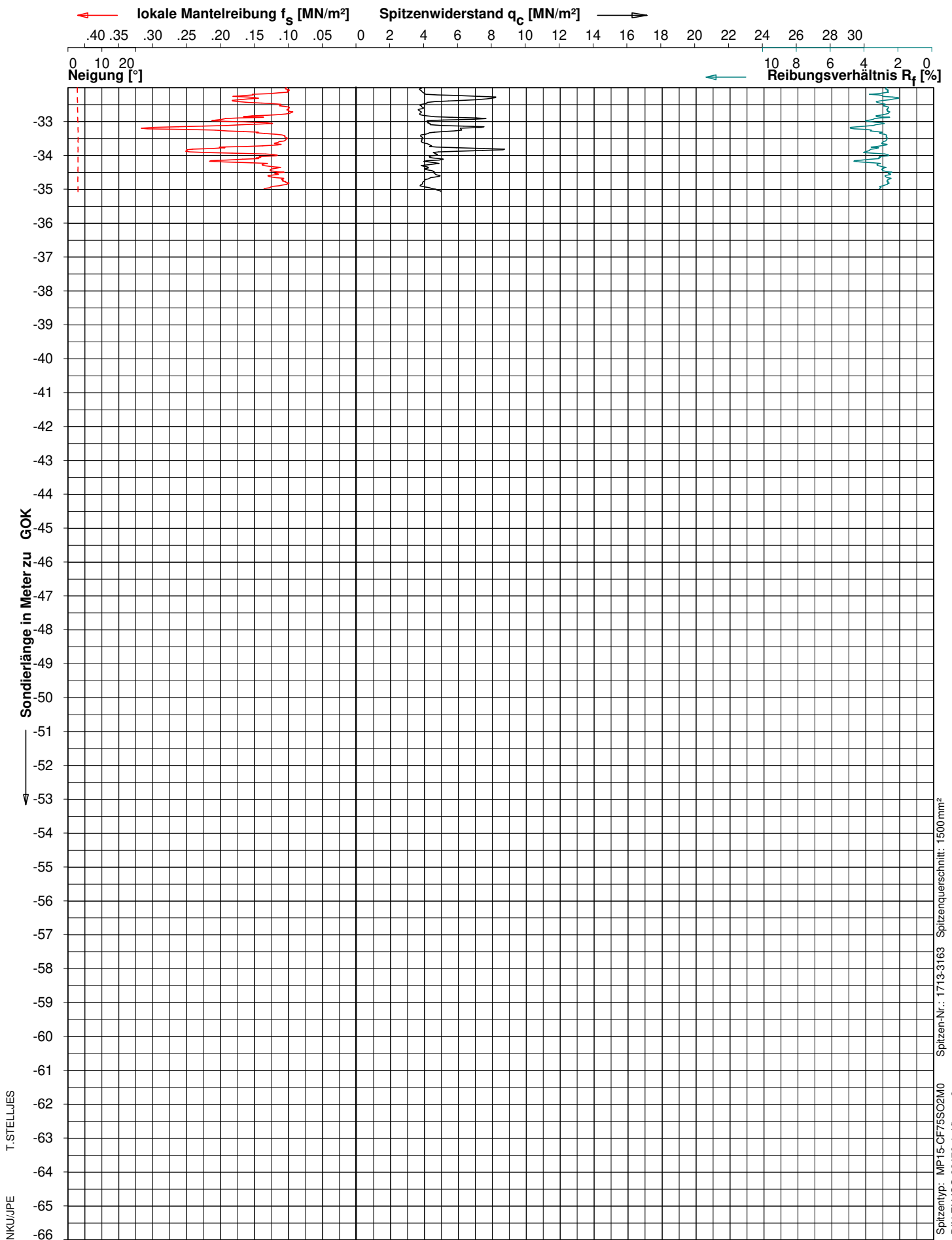


**Fugro Germany Land GmbH**  
 Land Site Characterisation CPT  
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal  
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 29-Sep-2020  
 Sondierende : Solltiefe  
 Gelände : 0.00 m zu GOK  
 Endteufe : -35.08 m zu GOK

Projekt: 620-20-0474-L  
 Sondierung : WEA 01-S

DIN ISO 9001



Spitzentyp: MP15-CF75S02M0  
 Spitzen-Nr.: 1713-3163      Spitzenquerschnitt: 1500 mm<sup>2</sup>  
 DIN EN ISO 22476-1, Klasse 2

ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübbe  
 WP Gyhum-Hesedorf

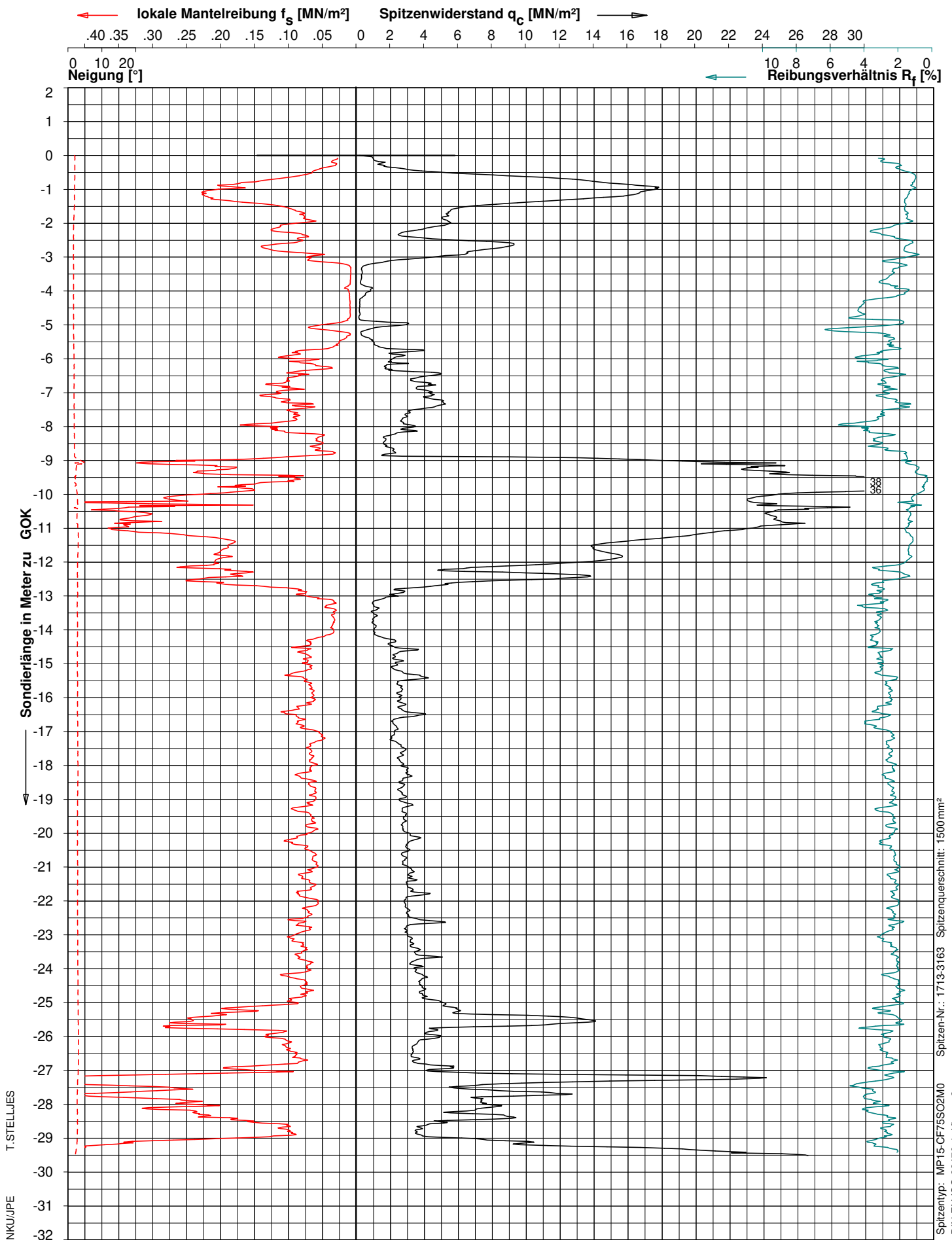


**Fugro Germany Land GmbH**  
 Land Site Characterisation CPT  
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal  
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 29-Sep-2020  
 Sondierende : Solltiefe  
 Gelände : 0.00 m zu GOK  
 Endteufe : -35.08 m zu GOK

Projekt: 620-20-0474-L  
 Sondierung : WEA 01-S

DIN ISO 9001



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke  
WP Gyhum-Hesedorf

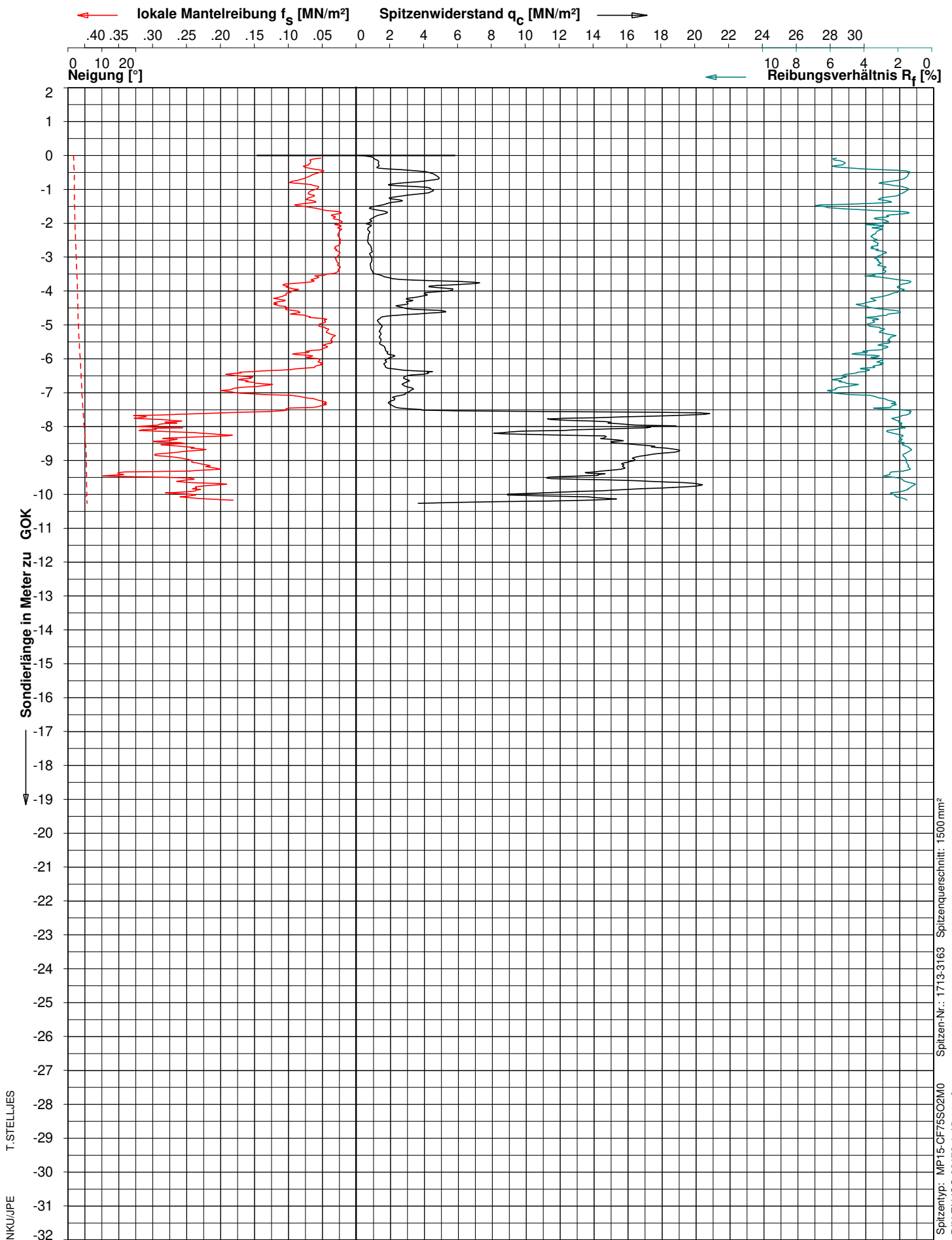


**Fugro Germany Land GmbH**  
 Land Site Characterisation CPT  
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal  
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 29-Sep-2020  
 Sondierende : Auslastung  
 Gelände : 0.00 m zu GOK  
 Endteufe : -29.53 m zu GOK

Projekt: 620-20-0474-L  
 Sondierung : WEA 01-W

DIN ISO 9001



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke  
WP Gyhum-Hesedorf



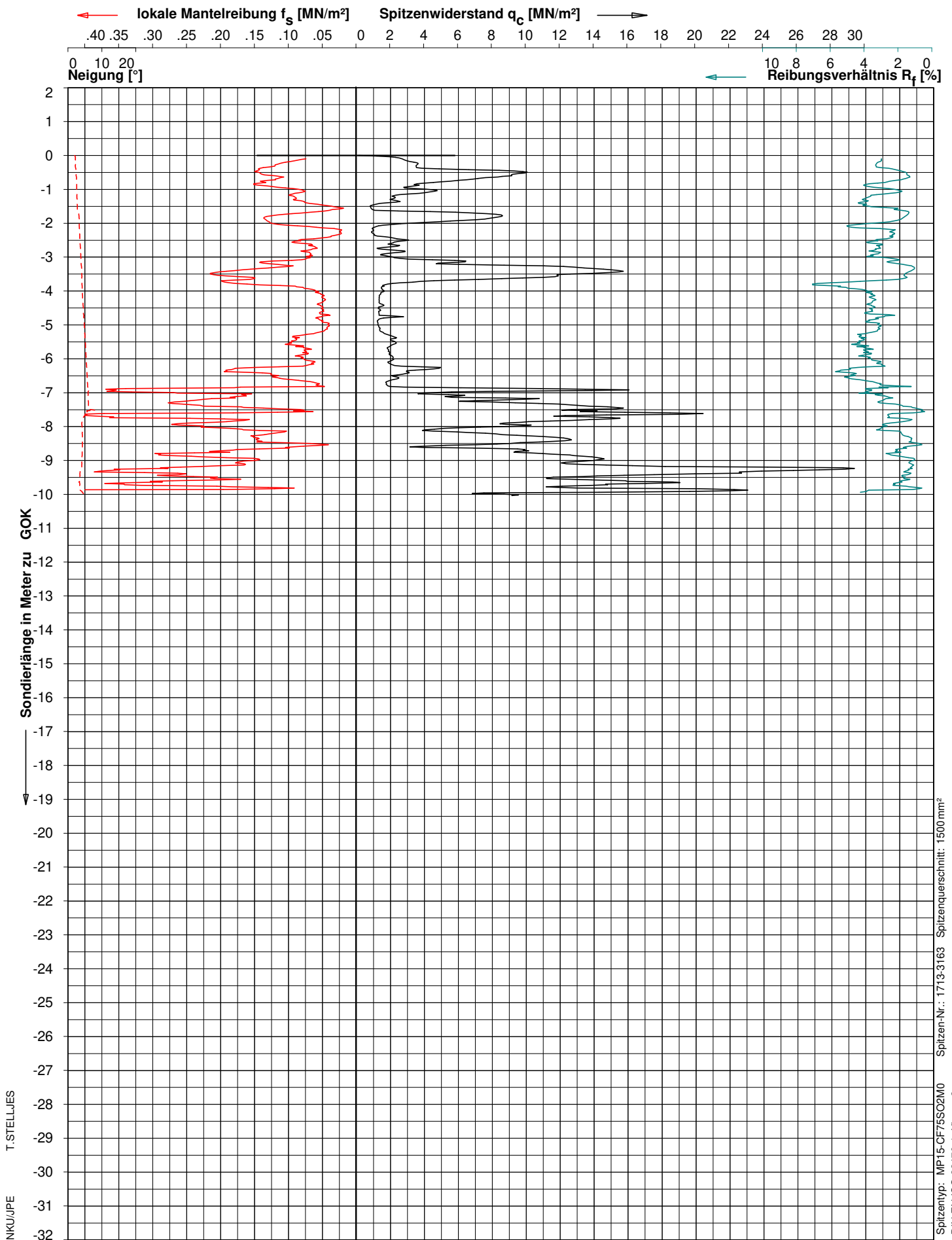
**Fugro Germany Land GmbH**  
 Land Site Characterisation CPT  
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal  
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 30-Sep-2020  
 Sondierende : Solltiefe  
 Gelände : 0.00 m zu GOK  
 Endteufe : -10.27 m zu GOK

Projekt: 620-20-0474-L  
 Sondierung : WEA 02-K

DIN ISO 9001





ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübbe  
WP Gyhum-Hesedorf

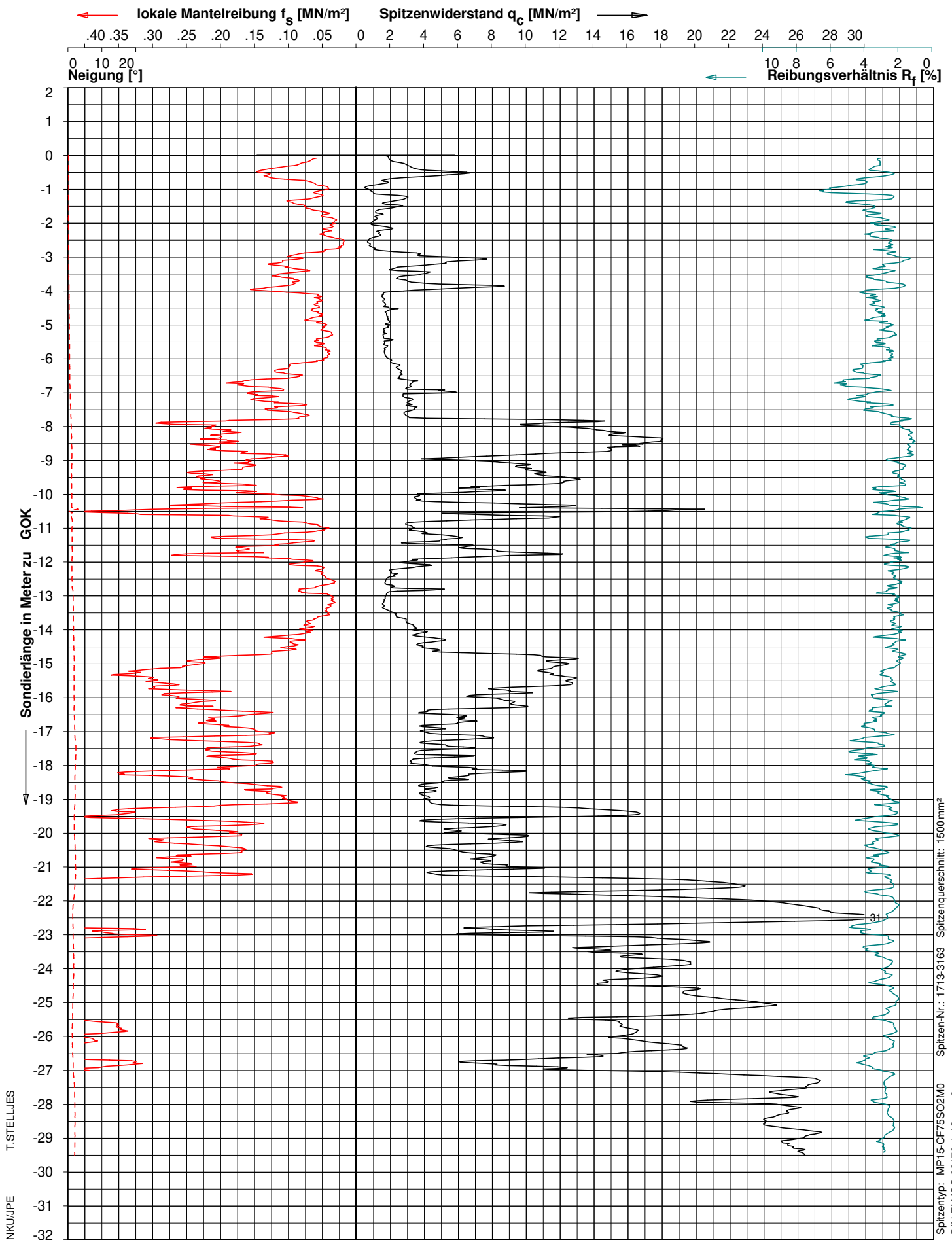


**Fugro Germany Land GmbH**  
 Land Site Characterisation CPT  
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal  
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 30-Sep-2020  
 Sondierende : Solltiefe  
 Gelände : 0.00 m zu GOK  
 Endteufe : -10.04 m zu GOK

Projekt: 620-20-0474-L  
 Sondierung : WEA 02-MP

DIN ISO 9001



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke  
 WP Gyhum-Hesedorf

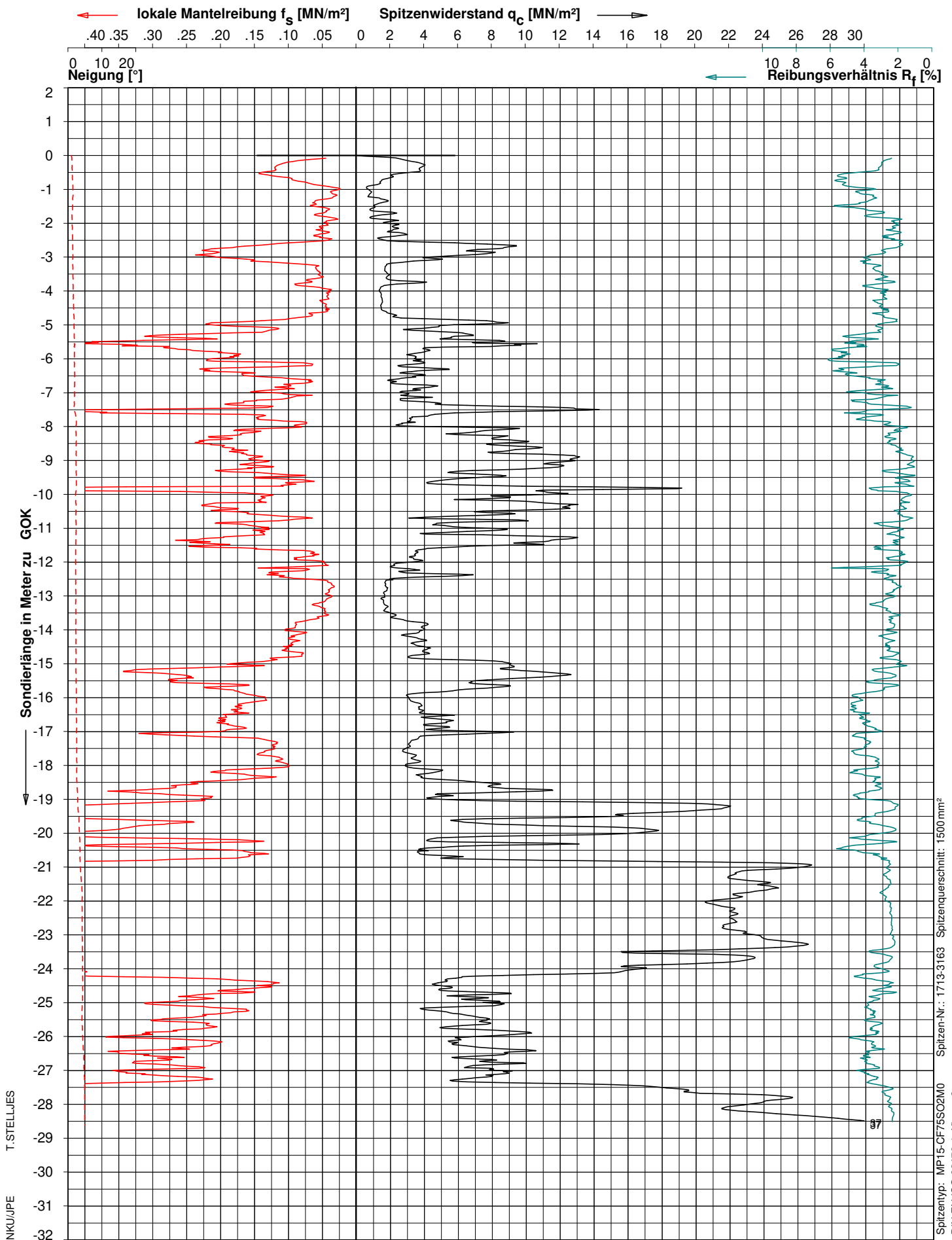


**Fugro Germany Land GmbH**  
 Land Site Characterisation CPT  
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal  
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 30-Sep-2020  
 Sondierende : Auslastung  
 Gelände : 0.00 m zu GOK  
 Endteufe : -29.52 m zu GOK

Projekt: 620-20-0474-L  
 Sondierung : WEA 02-N

DIN ISO 9001



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke  
WP Gyhum-Hesedorf

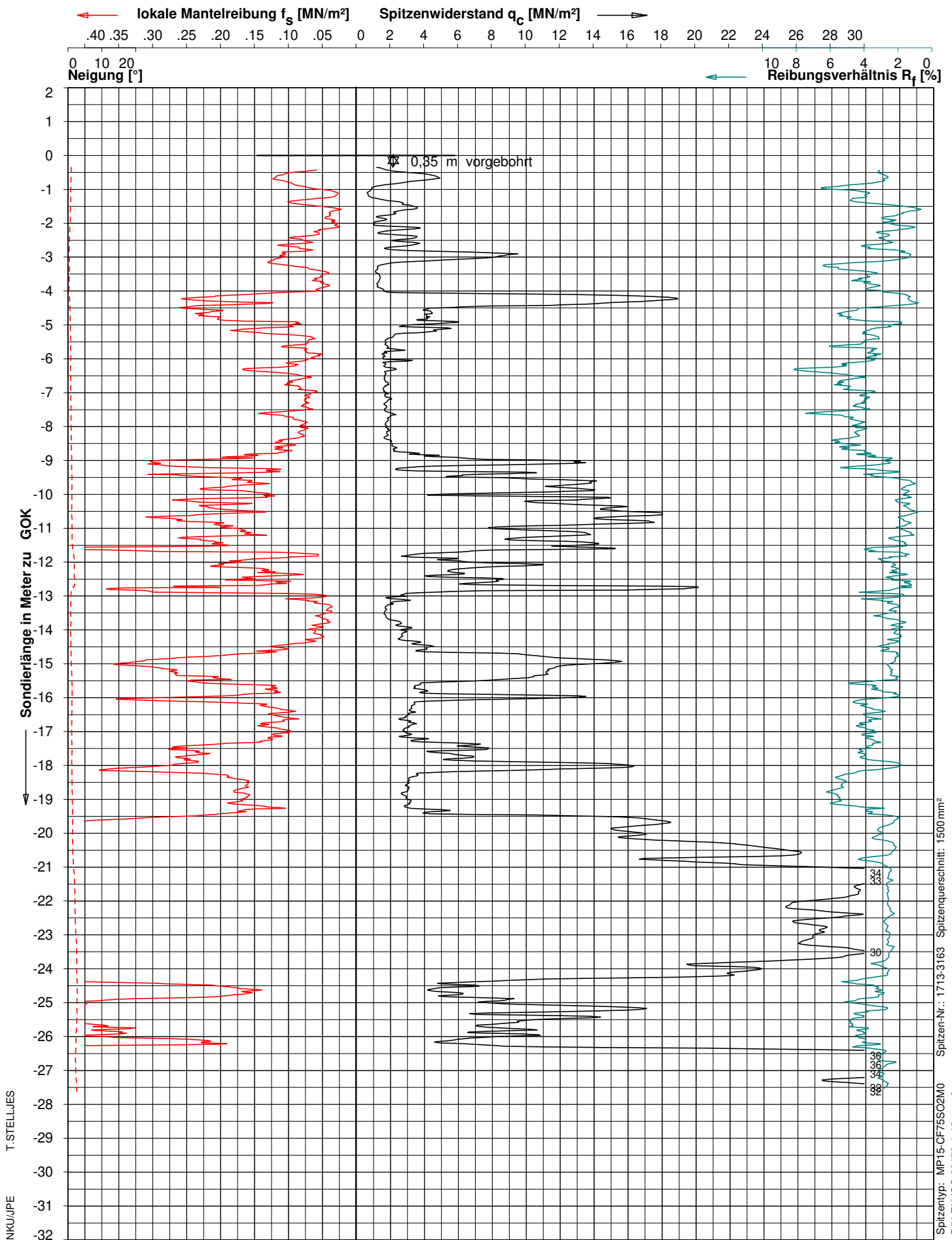


**Fugro Germany Land GmbH**  
 Land Site Characterisation CPT  
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal  
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 30-Sep-2020  
 Sondierende : Auslastung  
 Gelände : 0.00 m zu GOK  
 Endteufe : -28.63 m zu GOK

Projekt: 620-20-0474-L  
 Sondierung : WEA 02-O

DIN ISO 9001



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke  
WP Gyhum-Hesedorf

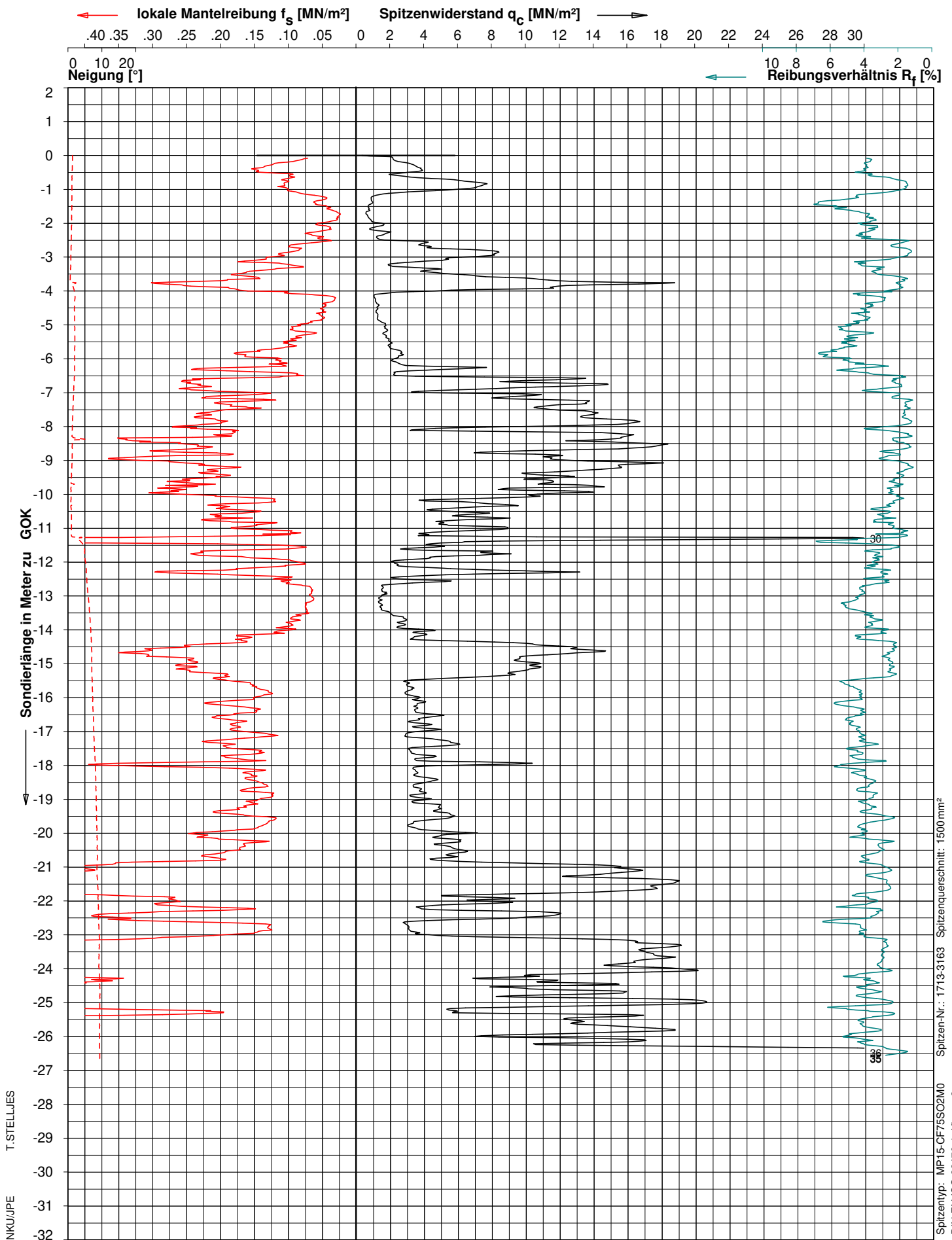


**Fugro Germany Land GmbH**  
 Land Site Characterisation CPT  
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal  
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 30-Sep-2020  
 Sondierende : Auslastung  
 Gelände : 0.00 m zu GOK  
 Endteufe : -27.63 m zu GOK

Projekt: 620-20-0474-L  
 Sondierung : WEA 02-S

DIN ISO 9001



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke  
WP Gyhum-Hesedorf

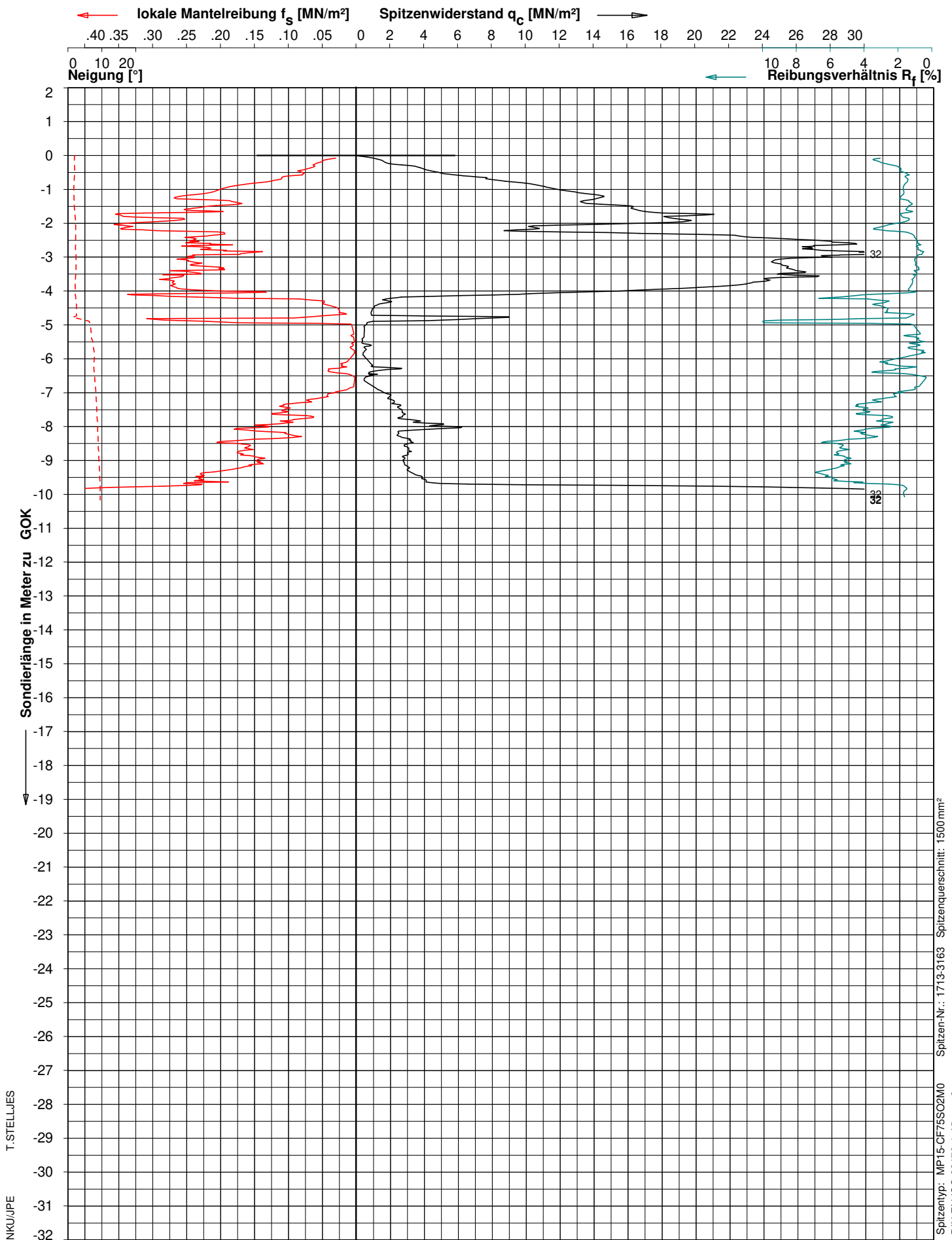


**Fugro Germany Land GmbH**  
 Land Site Characterisation CPT  
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal  
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 30-Sep-2020  
 Sondierende : Auslastung  
 Gelände : 0.00 m zu GOK  
 Endteufe : -26.65 m zu GOK

Projekt: 620-20-0474-L  
 Sondierung : WEA 02-W

DIN ISO 9001



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke  
WP Gyhum-Hesedorf



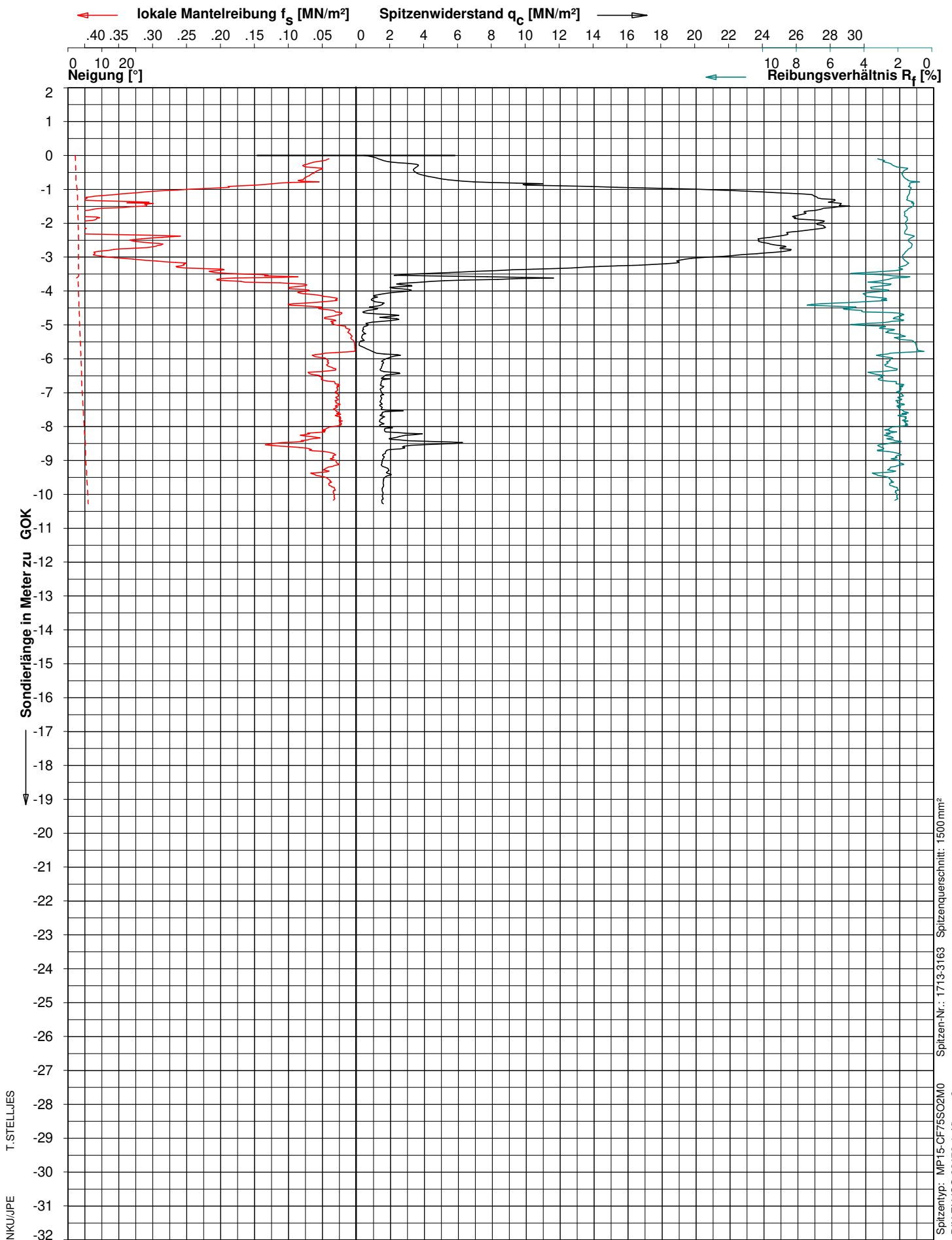
**Fugro Germany Land GmbH**  
 Land Site Characterisation CPT  
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal  
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 30-Sep-2020  
 Sondierende : Solltiefe  
 Gelände : 0.00 m zu GOK  
 Endteufe : -10.17 m zu GOK

Projekt: 620-20-0474-L  
 Sondierung : WEA 03-K

DIN ISO 9001





Spitzentyp: MP15-CF75S02M0  
 Spitzen-Nr.: 1713-3163  
 Spitzenquerschnitt: 1500 mm<sup>2</sup>  
 DIN EN ISO 22476-1, Klasse 2

ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke  
 WP Gyhum-Hesedorf

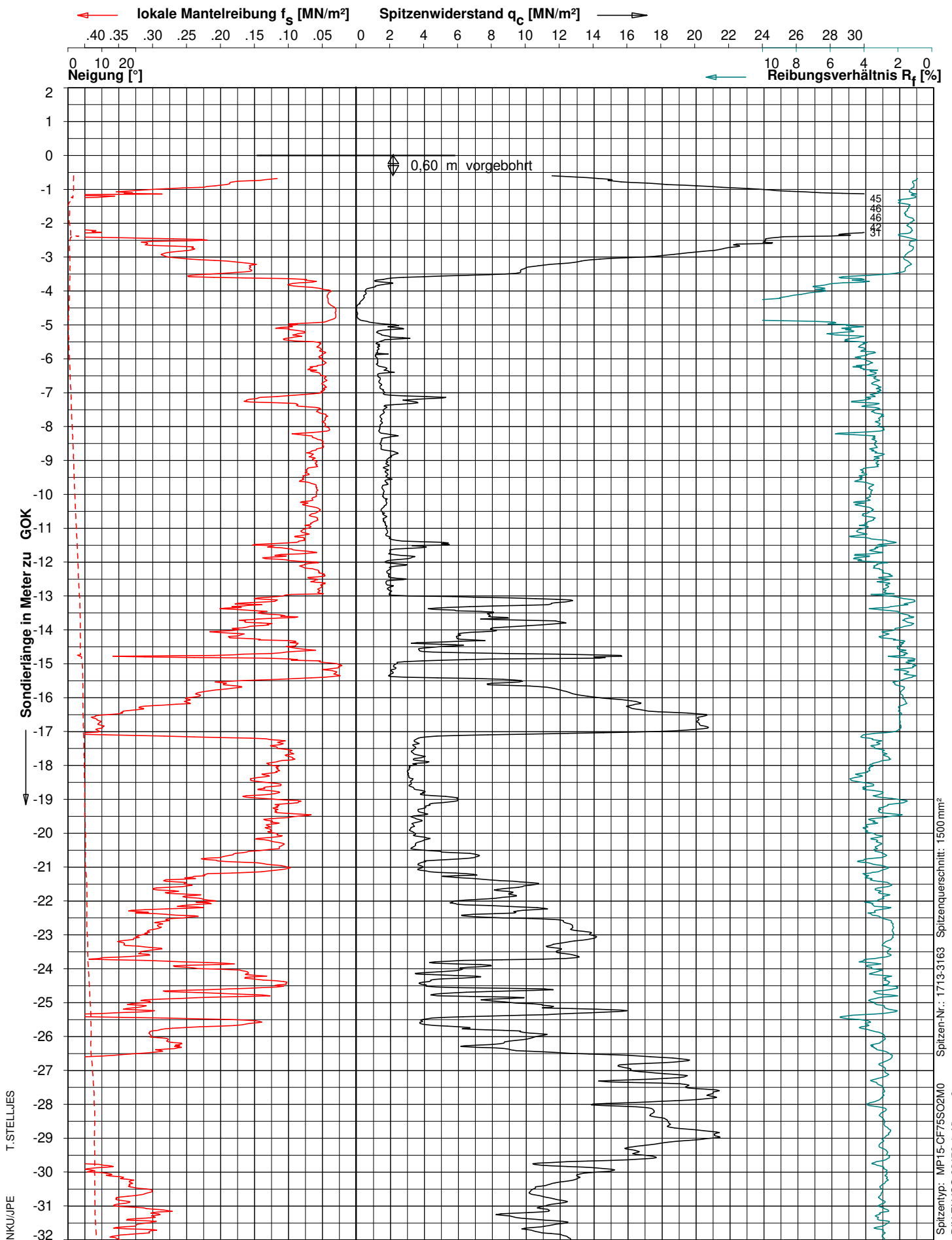


**Fugro Germany Land GmbH**  
 Land Site Characterisation CPT  
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal  
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 30-Sep-2020  
 Sondierende : Solltiefe  
 Gelände : 0.00 m zu GOK  
 Endteufe : -10.28 m zu GOK

Projekt: 620-20-0474-L  
 Sondierung : WEA 03-MP

DIN ISO 9001



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke  
WP Gyhum-Hesedorf



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

Datum : 30-Sep-2020  
Sondierende : Auslastung  
Gelände : 0.00 m zu GOK  
Endteufe : -32.68 m zu GOK

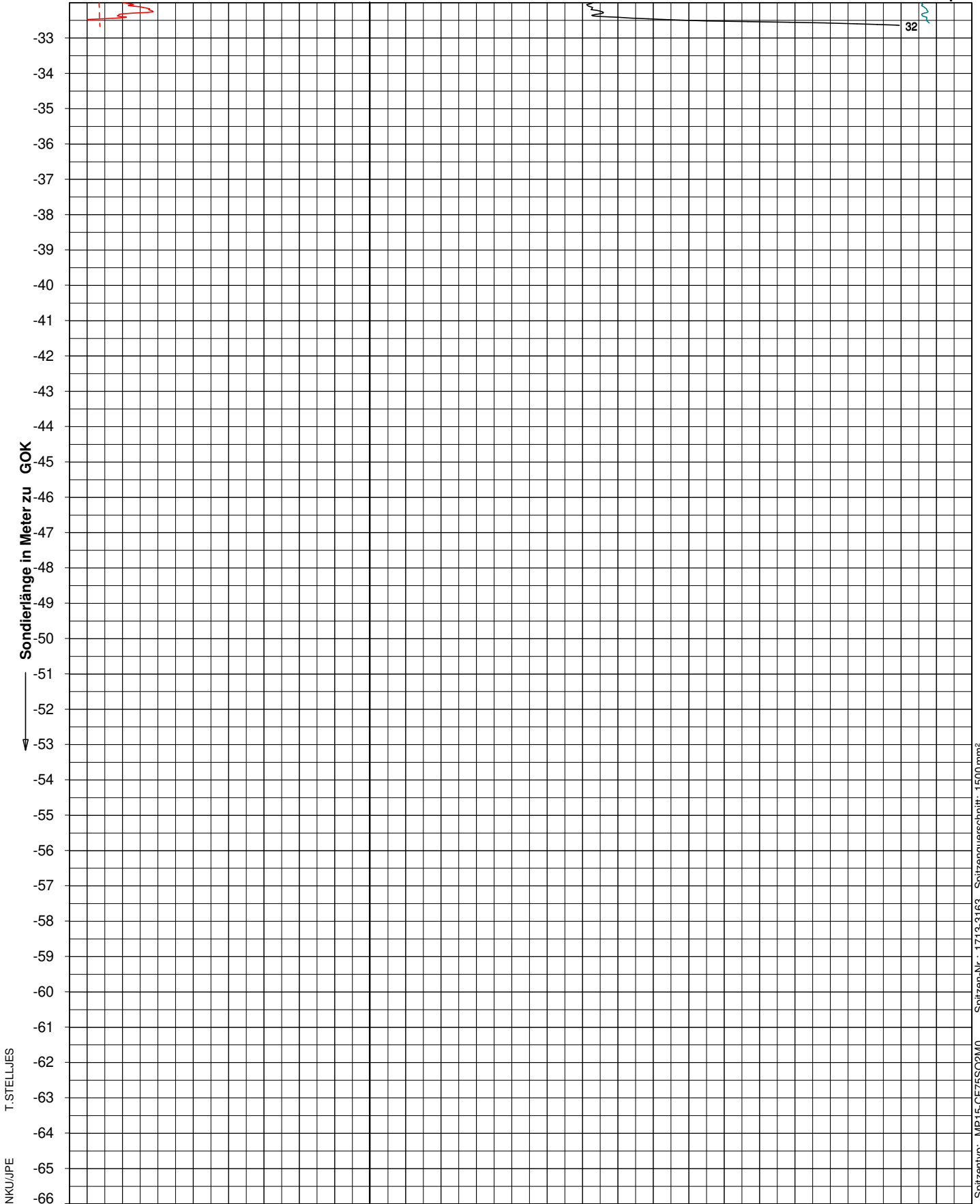
Projekt: 620-20-0474-L  
Sondierung : WEA 03-N

DIN ISO 9001

Spitzen-Nr.: 1713-3163 Spitzenquerschnitt: 1500 mm²  
Spitzen-Nr.: MP15-CF75S02M0  
DIN EN ISO 22476-1, Klasse 2

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

Neigung [°]      Reibungsverhältnis  $R_f$  [%]



NKU/JPE T-STELLJES

Spitzen-Nr.: 1713-3163 Spitzenquerschnitt: 1500 mm<sup>2</sup>  
Spitzentyp: MP15-CF/5S02M0  
DIN EN ISO 22476-1, Klasse 2

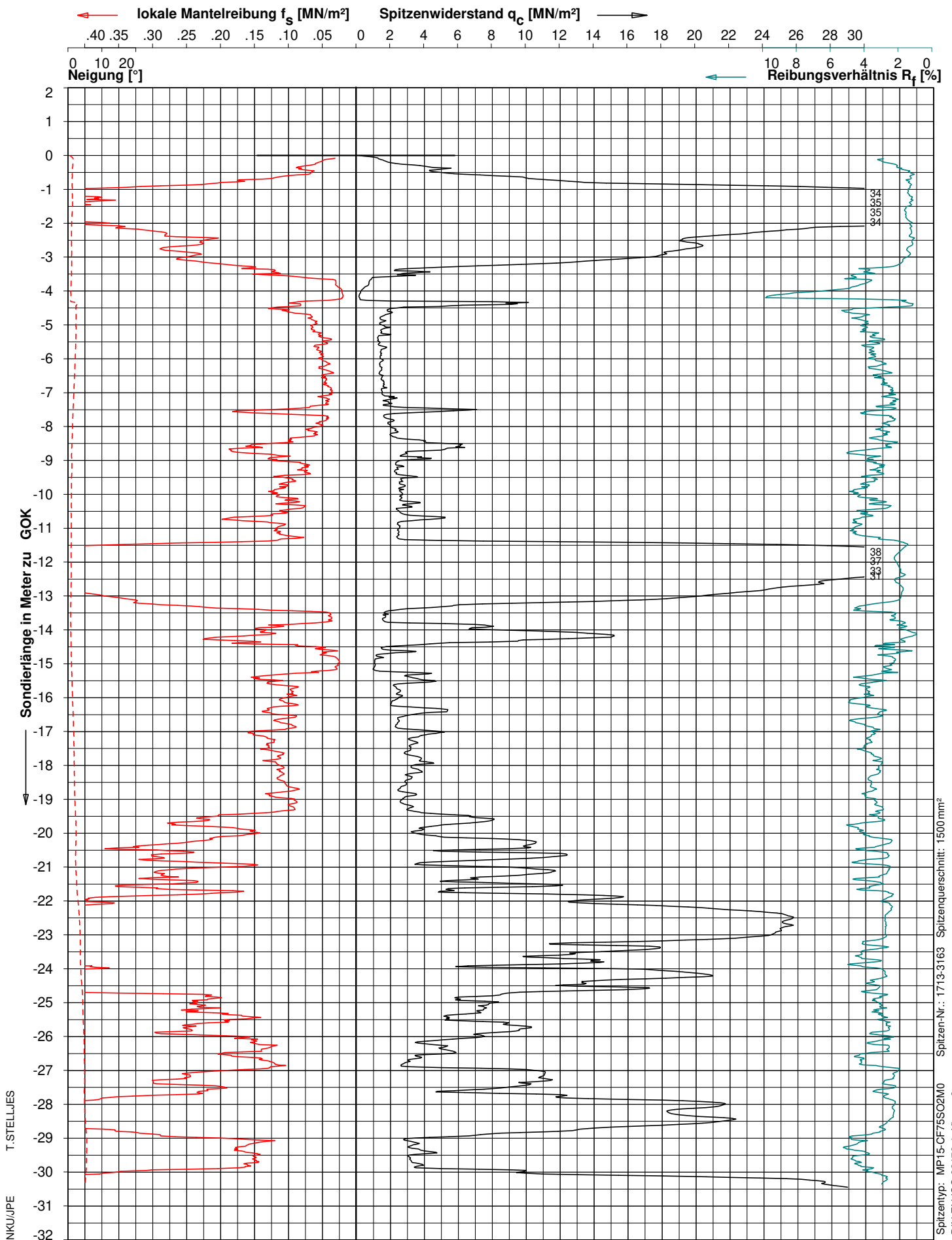
ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke  
WP Gyhum-Hesedorf

**FUGRO** Fugro Germany Land GmbH  
Land Site Characterisation CPT  
Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal  
Tel: (04298)93720 Fax: 937220  
DIN ISO 9001

Datum : 30-Sep-2020  
Sondierende : Auslastung  
Gelände : 0.00 m zu GOK  
Endteufe : -32.68 m zu GOK

Projekt: 620-20-0474-L  
Sondierung : WEA 03-N



Spitzentyp: MP15-CF/5S02M0  
 Spitzen-Nr.: 1713-3163  
 Spitzenquerschnitt: 1500 mm²  
 DIN EN ISO 22476-1, Klasse 2

ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke  
 WP Gyhum-Hesedorf



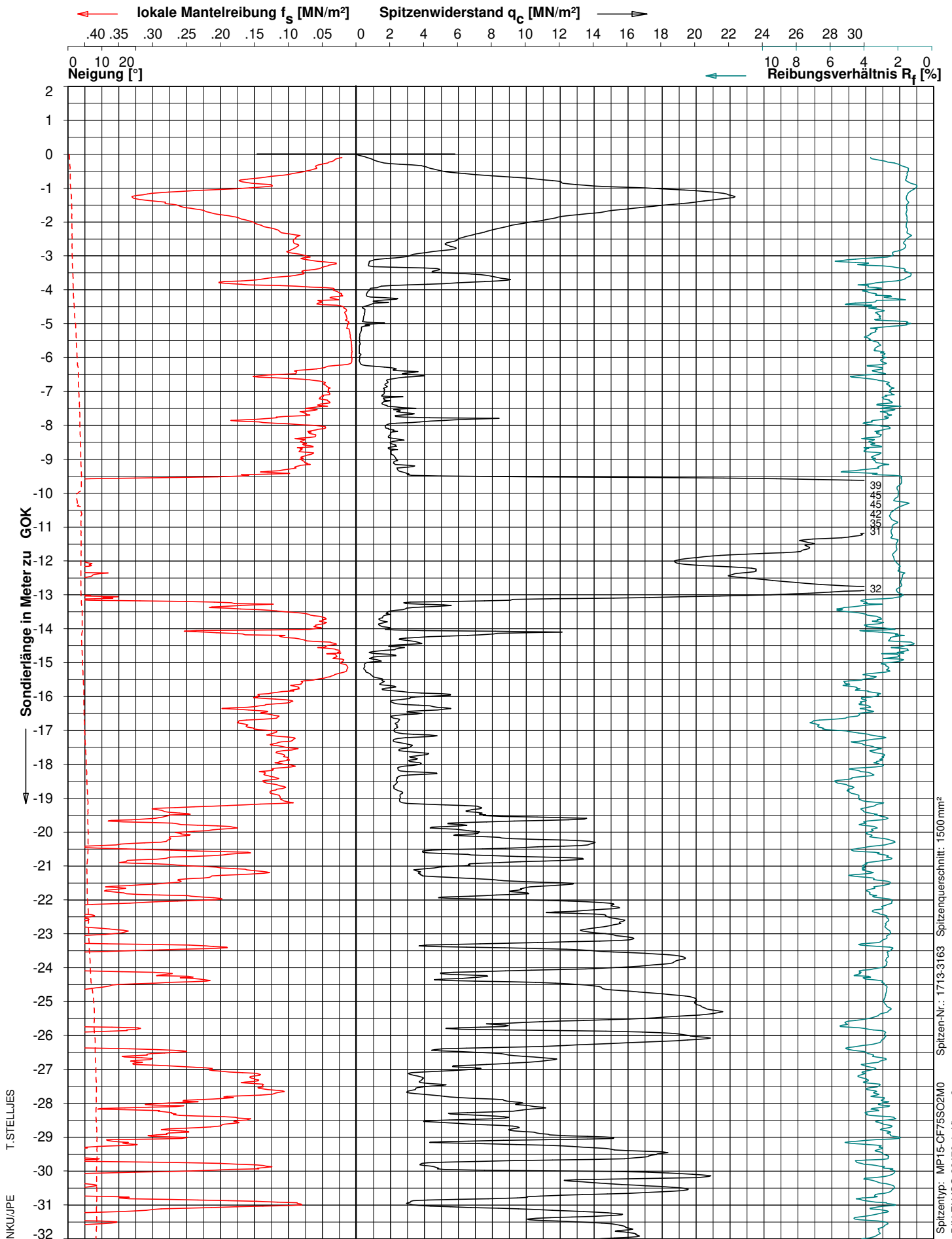
**Fugro Germany Land GmbH**  
 Land Site Characterisation CPT  
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal  
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 30-Sep-2020  
 Sondierende : Auslastung  
 Gelände : 0.00 m zu GOK  
 Endteufe : -30.45 m zu GOK

Projekt: 620-20-0474-L  
 Sondierung : WEA 03-O

DIN ISO 9001





ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke  
WP Gyhum-Hesedorf



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

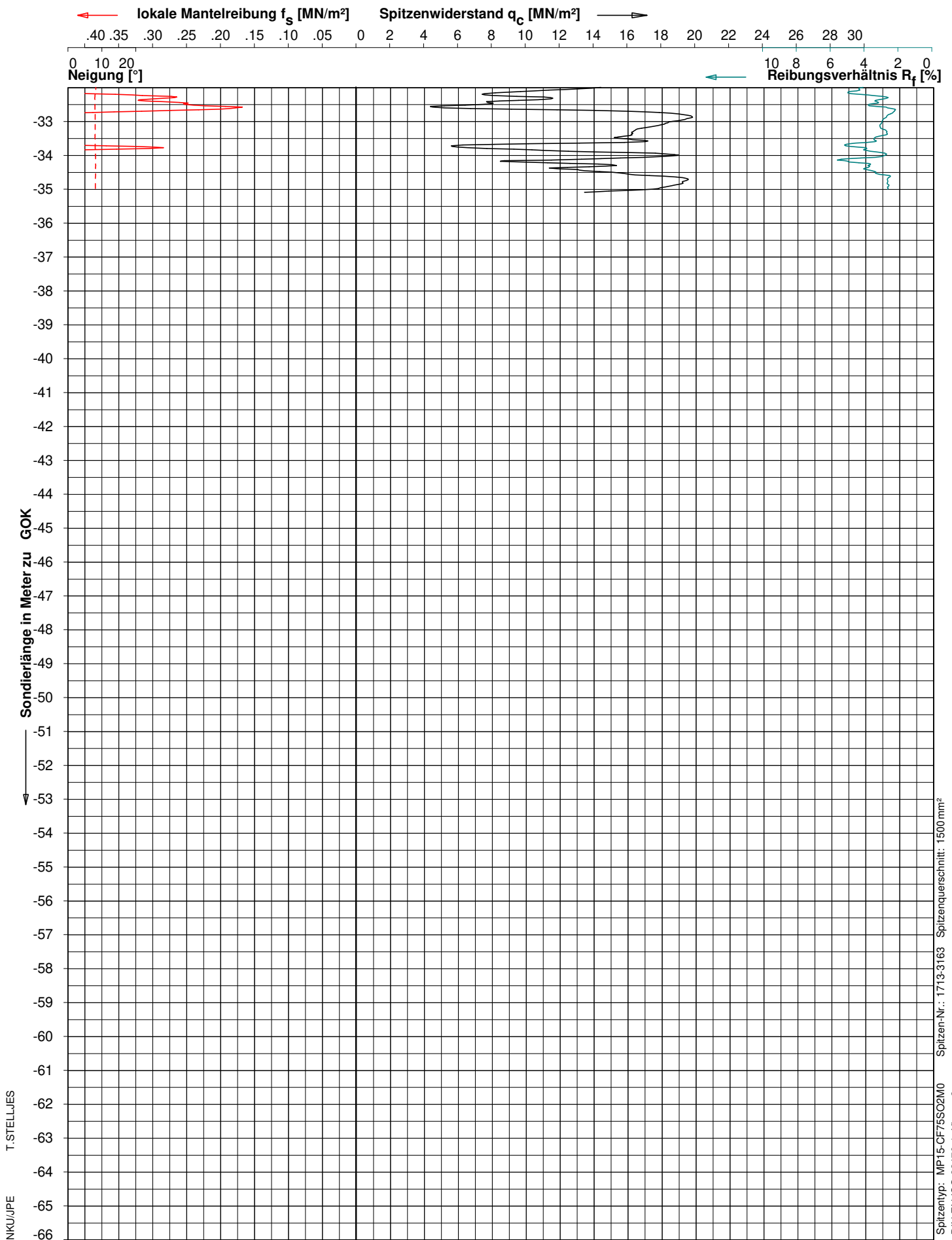
Datum : 30-Sep-2020  
 Sondierende : Solltiefe  
 Gelände : 0.00 m zu GOK  
 Endteufe : -35.09 m zu GOK

Projekt: 620-20-0474-L

Sondierung : WEA 03-W

DIN ISO 9001





ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübbe  
 WP Gyhum-Hesedorf

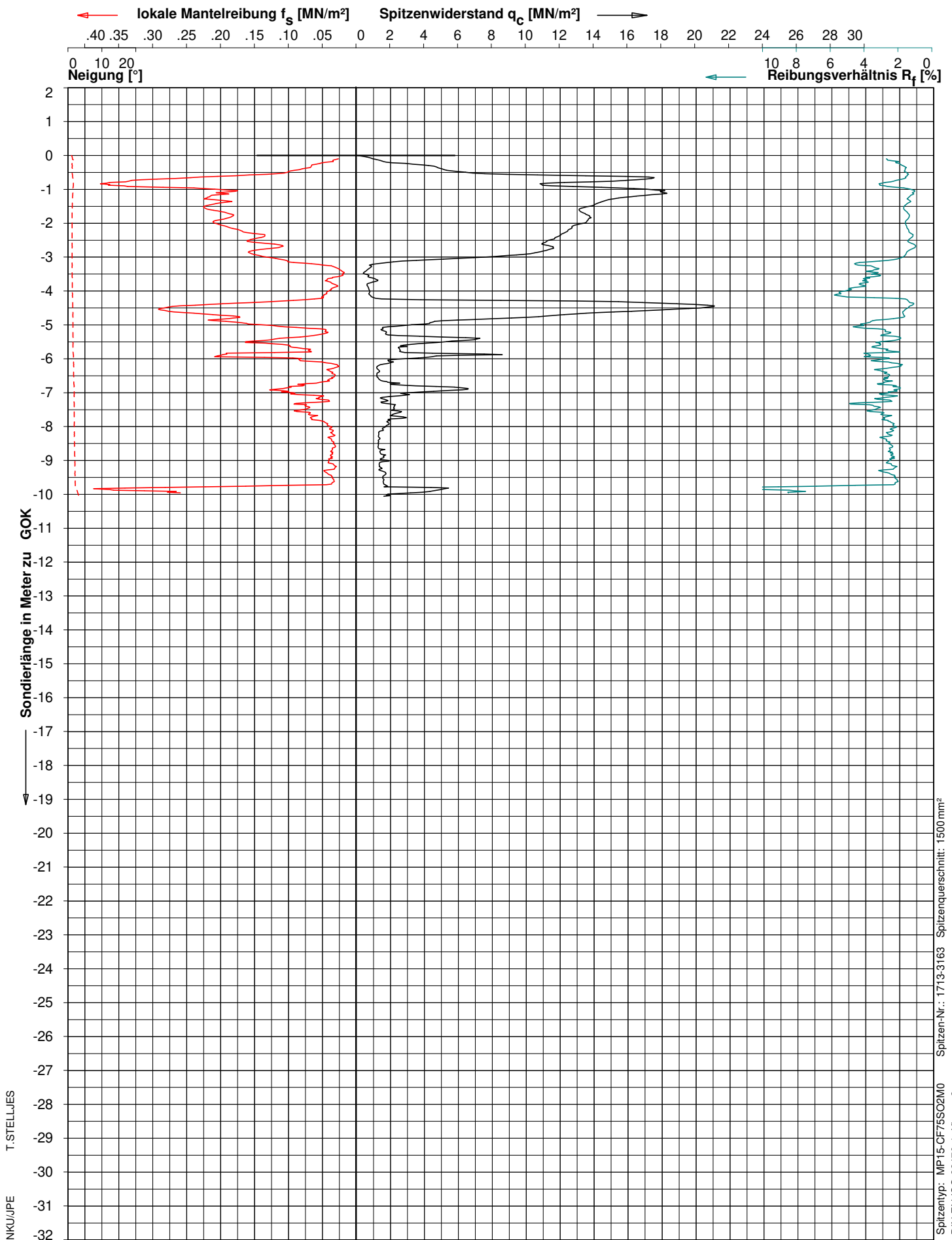


**Fugro Germany Land GmbH**  
 Land Site Characterisation CPT  
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal  
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 30-Sep-2020  
 Sondierende : Solltiefe  
 Gelände : 0.00 m zu GOK  
 Endteufe : -35.09 m zu GOK

Projekt: 620-20-0474-L  
 Sondierung : WEA 03-W

DIN ISO 9001



Spitzentyp: MP15-CF75S02M0  
 Spitzen-Nr.: 1713-3163  
 Spitzenquerschnitt: 1500 mm<sup>2</sup>  
 DIN EN ISO 22476-1, Klasse 2

ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke  
 WP Gyhum-Hesedorf

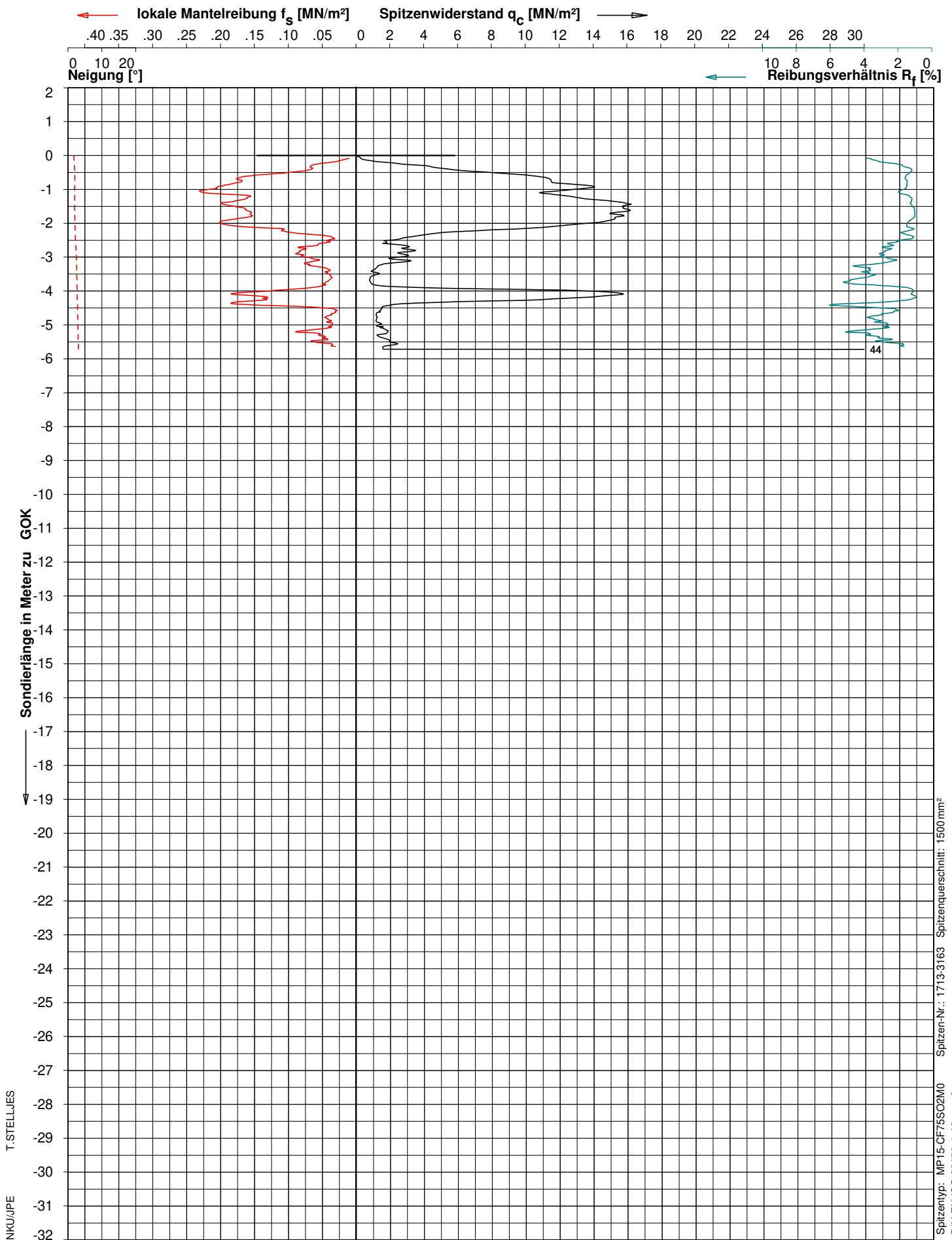


**Fugro Germany Land GmbH**  
 Land Site Characterisation CPT  
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal  
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 01-Okt-2020  
 Sondierende : Solltiefe  
 Gelände : 0.00 m zu GOK  
 Endteufe : -10.07 m zu GOK

Projekt: 620-20-0474-L  
 Sondierung : WEA 04-K

DIN ISO 9001



NKU/JPE  
T-STELLJES

Spitzen-Nr.: 1713-3163 Spitzenquerschnitt: 1500 mm²  
Spitzen-Nr.: MP15-CF75S02M0  
DIN EN ISO 22476-1, Klasse 2

ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübbe  
WP Gyhum-Hesedorf

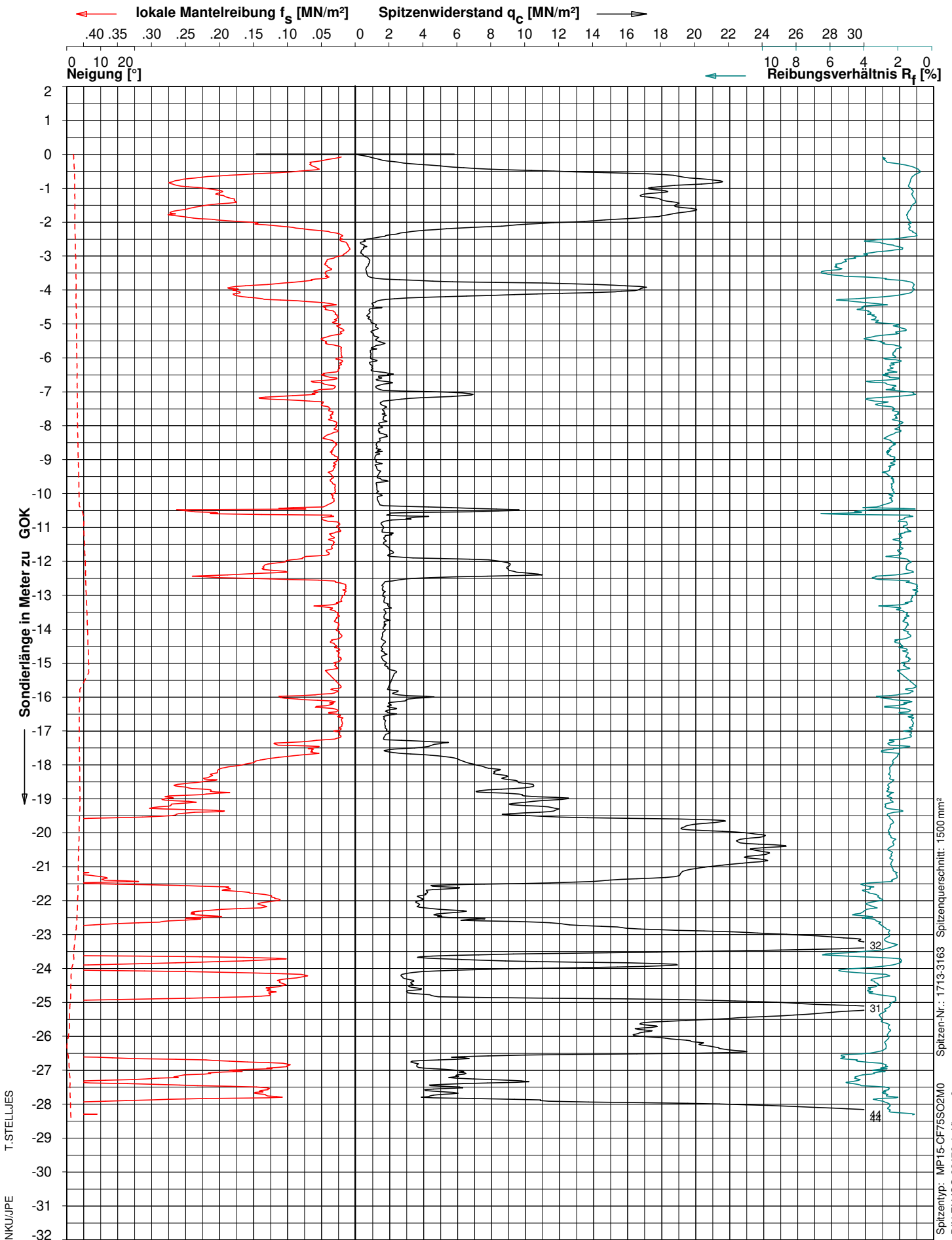


**Fugro Germany Land GmbH**  
Land Site Characterisation CPT  
Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal  
Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 01-Okt-2020  
Sondierende : Auslastung  
Gelände : 0.00 m zu GOK  
Endteufe : -5.73 m zu GOK

Projekt: 620-20-0474-L  
Sondierung : WEA 04-MP

DIN ISO 9001



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübbe  
WP Gyhum-Hesedorf

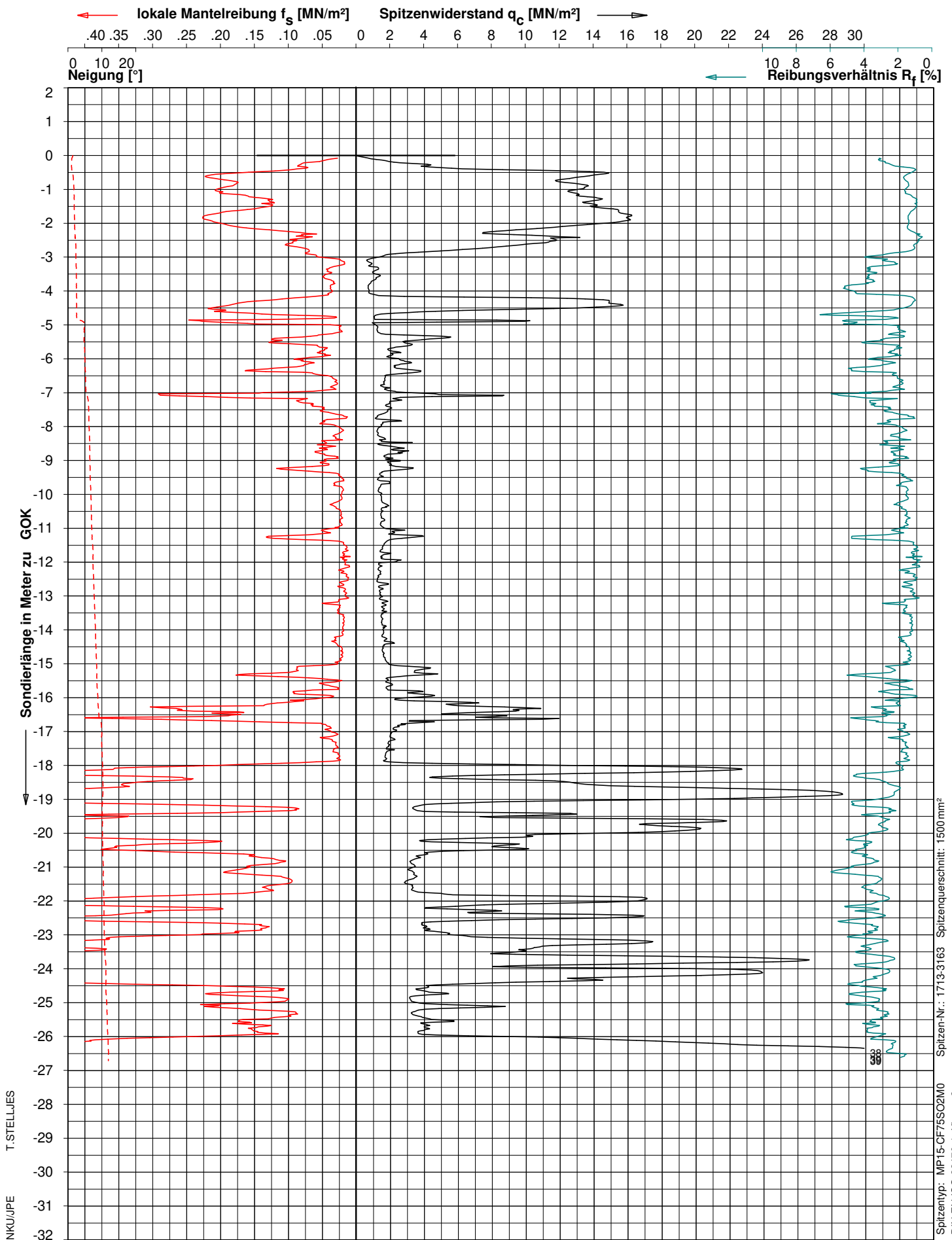


**Fugro Germany Land GmbH**  
 Land Site Characterisation CPT  
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal  
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 01-Okt-2020  
 Sondierende : Auslastung  
 Gelände : 0.00 m zu GOK  
 Endteufe : -28.42 m zu GOK

Projekt: 620-20-0474-L  
 Sondierung : WEA 04-N

DIN ISO 9001



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke  
 WP Gyhum-Hesedorf

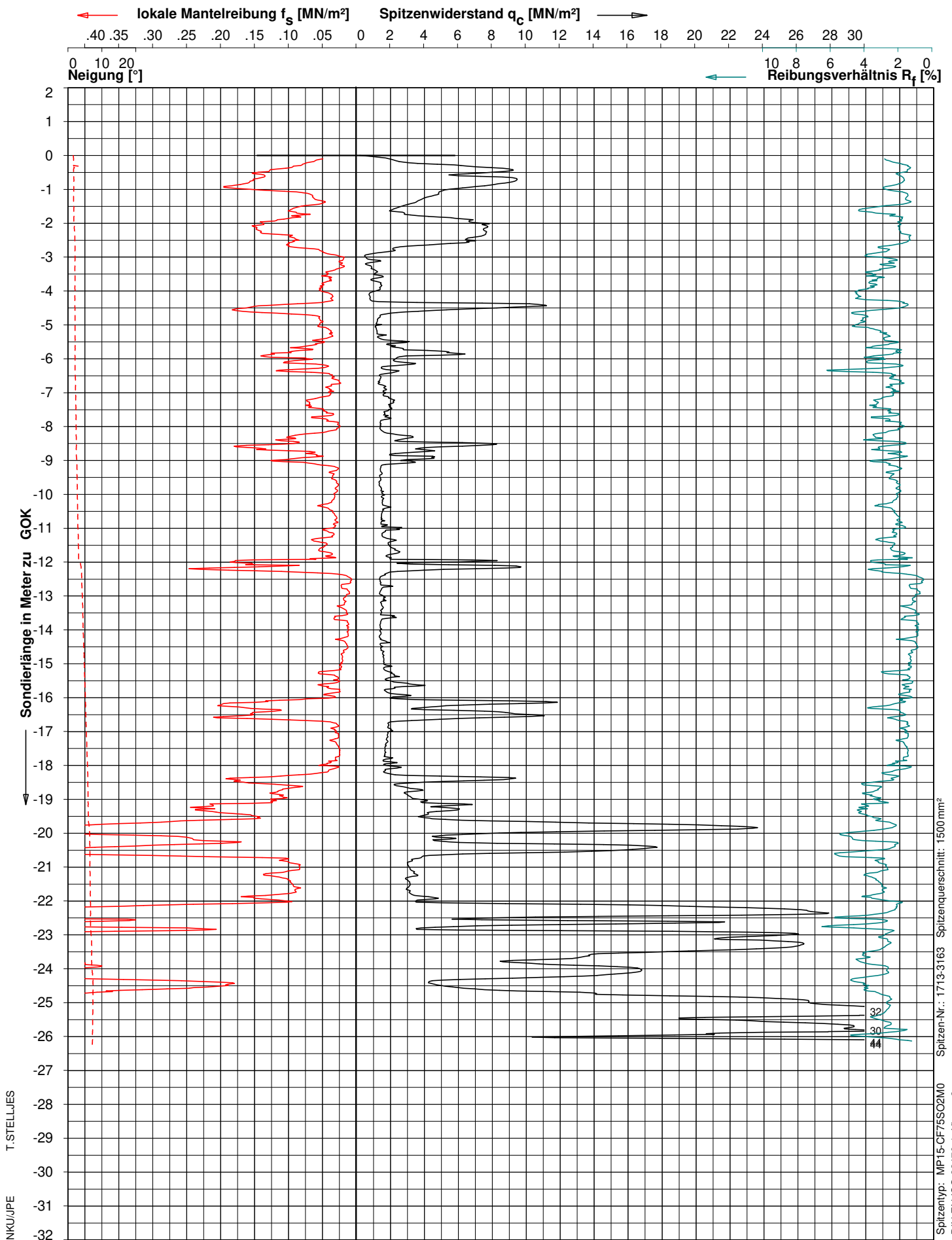


**Fugro Germany Land GmbH**  
 Land Site Characterisation CPT  
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal  
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 01-Okt-2020  
 Sondierende : Auslastung  
 Gelände : 0.00 m zu GOK  
 Endteufe : -26.72 m zu GOK

Projekt: 620-20-0474-L  
 Sondierung : WEA 04-O

DIN ISO 9001



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke  
WP Gyhum-Hesedorf



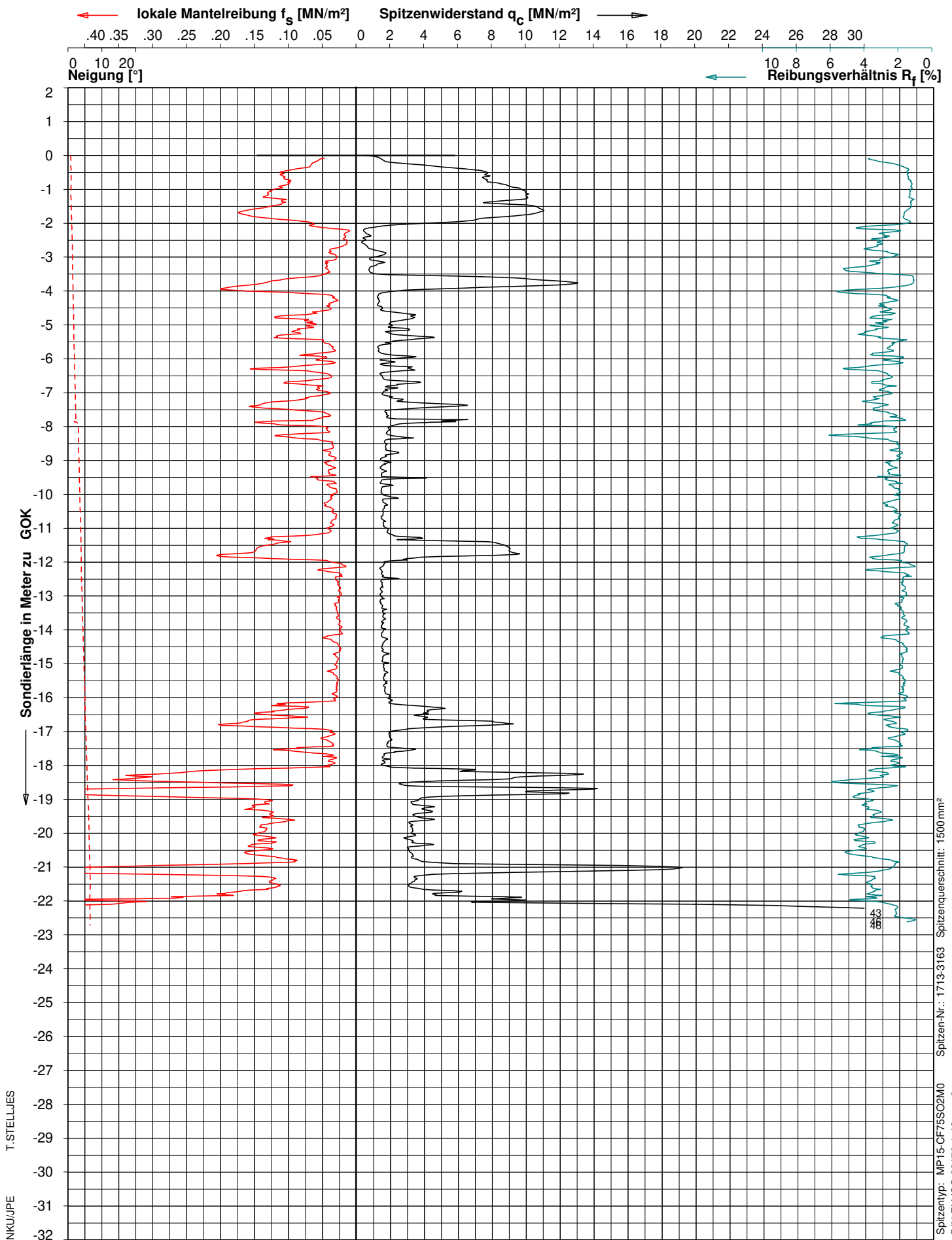
**Fugro Germany Land GmbH**  
 Land Site Characterisation CPT  
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal  
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 01-Okt-2020  
 Sondierende : Auslastung  
 Gelände : 0.00 m zu GOK  
 Endteufe : -26.24 m zu GOK

Projekt: 620-20-0474-L  
 Sondierung : WEA 04-S

DIN ISO 9001





ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke  
WP Gyhum-Hesedorf

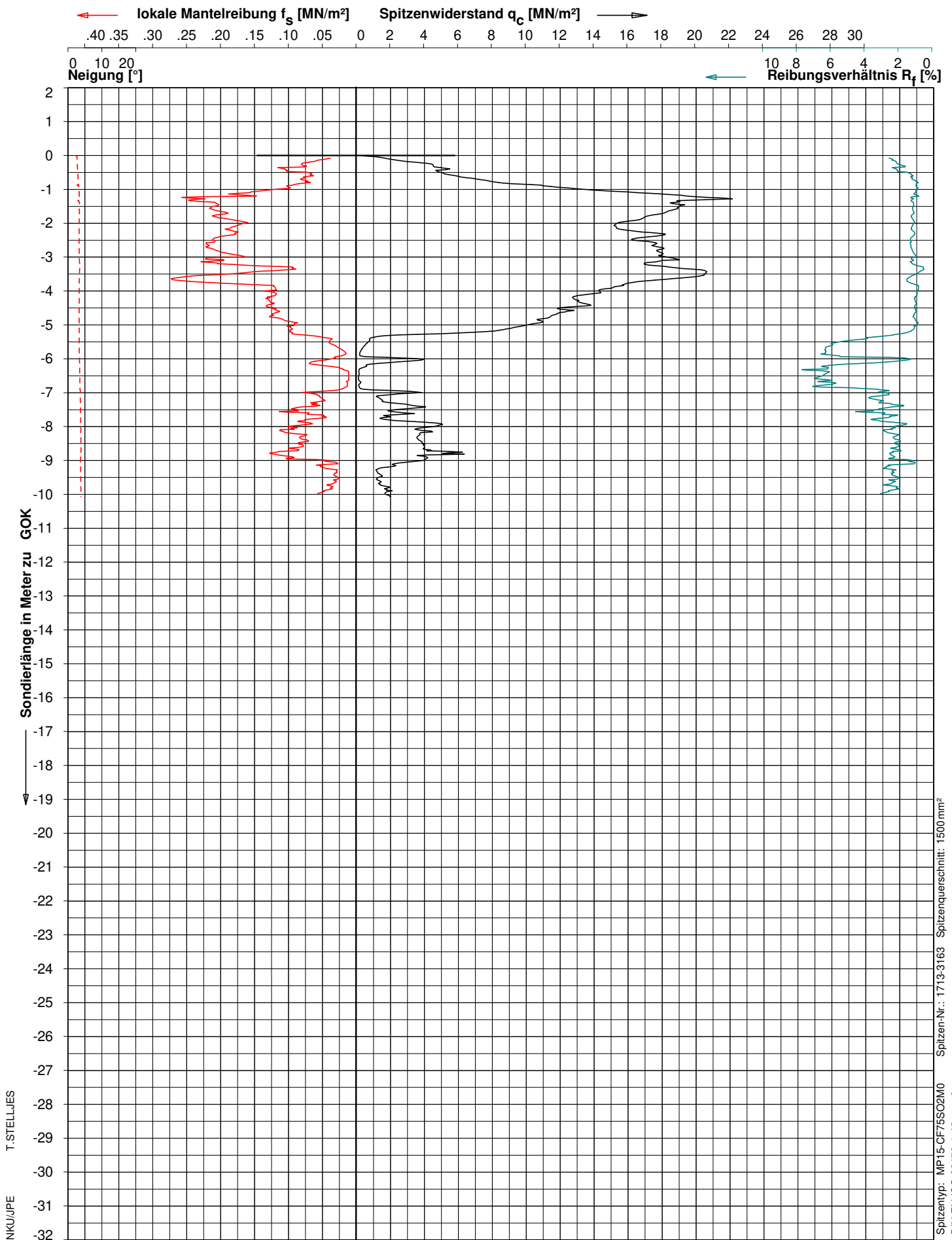


**Fugro Germany Land GmbH**  
 Land Site Characterisation CPT  
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal  
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 01-Okt-2020  
 Sondierende : Auslastung  
 Gelände : 0.00 m zu GOK  
 Endteufe : -22.73 m zu GOK

Projekt: 620-20-0474-L  
 Sondierung : WEA 04-W

DIN ISO 9001



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke  
WP Gyhum-Hesedorf

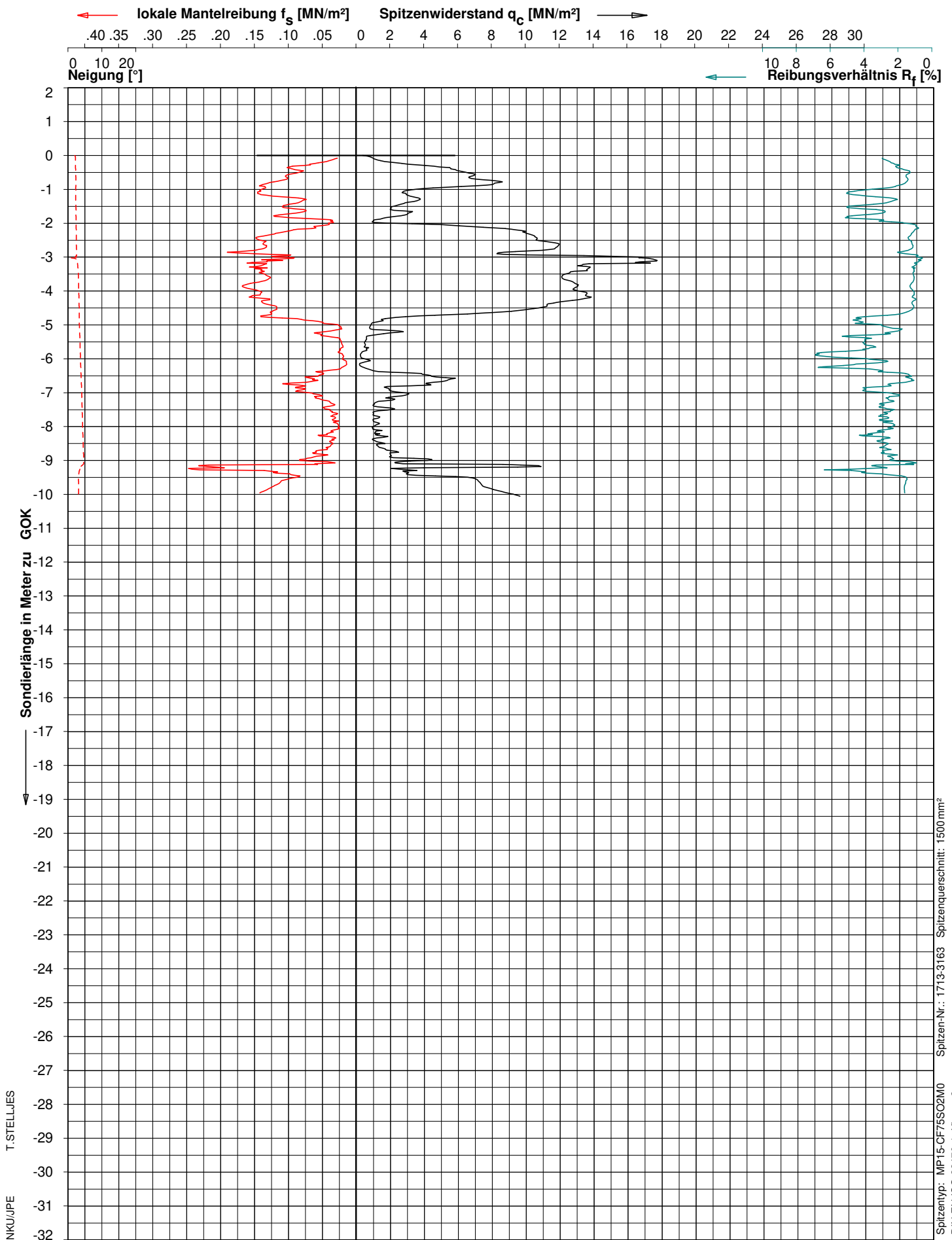


**Fugro Germany Land GmbH**  
 Land Site Characterisation CPT  
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal  
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 01-Okt-2020  
 Sondierende : Solltiefe  
 Gelände : 0.00 m zu GOK  
 Endteufe : -10.07 m zu GOK

Projekt: 620-20-0474-L  
 Sondierung : WEA 05-K

DIN ISO 9001



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke  
WP Gyhum-Hesedorf

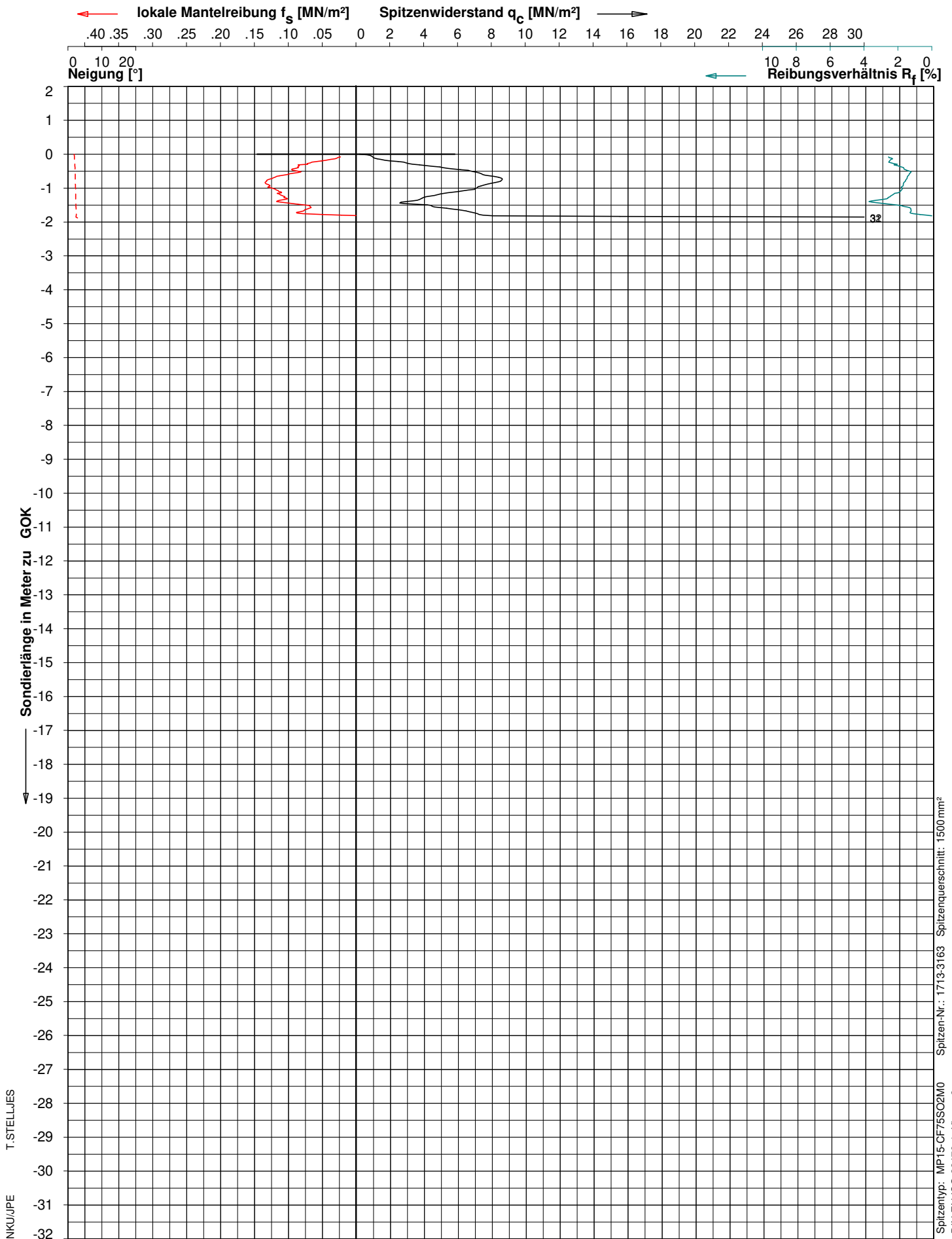


**Fugro Germany Land GmbH**  
 Land Site Characterisation CPT  
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal  
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 01-Okt-2020  
 Sondierende : Solltiefe  
 Gelände : 0.00 m zu GOK  
 Endteufe : -10.06 m zu GOK

Projekt: 620-20-0474-L  
 Sondierung : WEA 05-MP

DIN ISO 9001



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübbe  
WP Gyhum-Hesedorf

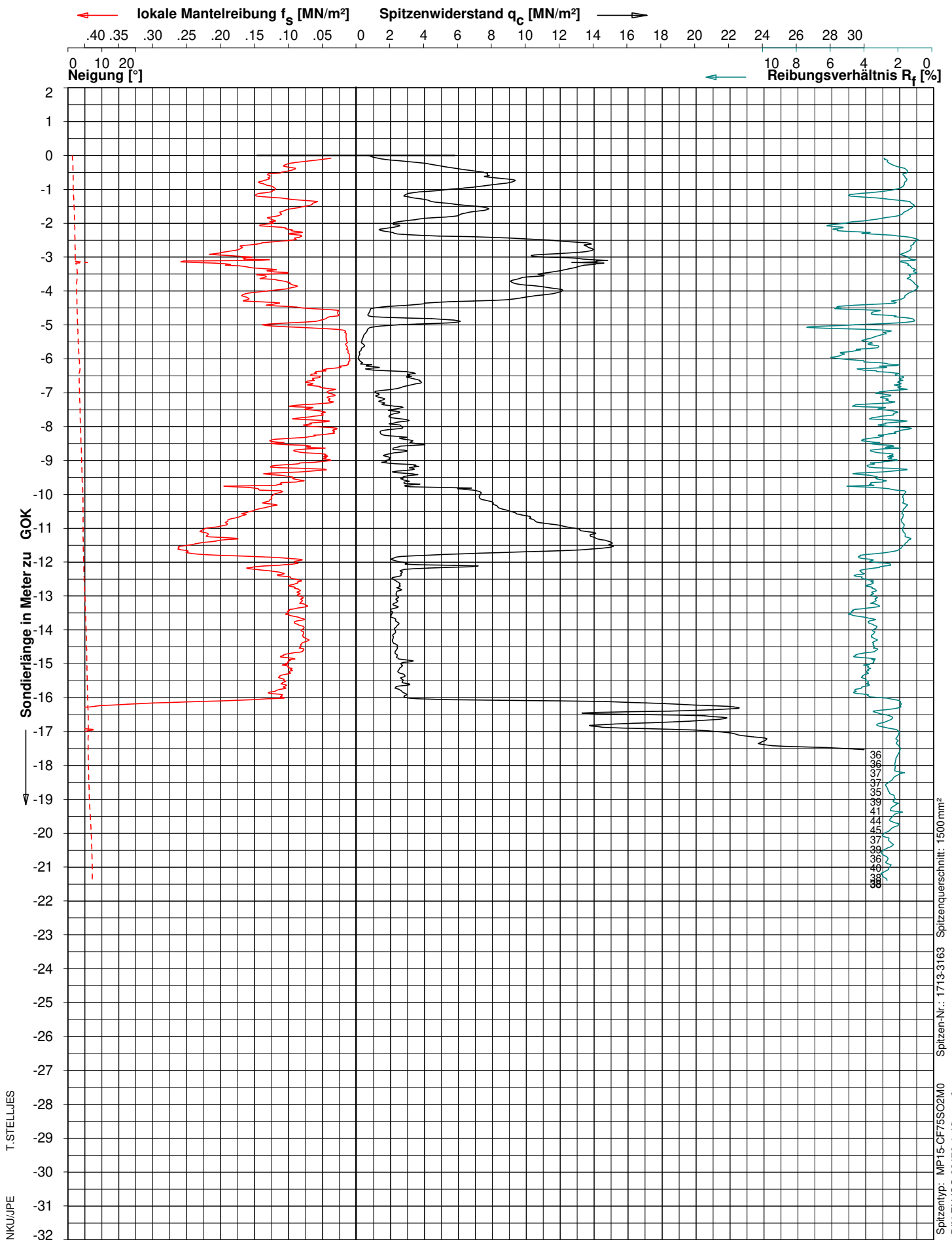


**Fugro Germany Land GmbH**  
 Land Site Characterisation CPT  
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal  
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 01-Okt-2020  
 Sondierende : Hindernis  
 Gelände : 0.00 m zu GOK  
 Endteufe : -1.91 m zu GOK

Projekt: 620-20-0474-L  
 Sondierung : WEA 05-N

DIN ISO 9001



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke  
WP Gyhum-Hesedorf

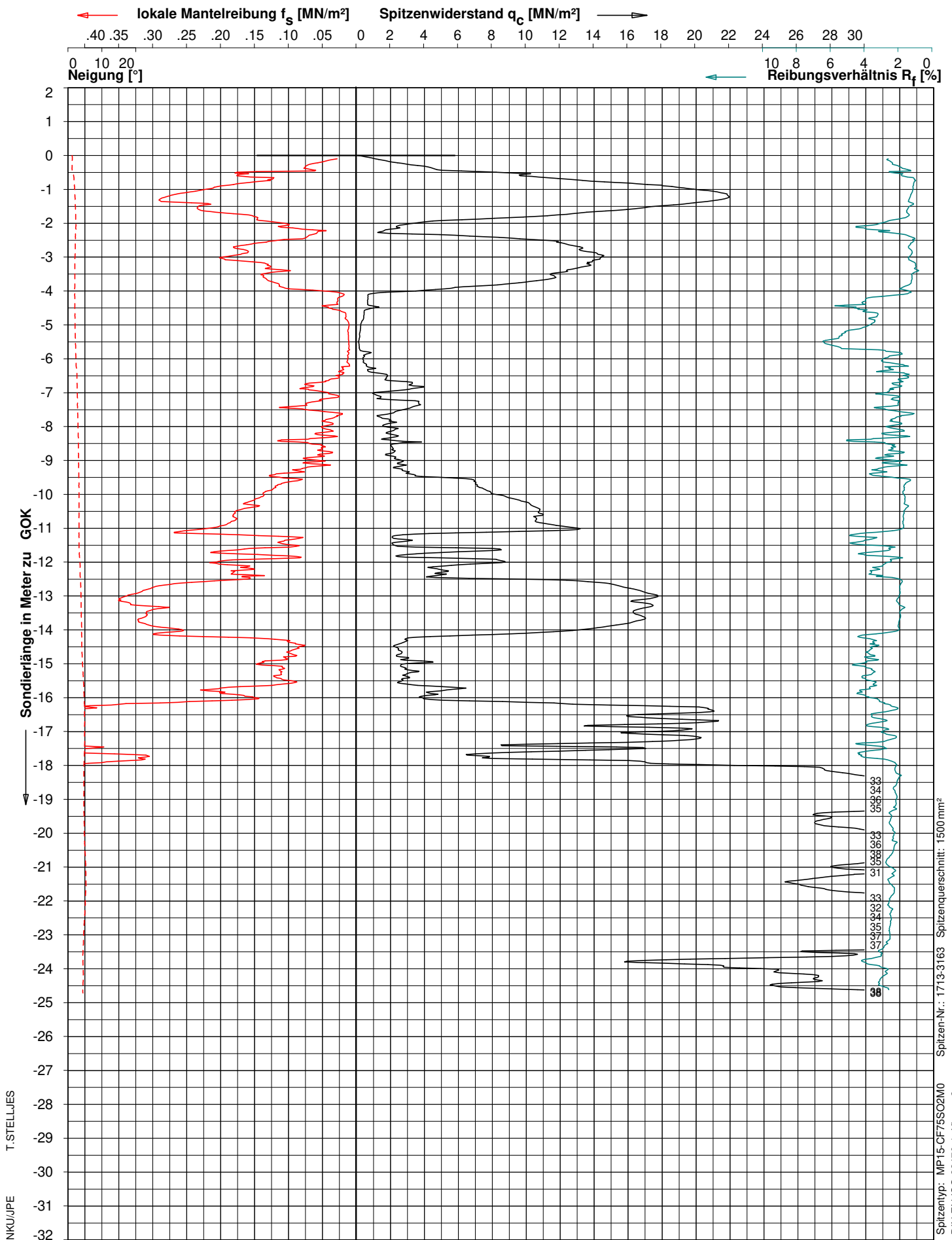


**Fugro Germany Land GmbH**  
 Land Site Characterisation CPT  
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal  
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 01-Okt-2020  
 Sondierende : Auslastung  
 Gelände : 0.00 m zu GOK  
 Endteufe : -21.50 m zu GOK

Projekt: 620-20-0474-L  
 Sondierung : WEA 05-N/A

DIN ISO 9001



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke  
 WP Gyhum-Hesedorf

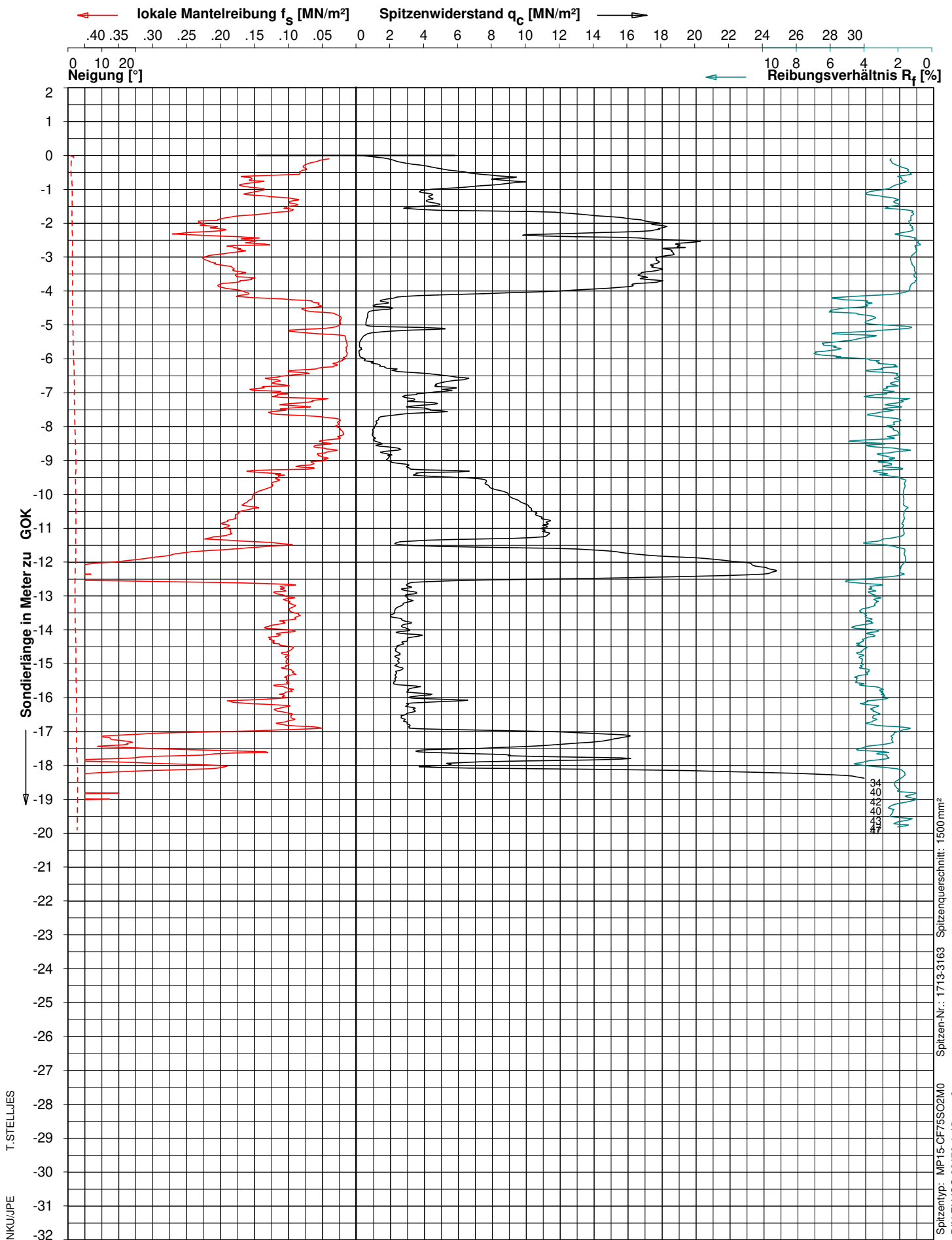


**Fugro Germany Land GmbH**  
 Land Site Characterisation CPT  
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal  
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 01-Okt-2020  
 Sondierende : Auslastung  
 Gelände : 0.00 m zu GOK  
 Endteufe : -24.73 m zu GOK

Projekt: 620-20-0474-L  
 Sondierung : WEA 05-O

DIN ISO 9001



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke  
WP Gyhum-Hesedorf



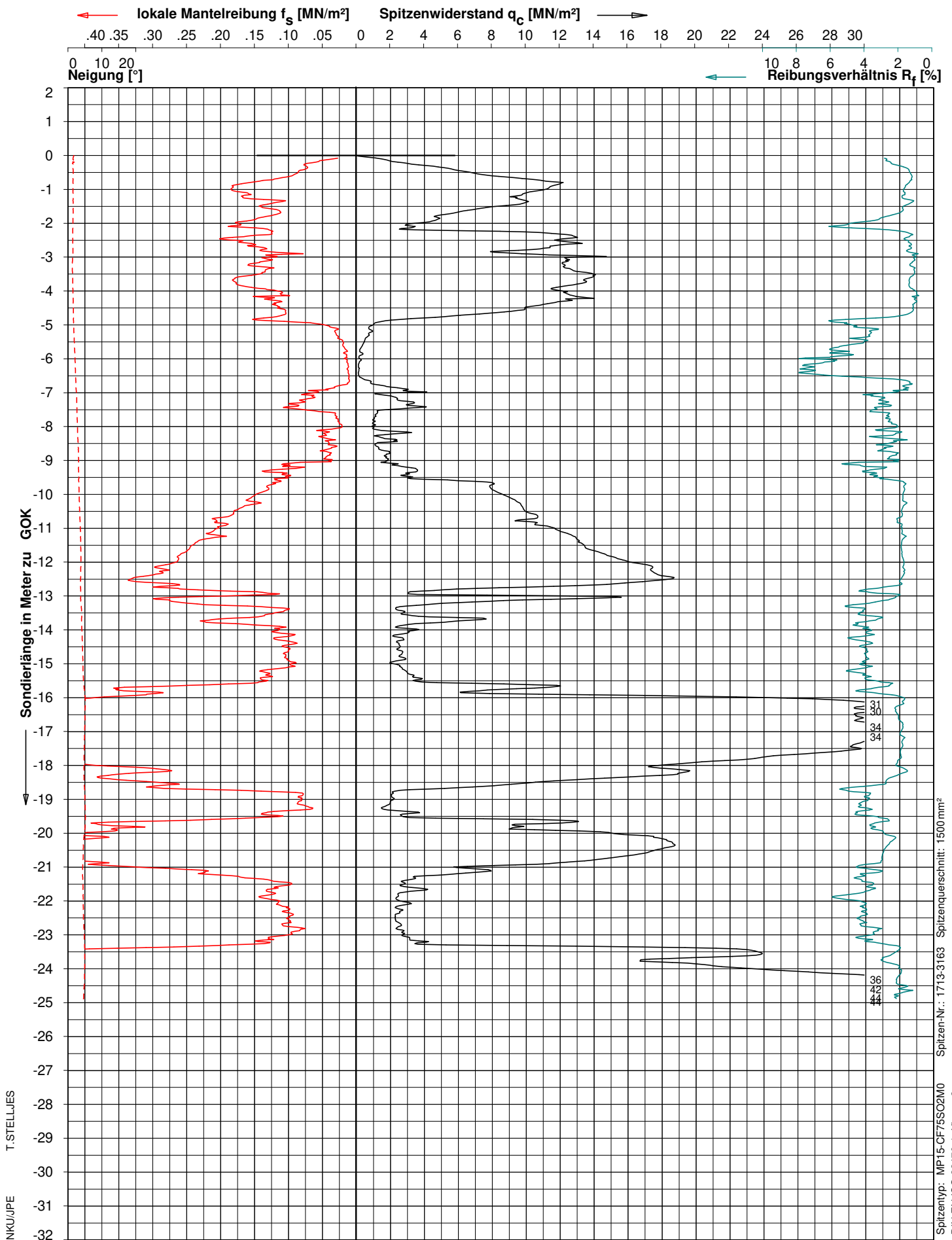
**Fugro Germany Land GmbH**  
 Land Site Characterisation CPT  
 Goebelstr. 25, 28865 Lilienthal  
 Tel: (04298)93720 Fax: 937220

Datum : 01-Okt-2020  
 Sondierende : Auslastung  
 Gelände : 0.00 m zu GOK  
 Endteufe : -19.91 m zu GOK

Projekt: 620-20-0474-L  
 Sondierung : WEA 05-S

DIN ISO 9001





ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Ingenieurgeologie Dr. Lübke  
WP Gyhum-Hesedorf



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

Datum : 01-Okt-2020  
 Sondierende : Auslastung  
 Gelände : 0.00 m zu GOK  
 Endeufe : -24.98 m zu GOK

Projekt: 620-20-0474-L  
 Sondierung : WEA 05-W

DIN ISO 9001



#### **ANLAGE 4**

Bestimmung des Wassergehaltes, DIN 18121

# BESTIMMUNG DES WASSERGEHALTES

nach DIN 18121

Bauvorhaben:  
WP Gyhum

Kontr.-Nr.: 840-20-1

Anlage: 4

EDV-Nr.:

Probe entnommen von:

Markert

am: 30.09.-  
01.10.2020

Analysen durchgeführt von:

T. Lübbe

am: 14.10.2020

Nr.	Probenbezeichnung	Gewicht des Behälters [g]	Gewicht der Probe + Behälter		Wassergehalt [%]
			feucht [g]	trocken [g]	
1	WEA 1, 1-3: 1,30-2,30 m (Geschiebelehm, steifplastisch)	3,31	90,92	81,97	11,4
2	WEA 1, 1-4: 2,30-3,30 m (Geschiebelehm, steifplastisch)	3,33	80,43	72,29	11,8
3	WEA 1, 1-5: 3,30-4,50 m (Geschiebelehm, weich)	3,33	113,50	98,48	15,8
4	WEA 1, 1-6: 4,50-5,70 m (Geschiebelehm, weich)	3,33	102,74	88,00	17,4
5	WEA 2, 2-3: 1,30-2,20 m (Geschiebelehm, weich-steif)	3,35	80,22	65,92	22,9
6	WEA 2, 2-4: 2,20-3,40 m (Geschiebelehm, weich-steif)	3,37	83,80	72,08	17,1
7	WEA 2, 2-5: 3,40-4,50 m (Geschiebemergel, steifplastisch)	3,30	89,65	79,33	13,6
8	WEA 3, 3-2: 0,80-1,80 m (Sand)	14,94	284,78	270,82	5,5
9	WEA 4, 4-4: 2,70-3,30 (Sand)	15,00	272,43	229,38	20,1
10	WEA 5, 5-4: 2,40-3,60 m (Sand)	14,95	285,25	252,83	13,6
11	WEA 5, 5-6: 4,90-6,30 m (Geschiebelehm, weich)	3,37	92,76	77,73	20,2
12	WEA 5, 5-7: 6,30-7,50 m (Geschiebemergel, steifplastisch)	3,4	95,53	85,03	12,9
13	WEA 5, 5-8: 7,50-8,70 m (Geschiebemergel, steifplastisch)	3,34	110,92	98,70	12,8
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					



**ANLAGE 5**  
Körnungslinien, DIN 18123

Ingenieurgeologie Dr. Lübbe

Füchteler Straße 29

49377 Vechta

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

Bearbeiter: C. Thilo Lübbe

Datum: 15.10.2020

# Körnungslinie

## Windpark Gyhum-Hesedorf

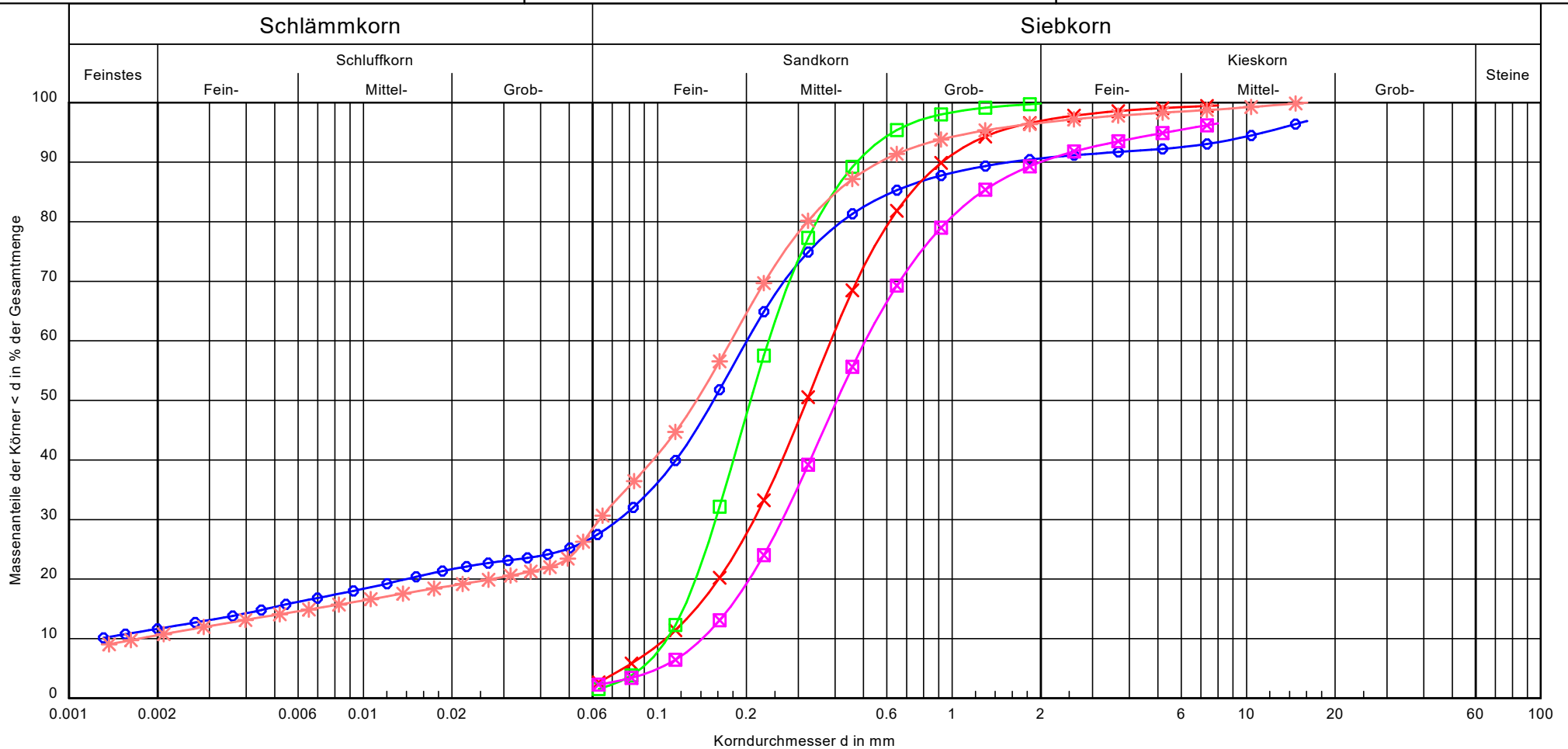
### WEA 1

Prüfungsnummer: 840-20-1

Probe entnommen am: 30.09.-01.10.2020

Art der Entnahme: gestört

Arbeitsweise: DIN 18123



Bezeichnung:					
Bodenart:	S, u, t', mg'	mS, fs, gs	fS, mS, gs'	mS, fs, gs, fg'	S, u, t'
Tiefe:	1,30-2,30 m	0,80-1,80	1,10-2,70	2,40-3,60	4,90-6,30 m
U/Cc	-/-	3,6/1,1	2,2/1,0	3,6/1,0	102,5/13,1
Entnahmestelle:	WEA 1, 1-3	WEA 3, 3-2	WEA 4, 4-4	WEA 5, 5-4	WEA 5, 5-6
kf (HAZEN):	-	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-8}$
T/U/S/G [%]:	11.7/16.0/63.0/9.4	- /2.7/94.2/3.1	- /1.5/98.5/ -	- /2.3/87.7/10.0	10.6/19.2/66.8/3.4






Bemerkungen:

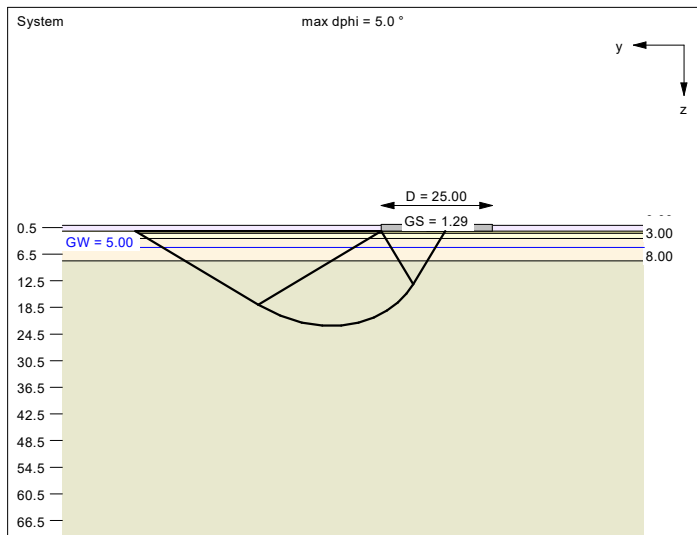
Bericht:  
 840-20-1  
 Anlage:  
 5



**ANLAGE 6.1-6.6**

Setzungsberechnungen, Grundbuch

Boden	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi$ [°]	c [kN/m <sup>2</sup> ]	E <sub>s</sub> [MN/m <sup>2</sup> ]	v [-]	$\kappa$ [-]	Bezeichnung
	17.0	9.0	30.0	0.0	30.0	0.00	1.000	seitl. A
	20.0	12.0	40.0	0.0	80.0	0.00	1.000	BA, STS
	20.0	10.0	30.0	0.0	15.0	0.00	1.000	Gl, w-st
	19.0	9.0	27.5	0.0	8.0	0.00	1.000	Gl, w
	21.0	12.0	30.0	0.0	30.0	0.00	1.000	Gmg, st-hf



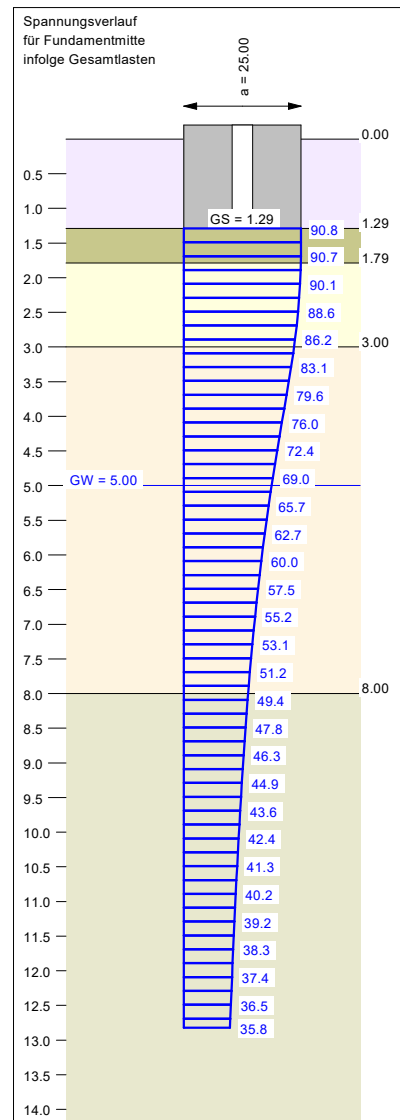
**Ergebnisse Einzelfundament:**  
 Lasten = ständig / veränderlich  
 Vertikallast  $F_{v,k} = 43193.00 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,x,k} = 1586.00 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,y,k} = 0.00 / 0.00$  kN  
 Moment  $M_{x,k} = 175708.00 / 0.00$  kN·m  
 Moment  $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$  kN·m  
 Durchmesser D = 25.000 m  
 Durchmesser (innen) d = 4.400 m  
 Unter ständigen Lasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -4.068$  m  
**Resultierende im 2. Kern (= 7.396 m)**  
 $a' = 14.398$  m  
 $b' = 20.182$  m  
 Unter Gesamtlasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -4.068$  m  
**Resultierende im 2. Kern (= 7.396 m)**  
 $a' = 14.398$  m  
 $b' = 20.182$  m

$\text{cal } \phi = 28.0^\circ$   
 $\phi$  wegen  $5^\circ$  Bedingung abgemindert  
 $\text{cal } c = 0.00$  kN/m<sup>2</sup>  
 $\text{cal } \gamma_2 = 13.38$  kN/m<sup>3</sup>  
 $\text{cal } \sigma_{\bar{u}} = 21.93$  kN/m<sup>2</sup>  
 UK log. Spirale = 22.60 m u. GOK  
 Länge log. Spirale = 85.19 m  
 Fläche log. Spirale = 942.49 m<sup>2</sup>  
 Tragfähigkeitsbeiwerte (y):  
 $N_{c0} = 25.81$ ;  $N_{d0} = 14.73$ ;  $N_{b0} = 7.30$   
 Formbeiwerte (y):  
 $v_c = 1.359$ ;  $v_d = 1.335$ ;  $v_b = 0.786$   
 Neigungsbeiwerte (y):  
 $i_c = 0.945$ ;  $i_d = 0.948$ ;  $i_b = 0.914$

**Gleitwiderstand:**  
 Teilsicherheit (Gleitwiderstand)  $\gamma_{GI} = 1.10$   
 $N_k \cdot \tan(\phi) / \gamma_{GI} = 43193.00 \cdot \tan(30.00^\circ) / 1.10$   
 $R_{t,d} = N_k \cdot \tan(\phi) / \gamma_{GI} = 22670.45$  kN  
 $T_d = 2141.10$  kN  
 $\mu = T_d / R_{t,d} = 0.094$

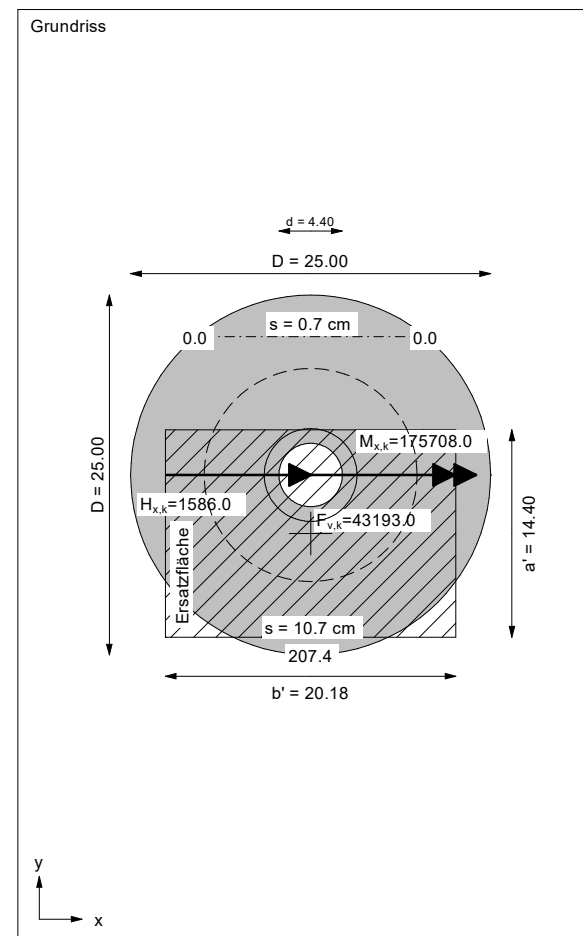
**Grundbruch:**  
 Durchstanzen untersucht,  
 aber nicht maßgebend.  
 Teilsicherheit (Grundbruch)  $\gamma_{Gr} = 1.40$   
 $\sigma_{0f,k} / \sigma_{0f,d} = 1418.6 / 1013.26$  kN/m<sup>2</sup>  
 $R_{n,k} = 412185.96$  kN  
 $R_{n,d} = 294418.55$  kN  
 $V_d = 1.35 \cdot 43193.00 + 1.50 \cdot 0.00$  kN  
 $V_d = 58310.55$  kN  
 $\mu$  (parallel zu y) = 0.198

**Setzung infolge Gesamtlasten:**  
 Grenztiefe  $t_g = 12.82$  m u. GOK  
 Setzung (Mittel aller KPs) = 5.71 cm  
 Setzungen der KPs:  
 oben = 0.70 cm  
 unten = 10.71 cm  
 Verdrehung(x) (KP) = 1 : 211.1








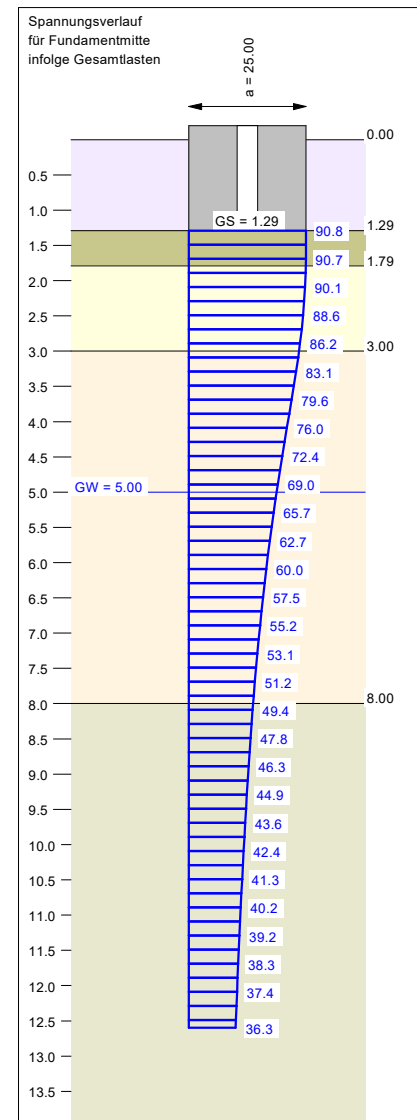
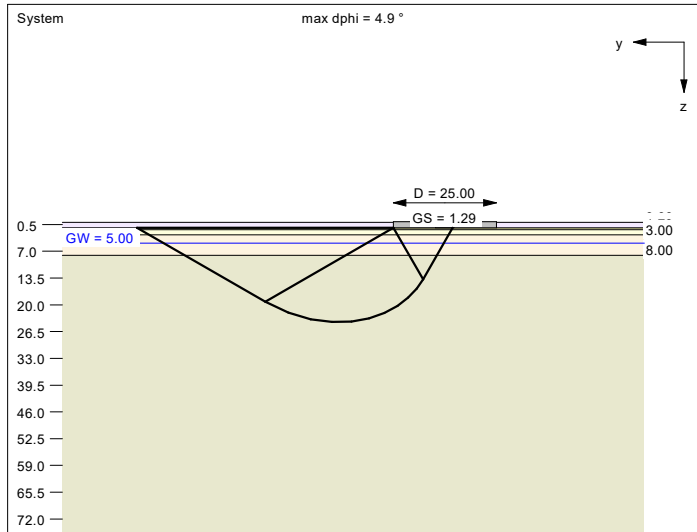
**Berechnungsgrundlagen:**  
 WP Gyhum, WEA 1, BS-P  
 Grundbruchformel nach DIN 4017:2006  
 Teilsicherheitskonzept  
 $\gamma_{Gr} = 1.40$   
 $\gamma_G = 1.35$   
 $\gamma_Q = 1.50$   
 $\gamma(GI) = 1.10$   
 Gleitsicherheit mit  $\phi = 30.00^\circ$

Gründungssohle = 1.29 m  
 Grundwasser = 5.00 m  
 Grenztiefe mit  $p = 20.0$  %  
 1. Kernweite  
 2. Kernweite





Boden	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi$ [°]	c [kN/m <sup>2</sup> ]	E <sub>s</sub> [MN/m <sup>2</sup> ]	v [-]	$\kappa$ [-]	Bezeichnung
	17.0	9.0	30.0	0.0	30.0	0.00	1.000	seitl. A
	20.0	12.0	40.0	0.0	80.0	0.00	1.000	BA, STS
	20.0	10.0	30.0	0.0	10.0	0.00	1.000	Gl, w-st
	20.0	10.0	30.0	0.0	15.0	0.00	1.000	Gmg st
	21.0	12.0	30.0	0.0	30.0	0.00	1.000	Gmg, st-hf



Berechnungsgrundlagen:  
 WP Gyhum, 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  $\phi = 30.00^\circ$

Gründungssohle = 1.29 m  
 Grundwasser = 5.00 m  
 Grenztiefe mit  $p = 20.0\%$   
 ——— 1. Kernweite  
 - - - - 2. Kernweite

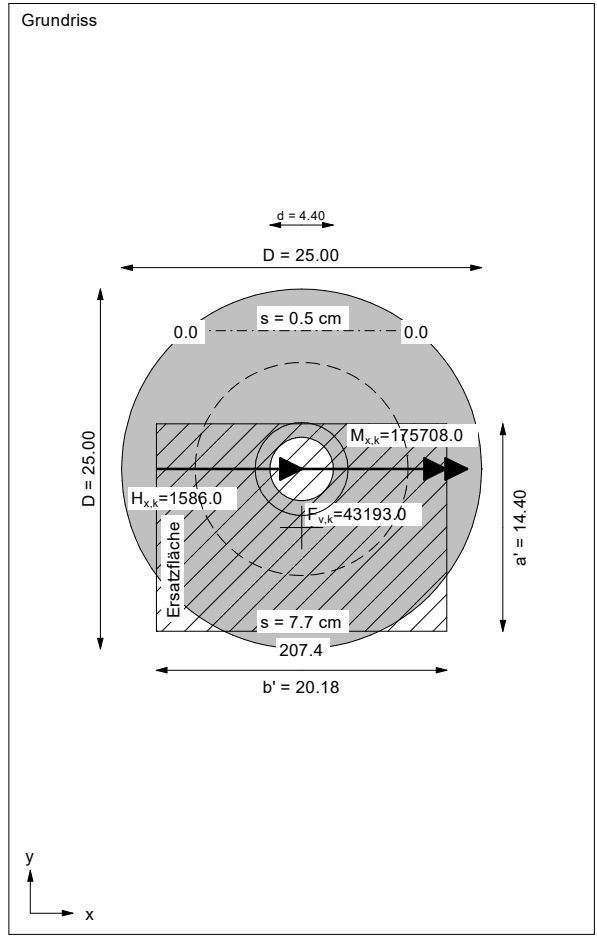
**Ergebnisse Einzelfundament:**  
 Lasten = ständig / veränderlich  
 Vertikallast  $F_{v,k} = 43193.00 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,x,k} = 1586.00 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,y,k} = 0.00 / 0.00$  kN  
 Moment  $M_{x,k} = 175708.00 / 0.00$  kN·m  
 Moment  $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$  kN·m  
 Durchmesser D = 25.000 m  
 Durchmesser (innen) d = 4.400 m  
 Unter ständigen Lasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -4.068$  m  
**Resultierende im 2. Kern (= 7.396 m)**  
 $a' = 14.398$  m  
 $b' = 20.182$  m  
 Unter Gesamtlasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -4.068$  m  
**Resultierende im 2. Kern (= 7.396 m)**  
 $a' = 14.398$  m  
 $b' = 20.182$  m






**Grundbruch:**  
 Durchstanzen untersucht, aber nicht maßgebend.  
 Teilsicherheit (Grundbruch)  $\gamma_{Gr} = 1.40$   
 $\sigma_{0f,k} / \sigma_{0f,d} = 1956.1 / 1397.24$  kN/m<sup>2</sup>  
 $R_{n,k} = 568385.94$  kN  
 $R_{n,d} = 405989.96$  kN  
 $V_d = 1.35 \cdot 43193.00 + 1.50 \cdot 0.00$  kN  
 $V_d = 58310.55$  kN  
 $\mu$  (parallel zu y) = 0.144

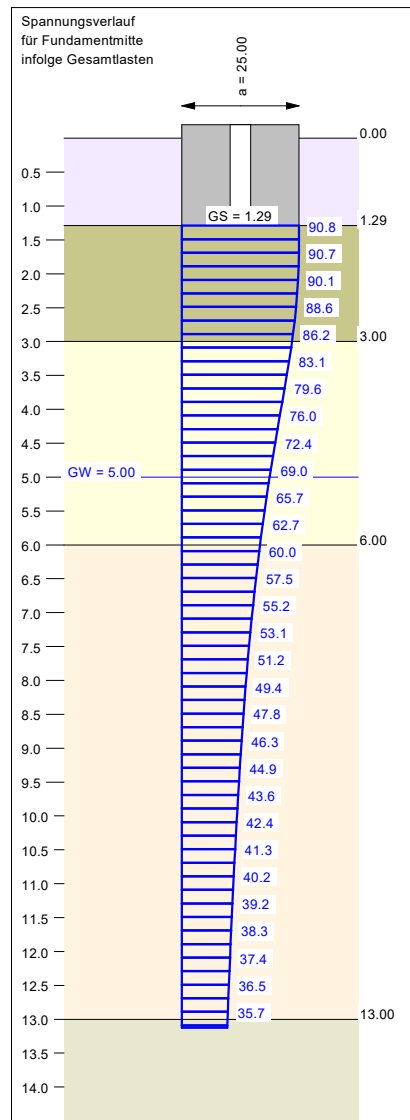
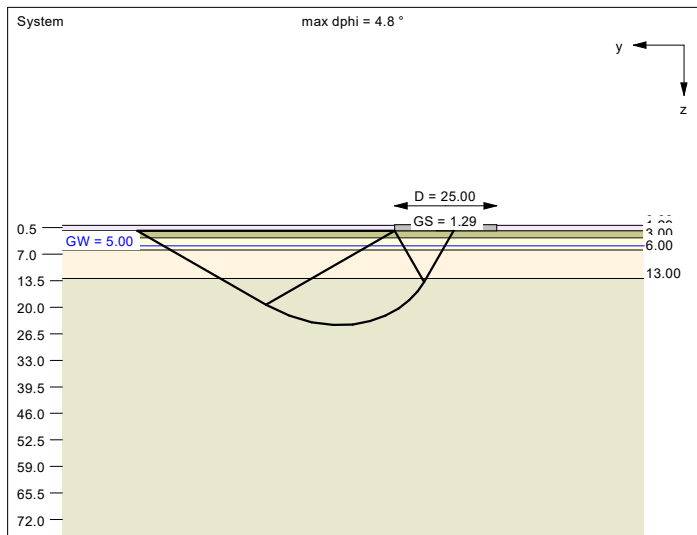
**cal  $\phi = 30.1^\circ$**   
 $\phi$  wegen  $5^\circ$  Bedingung abgemindert  
 cal c = 0.00 kN/m<sup>2</sup>  
 cal  $\gamma_2 = 13.58$  kN/m<sup>3</sup>  
 cal  $\sigma_{\bar{u}} = 21.93$  kN/m<sup>2</sup>  
 UK log. Spirale = 24.18 m u. GOK  
 Länge log. Spirale = 93.08 m  
 Fläche log. Spirale = 1110.87 m<sup>2</sup>  
 Tragfähigkeitsbeiwerte (y):  
 $N_{c0} = 30.36$ ;  $N_{d0} = 18.59$ ;  $N_{b0} = 10.19$   
 Formbeiwerte (y):  
 $v_c = 1.378$ ;  $v_d = 1.358$ ;  $v_b = 0.786$   
 Neigungsbeiwerte (y):  
 $i_c = 0.945$ ;  $i_d = 0.948$ ;  $i_b = 0.914$

**Gleitwiderstand:**  
 Teilsicherheit (Gleitwiderstand)  $\gamma_{GI} = 1.10$   
 $N_k \cdot \tan(\phi) / \gamma_{GI} = 43193.00 \cdot \tan(30.00^\circ) / 1.10$   
 $R_{t,d} = N_k \cdot \tan(\phi) / \gamma_{GI} = 22670.45$  kN  
 $T_d = 2141.10$  kN  
 $\mu = T_d / R_{t,d} = 0.094$

**Setzung infolge Gesamtlasten:**  
 Grenztiefe  $t_g = 12.60$  m u. GOK  
 Setzung (Mittel aller KP) = 4.09 cm  
 Setzungen der KP:  
 oben = 0.48 cm  
 unten = 7.70 cm  
 Verdrehung(x) (KP) = 1 : 292.5



Boden	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi$ [°]	c [kN/m <sup>2</sup> ]	E <sub>s</sub> [MN/m <sup>2</sup> ]	v [-]	$\kappa$ [-]	Bezeichnung
	17.0	9.0	30.0	0.0	30.0	0.00	1.000	seitl. A
	19.0	11.0	35.0	0.0	80.0	0.00	1.000	Sand, d
	20.0	10.0	30.0	0.0	10.0	0.00	1.000	Gl, w-st
	20.0	10.0	30.0	0.0	15.0	0.00	1.000	Gmg st
	21.0	12.0	30.0	0.0	30.0	0.00	1.000	Gmg, st-hf



Berechnungsgrundlagen:  
 WP Gyhum, WEA 3, BS-P  
 Grundbruchformel nach DIN 4017:2006  
 Teilsicherheitskonzept  
 $\gamma_{Gr} = 1.40$   
 $\gamma_G = 1.35$   
 $\gamma_{G1} = 1.50$   
 $\gamma(GI) = 1.10$   
 Gleitsicherheit mit  $\phi = 30.00^\circ$

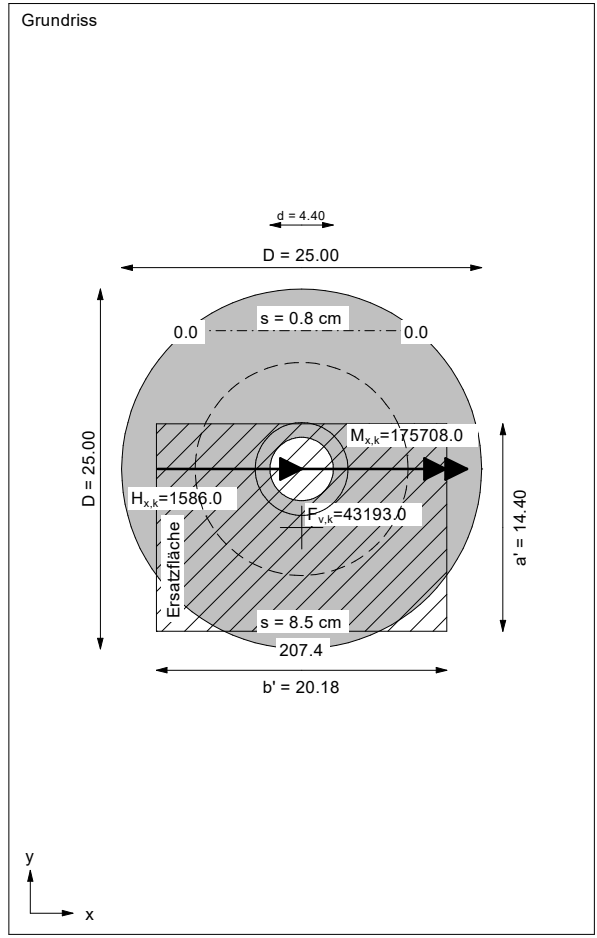
Gründungssohle = 1.29 m  
 Grundwasser = 5.00 m  
 Grenztiefe mit  $p = 20.0\%$   
 1. Kernweite  
 2. Kernweite






**Ergebnisse Einzelfundament:**  
 Lasten = ständig / veränderlich  
 Vertikallast  $F_{v,k} = 43193.00 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,k} = 1586.00 / 0.00$  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  
 Durchmesser (innen)  $d = 4.400$  m  
 Unter ständigen Lasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -4.068$  m  
**Resultierende im 2. Kern (= 7.396 m)**  
 $a' = 14.398$  m  
 $b' = 20.182$  m  
 Unter Gesamtlasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -4.068$  m  
**Resultierende im 2. Kern (= 7.396 m)**  
 $a' = 14.398$  m  
 $b' = 20.182$  m

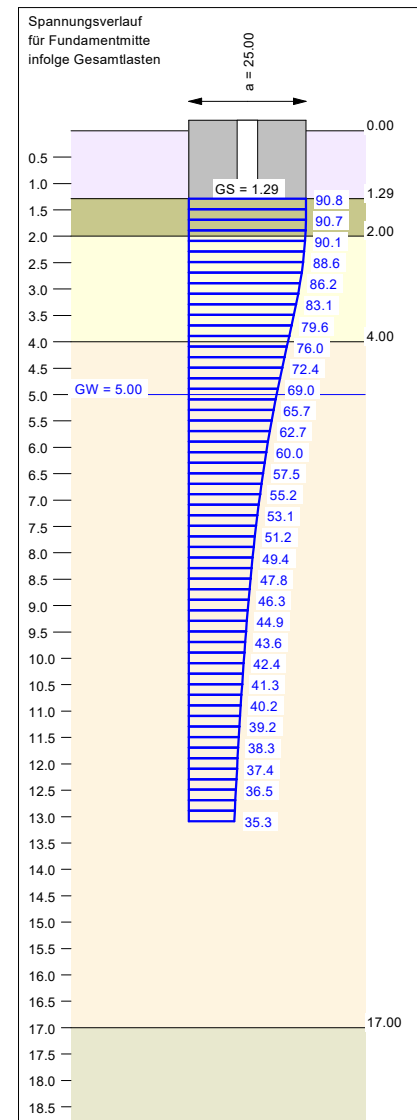
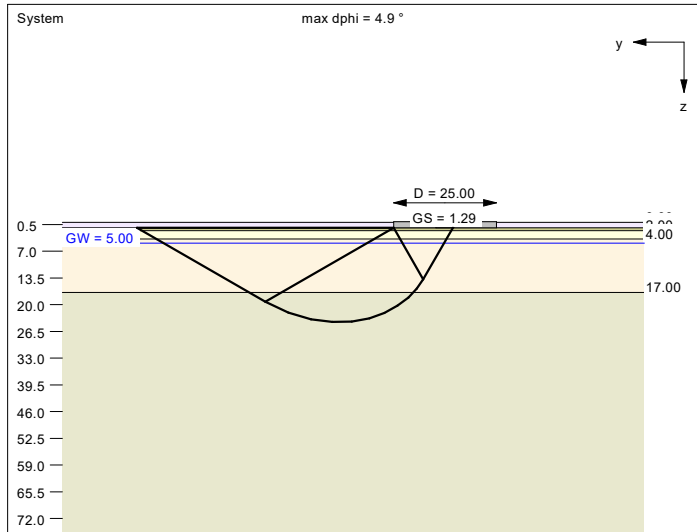
**Grundbruch:**  
 Durchstanzen untersucht, aber nicht maßgebend.  
 Teilsicherheit (Grundbruch)  $\gamma_{Gr} = 1.40$   
 $\sigma_{0f,k} / \sigma_{0f,d} = 1952.0 / 1394.30$  kN/m<sup>2</sup>  
 $R_{n,k} = 567190.68$  kN  
 $R_{n,d} = 405136.20$  kN  
 $V_d = 1.35 \cdot 43193.00 + 1.50 \cdot 0.00$  kN  
 $V_d = 58310.55$  kN  
 $\mu$  (parallel zu y) = 0.144

**Gleitwiderstand:**  
 Teilsicherheit (Gleitwiderstand)  $\gamma_{GI} = 1.10$   
 $N_k \cdot \tan(\phi) / \gamma_{GI} = 43193.00 \cdot \tan(30.00^\circ) / 1.10$   
 $R_{td} = N_k \cdot \tan(\phi) / \gamma_{GI} = 22670.45$  kN  
 $T_d = 2141.10$  kN  
 $\mu = T_d / R_{td} = 0.094$

**Setzung infolge Gesamtlasten:**  
 Grenztiefe  $t_g = 13.12$  m u. GOK  
 Setzung (Mittel aller KPs) = 4.67 cm  
 Setzungen der KPs:  
 oben = 0.80 cm  
 unten = 8.55 cm  
 Verdrehung(x) (KP) = 1 : 272.6



Boden	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi$ [°]	c [kN/m <sup>2</sup> ]	E <sub>s</sub> [MN/m <sup>2</sup> ]	v [-]	$\kappa$ [-]	Bezeichnung
	17.0	9.0	30.0	0.0	30.0	0.00	1.000	seitl. A
	19.0	11.0	35.0	0.0	60.0	0.00	1.000	Sand, md
	20.0	10.0	30.0	0.0	10.0	0.00	1.000	Gl, w-st
	20.0	10.0	30.0	0.0	15.0	0.00	1.000	Gmg st
	21.0	12.0	30.0	0.0	30.0	0.00	1.000	Gmg, st-hf



Berechnungsgrundlagen:  
 WP Gyhum, WEA 4, BS-P  
 Grundbruchformel nach DIN 4017:2006  
 Teilsicherheitskonzept  
 $\gamma_{Gr} = 1.40$   
 $\gamma_G = 1.35$   
 $\gamma_{G1} = 1.50$   
 $\gamma(G1) = 1.10$   
 Gleitsicherheit mit  $\phi = 30.00^\circ$

Gründungssohle = 1.29 m  
 Grundwasser = 5.00 m  
 Grenztiefe mit  $p = 20.0\%$   
 1. Kernweite  
 2. Kernweite

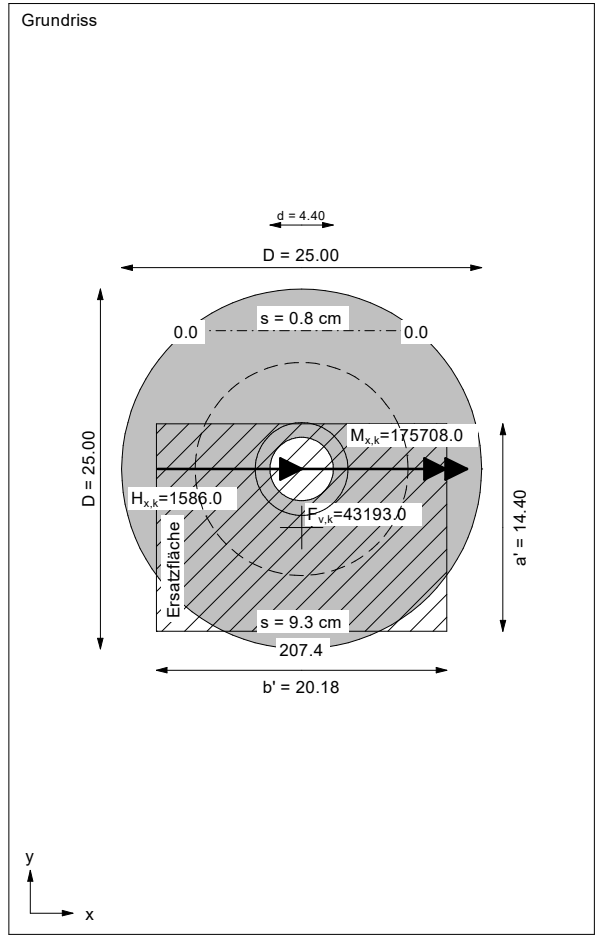
**Ergebnisse Einzelfundament:**  
 Lasten = ständig / veränderlich  
 Vertikallast  $F_{v,k} = 43193.00 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,k} = 1586.00 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,y,k} = 0.00 / 0.00$  kN  
 Moment  $M_{x,k} = 175708.00 / 0.00$  kN·m  
 Moment  $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$  kN·m  
 Durchmesser D = 25.000 m  
 Durchmesser (innen) d = 4.400 m  
 Unter ständigen Lasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -4.068$  m  
**Resultierende im 2. Kern (= 7.396 m)**  
 $a' = 14.398$  m  
 $b' = 20.182$  m  
 Unter Gesamtlasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -4.068$  m  
**Resultierende im 2. Kern (= 7.396 m)**  
 $a' = 14.398$  m  
 $b' = 20.182$  m

**Grundbruch:**  
 Durchstanzen untersucht, aber nicht maßgebend.  
 Teilsicherheit (Grundbruch)  $\gamma_{Gr} = 1.40$   
 $\sigma_{0f,k} / \sigma_{0f,d} = 1874.9 / 1339.18$  kN/m<sup>2</sup>  
 $R_{n,k} = 544770.25$  kN  
 $R_{n,d} = 389121.61$  kN  
 $V_d = 1.35 \cdot 43193.00 + 1.50 \cdot 0.00$  kN  
 $V_d = 58310.55$  kN  
 $\mu$  (parallel zu y) = 0.150

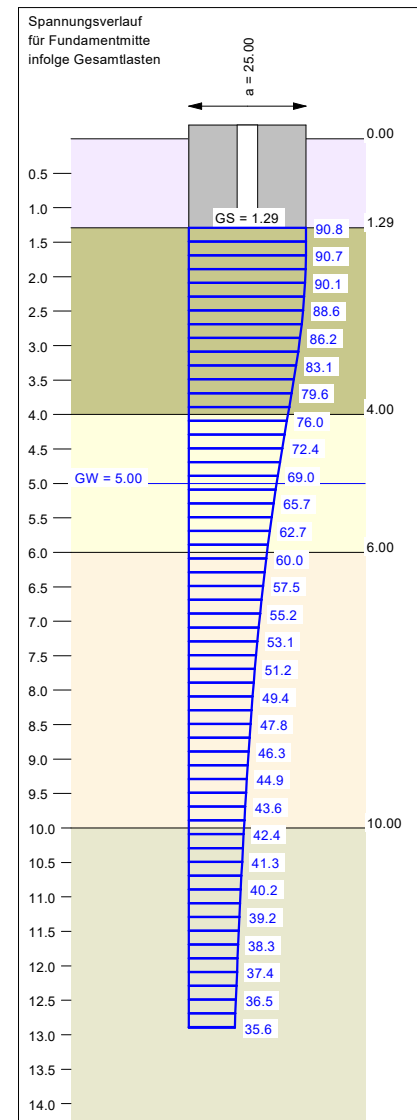
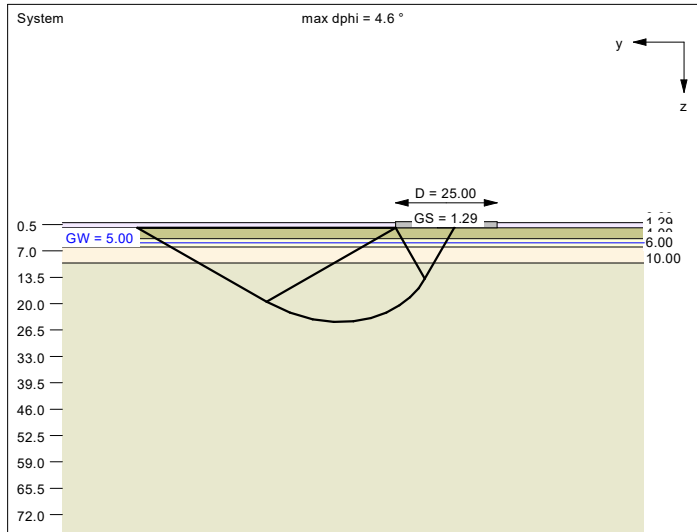
**Gleitwiderstand:**  
 Teilsicherheit (Gleitwiderstand)  $\gamma_{G1} = 1.10$   
 $N_k \cdot \tan(\phi) / \gamma_{G1} = 43193.00 \cdot \tan(30.00^\circ) / 1.10$   
 $R_{t,d} = N_k \cdot \tan(\phi) / \gamma_{G1} = 22670.45$  kN  
 $T_d = 2141.10$  kN  
 $\mu = T_d / R_{t,d} = 0.094$

**Setzung infolge Gesamtlasten:**  
 Grenztiefe  $t_g = 13.09$  m u. GOK  
 Setzung (Mittel aller KPs) = 5.04 cm  
 Setzungen der KPs:  
 oben = 0.77 cm  
 unten = 9.31 cm  
 Verdrehung(x) (KP) = 1 : 247.3

**cal  $\phi = 30.1^\circ$**   
 cal c = 0.00 kN/m<sup>2</sup>  
 cal  $\gamma_2 = 12.71$  kN/m<sup>3</sup>  
 cal  $\sigma_{ii} = 21.93$  kN/m<sup>2</sup>  
 UK log. Spirale = 24.21 m u. GOK  
 Länge log. Spirale = 93.22 m  
 Fläche log. Spirale = 1114.12 m<sup>2</sup>  
 Tragfähigkeitsbeiwerte (y):  
 $N_{c0} = 30.45$ ;  $N_{d0} = 18.67$ ;  $N_{b0} = 10.25$   
 Formbeiwerte (y):  
 $v_c = 1.378$ ;  $v_d = 1.358$ ;  $v_b = 0.786$   
 Neigungsbeiwerte (y):  
 $i_c = 0.945$ ;  $i_d = 0.948$ ;  $i_b = 0.914$



Boden	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi$ [°]	c [kN/m <sup>2</sup> ]	E <sub>s</sub> [MN/m <sup>2</sup> ]	v [-]	$\kappa$ [-]	Bezeichnung
	17.0	9.0	30.0	0.0	30.0	0.00	1.000	seitl. A
	19.0	11.0	35.0	0.0	60.0	0.00	1.000	Sand, md/BA
	20.0	10.0	30.0	0.0	10.0	0.00	1.000	Gl, w-st
	20.0	10.0	30.0	0.0	15.0	0.00	1.000	Gmg st
	21.0	12.0	30.0	0.0	30.0	0.00	1.000	Gmg, st-hf



Berechnungsgrundlagen:  
 WP Gyhum, WEA 5, 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  $\phi = 30.00^\circ$

Gründungssohle = 1.29 m  
 Grundwasser = 5.00 m  
 Grundtiefe mit  $p = 20.0\%$   
 Teilsicherheitskonzept  
 - - - - - 1. Kernweite  
 - - - - - 2. Kernweite

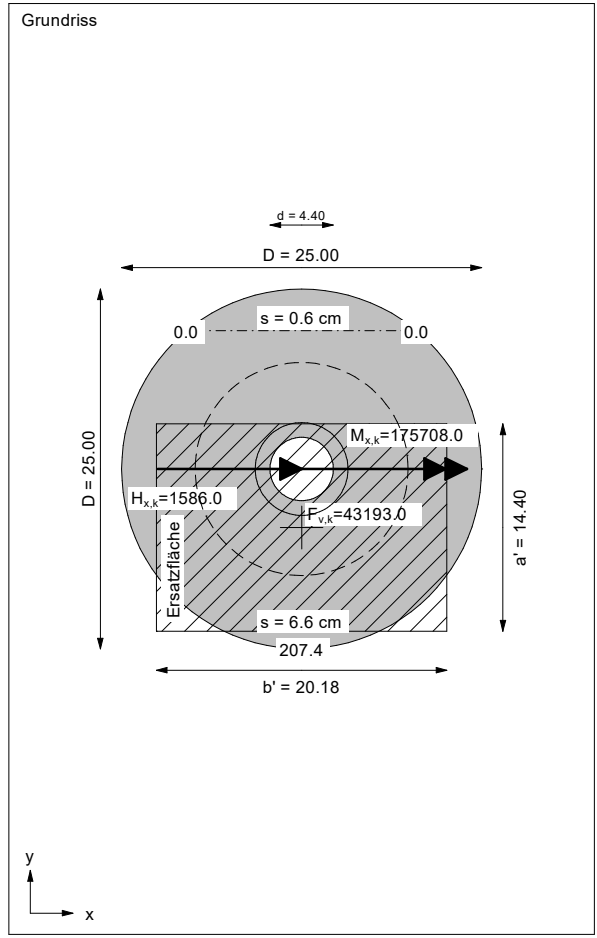
**Ergebnisse Einzelfundament:**  
 Lasten = ständig / veränderlich  
 Vertikallast  $F_{v,k} = 43193.00 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,k} = 1586.00 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,y,k} = 0.00 / 0.00$  kN  
 Moment  $M_{x,k} = 175708.00 / 0.00$  kN·m  
 Moment  $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$  kN·m  
 Durchmesser D = 25.000 m  
 Durchmesser (innen) d = 4.400 m  
 Unter ständigen Lasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -4.068$  m  
**Resultierende im 2. Kern (= 7.396 m)**  
 $a' = 14.398$  m  
 $b' = 20.182$  m  
 Unter Gesamtlasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -4.068$  m  
**Resultierende im 2. Kern (= 7.396 m)**  
 $a' = 14.398$  m  
 $b' = 20.182$  m

cal  $\phi = 30.5^\circ$   
 cal c = 0.00 kN/m<sup>2</sup>  
 cal  $\gamma_2 = 13.18$  kN/m<sup>3</sup>  
 cal  $\sigma_{ii} = 21.93$  kN/m<sup>2</sup>  
 UK log. Spirale = 24.50 m u. GOK  
 Länge log. Spirale = 94.70 m  
 Fläche log. Spirale = 1146.97 m<sup>2</sup>  
 Tragfähigkeitsbeiwerte (y):  
 $N_{b0} = 31.31$ ;  $N_{d0} = 19.43$ ;  $N_{b0} = 10.84$   
 Formbeiwerte (y):  
 $v_c = 1.381$ ;  $v_d = 1.362$ ;  $v_b = 0.786$   
 Neigungsbeiwerte (y):  
 $i_c = 0.946$ ;  $i_d = 0.948$ ;  $i_b = 0.914$

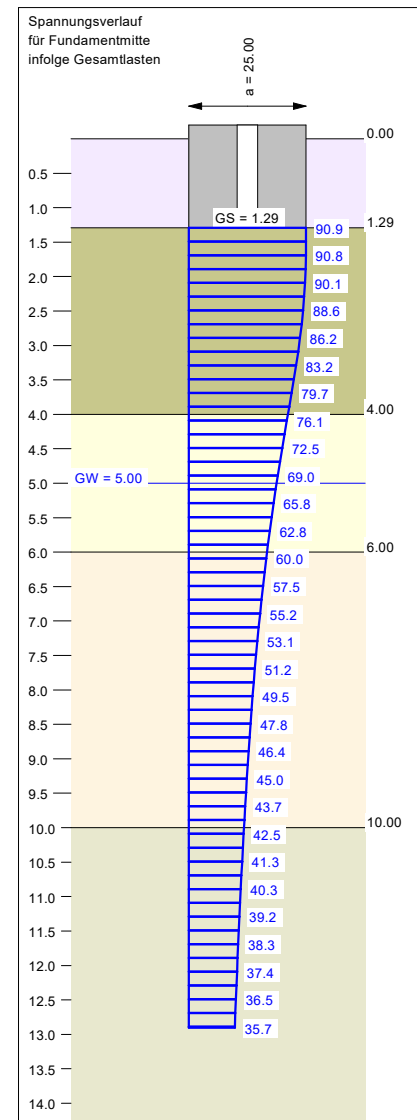
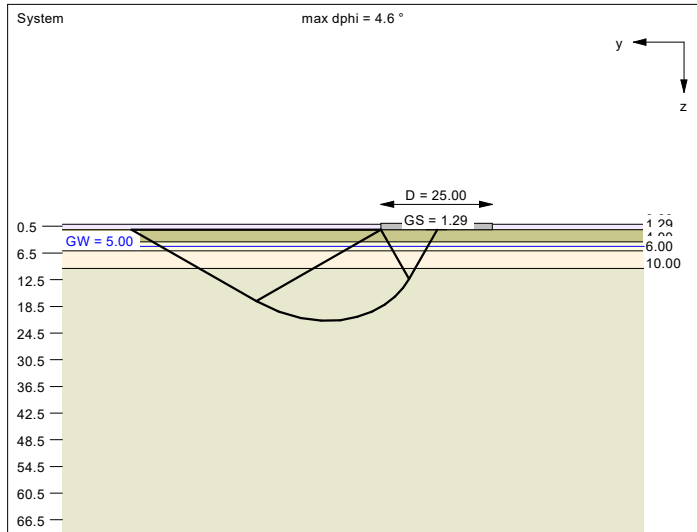
Gleitwiderstand:  
 Teilsicherheit (Gleitwiderstand)  $\gamma_{GI} = 1.10$   
 $N_k \cdot \tan(\phi) / \gamma_{GI} = 43193.00 \cdot \tan(30.00^\circ) / 1.10$   
 $R_{td} = N_k \cdot \tan(\phi) / \gamma_{GI} = 22670.45$  kN  
 $T_d = 2141.10$  kN  
 $\mu = T_d / R_{td} = 0.094$

Setzung infolge Gesamtlasten:  
 Grenztiefe  $t_g = 12.90$  m u. GOK  
 Setzung (Mittel aller KPs) = 3.61 cm  
 Setzungen der KPs:  
 oben = 0.60 cm  
 unten = 6.62 cm  
 Verdrehung(x) (KP) = 1 : 351.2

Grundbruch:  
 Durchstanzen untersucht,  
 aber nicht maßgebend.  
 Teilsicherheit (Grundbruch)  $\gamma_{Gr} = 1.40$   
 $\sigma_{0f,k} / \sigma_{0f,d} = 2027.3 / 1448.09$  kN/m<sup>2</sup>  
 $R_{n,k} = 589070.75$  kN  
 $R_{n,d} = 420764.82$  kN  
 $V_d = 1.35 \cdot 43193.00 + 1.50 \cdot 0.00$  kN  
 $V_d = 58310.55$  kN  
 $\mu$  (parallel zu y) = 0.139



Boden	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi$ [°]	c [kN/m <sup>2</sup> ]	E <sub>s</sub> [MN/m <sup>2</sup> ]	v [-]	$\kappa$ [-]	Bezeichnung
	17.0	9.0	30.0	0.0	30.0	0.00	1.000	seitl. A
	19.0	11.0	35.0	0.0	60.0	0.00	1.000	Sand, md/BA
	20.0	10.0	30.0	0.0	10.0	0.00	1.000	Gl, w-st
	20.0	10.0	30.0	0.0	15.0	0.00	1.000	Gmg st
	21.0	12.0	30.0	0.0	30.0	0.00	1.000	Gmg, st-hf



Berechnungsgrundlagen:  
 WP Gyhum, WEA 5, 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  $\phi = 30.00^\circ$

Gründungssohle = 1.29 m  
 Grundwasser = 5.00 m  
 Grundtiefe mit  $p = 20.0\%$   
 Teilsicherheitskonzept  
 - - - - 1. Kernweite  
 - - - - 2. Kernweite

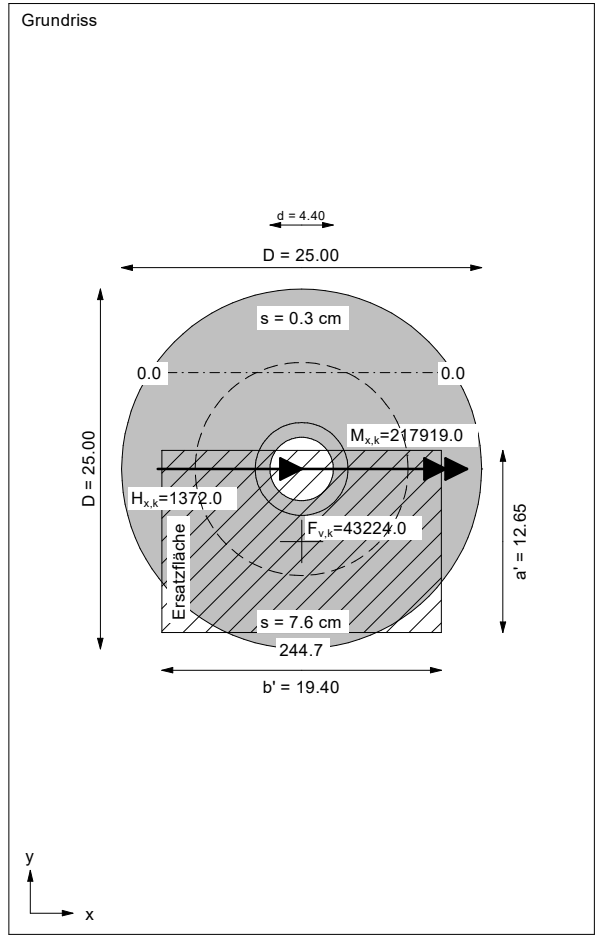
**Ergebnisse Einzelfundament:**  
 Lasten = ständig / veränderlich  
 Vertikallast  $F_{v,k} = 43224.00 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,x,k} = 1372.00 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,y,k} = 0.00 / 0.00$  kN  
 Moment  $M_{x,k} = 217919.00 / 0.00$  kN·m  
 Moment  $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$  kN·m  
 Durchmesser  $D = 25.000$  m  
 Durchmesser (innen)  $d = 4.400$  m  
 Unter ständigen Lasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -5.042$  m  
**Resultierende im 2. Kern (= 7.396 m)**  
 $a' = 12.648$  m  
 $b' = 19.397$  m  
 Unter Gesamtlasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -5.042$  m  
**Resultierende im 2. Kern (= 7.396 m)**  
 $a' = 12.648$  m  
 $b' = 19.397$  m

$\text{cal } \phi = 30.5^\circ$   
 $\text{cal } c = 0.00$  kN/m<sup>2</sup>  
 $\text{cal } \gamma_2 = 13.34$  kN/m<sup>3</sup>  
 $\text{cal } \sigma_{ii} = 21.93$  kN/m<sup>2</sup>  
 UK log. Spirale = 21.73 m u. GOK  
 Länge log. Spirale = 83.43 m  
 Fläche log. Spirale = 890.00 m<sup>2</sup>  
 Tragfähigkeitsbeiwerte (y):  
 $N_{d0} = 31.47$ ;  $N_{d0} = 19.57$ ;  $N_{b0} = 10.96$   
 Formbeiwerte (y):  
 $v_c = 1.349$ ;  $v_d = 1.331$ ;  $v_b = 0.804$   
 Neigungsbeiwerte (y):  
 $i_c = 0.954$ ;  $i_d = 0.956$ ;  $i_b = 0.926$

Gleitwiderstand:  
 Teilsicherheit (Gleitwiderstand)  $\gamma_{GI} = 1.10$   
 $N_k \cdot \tan(\phi) / \gamma_{GI} = 43224.00 \cdot \tan(30.00^\circ) / 1.10$   
 $R_{td} = N_k \cdot \tan(\phi) / \gamma_{GI} = 22686.72$  kN  
 $T_d = 1852.20$  kN  
 $\mu = T_d / R_{td} = 0.082$

Setzung infolge Gesamtlasten:  
 Grenztiefe  $t_g = 12.90$  m u. GOK  
 Setzung (Mittel aller KPs) = 3.95 cm  
 Setzungen der KPs:  
 oben = 0.34 cm  
 unten = 7.56 cm  
 Verdrehung(x) (KP) = 1 : 292.5

Grundbruch:  
 Durchstanzen untersucht,  
 aber nicht maßgebend.  
 Teilsicherheit (Grundbruch)  $\gamma_{Gr} = 1.40$   
 $\sigma_{0f,k} / \sigma_{0f,d} = 1922.5 / 1373.24$  kN/m<sup>2</sup>  
 $R_{n,k} = 471661.19$  kN  
 $R_{n,d} = 336900.85$  kN  
 $V_d = 1.35 \cdot 43224.00 + 1.50 \cdot 0.00$  kN  
 $V_d = 58352.40$  kN  
 $\mu$  (parallel zu y) = 0.173





### **ANLAGE 7.1-7.5**

Nachweis Drehfedersteifigkeit















**ANLAGE 8**  
**Hydraulische Berechnung**

## Hydraulische Berechnung

**Aufsteller**

**Antragsteller**

**Baugrundstück**

**Flurstück**

**Flur**

**Gemarkung**

**Absenkverfahren**

**Dränage**

**WP Gyhum**

**WEA 4**

Wassermenge  
nach Davidenkoff:

$$Q = kf \times s^2 [(1+t/s)]m + L1/R (1 + t/s \times n)]$$

<b>kf</b>	Durchlässigkeitsbeiwert	<b>1,30E-04</b>
<b>s</b>	Absenkbetrag	<b>1</b>
<b>t</b>	Mächtigkeit der aktiven Zone [m] = Abstand zwischen Baugrubensohle und Oberkante Wasserstauer	<b>1</b>
<b>L1</b>	Baugrubenlänge	<b>27,4</b>
<b>L2</b>	Baugrubenbreite	<b>27,4</b>
<b>R</b>	Einflussradius, Reichweite nach Sichardt [m]: $R = 3000 \times s \times \sqrt{kf}$	<b>34</b>
<b>m</b>	werden aus Diagrammen in	<b>2</b>
<b>n</b>	Abhängigkeit von R, t und L2 entnommen	<b>1,7</b>

**Q=** 8,0E-04 m<sup>3</sup>/s  
2,9 m<sup>3</sup>/h  
69 m<sup>3</sup>/d

Laboratorien Dr. Döring Haferwende 21 28357 Bremen

Ingenieurgeologie Dr. Lübbe  
Füchteler Str. 29

49773 VECHTA

10. Dezember 2020

## PRÜFBERICHT 011220040

Auftragsnr. Auftraggeber: 840-20-1  
Projektbezeichnung: WP Gyhum-Hesedorf  
Probenahme: durch Auftraggeber  
Probentransport: durch Laboratorien Dr. Döring GmbH am 27.11.2020  
Probeneingang: 28.11.2020  
Prüfzeitraum: 30.11.2020 – 10.12.2020  
Probennummer: 184846 - 184848 / 20  
Probenmaterial: Wasser  
Verpackung: diverse Gefäße  
Bemerkungen: -  
Sonstiges: Der Messfehler dieser Prüfungen befindet sich im üblichen Rahmen. Näheres teilen wir Ihnen auf Anfrage gerne mit. Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die angegebenen Prüfgegenstände. Eine auszugsweise Vervielfältigung dieses Prüfberichts bedarf der schriftlichen Genehmigung durch die Laboratorien Dr. Döring GmbH.  
Analysenbefunde: Seite 3  
Messverfahren: Seite 2  
Qualitätskontrolle:

Dr. Jens Krause  
(stellv. Laborleiter)

Dr. Joachim Döring  
(Geschäftsführer)



Messverfahren:	pH-Wert	DIN 38404-5 (C5): 2009-07
	el. Leitfähigkeit	DIN EN 27888 (C8): 1993-11
	Magnesium	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09
	Eisen	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09
	Phosphor	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2005-02
	Zink	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2005-02
	Chlorid	DIN EN ISO 10304-1 (D20): 2009-07
	Sulfat	DIN EN ISO 10304-1 (D20): 2009-07
	Nitrat	DIN EN ISO 10304-1 (D20): 2009-07
	Ammonium	DIN 38406-E5-1: 1983-10
	Nitrit	DIN EN 26777: 1993-04
	kalklös. Kohlensäure	DIN 38404-C10: 2012-12
	Redoxpotential	DIN 38404-C6: 1984-05
	Sauerstoffgehalt	DIN EN 25814 (G22): 1992-11
	Stickstoff, gesamt	DIN 38409 H12: 2005-12
	Kohlenwasserstoffe (GC, W)	DIN EN ISO 9377-2: 2001-07 (H53)

Labornummer	184846	184847	184848
Probenbezeichnung	<b>WP Gyhum Wea 3</b>	<b>WP Gyhum Wea 4</b>	<b>WP Gyhum Wea 5</b>
Dimension	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]
pH-Wert bei 20 °C	6,8	5,9	6,4
el. Leitfähigkeit [µS/cm] bei 25 °C	262	33	403
Kohlenwasserstoffe, n-C <sub>10-22</sub>	< 100	< 100	< 100
Kohlenwasserstoffe, n-C <sub>10-40</sub>	< 100	< 100	< 100
Magnesium	2.300	3.700	7.900
Eisen, gesamt	4.700	15.000	4.400
Phosphor	< 50	< 50	< 50
Zink	9,1	44	7,4
Chlorid	22.000	19.000	32.000
Sulfat	24.000	87.000	75.000
Nitrat-N	5.700	3.200	420
Nitrit-N	120	< 10	32
Ammonium-N	640	150	210
Stickstoff, gesamt	8.800	5.300	1.900
kalklösende Kohlensäure [mg/L]	17	33	22
Redoxpotential [mV]	- 51	+ 379	+ 110
Sauerstoffgehalt [mg/l]	3,7	7,8	3,1



Gutachten zur Standorteignung von Windenergieanlagen  
nach DIBt 2012 für den Windpark Gyhum

Deutschland

Bericht-Nr.: I17-SE-2020-324

Gutachten zur Standorteignung von WEA nach DIBt 2012 für den  
Windpark Gyhum

Bericht-Nr.: I17-SE-2020-324

Auftraggeber: Windwärts Energie GmbH  
Hanomaghof 1  
D- 30449 Hannover

Auftragnehmer: I17-Wind GmbH & Co. KG  
Am Westersielzug 11  
25840 Friedrichstadt  
Tel.: 04881 – 936 498 – 0  
Fax.: 04881 – 936 498 – 19  
E-Mail: [mail@i17-wind.de](mailto:mail@i17-wind.de)  
Internet: [www.i17-wind.de](http://www.i17-wind.de)

Datum: 09. Oktober 2020

## **Haftungsausschluss und Urheberrecht**

Das vorliegende Gutachten wurde unabhängig, unparteiisch und nach bestem Wissen und Gewissen nach derzeitigem Stand der Technik erstellt. Für vom Auftraggeber und vom Anlagenhersteller bereitgestellte Daten, die nicht von der I17-Wind GmbH & Co. KG erhoben oder ermittelt wurden, kann keine Gewähr für deren Korrektheit übernommen werden. Diese werden als richtig vorausgesetzt.

Urheber des vorliegenden Gutachtens zur Standorteignung von WEA nach DIBt 2012 ist die I17-Wind GmbH & Co. KG. Der Auftraggeber erhält nach § 31 Urheberrechtsgesetz das einfache Nutzungsrecht, welches nur durch Zustimmung des Urhebers übertragen werden kann. Eine Bereitstellung zum uneingeschränkten Download in elektronischen Medien ist ohne gesonderte Zustimmung des Urhebers nicht gestattet.

Die I17-Wind GmbH & Co. KG ist Mitglied im Sachverständigenbeirat des Bundesverbandes WindEnergie (BWE) e.V. und erfüllt damit die Voraussetzung zur Anerkennung der gutachterlichen Stellungnahme eines Sachverständigen gemäß Anlage 2.7/12 Fußnote 2 der Musterliste der Technischen Baubestimmungen über die örtlich auftretende Turbulenzbelastung und über die Zulässigkeit von vorgesehenen Abständen zu benachbarten Windenergieanlagen in Bezug auf die Standsicherheit der geplanten und bestehenden Anlagen.

## **Anmerkung zu Typenprüfung und Anlagenparametern der WEA**

Wenn zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung die Typenprüfung oder Einzelprüfung für die geplanten WEA noch nicht vorlag, wurde der Vergleich auf Basis vom Hersteller übermittelter Auslegungswerte der geplanten WEA durchgeführt. Es besteht die Möglichkeit, dass die im Genehmigungsverfahren eingereichten Dokumente bezüglich der Auslegungswerte der betrachteten WEA nicht mit den im vorliegenden Gutachten zitierten Dokumenten übereinstimmen. Die zitierten Dokumente entsprechen dem aktuellen Stand zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung. Bei abweichenden Dokumenten behält das vorliegende Gutachten dennoch seine Gültigkeit, wenn die im Gutachten berücksichtigten Auslegungswerte durch die im Rahmen des Genehmigungsverfahrens eingereichten Auslegungswerte abgedeckt sind. Im Folgenden ist der Begriff Einzelprüfung stets durch den Begriff Typenprüfung mit abgedeckt, auch wenn dies nicht explizit erwähnt wird.

Änderungen der berücksichtigten Anlagenparameter wie  $c_t$ -Kurve und Schnelllaufzahl  $\lambda$  sind dem Anlagenhersteller vorbehalten und bedürfen einer neuen Berechnung und Bewertung. Bei einer Änderung der Anlagenparameter gegenüber dem Stand zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung verliert das vorliegende Gutachten seine Gültigkeit.

---

Revisionsnummer	Datum	Änderung	Verfasser
0	09.10.2020	Erste Ausgabe	Lenz

---

**Verfasser:**

M. Sc. Kristine Lenz, Sachverständige  
Friedrichstadt, 09.10.2020



**Geprüft:**

M. Sc. Guido Köhler, Sachverständiger  
Friedrichstadt, 09.10.2020



## Inhaltsverzeichnis

1	Vorbemerkung.....	7
1.1	Allgemeines .....	7
1.2	Geführte Nachweise.....	7
1.2.1	Nachweis der Standorteignung an topografisch nicht komplexen Standorten durch Vergleich der Windbedingungen.....	8
1.2.2	Nachweis der Standorteignung an topografisch komplexen Standorten durch Vergleich der Windbedingungen.....	8
1.2.3	Verfahren bei Überschreitungen – Nachweis durch Vergleich der Lasten .....	9
1.3	Abweichungen von den Richtlinien.....	10
1.4	Modellunsicherheiten .....	11
2	Aufgabenstellung und Standort .....	12
2.1	Umfang des Gutachtens .....	12
2.2	Standortbeschreibung.....	12
2.3	Auslegungswindbedingungen der geplanten WEA .....	12
3	Vergleich der Windbedingungen.....	16
3.1	Grundlagen.....	16
3.2	Vergleich $v_{ave}$ und $v_{m50}$ .....	17
3.2.1	Vergleich der mittleren Windgeschwindigkeit $v_{ave}$ .....	17
3.2.2	Vergleich der 50-Jahres-Windgeschwindigkeit $v_{m50}$ .....	17
3.3	Vergleich der effektiven Turbulenzintensität $I_{eff}$ .....	18
3.3.1	Auslegungswindbedingungen hinsichtlich der Turbulenzintensität .....	18
3.3.2	Ermittlung der Umgebungsturbulenzintensität .....	20
3.3.3	Ermittlung der effektiven Turbulenzintensität $I_{eff}$ .....	22
4	Zusammenfassung.....	26
5	Standortbesichtigung .....	27
	Abkürzungs- und Symbolverzeichnis.....	28
	Literaturverzeichnis.....	30

---

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Zu untersuchende Windparkkonfiguration; Kartenmaterial: [19.1, 19.2]..... 15

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Zu untersuchende Windparkkonfiguration .....	13
Tabelle 2.2: Auslegungswindbedingungen der neu geplanten WEA .....	14
Tabelle 3.1: Windverhältnisse am Standort [22.1].....	16
Tabelle 3.2: Vergleich der mittleren Windgeschwindigkeit $v_{ave}$ auf Nabenhöhe der geplanten WEA..	17
Tabelle 3.3: Vergleich der 50-Jahres-Windgeschwindigkeit $v_{m50}$ auf Nabenhöhe der geplanten WEA	18
Tabelle 3.4: Richtlinienabhängige Auslegungswindbedingungen hinsichtlich der Turbulenzintensität	19
Tabelle 3.5: Komplexitätskriterien nach DIN EN 61400-1:2011-08 [7] .....	21
Tabelle 3.6: Anzusetzende Turbulenzstrukturparameter nach [7] .....	21
Tabelle 3.7: Repräsentative Turbulenzintensität für einen Standort.....	22
Tabelle 3.8: Ermittelte effektive Turbulenzintensitäten $I_{eff}$ .....	25
Tabelle 4.1: Zusammenfassung der Ergebnisse geplante WEA.....	26



# 1 Vorbemerkung

## 1.1 Allgemeines

Das Deutsche Institut für Bautechnik DIBt hat Anfang des Jahres 2013 die Fassung Oktober 2012 der „Richtlinie für Windenergieanlagen – Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung“ veröffentlicht und im März 2015 eine korrigierte Fassung herausgegeben [1.1], auf deren Grundlage das vorliegende Gutachten erstellt wurde.

Aufgrund fehlender Kriterien für einen Immissionsgrenzwert für die durch benachbarte Windenergieanlagen verursachten erhöhten Turbulenzbelastungen an einer WEA, können ersatzweise die Kriterien der Standorteignung bezüglich der effektiven Turbulenzintensität für eine Turbulenzimmissionsprognose im Rahmen eines Antrages nach dem Bundes-Immissionsschutz-Gesetz (BImSchG) herangezogen werden. Eine Reduktion der Lebenszeit und der zusätzliche Verschleiß der WEA sind zumutbar, solange die Standorteignung hinsichtlich der Auslegungswerte der Turbulenzintensität oder hinsichtlich der Auslegungslasten gewährleistet bleibt. Somit stellt das vorliegende Gutachten zur Standorteignung von WEA zusätzlich eine Turbulenzimmissionsprognose im Sinne des BImSchG dar und kann als Bestandteil der Antragsstellung nach dem BImSchG verwendet werden.

## 1.2 Geführte Nachweise

Die Richtlinie DIBt 2012 [1.1] fordert in Kapitel 16 ein alternatives, vereinfachtes Verfahren zum Nachweis der Standorteignung von WEA, das jedoch nur angewendet werden darf, wenn die Standorte der geplanten WEA nach DIN EN 61400-1:2011-08 [7] als nicht topografisch komplexe Standorte zu bezeichnen sind. Sind vereinzelt Standorte neu geplanter WEA als topografisch komplex zu bezeichnen, wird der vereinfachte Nachweis der Standorteignung um die Kriterien nach DIN EN 61400-1:2011-08 [7] oder IEC 61400-1 ed.4 [6], jeweils Abschnitt 11.9, erweitert. Die folgenden Abschnitte stellen beide Verfahrensweisen dar. Die Vergleiche der Auslegungswerte für die zu untersuchenden Größen mit den im Rahmen dieses Gutachtens ermittelten Werten sind nach der DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 nur für neu geplante Anlagen zu führen [1.1]. Für bestehende Anlagen, die nach der DIBt 1993 [3] oder DIBt 2004 [2] typengeprüft wurden, darf im Falle einer Parkänderung / -erweiterung der Nachweis der Standorteignung auch weiterhin nach dem Verfahren der DIBt 2004 erbracht werden [1.1].

Die Richtlinie DIBt 2012 [1.1] lässt folgende Möglichkeiten, bzw. mögliche auftretende Konfigurationen, in Bezug auf die Typenprüfung und die dieser zu Grunde gelegten Richtlinie, unberücksichtigt:

- i. Der geplanten Anlage liegt eine Typenprüfung nach der Richtlinie DIBt 2004 [2] zu Grunde.
- ii. Einer oder mehrerer zu berücksichtigender Bestandsanlagen liegt eine Typenprüfung nach der DIBt 2012 [1.1] Richtlinie zu Grunde.

Für diese zwei beschriebenen Fälle, die nicht durch die DIBt 2012 [1.1] abgedeckt sind, werden folgende Verfahrensweisen gemäß [1.2] als Quasistandard angewandt:

- i. Liegt einer neu geplanten Anlage eine Typenprüfung gemäß DIBt 2004 [2] zu Grunde, wird der Nachweis der Standorteignung basierend auf dem vereinfachten Verfahren nach DIBt 2012 [1.1], beschrieben in Abschnitt 1.2.1, geführt. Dieser Nachweis entspricht den Mindestanforderungen der zum Nachweis der Standorteignung der Typenprüfung nach DIBt 2004 [2] zu Grunde gelegten Richtlinie DIN EN 61400-1:2004 [8], bzw. IEC 61400-1 ed.2 [4].
- ii. Da davon auszugehen ist, dass für bereits genehmigte, bzw. bestehende Anlage mit einer Typenprüfung nach DIBt 2012 [1.1] die Standorteignung in deren Genehmigungsverfahren nachgewiesen wurde, werden nur durch hinzukommende Anlagen beeinflusste Parameter geprüft und mit den Auslegungswerten verglichen. Dies entspricht lediglich der effektiven Turbulenzintensität  $I_{eff}$ , welche durch einen Zubau erhöht werden kann.

### 1.2.1 Nachweis der Standorteignung an topografisch nicht komplexen Standorten durch Vergleich der Windbedingungen

Der nach der DIBt Richtlinie Fassung 2012 [1.1] vereinfachte Nachweis zur Standorteignung verlangt folgende Nachweise der Windbedingungen auf Nabenhöhe der geplanten WEA:

- i. Vergleich der mittleren Windgeschwindigkeit.
  - (1) Die mittlere Windgeschwindigkeit am Standort ist um mindestens 5 % kleiner als gemäß Typen-/Einzelprüfung, oder
  - (2) die mittlere Windgeschwindigkeit ist kleiner als gemäß Typen-/Einzelprüfung und für den Formparameter  $k$  der Weibull-Funktion gilt:  $k \geq 2$ .
- ii. Vergleich der effektiven Turbulenzintensität nach DIN EN 61400-1:2011-08 [7] zwischen  $0.2 v_{m50}(h)$  und  $0.4 v_{m50}(h)$  mit der Auslegungsturbulenz nach NTM.
- iii. Vergleich der 50-Jahreswindgeschwindigkeit.
  - (1) Die Windzone gemäß Typen-/Einzelprüfung deckt die Windzone des betrachteten Standortes entsprechend der Windzonenkarte ab (die detaillierten Regelungen gemäß DIN EN 1991-1-4, Absatz 4.3.3 einschließlich NA [9] für nicht ebene Geländelagen sind ggf. zu beachten), oder
  - (2) die 50-Jahreswindgeschwindigkeit  $v_{m50}(h)$  gemäß Typen-/Einzelprüfung deckt die 50-Jahreswindgeschwindigkeit am Standort ab (z.B. Nachweis durch eine Extremwindabschätzung).

### 1.2.2 Nachweis der Standorteignung an topografisch komplexen Standorten durch Vergleich der Windbedingungen

Handelt es sich nach Abschnitt 11.2 der DIN EN 61400-1:2011-08 [7] um einen als topografisch komplex zu bezeichnenden Standort und liegt der zu untersuchenden WEA eine Typenprüfung nach DIBt 2012 [1.1] zu Grunde, wird der vereinfachte Nachweis zur Standorteignung nach Abschnitt 1.2.1 um folgende Nachweise der Windbedingungen auf Nabenhöhe der geplanten WEA, basierend auf DIN EN 61400-1:2011-08 [7] oder IEC 61400-1 ed.4 [6] erweitert.

- i. Das Maximum bzw. Minimum der Schräganströmung  $\delta$  darf den vorgegebenen Wert von  $\pm 8^\circ$ , bzw. den in der Typenprüfung angegebenen Wert, nicht überschreiten bzw. unterschreiten.
  - (1) Die IEC 61400-1 ed.4 [6] sieht für den Nachweis zur Standorteignung bezüglich der Schräganströmung den Vergleich des energiegewichteten Mittelwertes aller Richtungen mit dem vorgegebenen Wert von  $\pm 8^\circ$ , bzw. dem in der Typenprüfung angegebenen Wert vor. Der Vergleich erfolgt dann auf Basis der nach [6] ermittelten Ausgleichsebene mit Radius  $5z_{hub}$ , erweitert um  $2z_{hub}$  hinter der WEA.
  - (2) Die DIN EN 61400-1:2011-08 [7] sieht für den Nachweis der Standorteignung bezüglich der Schräganströmung den Vergleich des sektoriellen Maximal- bzw. Minimalwertes mit einem vorgegebenen Wert von  $\pm 8^\circ$ , bzw. dem in der Typenprüfung angegebenen Wert vor. Der Vergleich erfolgt dann auf Basis der nach [7] ermittelten Ausgleichsebene mit Radius  $5z_{hub}$ .
- ii. Der Standortmittelwert des Höhenexponenten  $\alpha$  darf den vorgegebenen Minimal- bzw. Maximalwert nicht unter- bzw. überschreiten:
  - (1) Die IEC 61400-1 ed.4 [6] fordert für den Nachweis zur Standorteignung bezüglich des Höhenexponenten den Vergleich des energiegewichteten Mittelwertes über alle Richtungen mit dem vorgegebenen Wert von  $0.05 \leq \alpha \leq 0.25$ , bzw. dem in der Typenprüfung angegebenen Wert.

(2) Die DIN EN 61400-1:2011-08 [7] fordert für den Nachweis zur Standorteignung bezüglich des Höhenexponenten den Vergleich des sektoriellen Maximal- bzw. Minimalwertes von  $0 \leq \alpha \leq 0.2$  oder dem in der Typenprüfung angegebenen Wert.

- iii. Der Standortmittelwert der Luftdichte  $\rho$  darf bei allen Windgeschwindigkeiten größer gleich der Nennwindgeschwindigkeit den Wert  $1.225 \text{ kg/m}^3$  oder den in der Typenprüfung angegebenen Wert nicht überschreiten [7]. Die IEC 61400-1 ed.4 [6] fordert für den Nachweis zur Standorteignung bezüglich der Luftdichte die Einhaltung folgender Ungleichung:

$$\rho_{\text{Auslegung}} * v_{\text{ave,Auslegung}}^2 \geq \rho_{\text{Standort}} * v_{\text{ave,Standort}}^2$$

- iv. Die standortspezifische extreme Turbulenz muss nach [7] ermittelt und der Nachweis erbracht werden, dass die Auslegungswerte des ETM im Sektor mit der höchsten mittleren Windgeschwindigkeit nicht überschritten werden. Nach [6] ist der Nachweis zu erbringen, dass die Auslegungswerte des ETM in der Nachlaufsituation mit der höchsten Nachlaufturbulenz, im Zentrum des Nachlaufs, nicht überschritten werden.
- v. Der standortspezifische Extremwert des horizontalen Windgradienten darf den Extremwert nach [7], Kapitel 6.3.2.6 nicht überschreiten. Die IEC 61400-1 ed.4 [6] sieht diesen Nachweis nicht mehr vor.

### 1.2.3 Verfahren bei Überschreitungen – Nachweis durch Vergleich der Lasten

Kann der vereinfachte Nachweis der Windbedingungen nach DIBt 2012 [1.1] aus Abschnitt 1.2.1 nicht geführt werden, da die zu prüfenden Parameter nicht eingehalten werden, kann die Standorteignung auf Basis eines Lastvergleiches unter Berücksichtigung der standortspezifischen Windbedingungen aus Abschnitt 1.2.1 durchgeführt werden. Demnach ist bei einer Überschreitung der mittleren Windgeschwindigkeit  $v_{\text{ave}}$ , oder bei Überschreitung der effektiven Turbulenzintensität  $I_{\text{eff}}$ , der Nachweis der Standorteignung der jeweiligen WEA auf Basis eines Lastvergleiches der Betriebsfestigkeitslasten (Vergleich der standortspezifischen Lasten mit den Lastannahmen der Typenprüfung) zu führen. Bei einer Überschreitung der 50-Jahreswindgeschwindigkeit  $v_{m50}(h)$  ist der Nachweis der Standorteignung der jeweiligen WEA auf Basis eines Lastvergleiches der Extremlasten (Vergleich der standortspezifischen Lasten mit den Lastannahmen der Typenprüfung) zu führen.

Kann der Nachweis der Windbedingungen an einem als topografisch komplex zu bezeichnenden Standort nach Abschnitt 1.2.1 und Abschnitt 1.2.2 nicht geführt werden, da die zu prüfenden Werte nicht eingehalten werden, kann die Standorteignung entsprechend DIN EN 61400-1:2011-08 [7] und IEC 61400-1 ed.4 [6] auf Basis eines Lastvergleiches unter Berücksichtigung der standortspezifischen Windbedingungen aus Abschnitt 1.2.1 und Abschnitt 1.2.2 durchgeführt werden. Demnach ist der Nachweis der Standorteignung der jeweiligen WEA auf Basis eines Lastvergleiches der Betriebsfestigkeitslasten und der Extremlasten zu führen.

In beiden Fällen werden die der Typenprüfung zu Grunde gelegten Auslegungslasten mit den standortspezifischen Lasten, die auf Basis der standortspezifischen Windbedingungen aus dem vorliegenden Gutachten ermittelt werden, verglichen. Wenn sich zeigt, dass die standortspezifischen Lasten die Auslegungslasten nicht überschreiten oder diese einhalten, ist eine Standorteignung durch den Vergleich der Lasten nachgewiesen. Werden die Auslegungslasten nicht eingehalten, muss die Anlage gegebenenfalls mit einer sektoriellen Betriebseinschränkung betrieben werden, um die Lasten soweit zu reduzieren, dass sie innerhalb der Auslegungslasten liegen, oder die Standorteignung kann nicht durch einen Vergleich der Lasten nachgewiesen werden.

Die Berechnung der standortspezifischen Lasten erfolgt in der Regel durch den/die Hersteller der betrachteten WEA. Der zugehörige Bericht zur durchgeführten Lastberechnung wird der I17-Wind GmbH & Co. KG im Rahmen einer Geheimhaltungsvereinbarung vorgelegt. Die Berichte werden von der I17-Wind GmbH & Co. KG dahingehend überprüft, ob die Eingangsdaten korrekt übernommen und angesetzt wurden. Das Ergebnis der Lastberechnung wird als richtig vorausgesetzt.

### 1.3 Abweichungen von den Richtlinien

Folgende, von der DIBt 2012 Richtlinie [1.1] und der DIN EN 61400-1:2011-08 [7] abweichende, Verfahren wurden für das vorliegende Gutachten zur Standorteignung von WEA gewählt:

- I. Entsprechend der DIBt 2012 [1.1] ist es für eine Prüfung der Standorteignung Voraussetzung, dass für die WEA eine Typenprüfung bzw. eine Einzelprüfung vorliegt. Ist dies nicht der Fall, wird der Vergleich auf Basis von vorläufigen Auslegungswerten, für die die Typenprüfung voraussichtlich angestrebt wird, durchgeführt. Somit behält das vorliegende Gutachten im Falle einer Typenprüfung bzw. Einzelprüfung, welche die zu Grunde gelegten Auslegungsparameter abdeckt, seine Gültigkeit.
- II. Der Vergleich des Standortwertes der mittleren Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe  $v_{ave}$  mit dem Auslegungswert kann nur nach [1.1] erfolgen, wenn die Auslegungswerte der zu betrachtenden WEA einen Formparameter  $k$  der Weibullverteilung von  $k = 2.0$  ausweisen. Wenn die Auslegungswerte der zu betrachtenden WEA einen Formparameter  $k \neq 2.0$  ausweisen, kann der in [1.1] geforderte Vergleich nicht mehr erfolgen. In diesem Fall wird das Verfahren nach [7] und [6] gewählt, welches einen Vergleich der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion  $pdf_{NH}$  der standortspezifischen Windgeschwindigkeiten mit der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion  $pdf_{TP}$  der Typenprüfung in einem Bereich von  $0.2v_{ref} - 0.4v_{ref}$  nach [7], bzw. in einem Bereich von  $v_{ave} - 2v_{ave}$  nach [6] fordert. Die zu prüfenden Bereiche aus [7] und [6] sind in der Regel annähernd deckungsgleich, es wird jedoch immer der von beiden Normen abdeckende Bereich geprüft. In dem zu untersuchenden Bereich muss die Bedingung  $pdf_{NH} \leq pdf_{TP}$  erfüllt sein. Die Berechnung der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen  $pdf_{NH}$  und  $pdf_{TP}$  erfolgt entsprechend [6] auf Basis der Standortmittelwerte  $A_{NH}$  und  $k_{NH}$  bzw. der Auslegungswerte  $A_{TP}$  und  $k_{TP}$  der zu untersuchenden WEA.
- III. Erfolgt der Nachweis der Standorteignung durch den Vergleich der Windbedingungen nach Abschnitt 1.2.1 und 1.2.2, hat der Vergleich der standortspezifischen effektiven Turbulenzintensität und der Auslegungsturbulenz nach NTM in dem Bereich zwischen  $0.2v_{m50}(h)$  und  $0.4v_{m50}(h)$  zu erfolgen [1.1]. Liegt einer zu betrachtenden WEA keine Auslegungsturbulenz nach NTM vor, erfolgt der Vergleich mit der in der Typenprüfung aufgeführten Auslegungsturbulenz. Ist die Leistungskurve der WEA bekannt, hat der Vergleich nach [7] in dem Bereich zwischen  $0.6v_r$  und  $v_{out}$  zu erfolgen. Erfolgt der Nachweis der Standorteignung durch den Vergleich der Lasten nach Abschnitt 1.2.3, sind der Lastberechnung nach [1.1] mindestens die standortspezifischen effektiven Turbulenzintensitäten von  $v_{in}$  bis  $0.4v_{m50}(h)$  bzw. von  $v_{in}$  bis  $v_{out}$  nach [7] zu Grunde zu legen. Im vorliegenden Gutachten werden die standortspezifischen effektiven Turbulenzintensitäten mindestens im Windgeschwindigkeitsbereich von 5 m/s bis 25 m/s (bzw.  $v_{out}$  wenn  $v_{out} < 25$  m/s) ausgewiesen, was die oben beschriebenen Anforderungen für den Nachweis der Standorteignung durch den Vergleich der Windbedingungen nach [1.1], [6] und [7] abdeckt. Erfolgt der Nachweis der Standorteignung durch den Vergleich der Lasten, werden dem Anlagenhersteller grundsätzlich die standortspezifischen effektiven Turbulenzintensitäten in dem Bereich von  $v_{in}$  bis  $v_{out}$  zur Verfügung gestellt. Liegt einer zu prüfenden WEA eine Typenprüfung nach [2] zu Grunde, erfolgt der Vergleich mit der Turbulenzkurve für Turbulenzkategorie A nach [1.1], da dieser Verlauf den nach [2] anzusetzenden mit abdeckt.
- IV. Bezüglich der effektiven Turbulenzintensität  $I_{eff}$  werden grundsätzlich alle Anlagen im Umkreis des 10fachen Rotordurchmessers  $D$  der geplanten Anlage(n) in die Betrachtung einbezogen und nachgewiesen. Dieses Kriterium deckt alle Kriterien nach [1.1], [6] und [7] ab.
- V. Der standortspezifische Mittelwert der Luftdichte  $\rho$  wird abdeckend für alle Windgeschwindigkeiten angegeben. Kann der Nachweis der Standorteignung in Bezug auf die Luftdichte nicht nach [7] geführt werden, erfolgt ggf. eine Überprüfung und eine Bewertung auf Basis der differenzierteren Betrachtung nach [6].

- VI. Der standortspezifische Extremwert des horizontalen Windgradienten wird entsprechend der IEC 61400-1 ed.4 [6] nicht berücksichtigt.
- VII. Auf Grund der verwendeten Berechnungsprogramme und deren Zahlenausgabeformat, werden die im vorliegenden Gutachten ausgewiesenen Ergebnisse in der Regel mit dem Dezimaltrennzeichen „Punkt“ versehen.
- VIII. Auf Grund der unterschiedlichen Begrifflichkeiten und Bezeichnungen identischer Größen in den zu Grunde gelegten Richtlinien und Normen, werden im vorliegenden Gutachten teilweise Begriffe und Bezeichnungen gewählt bzw. eingeführt, die, soweit möglich, eine Ähnlichkeit zu den jeweiligen Begriffen und Bezeichnungen in den Richtlinien und Normen aufweisen, um sie diesen zuordnen zu können. Die korrekte Umsetzung der in den Richtlinien und Normen geforderten Vergleiche bleibt davon unberührt.

## 1.4 Modellunsicherheiten

Alle im Rahmen des vorliegenden Gutachtens ermittelten Ergebnisse und Zwischenergebnisse basieren einerseits auf Angaben, die vom Auftraggeber übermittelt wurden und andererseits auf Berechnungsergebnissen, die durch die I17-Wind GmbH & Co. KG ermittelt wurden. Zu den Unsicherheiten der den Eingangsdaten vom Auftraggeber zu Grunde gelegten Berechnungsmodellen kann seitens der I17-Wind GmbH & Co. KG keine Aussage getroffen werden. Diese Eingangsdaten werden im Weiteren als richtig und repräsentativ für den betrachteten Standort vorausgesetzt.

Die in den Berechnungen herangezogenen Anlagenparameter, Schubbeiwert  $c_t$  und Schnelllaufzahl  $\lambda$ , werden in der Regel vom Hersteller bereitgestellt. Diese Werte werden als richtig vorausgesetzt. Die berücksichtigten Werte entsprechen dem Stand zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung. Änderungen sind dem Anlagenhersteller vorbehalten und bedürfen einer neuen Berechnung. Bei älteren Anlagen, für die keine Informationen vorliegen, werden konservativ abdeckende, generische Anlagenparameter angesetzt.

Den von der I17-Wind GmbH & Co. KG ermittelten Ergebnissen liegen unterschiedliche, vereinfachte physikalische Modelle zu Grunde, die nur annähernd die Realität abbilden, jedoch als konservativ zu bewerten sind. Des Weiteren werden bei den Berechnungen teilweise vereinfachende Annahmen getroffen, die jedoch allesamt ebenfalls als konservativ zu bewerten sind.

## 2 Aufgabenstellung und Standort

### 2.1 Umfang des Gutachtens

Da im geplanten Windpark kein Anlagenstandort einer nach DIBt 2012 typengeprüften Anlage nach DIN EN 61400-1:2011-08 [7], bzw. IEC 61400-1 ed.4 [6] als topografisch komplexer Standort zu bezeichnen ist, findet das vereinfachte Verfahren nach Abschnitt 1.2.1 für alle Anlagen Anwendung.

### 2.2 Standortbeschreibung

Der Auftraggeber plant die Errichtung von fünf WEA des Typs GE-5.5-158 auf 161.0 m Nabenhöhe. Das Standortzentrum liegt südlich der Gemeinde Gyhum im Landkreis Rotenburg in Niedersachsen.

Die I17-Wind GmbH & Co. KG wurde damit beauftragt, ein Gutachten zur Standorteignung von WEA nach der DIBt 2012 Richtlinie [1.1] unter Berücksichtigung der in Tabelle 2.1 aufgeführten [21] und in Abbildung 2.1 dargestellten WEA zu erstellen. Tabelle 2.1 führt neben den Spezifikationen der WEA am Standort auch die der Typenprüfung zu Grunde gelegten, bzw. bei fehlender Information unterstellten, Richtlinien auf. Des Weiteren wird aufgeführt, welcher Wöhlerlinienkoeffizient  $m$  für die Berechnung der effektiven Turbulenzintensität  $I_{eff}$  herangezogen wurde. Die Ergebnisse in 3.3.3 berücksichtigen den jeweiligen Wöhlerlinienkoeffizienten aus Tabelle 2.1.

Die Spalte „Innerhalb 10  $D$ “ weist aus, welche WEA sich innerhalb eines Umkreises von 10  $D$  um die geplanten WEA befinden. Für diese WEA hat nach [6] und [7] eine Bewertung der topografischen Komplexität und der effektiven Turbulenzintensität  $I_{eff}$  zu erfolgen.

Im vorliegenden Gutachten beziehen sich alle Bezeichnungen auf die interne, laufende W-Nummer. Wird eine Größe mit dem Index  $_{TP}$  bezeichnet, handelt es sich um den Auslegungswert der zu betrachtenden WEA. Eine Bezeichnung mit dem Index  $_{NH}$  weist auf den standortspezifischen Wert der betrachteten Anlage hin.

Im vorgegeben Windparklayout ergibt sich der geringste relative Abstand  $s$  einer neu geplanten WEA zu einer anderen WEA von 2.57, bezogen auf den größeren Rotordurchmesser  $D$ . Dies betrifft die WEA W1 und W2.

### 2.3 Auslegungswindbedingungen der geplanten WEA

Die Auslegungswindbedingungen werden entweder der Typenprüfung entnommen oder vom Hersteller übermittelt. Da der Vergleich der Auslegungswindbedingungen, abgesehen von  $I_{eff}$ , mit den standortspezifischen Bedingungen nur für neu geplante WEA zu führen ist, werden in Tabelle 2.2 nur die Auslegungswindbedingungen der neu geplanten WEA aufgeführt.



Tabelle 2.1: Zu untersuchende Windparkkonfiguration

Interne W-Nr.	Bezeichnung Auftraggeber	Neu / Bestand	Innerhalb 10 D	Topografisch komplex	UTM ETRS89 Zone 32		Hersteller	WEA Typ	NH [m]	D [m]	FEH [m]	P <sub>N</sub> [kW]	Prüfgrundlage DIBt	TK	m <sub>max, TP</sub> [-]
					X [m]	Y [m]									
W1	26-01	Neu	Ja	Nein	520662	5895078	GE	GE-5.5-158	161.0	158.0	0.0	5500	2012	S	14
W2	26-02	Neu	Ja	Nein	520439	5894739	GE	GE-5.5-158	161.0	158.0	0.0	5500	2012	S	14
W3	26-03	Neu	Ja	Nein	520377	5894260	GE	GE-5.5-158	161.0	158.0	0.0	5500	2012	S	14
W4	26-04	Neu	Ja	Nein	520769	5894401	GE	GE-5.5-158	161.0	158.0	0.0	5500	2012	S	14
W5	26-05	Neu	Ja	Nein	521214	5894237	GE	GE-5.5-158	161.0	158.0	0.0	5500	2012	S	14
W6	Nartum-1	Bestand	Nein	-	516952	5893349	GE	GE-5.5-158	161.0	158.0	0.0	5500	2012	S	14
W7	Nartum-2	Bestand	Nein	-	517383	5893177	GE	GE-5.5-158	161.0	158.0	0.0	5500	2012	S	14
W8	Nartum-3	Bestand	Nein	-	517471	5893570	GE	GE-5.5-158	161.0	158.0	0.0	5500	2012	S	14
W9	Nartum-4	Bestand	Nein	-	517853	5893426	GE	GE-5.5-158	161.0	158.0	0.0	5500	2012	S	14
W10	Nartum-5	Bestand	Nein	-	518273	5893705	GE	GE-5.5-158	161.0	158.0	0.0	5500	2012	S	14
W11	Elsdorf 1	Bestand	Nein	-	523000	5896706	Nordex	N90/2300	100.0	90.0	0.0	2300	2004	A	10
W12	Elsdorf 2	Bestand	Nein	-	523257	5896540	Nordex	N90/2300	100.0	90.0	0.0	2300	2004	A	10
W13	Elsdorf 3	Bestand	Nein	-	523367	5897102	Nordex	N90/2300	100.0	90.0	0.0	2300	2004	A	10
W14	Elsdorf 4	Bestand	Nein	-	523573	5896449	Nordex	N90/2300	100.0	90.0	0.0	2300	2004	A	10
W15	Elsdorf 5	Bestand	Nein	-	523691	5897080	Nordex	N90/2300	100.0	90.0	0.0	2300	2004	A	10
W16	Elsdorf 6	Bestand	Nein	-	523890	5896301	Nordex	N90/2300	100.0	90.0	0.0	2300	2004	A	10
W17	Elsdorf 7	Bestand	Nein	-	523964	5896601	Nordex	N90/2300	100.0	90.0	0.0	2300	2004	A	10
W18	Elsdorf 8	Bestand	Nein	-	523982	5896889	Nordex	N90/2300	100.0	90.0	0.0	2300	2004	A	10
W19	Elsdorf E44 1	Bestand	Nein	-	523517	5896891	ENERCON	E-40 / 6.44	57.0	44.0	0.0	600	1993	A	10
W20	Elsdorf E44 2	Bestand	Nein	-	523677	5896801	ENERCON	E-40 / 6.44	57.0	44.0	0.0	600	1993	A	10
W21	Gyhum E44 1	Bestand	Nein	-	519523	5897408	ENERCON	E-40 / 6.44	50.0	44.0	0.0	600	1993	A	10
W22	Gyhum E44 2	Bestand	Nein	-	519569	5897284	ENERCON	E-40 / 6.44	50.0	44.0	0.0	600	1993	A	10

Tabelle 2.2: Auslegungswindbedingungen der neu geplanten WEA

Interne W-Nr.	Prüf-grundlage	WZ	GK	$v_{ave,TP}$ [m/s]	$k_{TP}$ [-]	$v_{m50,TP}$ [m/s]	TK	$\delta_{TP}$ [°]	$\alpha_{TP}$ [-]	$\rho_{TP}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	ETM	Auslegungs-lebensdauer [a]	Quelle
W1 – W5	DIBt 2012	S	S	7.5	2.0	40.2	S	8.0	0.2	1.225	S	25	[24]



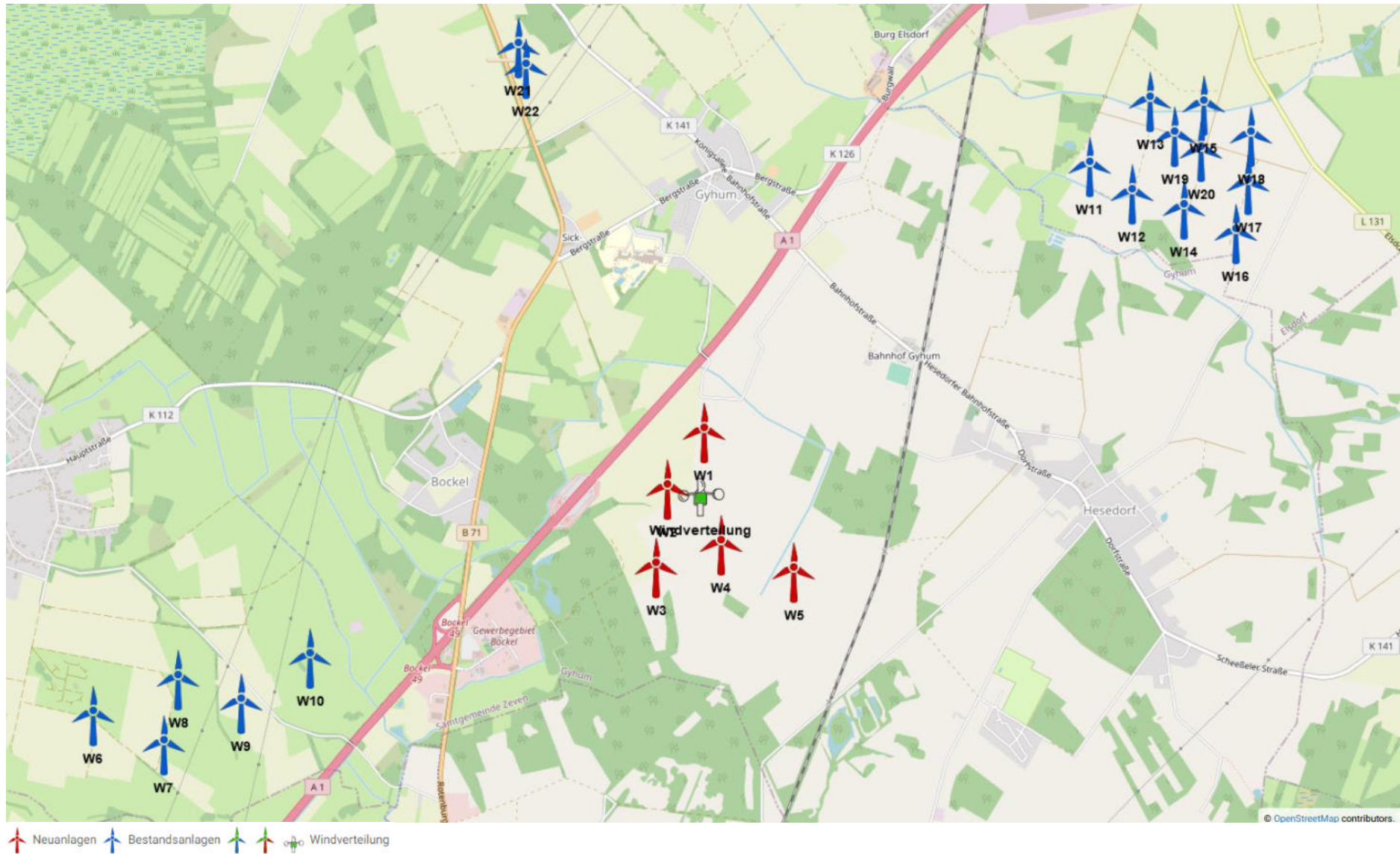


Abbildung 2.1: Zu untersuchende Windparkkonfiguration; Kartenmaterial: [19.1, 19.2]

### 3 Vergleich der Windbedingungen

#### 3.1 Grundlagen

Vom Auftraggeber wurden standortbezogene Windverhältnisse, unterteilt in mindestens 12 Sektoren, übermittelt [22.1]. Diese werden als richtig und für den Standort repräsentativ vorausgesetzt.

Um die Windverhältnisse auf Nabenhöhe an jedem Anlagenstandort zu ermitteln, werden die Daten der Windverhältnisse [22.1] auf alle notwendigen Höhen umgerechnet, sofern diese nicht vorliegen. Die Umrechnung erfolgt auf Basis eines logarithmischen Windprofils und des am Standort der Windverteilung ermittelten Höhenexponenten  $\alpha$ . Bei der vertikalen Umrechnung wird der Formparameter  $k$  als invariant mit der Höhe angenommen und lediglich der Skalenparameter  $A$  umgerechnet. Eine horizontale Umrechnung vom Standort der Winddaten zu den jeweiligen WEA Standorten erfolgt nicht. Liegen in [22.1] mehrere Windverteilungen vor, werden diese den jeweiligen WEA zugeordnet. Tabelle 3.1 führt eine der in [22.1] übermittelten Windbedingungen am Standort auf.

Tabelle 3.1: Windverhältnisse am Standort [22.1]

Höhe: 166 m ü. Grund				A [m/s]	k [-]	p [%]
UTM ETRS89 Zone 32						
X [m]	520641	Y [m]	5894746			
Sektor		Windrichtung [°]				
N		0		5.4	2.26	4.7
NNO		30		6.0	2.10	4.3
ONO		60		6.9	2.57	4.6
O		90		8.8	2.74	7.6
OSO		120		7.9	2.81	9.2
SSO		150		6.5	2.60	8.3
S		180		7.1	2.44	7.2
SSW		210		8.2	2.52	9.6
WSW		240		9.8	2.72	16.6
W		270		9.9	2.37	13.6
WNW		300		8.4	2.31	7.5
NNW		330		6.2	2.21	6.9
Gesamt				8.1	2.24	100.1
v <sub>ave</sub> [m/s]				7.19		

### 3.2 Vergleich $v_{ave}$ und $v_{m50}$

#### 3.2.1 Vergleich der mittleren Windgeschwindigkeit $v_{ave}$

Liegt der Typenprüfung einer entsprechend Abschnitt 1.2.1 zu untersuchenden WEA ein Formparameter  $k$  mit  $k = 2.0$  zu Grunde, ist der Vergleich der Windverhältnisse in Bezug auf die mittlere Windgeschwindigkeit  $v_{ave}$  auf Nabenhöhe jeder geplanten WEA so zu führen, dass gilt:

- i.  $v_{ave, NH} / v_{ave, TP} \leq 0.95$   
oder
- ii.  $0.95 < v_{ave, NH} / v_{ave, TP} \leq 1.00$  und  $k_{NH} \geq 2.00$

Liegt der Typenprüfung einer entsprechend Abschnitt 1.2.1 zu untersuchenden WEA ein Formparameter  $k$  mit  $k \neq 2.0$  zu Grunde, ist der Vergleich der Windverhältnisse in Bezug auf die mittlere Windgeschwindigkeit  $v_{ave}$  jeder geplanten WEA wie folgt zu führen:

- i. Vergleich der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der standortspezifischen Windgeschwindigkeiten  $pdf_{NH}$  mit der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Typenprüfung  $pdf_{TP}$  in einem Bereich von  $0.2v_{ref} - 0.4v_{ref}$  nach [7], bzw. in einem Bereich von  $v_{ave} - 2v_{ave}$  nach [6]. In dem zu untersuchenden Bereich muss die Bedingung  $pdf_{NH} \leq pdf_{TP}$  erfüllt sein.

Das Ergebnis der Berechnung der mittleren Windgeschwindigkeit  $v_{ave}$  und der Formparameter  $k$  der Weibullverteilung auf Nabenhöhe jeder neu geplanten WEA sind in Tabelle 3.2 dargestellt und werden mit den Auslegungswindbedingungen der jeweiligen WEA verglichen.

Tabelle 3.2: Vergleich der mittleren Windgeschwindigkeit  $v_{ave}$  auf Nabenhöhe der geplanten WEA

Interne W-Nr.	$v_{ave, NH}$ [m/s]	$v_{ave, TP}$ [m/s]	$k_{NH}$ [-]	$k_{TP}$ [-]	Wenn $k_{TP} = 2$ : $v_{ave, NH} / v_{ave, TP}$ [-]	Wenn $k_{TP} \neq 2$ : $pdf_{NH} \leq pdf_{TP}$	Nachweis möglich (gemäß 1.2.1)	Lastvergleich erforderlich (gemäß 1.2.3)
W1 – W5	7.14	7.50	2.24	2.00	0.95	-	Ja	Nein

#### 3.2.2 Vergleich der 50-Jahres-Windgeschwindigkeit $v_{m50}$

Der Vergleich der 50-Jahreswindgeschwindigkeit  $v_{m50, NH}$  auf Nabenhöhe der geplanten WEA mit dem Auslegungswert kann auf zwei Wegen erfolgen. Wenn die WEA in einer Windzone errichtet werden soll, die niedriger oder gleich der Windzone ist, die der Typenprüfung zu Grunde liegt, reicht der Nachweis, dass die Windzone gemäß Typenprüfung die Windzone des betrachteten Standortes abdeckt [1.1]. Ist dies nicht der Fall, muss nachgewiesen werden, dass die 50-Jahreswindgeschwindigkeit  $v_{m50, TP}$  gemäß Typenprüfung die 50-Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe der geplanten WEA am Standort abdeckt [1.1, 4, 5]. Hierzu muss die 50-Jahreswindgeschwindigkeit  $v_{m50, NH}$  mittels einer geeigneten Methode (z.B. der Gumbel-Methode [10]) am Standort ermittelt werden.

Den nachzuweisenden Standorten wird nach DIBt 2012 [1.1], bzw. nach DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12 mit DIN EN 1991-1-4:2010-12 [9] die in Tabelle 3.3 aufgeführte Windzone entsprechend [11] und die Geländekategorie, basierend auf den durch den Standortbesuch gewonnenen Erkenntnissen und den verwendeten Satellitendaten [13], zu Grunde gelegt. Da, nach [1.1], in Übergangsgebieten der Geländekategorien stets die Gleichungen der niedrigeren Kategorie anzusetzen sind, wird der Vergleich in solchen Fällen auf Basis der Gleichungen für die niedrigere Geländekategorie durchgeführt.

In der folgenden Tabelle 3.3 werden die Auslegungswindbedingungen hinsichtlich  $v_{m50}$  mit den standortspezifischen Windbedingungen verglichen. Wenn die geplanten WEA in einer Windzone errichtet werden sollen, die durch die Auslegungswindbedingungen abgedeckt ist, ist die Standorteignung hinsichtlich  $v_{m50}$  nachgewiesen. Ist der Standort nicht durch die Auslegungswindbedingungen  $v_{m50, TP}$  der geplanten WEA abgedeckt, erfolgt der Nachweis über eine standortspezifische Extremwindabschätzung [22.2]. Die Ergebnisse der standortspezifischen Extremwindabschätzung werden als richtig und repräsentativ für den Standort vorausgesetzt. Kann

der Nachweis durch keine der beiden Verfahrensweisen erbracht werden, kann der Nachweis ggf. durch einen Lastvergleich der Extremlasten nach Abschnitt 1.2.3 erbracht werden.

Tabelle 3.3: Vergleich der 50-Jahres-Windgeschwindigkeit  $v_{m50}$  auf Nabenhöhe der geplanten WEA

Interne W-Nr.	WZ <sub>TP</sub>	GK <sub>TP</sub>	$v_{m50, TP}$ [m/s]	WZ <sub>NH</sub>	GK <sub>NH</sub>	$v_{m50, NH}$ [1.1] [m/s]	$v_{m50, NH}$ [22.2] [m/s]	Nachweis möglich (gemäß 1.2.1)	Lastvergleich erforderlich (gemäß 1.2.3)
W1 – W5	S	S	40.2	2	II	39.0	-	Ja	Nein

### 3.3 Vergleich der effektiven Turbulenzintensität $I_{eff}$

#### 3.3.1 Auslegungswindbedingungen hinsichtlich der Turbulenzintensität

Für die Turbulenzintensität auf Nabenhöhe einer nach der DIBt 2012 [1.1] typengeprüften WEA gibt es windgeschwindigkeitsabhängige Auslegungswerte in vier Kategorien, welche in der DIN EN 61400-1:2011-8 [7] aufgeführt sind und der Typenprüfung zu Grunde gelegt werden müssen. Bei den Turbulenzkategorien wird zwischen den vorgegebenen Kategorien A, B, C und der durch den WEA-Hersteller definierbaren Kategorie S unterschieden. Mit der IEC 61400-1 ed.4 [6] wurde eine weitere Turbulenzkategorie A+ eingeführt.

Für WEA die nach der DIBt 2004 [2] typengeprüft sind, muss die windgeschwindigkeitsabhängige Turbulenzkategorie A, welche in der DIN EN 61400-1:2004 [8] definiert ist, als Auslegungswindbedingung hinsichtlich der Turbulenzintensität zu Grunde gelegt sein. Für WEA die nach der DIBt 1993 [3] typengeprüft sind, ist eine konstante, mittlere effektive Turbulenzintensität  $I_{eff}$  von 0.20 als Auslegungswindbedingung anzusetzen.

In Tabelle 3.4 sind die unterschiedlichen Turbulenzkategorien und deren Verläufe dargestellt.

Tabelle 3.4: Richtlinienabhängige Auslegungswindbedingungen hinsichtlich der Turbulenzintensität

$v_{hub}$ [m/s]	DIBt 1993 [3]	DIBt 2004 [2]	IEC 61400-1 ed.4 [6]	DIBt 2012 [1.1]			
	Konstanter Mittelwert	NTM A [8] [-]	NTM A+ [6] [-]	NTM A [5, 6, 7] [-]	NTM B [5, 6, 7] [-]	NTM C [5, 6, 7] [-]	S [-]
2		0.570	0.639	0.568	0.497	0.426	-
3		0.420	0.471	0.419	0.366	0.314	-
4		0.345	0.387	0.344	0.301	0.258	-
5		0.300	0.337	0.299	0.262	0.224	-
6		0.270	0.303	0.269	0.236	0.202	-
7		0.249	0.279	0.248	0.217	0.186	-
8		0.233	0.261	0.232	0.203	0.174	-
9		0.220	0.247	0.220	0.192	0.165	-
10		0.210	0.236	0.210	0.183	0.157	-
11		0.202	0.227	0.201	0.176	0.151	-
12		0.195	0.219	0.195	0.170	0.146	-
13		0.189	0.213	0.189	0.165	0.142	-
14		0.184	0.207	0.184	0.161	0.138	-
15		0.180	0.202	0.180	0.157	0.135	-
16	-	0.176	0.198	0.176	0.154	0.132	-
17		0.173	0.194	0.173	0.151	0.130	-
18		0.170	0.191	0.170	0.149	0.127	-
19		0.167	0.188	0.167	0.146	0.125	-
20		0.165	0.185	0.165	0.144	0.124	-
21		0.163	0.183	0.163	0.142	0.122	-
22		0.161	0.181	0.161	0.141	0.121	-
23		0.159	0.179	0.159	0.139	0.119	-
24		0.158	0.177	0.157	0.138	0.118	-
25		0.156	0.175	0.156	0.136	0.117	-
26		0.155	0.174	0.154	0.135	0.116	-
27		0.153	0.172	0.153	0.134	0.115	-
28		0.152	0.171	0.152	0.133	0.114	-
29		0.151	0.170	0.151	0.132	0.113	-
30		0.150	0.169	0.150	0.131	0.112	-
Konstanter Mittelwert	0.200	-	-	-	-	-	-

Der Vergleich des standortspezifischen Turbulenzverlaufes mit den windgeschwindigkeitsabhängigen Auslegungswerten erfolgt bei WEA die nach der DIBt 2004 [2] typengeprüft sind, auf Basis der Werte für die Turbulenzkategorie A nach [1.1, 5, 6, 7], da diese die Werte nach [8] mit abdecken.



### 3.3.2 Ermittlung der Umgebungsturbulenzintensität

#### 3.3.2.1 Datengrundlage

Im Wesentlichen hängt die Umgebungsturbulenz  $I_{amb}$  von den Windverhältnissen, der Orographie und der Geländerauigkeit ab. Die Windverhältnisse aus [22.1] enthalten keinerlei Informationen zur Umgebungsturbulenzintensität vor Ort, somit wurde diese auf Basis der vorliegenden Informationen zur Bodenbedeckung [13] und der Topografie [14] am Standort auf Nabenhöhe ermittelt.

#### 3.3.2.2 Vorgehensweise

Die Umgebungsturbulenzintensität  $I_{amb}$  beschreibt im Allgemeinen die Schwankung der Windgeschwindigkeit in einem Zeitintervall von 600 s um ihren Mittelwert. Sie ist als der Quotient aus der Standardabweichung  $\sigma$  der Windgeschwindigkeit und der zugehörigen mittleren Windgeschwindigkeit  $v_{ave}$  in einem 600 s Intervall zu bilden [6, 7, 8]. Liegen Daten einer Windmessung am Standort vor, kann  $I_{amb}$  direkt, bzw.  $I_{char}$  durch Addition der 1fachen Standardabweichung der Umgebungsturbulenzintensität  $\sigma_\sigma$  [4, 8] und  $I_{rep}$  durch Addition der 1.28fachen Standardabweichung der Umgebungsturbulenzintensität  $\sigma_\sigma$  [6, 7] zu  $I_{amb}$  ermittelt werden. Durch Ermittlung der Windscherung, kann die auf Messhöhe ermittelte charakteristische, bzw. repräsentative Turbulenzintensität auf Nabenhöhe extrapoliert werden. Liegt keine Messung vor, muss die Umgebungsturbulenzintensität rechnerisch ermittelt werden.

Zur Berechnung von  $I_{amb}$  werden an jedem zu untersuchenden WEA Standort die flächenmäßigen Informationen zur Bodenbedeckung aus dem CORINE Datensatz [13] mit 20 km Radius um den Standort zu Grunde gelegt. Die in [13] enthaltenen Flächen verschiedener Bodenbedeckung werden nach den Empfehlungen des Europäischen Wind Atlas [12] in Flächen mit einer Rauigkeitslänge  $z_0$  konvertiert. Alle innerhalb eines Sektors liegenden Rauigkeitselemente werden abschließend nach Abstand und Größe gewichtet und in einen, für diesen Sektor, repräsentativen Rauigkeitswert umgerechnet. Aus den sektoriell vorliegenden Rauigkeitslängen wird mittels eines von der Rauigkeitslänge  $z_0$  abhängigen Profils die Umgebungsturbulenzintensität auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA berechnet.

Da in der Richtlinie des Deutschen Instituts für Bautechnik DIBt 2012 [1.1] für die Ermittlung der Standorteignung bezüglich der effektiven Turbulenzintensitäten Turbulenzwerte für verschiedene Windgeschwindigkeiten gefordert sind, wird den ermittelten Werten für die Umgebungsturbulenzintensität das NTM nach [6, 7] zu Grunde gelegt. Der ermittelten Turbulenzkurve wird in Anlehnung an das vom Risø DTU National Laboratory entwickelte Verfahren im Windfarm Assessment Tool eine windgeschwindigkeitsabhängige Standardabweichung  $\sigma_\sigma$  unterstellt, die ebenfalls dem NTM Verlauf folgt [15]. Die Werte für die Standardabweichung der Umgebungsturbulenzintensität  $\sigma_\sigma$  sind so gewählt, dass die Summe aus der Referenzsturbulenzintensität nach NTM und dem 1fachen  $\sigma_\sigma$  die Referenzkurve nach [6, 7] ergibt.

Die repräsentative Turbulenzintensität  $I_{rep}$  wird nach dem beschriebenen Verfahren für jede zu betrachtende, nach DIBt 2012 [1.1] typen-/einzelgeprüfte, WEA auf Nabenhöhe ermittelt und den weiteren Berechnungen zu Grunde gelegt. Für Anlagen, deren Typen-/Einzelprüfung auf der Richtlinie DIBt 2004 [2] oder DIBt 1993 [3] basiert, findet die charakteristische Turbulenzintensität  $I_{char}$  Anwendung.

### 3.3.2.3 Untersuchung der topografischen Komplexität der Anlagenstandorte

Das verwendete Höhenmodell aus dem SRTM Datensatz [14] liegt in einer Auflösung von ca. 30 m vor und wird für die Ermittlung der topografischen Komplexität der Standorte herangezogen.

Die Standorte aller zu betrachtenden Anlagen werden basierend auf den Vorgaben der geltenden Norm DIN EN 61400-1:2011-08 [7] auf topografische Komplexität untersucht. Die topografische Komplexität des Standortes wird dargestellt durch die Neigung des Geländes und die Abweichungen der Topografie des Geländes von einer dem Gelände angenäherten Ebene. Die Beurteilungskriterien sind in Tabelle 3.5 dargestellt.

Tabelle 3.5: Komplexitätskriterien nach DIN EN 61400-1:2011-08 [7]

Abstand von der betrachteten WEA [m]	Sektoramplitude [°]	Größte Neigung der angenäherten Ebene	Größte Geländeabweichung [m]
< 5NH	360	< 10	< 0.3NH
< 10NH	30		< 0.6NH
< 20NH	30		< 1.2NH

Ein Standort wird als topografisch komplex eingestuft, wenn 15 % der Windenergie aus Sektoren kommt, die die Kriterien in Tabelle 3.5 nicht erfüllen [7].

### 3.3.2.4 Ermittlung des Turbulenzstrukturparameters

Um der Deformation der turbulenten Anströmung durch die Topografie Rechnung zu tragen, erfolgt die Einführung des von der Energieverteilung abhängigen Turbulenzstrukturparameters  $C_{CT}$ . Hierfür wird nach DIN EN 61400-1:2011-08 [7] der Komplexitätsindex  $i_c$  ermittelt und angesetzt, siehe Tabelle 3.6. Bei der Ermittlung von  $i_c$  werden alle Energieanteile aus den Sektoren aufsummiert, welche die Kriterien aus Tabelle 3.5 nicht erfüllen. Der errechnete Turbulenzstrukturparameter  $C_{CT}$  kommt dann in jedem dieser Sektoren zum Tragen. Dieser wird auf Basis des verwendeten Höhenmodells [14] und der übermittelten Windverhältnisse [22.1] berechnet.

Tabelle 3.6: Anzusetzende Turbulenzstrukturparameter nach [7]

Anteil an der Energieverteilung [%]	Komplexitätsindex $i_c$ [-]	Turbulenzstrukturparameter $C_{CT}$ [-]
0 - 5	0	1.000
6	0.1	1.015
7	0.2	1.030
8	0.3	1.045
9	0.4	1.060
10	0.5	1.075
11	0.6	1.090
12	0.7	1.105
13	0.8	1.120
14	0.9	1.135
15	1	1.150
16 - 100	1	1.150

### 3.3.2.5 Repräsentative Turbulenzintensität

In Tabelle 3.7 werden die sektoriell nach dem in Abschnitt 3.3.2.2 beschriebenen Verfahren ermittelten, repräsentativen, Turbulenzintensitäten, bezogen auf eine Windgeschwindigkeit von 15 m/s, für eine Anlagenposition aufgeführt.

Tabelle 3.7: Repräsentative Turbulenzintensität für einen Standort

Standort: W4	NH: 161 m	$I_{rep}$ [-]
Sektor	Windrichtung [°]	
N	0	0.120
NNO	30	0.114
ONO	60	0.117
O	90	0.119
OSO	120	0.117
SSO	150	0.132
S	180	0.124
SSW	210	0.119
WSW	240	0.115
W	270	0.119
WNW	300	0.126
NNW	330	0.120

### 3.3.3 Ermittlung der effektiven Turbulenzintensität $I_{eff}$

#### 3.3.3.1 Grundlagen

Die effektive Turbulenzintensität  $I_{eff}$  ist definiert als die mittlere Turbulenzintensität, die über die Lebensdauer einer WEA dieselbe Materialermüdung verursacht, wie die am Standort herrschenden, verschiedenen Turbulenzen. Die Materialkennzahl, die maßgeblich in die Berechnung der effektiven Turbulenzintensität einfließt, ist der Wöhlerlinienkoeffizient  $m$ . Im vorliegenden Gutachten liegt jeder zu betrachtenden WEA der anlagenspezifische Wöhlerlinienkoeffizient zu Grunde, der die strukturschwächste Komponente repräsentiert. Hierbei handelt es sich im Regelfall um die Rotorblätter einer WEA, welche durch Wöhlerlinienkoeffizienten zwischen  $m = 10$  für glasfaserverstärkte Verbundwerkstoffe und  $m = 15$  für kohlefaserverstärkte Verbundwerkstoffe abgedeckt werden. Dadurch werden alle Komponenten einer WEA in die Betrachtung mit einbezogen.

Grundsätzlich setzt sich die effektive Turbulenzintensität  $I_{eff}$  an einer WEA aus der Umgebungsturbulenzintensität und der durch den Nachlauf anderer WEA induzierten Turbulenzintensität, dem sogenannten „Wake-Effekt“, zusammen. Hierbei sind je nach zu Grunde gelegter Richtlinie unterschiedliche Berücksichtigungen der Standardabweichung der Umgebungsturbulenzintensität  $\sigma_\sigma$  zu berücksichtigen.

Die Berechnung der induzierten Turbulenzintensität erfolgt nach den Ausarbeitungen in [10], Kapitel 2.4.4, wenn alle hierfür erforderlichen Anlagenparameter vorliegen oder konservativ abdeckend ermittelt werden konnten. Andernfalls erfolgt die Berechnung der induzierten Turbulenzintensität nach den Ausarbeitungen in [16], sowie den informativen Anhängen in [6] und [7]. Die generelle Vorgehensweise zur Ermittlung der effektiven Turbulenzintensität  $I_{eff}$  erfolgt in beiden Fällen entsprechend den Anforderungen aus [6] und [7].

Die induzierte Turbulenzintensität wird in [10] als eine Funktion beschrieben, die von den Abständen der WEA untereinander, der Umgebungsturbulenzintensität und von anlagenspezifischen Kenngrößen abhängig ist. Diese Kenngrößen sind einerseits der windgeschwindigkeitsabhängige Schubbeiwert  $c_t$ , als auch die windgeschwindigkeitsabhängige Schnelllaufzahl  $\lambda$  der turbulenzinduzierenden WEA. Das Modell bildet sowohl den voll ausgebildeten Nachlauf als auch den nicht voll ausgebildeten Nachlauf



hinter einer WEA ab. Die anlagenspezifischen Werte  $c_t$  und  $\lambda$  sind vom Anlagenhersteller übermittelt. Wenn für eine zu betrachtende WEA diese Werte nicht vorliegen, werden Sie, wenn möglich, auf Basis der Anlagenparameter wie Drehzahl und Rotordurchmesser ermittelt, oder durch eine konservativ abdeckende Standardkurve ersetzt. Der Ermittlung von  $I_{eff}$  werden die am Standort herrschenden geometrischen Verhältnisse, sowie die am Standort herrschenden Windbedingungen zu Grunde gelegt. Da in [10] keine Aussage zum berücksichtigenden Einflussbereich der WEA untereinander getroffen wird, werden sowohl die Bereiche im Volleinfluss (Rotor der WEA steht voll im Nachlauf einer anderen WEA), als auch die Bereiche im Teileinfluss (Rotor der WEA steht nur teilweise im Nachlauf einer anderen WEA) bei der Berechnung von  $I_{eff}$  berücksichtigt, was somit den konservativsten Ansatz darstellt.

Die induzierte Turbulenzintensität wird in [16] als eine Funktion beschrieben, die von den Abständen  $s$  der WEA untereinander und vom windgeschwindigkeitsabhängigen Schubbeiwert  $c_t$  abhängig ist. Die anlagenspezifischen  $c_t$  Werte sind vom Anlagenhersteller übermittelt. Wenn für eine zu betrachtende WEA diese Werte nicht vorliegen, werden Sie durch eine konservativ abdeckende Standardkurve ersetzt. Der Ermittlung von  $I_{eff}$  werden die am Standort herrschenden geometrischen Verhältnisse, sowie die am Standort herrschenden Windbedingungen zu Grunde gelegt. Da in [16] eine eindeutige Aussage zum berücksichtigenden Einflussbereich der WEA untereinander getroffen wird, wird genau dieser Bereich bei der Berechnung von  $I_{eff}$  berücksichtigt.

Die Ermittlung der induzierten Turbulenzintensität muss durchgeführt werden, solange sich eine WEA in einem Abstand kleiner  $10 D$  von der zu betrachtenden Anlage befindet [6, 7, 8]. Ist der Abstand aller WEA im Umfeld grösser  $10 D$ , bezogen auf die jeweils turbulenzinduzierende WEA, muss deren Einfluss nicht mehr berücksichtigt werden.

Die Ergebnisse der ermittelten, effektiven Turbulenzintensitäten bei Anlagenabständen von unter  $2.0 D$  können nicht für eine standortspezifische Lastrechnung (siehe Abschnitt 1.2.3) herangezogen werden. In diesen Nachlaufsituationen ist in jedem Fall eine Abschaltung erforderlich. Die Ergebnisse der ermittelten, effektiven Turbulenzintensitäten bei Anlagenabständen von mindestens  $2.3 D$  können uneingeschränkt für eine standortspezifische Lastrechnung (siehe Abschnitt 1.2.3) herangezogen werden. Bei relativen Anlagenabständen zwischen  $2.0 D$  und  $2.3 D$  wird nach einschlägigen Kriterien im Einzelfall entschieden, ob die Ergebnisse für eine Lastrechnung verwendet werden können, oder nicht. In der Einzelfallprüfung werden folgende Größen im Bereich der zu untersuchenden Nachlaufsituation bewertet:

- Der Formparameter der Weibullverteilung  $k$
- Der Energieanteil
- Die Kriterien nach Tabelle 3.5

Ergibt die Einzelfallprüfung, dass die Ergebnisse nicht für eine Lastrechnung herangezogen werden können, werden sektorielle Abschaltungen oder Betriebsbeschränkungen gefordert, um die Standorteignung hinsichtlich der effektiven Turbulenzintensität nachzuweisen.

Die ermittelten Werte für  $I_{eff}$  werden den Auslegungswerten, die der Typen-/Einzelprüfung der betrachteten Anlage zu Grunde liegen, gegenübergestellt. Liegen die ermittelten Werte nicht oberhalb der Auslegungswerte, gilt eine Standorteignung hinsichtlich der effektiven Turbulenzintensität als nachgewiesen. Liegen die Werte über den Auslegungswerten, kann eine Standorteignung hinsichtlich der effektiven Turbulenzintensität nicht durch den Vergleich mit den Auslegungswerten nachgewiesen werden. Der Nachweis der Standorteignung kann in diesem Fall jedoch durch eine standortspezifische Lastrechnung seitens des Anlagenherstellers oder eines unabhängigen Dritten erfolgen.

### 3.3.3.2 Berücksichtigte sektorische Betriebsbeschränkungen (WSM)

Bei der Berechnung der effektiven Turbulenzintensität  $I_{eff}$  können sektorische Betriebsbeschränkungen (WSM) an WEA berücksichtigt werden. Die Betriebsbeschränkungen können sich aus zu geringen Abständen und einer negativen Einzelfallprüfung nach Abschnitt 3.3.3.1 ergeben, oder an bereits bestehenden WEA Bestandteil der Genehmigung sein. Des Weiteren kann ein WSM dafür genutzt werden, den Einfluss einer neu geplanten WEA auf den zu berücksichtigenden Bestand derart zu reduzieren, dass die geplante WEA keinen signifikanten Einfluss mehr auf die effektive Turbulenzintensität  $I_{eff}$  einer Bestandsanlage hat oder um Überschreitungen der effektiven Turbulenzintensität  $I_{eff}$  an dieser zu verhindern. Die im Folgenden aufgeführten Betriebsbeschränkungen stellen immer eine Mindestanforderung dar, deren technische Umsetzbarkeit nicht geprüft wurde. Wenn möglich, wird für jedes WSM an einer beeinflussenden WEA ein alternatives WSM an der beeinflussten WEA ausgewiesen. Hierbei handelt es sich in der Regel um eine Abschaltung an der beeinflussten WEA, da die Lasten an einer abgeschalteten WEA geringer sind, als die Lasten im frei angeströmten Betrieb. Die ausgewiesenen Alternativen stellen einen Vorschlag dar, werden aber nicht in der Berechnung der effektiven Turbulenzintensität  $I_{eff}$  berücksichtigt. Soll eine ausgewiesene Alternative berücksichtigt werden, erfordert dies eine neue Bewertung hinsichtlich der effektiven Turbulenzintensität  $I_{eff}$ .

Bei der Berechnung der effektiven Turbulenzintensität  $I_{eff}$  wurden keine sektorischen Betriebsbeschränkungen berücksichtigt.

### 3.3.3.3 Ergebnis

Die folgende Tabelle 3.8 stellt die ermittelten effektiven Turbulenzintensitäten nach Zubau der geplanten WEA in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit dar. Die nach der jeweils zu Grunde gelegten Richtlinie ermittelten effektiven Turbulenzintensitäten werden der Referenzkurve nach DIBt 2012 [1.1] oder der Referenzkurve der jeweiligen Typenprüfung gegenübergestellt. Überschreitungen sind **fett kursiv** dargestellt.

Tabelle 3.8: Ermittelte effektive Turbulenzintensitäten  $I_{eff}$

$V_{hub}$	W1	W2	W3	W4	W5	Referenz Klasse S
3	0.327	0.341	0.321	0.333	0.312	0.369
4	0.306	0.317	0.296	0.311	0.285	0.339
5	0.285	0.291	0.273	0.288	0.262	0.314
6	0.267	0.271	0.255	0.271	0.245	0.284
7	0.251	0.251	0.237	0.254	0.230	0.265
8	0.227	0.225	0.214	0.232	0.209	0.244
9	0.199	0.195	0.187	0.204	0.186	0.221
10	0.180	0.175	0.169	0.186	0.171	0.205
11	0.167	0.161	0.156	0.174	0.160	0.191
12	0.155	0.147	0.145	0.162	0.151	0.180
13	0.144	0.136	0.135	0.151	0.142	0.170
14	0.135	0.128	0.127	0.143	0.135	0.166
15	0.128	0.122	0.122	0.136	0.130	0.160
16	0.123	0.118	0.118	0.130	0.125	0.152
17	0.119	0.115	0.115	0.126	0.122	0.146
18	0.116	0.113	0.113	0.122	0.119	0.142
19	0.113	0.111	0.111	0.119	0.116	0.138
20	0.111	0.110	0.109	0.116	0.114	0.134
21	0.110	0.108	0.108	0.114	0.112	0.132
22	0.108	0.107	0.107	0.111	0.110	0.132
23	0.107	0.106	0.105	0.109	0.109	0.132
24	0.106	0.105	0.104	0.107	0.107	0.132
25	0.105	0.104	0.103	0.106	0.106	0.132

## 4 Zusammenfassung

Es wurden die Standortbedingungen nach Abschnitt 1.2.1 für die neu geplanten WEA ermittelt und mit den Auslegungswerten verglichen. Dieser Vergleich hat gezeigt, dass

- i. W1 - W5 keine Überschreitung der mittleren Windgeschwindigkeit  $v_{\text{hub, NH}}$  im Vergleich zur Auslegungswindgeschwindigkeit  $v_{\text{hub, TP}}$  aufweisen (siehe Abschnitt 3.2.1),
- ii. W1 - W5 an einem Standort errichtet werden sollen, der den Auslegungswert der 50-Jahreswindgeschwindigkeit  $v_{\text{m50, TP}}$  nicht überschreitet (siehe Abschnitt 3.2.2) und
- iii. W1 - W5 keine Überschreitungen der effektiven Turbulenzintensität  $I_{\text{eff}}$  gegenüber den Auslegungswerten aufweisen (siehe Abschnitt 3.3.3.3).

Die Standorteignung gemäß DIBt 2012 [1.1] ist für die WEA W1 - W5 durch das vorliegende Gutachten nachgewiesen.

Tabelle 4.1: Zusammenfassung der Ergebnisse geplante WEA

Interne W-Nr.	Hersteller	Anlagentyp	NH [m]	FEH [m]	Standorteignung gemäß DIBt 2012 nachgewiesen
W1	GE	GE-5.5-158	161.0	0.0	Ja
W2	GE	GE-5.5-158	161.0	0.0	Ja
W3	GE	GE-5.5-158	161.0	0.0	Ja
W4	GE	GE-5.5-158	161.0	0.0	Ja
W5	GE	GE-5.5-158	161.0	0.0	Ja

---

## 5 Standortbesichtigung

Entsprechend der Forderung in der Richtlinie DIBt Fassung Oktober 2012 [1.1] nach einer Standortbesichtigung wurde diese am 08.09.2020 durch den Auftraggeber durchgeführt [23].

Die Standortbesichtigung dient zur Ermittlung, bzw. zum Abgleich von Geländebeschaffenheit mit vorhandenen Satellitendaten zur Rauigkeit [13] und ggf. zu den Höhenlinien [14]. Mögliche turbulenzrelevante Einzelstrukturen wurden untersucht und dokumentiert. Die Standortdokumentation bestätigt die zu Grunde gelegten Rauigkeiten und die Ergebnisse zur Komplexität.

## Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
DIN	Deutsches Institut für Normung
EN	Europäische Norm
ETM	Extremes Turbulenzmodell
ETRS89	Europäisches Terrestrisches Referenzsystem von 1989
GK	Gauß-Krüger, Geländekategorie
IEC	International Electrotechnical Commission
NA	Nationaler Anhang
NTM	Normales Turbulenzmodell
PEL	Pseudo-Äquivalente-Last
pdf	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion
TK	Turbulenzkategorie, Auslegungsturbulenz
TP	Typenprüfung
UTM	Universal Transverse Mercator Projection
WEA	Windenergieanlage(n)
WGS84	World Geodetic System (letzte Revision in 2004)
WSM	Wind Sector Management, Sektorielle Betriebsbeschränkung
WZ	Windzone

Symbol	Bedeutung	Einheit
$A$	Skalenparameter der Weibullverteilung	[m/s]
$C_{CT}$	Turbulenzstrukturparameter	[-]
$c_t$	Schubbeiwert	[-]
$D$	Rotordurchmesser	[m]
$FEH$	Fundamenterrhöhung	[m]
$I_{amb}$	Umgebungsturbulenzintensität	[-]
$i_c$	Komplexitätsindex	[-]
$I_{char}$	Charakteristische Turbulenzintensität	[-]
$I_{eff}$	Effektive Turbulenzintensität auf Nabenhöhe	[-]
$I_{rep}$	Repräsentative Turbulenzintensität	[-]
$k$	Formparameter der Weibullverteilung	[-]
$\lambda$	Schnelllaufzahl	[-]
$m$	Wöhlerlinienkoeffizient	[-]
$NH$	Nabenhöhe	[m]
$p$	Sektorielle Häufigkeit	[%]
$P_N$	Nennleistung	[kW]
$s$	Dimensionsloser Abstand zwischen WEA, bezogen auf den jeweils größeren Rotordurchmesser	[-]
$v_{ave}$	Jahresmittel der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe	[m/s]
$v_{hub}$	Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe	[m/s]
$v_{in}$	Einschaltwindgeschwindigkeit der WEA	[m/s]
$v_{m50}$	10-Minuten Mittelwert der 50-Jahres-Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe	[m/s]
$v_{out}$	Abschaltwindgeschwindigkeit der WEA	[m/s]
$v_r$	Nennwindgeschwindigkeit der WEA	[m/s]

Symbol	Bedeutung	Einheit
$v_{\text{ref}}$	Auslegungswert des 10-Minuten Mittelwerts der 50-Jahres-Windgeschwindigkeit	[m/s]
$X$	Rechtswert	[m]
$Y$	Hochwert	[m]
$z_0$	Rauigkeitslänge	[m]
$z_{\text{hub}}$	Nabenhöhe der betrachteten WEA	[m]
$\alpha$	Höhenexponent	[-]
$\delta$	Schräganströmung	[°]
$\rho$	Luftdichte	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\sigma$	Standardabweichung der Windgeschwindigkeit	[m/s]
$\sigma_\sigma$	Standardabweichung der Turbulenzintensität	[-]

## Literaturverzeichnis

- [1.1] *Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt -, Berlin; Referat I 8 Bautechnisches Prüfamt Grundlagen der Standsicherheit; Richtlinie für Windenergieanlagen – Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung; Fassung Oktober 2012 und korrigierte Fassung März 2015;*
- [1.2] *DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik; DKE/AK 383.0.01/Untergruppe DIBt2012 an die PG „Windenergieanlagen“ des DIBt; Anwendung der DIBt 2012 zur Prüfung der Standorteignung, 30.01.2015;*
- [2] *Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt -, Berlin; Richtlinie für Windenergieanlagen – Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung; Fassung März 2004; Schriften des Deutschen Instituts für Bautechnik Reihe B, Heft 8;*
- [3] *Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt -, Berlin; Richtlinie für Windkraftanlagen – Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung; Fassung Juni 1993; 2. Überarbeitete Auflage 1995; Schriften des Deutschen Instituts für Bautechnik Reihe B, Heft 8;*
- [4] *International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 61400-1 Edition 2.0 International Standard Wind turbine generator systems – Part 1: Safety requirements;*
- [5] *International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 61400-1 Edition 3.0 International Standard Wind turbines – Part 1: Design requirement; Mit Implementierung von 61400-1/A1, Amendment 1, 2009;*
- [6] *International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 61400-1 Edition 4.0 International Standard Wind energy generation systems – Part 1: Design requirements; Februar 2019;*
- [7] *Deutsches Institut für Normung; DIN EN 61400-1:2011-08 Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2005 + A1:2012); Deutsche Fassung EN 61400-1:2005 + A1:2010;*
- [8] *Deutsches Institut für Normung; DIN EN 61400-1:2004 Windenergieanlagen – Teil 1: Sicherheitsanforderungen (IEC 61400-1:1999); Deutsche Fassung EN 61400-1:2004;*
- [9] *Deutsches Institut für Normung; DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12 mit DIN EN 1991-1-4:2010-12; Nationaler Anhang – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen: Windlasten;*
- [10] *ECN Solar & Wind Energy, J.W.M. Dekker und J.T.G. Pierik [Hrsg.]: European Wind Turbine Standards II, Petten, (NLD), 1998;*
- [11] *Deutsches Institut für Bautechnik; Windzonen nach Verwaltungsgrenzen; Windzonen\_Formular\_nach\_Verwaltungsgrenzen.xlsx; Stand 27.09.2018;*
- [12] *European Wind Atlas, Risø National Laboratory, Roskilde (DK), 1989 Troen, Ib; Petersen, Erik L.;*
- [13] *European Environment Agency; Corine Land Cover (CLC) 2012, Version 18.5.1; Veröffentlicht am 19.09.2016;*
- [14] *U.S. Geological Survey Earth Resources Observation & Science Center (EROS); SRTM 1 Arc-Sec Global; Download am 02.12.2016;*
- [15] *Risø DTU National Laboratory for Sustainable Energy, Windfarm Assessment Tool Version 3.3.0.128;*
- [16] *Frandsen, Sten T. (2007): Turbulence and turbulence-generated structural loading in wind turbine clusters. Roskilde (DK);*



- 
- [17] *EMD International A/S; WindPRO / ENERGY; Modelling of the variation of air density with altitude through pressure, humidity and temperature; 12.05.2014;*
- [18] *EMD online Katalog oder Anlagendokumentation der Hersteller;*
- [19.1] *OpenStreetMap und Mitwirkende; SRTM | Kartendarstellung: OpenTopoMap (CC-BY-SA); Siehe auch: <https://creativecommons.org>;*
- [19.2] *Microsoft Corporation; © 2019 Digital Globe © CNES (2019) Distribution Airbus DS; Siehe auch: <https://www.microsoft.com/en-us/maps/product>;*
- [20] *Rodenhausen M., Moser W., Hülsmann C., Bergemann C., Könker M., McKenna R.; Prüfung der Standorteignung für Windenergieanlagen: Ein pragmatischer Ansatz; Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin. Bautechnik 93 (2016) Heft 10;*
- [21] *E-Mail mit dem Betreff: „AW: Förderstedt, Gyhum“ vom 14.08.2020; Daten zur Verfügung gestellt in WakeGuard® Layout-ID: 1153426;*
- [22.1] *anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH; Bestimmung des Windpotentials und des Energieertrages von Windenergieanlagen am Standort Gyhum-Hesedorf; Berichts-Nr.: 17-078-7017377-Rev.00-GW-MK; 20.10.2017;*
- [22.2] *entfällt;*
- [23] *Windwärts Energie GmbH; Standortdokumentation Standorteignung; Standort: Gyhum-Hesedorf; I17-SV-2020-202;*
- [24] *GE Renewable Energy; 20200123\_5.x-158\_DesignConditions\_NO\_NRO.xlsx; übermittelt per E-Mail am 06.07.2020.*