16.1.1 Standorte der Anlagen

Betriebsinterne Bezeichnung der Anlage	ETRS-89/UTM Koordinaten		WGS-84-Koordinaten						Gemarkung	Flur	Flurstücke	Richtfunk-strecke verläuft durch den Einflussbe-reich der Anlage	AZ /Vorgangsnr. der Bundes-netzagentur zur Voranfrage "Mögliche Richtfunkbe-einträchtigung"
			Breitengrad (Latitude)			Längengrad (Longitude)							
	Ostwert	Nordwert	Grad °	Minuten '	Sekunden " (Nord)	Grad °	Minuten '	Sekunden " (Ost)					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
WEA 01 Verweyen	32395507	5944421	53	38	17.2428	7	25	10.2828	Dornum	5	85/1	☐	

16.1.2 Raumordnung/Zielabweichung/Regionalplanung

Zu Punkt 1: Gemäß § 16b des BimSchG V9 in Verbindung des Wind-Landgesetzes Art 3 und 6 steht das Repowering-Vorhaben im Einklang mit der Landesplanung.

Zu Punkt 2: Das Vorhaben befindet sich innerhalb des Flächennutzungsplanes der Gemeinde Dornum gemäß Ausweisung einer Windvorrangfläche.

Zu Punkt 3: Eine landesplanerische Stellungnahme ist gemäß § 45c des Bundesnaturschutzgesetz nicht notwendig, es wird aber in der UVP, des ökologischen Fachbeitrages und des artenschutzrechtlichen Berichtes auf die Gegebenheiten der landesplanerischen Planung eingegangen.

Zu Punkt 4: Eine positive Zielabwicklung ist durch den Antrag nach § 16b BimSchG V9 gegeben.

16.1.3 Sicherheitstechnische Einrichtungen und Vorkehrungen

Siehe Anlage

Anlagen:

- 6.2.1._D0248369_2.2_de_TB_Anlagensicherheit.pdf
- 6.2.12._D0385984-1_ger_TB_Niederschlagssensor.pdf
- 6.2.2._D0630561_3.1_de_TB_Anhalten der Windenergieanlage.pdf
- 6.2.3._D0154407_13.0_de_TB_ENERCON Eisansatzerkennung.pdf
- 6.2.4._D0353070_7.0_de_TB_Eiswarnleuchte.pdf
- 6.2.5._D0734076_3.0_de_TB_Wölfel-Eisansatzerkennung (Kunde).pdf
- 6.2.6._D0367983_8.0_de_Zertifikat_TÜV NORD Gutachten - Eisansatzerkennung nach dem Kennlinienverfahren 8111 881 239.pdf
- 6.2.7._D0260891_16.2_de_Blitzschutz.pdf
- 6.2.8._D0410523-5_de_Radaroptimierter Blitzschutz.pdf
- f2e_gutachten_eisfall_eiswurf_risiko_2023_Georgshof_III_R1.pdf

Technische Beschreibung

Anlagensicherheit

ENERCON Windenergieanlagen

ENERCON
ENERGIE FÜR DIE WELT

Herausgeber

ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Deutschland
Telefon: +49 4941 927-0 ▪ Telefax: +49 4941 927-109
E-Mail: info@enercon.de ▪ Internet: http://www.enercon.de
Geschäftsführer: Momme Janssen, Jost Backhaus, Stefan Lütkemeyer, Dr. Martin Prillmann, Jörg Scholle
Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 411
Ust.Id.-Nr.: DE 181 977 360

Urheberrechtshinweis

Die Inhalte dieses Dokuments sind urheberrechtlich sowie hinsichtlich der sonstigen geistigen Eigentumsrechte durch nationale und internationale Gesetze und Verträge geschützt. Die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments liegen bei der ENERCON GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.

Die ENERCON GmbH räumt dem Verwender das Recht ein, zu Informationszwecken für den eigenen, rein unternehmensinternen Gebrauch Kopien und Abschriften dieses Dokuments zu erstellen; weitergehende Nutzungsrechte werden dem Verwender durch die Bereitstellung dieses Dokuments nicht eingeräumt. Jegliche sonstige Vervielfältigung, Veränderung, Verbreitung, Veröffentlichung, Weitergabe, Überlassung an Dritte und/oder Verwertung der Inhalte dieses Dokuments ist – auch auszugsweise – ohne vorherige, ausdrückliche und schriftliche Zustimmung der ENERCON GmbH untersagt, sofern und soweit nicht zwingende gesetzliche Vorschriften ein Solches gestatten.

Dem Verwender ist es untersagt, für das in diesem Dokument wiedergegebene Know-how oder Teile davon gewerbliche Schutzrechte gleich welcher Art anzumelden.

Sofern und soweit die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments nicht bei der ENERCON GmbH liegen, hat der Verwender die Nutzungsbestimmungen des jeweiligen Rechteinhabers zu beachten.

Geschützte Marken

Alle in diesem Dokument ggf. genannten Marken- und Warenzeichen sind geistiges Eigentum der jeweiligen eingetragenen Inhaber; die Bestimmungen des anwendbaren Kennzeichen- und Markenrechts gelten uneingeschränkt.

Änderungsvorbehalt

Die ENERCON GmbH behält sich vor, dieses Dokument und den darin beschriebenen Gegenstand jederzeit ohne Vorankündigung zu ändern, insbesondere zu verbessern und zu erweitern, sofern und soweit vertragliche Vereinbarungen oder gesetzliche Vorgaben dem nicht entgegenstehen.

Dokumentinformation

Dokument-ID	D0248369/2.2-de
Vermerk	Originaldokument

Datum	**Sprache**	**DCC**	**Werk / Abteilung**
2021-03-25	de	DB	WRD Management Support GmbH / Technische Redaktion

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 4

2 Sicherheitseinrichtungen 5

3 Sensorsystem 6

4 Sicheres Anhalten der Windenergieanlage 8

5 Fernüberwachung 9

6 Wartung 10

1 Einleitung

Die Windenergieanlagen der aktuellen Produktpalette verfügen über eine Vielzahl von sicherheitstechnischen Einrichtungen, die dazu dienen, die Anlagen dauerhaft in einem sicheren Betriebsbereich zu halten.

Organisatorische Maßnahmen, wie regelmäßige, protokollierte Wartungsarbeiten, tragen ebenfalls zu einem zuverlässigen, sicheren Betrieb der Windenergieanlagen bei.

Neben Komponenten, die ein sicheres Anhalten der Windenergieanlagen gewährleisten, zählt zu den sicherheitstechnischen Einrichtungen ein komplexes Sensorsystem. Dieses erfasst ständig alle relevanten Betriebszustände und stellt die entsprechenden Informationen über das Fernüberwachungssystem ENERCON SCADA bereit.

Bewegen sich sicherheitsrelevante Betriebsparameter außerhalb des Normalbereichs, versuchen die Windenergieanlagen, in den Normalbereich zurückzukehren. Überschreiten die sicherheitsrelevanten Betriebsparameter die Sicherheitsgrenze, werden die Windenergieanlagen angehalten.

Im Folgenden werden die wesentlichen sicherheitstechnischen Einrichtungen der Windenergieanlagen sowie organisatorische Maßnahmen zur Erhöhung der Anlagensicherheit näher beschrieben.

Weitere Dokumente zu sicherheitsrelevanten Themen, wie Blitzschutz, Brandschutz, Eiserkennung und Notstromversorgung, sind auf Anfrage verfügbar.

2 Sicherheitseinrichtungen

Not-Halt-Taster

Die Windenergieanlagen verfügen über mehrere Not-Halt-Taster. Bei Betätigung eines Not-Halt-Tasters werden die Rotorblätter verstellt und der Rotor der Windenergieanlage wird angehalten.

Die Not-Halt-Taster schalten die Windenergieanlage nur teilweise spannungsfrei. Einige sicherheitsrelevante Baugruppen der Windenergieanlage werden auch nach Betätigung eines Not-Halt-Tasters weiterhin mit Spannung versorgt.

Hauptschalter

In jeder Windenergieanlage befinden sich mehrere Hauptschalter. Mit den Hauptschaltern können alle angeschlossenen Komponenten der Windenergieanlage spannungsfrei geschaltet werden.

Die Anbringungsorte der Hauptschalter und ihre angeschlossenen Komponenten sind in anlagenspezifischen Dokumenten beschrieben.

3 Sensorsystem

Eine Vielzahl von Sensoren erfasst laufend den aktuellen Zustand der Windenergieanlage und die relevanten Umgebungsparameter (z. B. Rotordrehzahl, Temperatur, Windgeschwindigkeit, Blattbelastung etc.). Die Steuerung wertet die Signale aus und steuert die Windenergieanlage so, dass die aktuell verfügbare Windenergie optimal ausgenutzt wird und dabei die Sicherheit des Betriebs gewährleistet ist.

Redundante Sensoren

Um eine Plausibilitätsprüfung durch Vergleich der gemeldeten Werte zu ermöglichen, sind für einige Betriebszustände (z. B. für die Messung der Temperatur im Generator) mehr Sensoren eingebaut als eigentlich notwendig wären. Ein defekter Sensor wird zuverlässig erkannt und kann durch die Aktivierung eines Reservesensors ersetzt werden. Die Windenergieanlage kann dadurch in der Regel ohne sofortigen Serviceeinsatz sicher weiter betrieben werden.

Kontrolle der Sensoren

Die Funktionstüchtigkeit aller Sensoren wird entweder im laufenden Betrieb regelmäßig durch die Steuerung selbst oder, wo dies nicht möglich ist, im Zuge der Wartung kontrolliert.

Drehzahlüberwachung

Die Steuerung der Windenergieanlage regelt durch Verstellung des Blattwinkels die Rotordrehzahl so, dass die Nenndrehzahl auch bei sehr starkem Wind nicht nennenswert überschritten wird. Auf plötzlich eintretende Ereignisse, z. B. eine starke Windbö oder eine schlagartige Verringerung der Generatorlast, kann das Blattverstellsystem jedoch unter Umständen nicht schnell genug reagieren. Wenn dann die Nenndrehzahl um einen festgelegten Wert überschritten wird, hält die Steuerung der Windenergieanlage den Rotor an. Windenergieanlagen mit selbsttätigem Neustart unternehmen nach drei Minuten automatisch einen neuen Startversuch. Ist diese Störung innerhalb von 24 Stunden fünfmal aufgetreten, wird ein Defekt vermutet. Es wird kein weiterer Startversuch unternommen. Windenergieanlagen, die nicht automatisch starten, können per Fernzugriff neu gestartet werden.

Wenn ein Fehler vorliegt, wird die Windenergieanlage durch eine Notverstellung angehalten.

Luftspaltüberwachung

Der Luftspalt zwischen Rotor und Stator des Generators darf eine bestimmte Breite nicht unterschreiten. Der Luftspalt wird durch Mikroschalter (betrifft Windenergieanlagen der Plattformen EP1, EP2 und EP3) bzw. induktive Näherungssensoren (betrifft Windenergieanlagen der Plattform EP5) überwacht, die am Rotorumfang verteilt sind. Wenn der Luftspalt einen bestimmten Wert unterschreitet, wird die Windenergieanlage angehalten. Die Windenergieanlage kann neu gestartet werden, sobald die Ursache beseitigt wurde.

Schwingungsüberwachung

Die Schwingungsüberwachung erkennt zu starke Schwingungen bzw. Auslenkungen der Turmspitze der Windenergieanlage. Je nach Turmhöhe und -bauart gelten unterschiedliche Grenzwerte für die maximal zulässige Auslenkung.

Beschleunigungsaufnehmer erfassen die Beschleunigungen der Gondel in Richtung der Nabenachse (Längsschwingung) und quer dazu (Querschwingung). Die Steuerung der Windenergieanlage berechnet daraus laufend die Auslenkung des Turms gegenüber der

Ruheposition. Überschreitet die Auslenkung das zulässige Maß, hält die Windenergieanlage an. Das Display im Bedienfeld zeigt dann eine Störmeldung mit dem entsprechenden Zusatzstatus für die Richtung (Längs- bzw. Querschwingung) an.

Ist eine Störung im Generator-Stator und Gleichrichter aufgetreten, wodurch es zu übermäßig starken Vibrationen und Erschütterungen kommt, wird dies von der Schwingungsüberwachung erkannt.

Kabelentdrillung

Über eine Sensorik wird eine eventuelle Verdrillung der Kabel, die aus der Gondel in den Turm führen, registriert. Bei zu starker Verdrillung dreht die Anlagensteuerung die Gondel zurück. Zusätzlich sind Endschalter montiert, die ein Weiterdrehen verhindern. Löst ein Endschalter aus, wird die Windenergieanlage angehalten.

Temperaturüberwachung

Temperatursensoren messen kontinuierlich die Temperatur von Komponenten, die vor zu hohen Temperaturen geschützt werden müssen. Werden am Generator zu hohe Temperaturen gemessen, wird die Leistung der Windenergieanlage reduziert, gegebenenfalls wird die Windenergieanlage angehalten. An manchen Stellen des Generators sind zusätzlich Übertemperaturschalter angebracht. Die Übertemperaturschalter veranlassen ebenfalls das Anhalten der Windenergieanlage nachdem eine bestimmte Temperatur überschritten wurde. Nach dem Abkühlen kann die Windenergieanlage wieder in Betrieb genommen werden, nachdem der Grund für die Überschreitung untersucht und beseitigt wurde.

4 Sicheres Anhalten der Windenergieanlage

Anhalten durch das Blattverstellsystem

Die Windenergieanlage kann durch manuellen Eingriff oder automatisch durch die Steuerung der Windenergieanlage angehalten werden.

Jedes Rotorblatt ist dazu mit einem Blattverstellsystem ausgestattet. Das Blattverstellsystem besteht aus einer Steuerung, einer Antriebseinheit und einem Energiespeicher.

Durch das Blattverstellsystem wird die Stellung der Rotorblätter zum Wind gesteuert. Sowohl bei einer nicht sicherheitsrelevanten als auch bei einer sicherheitsrelevanten Störung werden die Rotorblätter über die Steuerung der Windenergieanlage aus dem Wind gedreht, woraufhin der Rotor der Windenergieanlage anhält.

Liegt eine Störung der Steuerung der Windenergieanlage vor, wird die Notverstellung der Rotorblätter eingeleitet.

Notverstellung

Der Energiespeicher der Blattverstelleinheit hat die für eine Notverstellung nötige Energie gespeichert und wird während des Anlagenbetriebs im geladenen Zustand gehalten und laufend getestet. Bei einer Notverstellung werden die Antriebseinheiten vom zugehörigen Energiespeicher mit Energie versorgt. Die Rotorblätter fahren voneinander unabhängig in eine Stellung, in der sie keinen Auftrieb erzeugen, die sogenannte Fahnenstellung.

Da die 3 Blattverstelleinheiten sich sowohl gegenseitig kontrollieren als auch unabhängig voneinander funktionieren, können beim Ausfall einer Komponente die verbliebenen Blattverstelleinheiten weiterhin arbeiten und den Rotor anhalten.

5 Fernüberwachung

Standardmäßig sind alle ENERCON Windenergieanlagen über das ENERCON SCADA System mit der regionalen Serviceniederlassung verbunden. Die regionale Serviceniederlassung kann jederzeit die Betriebsdaten von jeder Windenergieanlage abrufen und ggf. sofort auf Auffälligkeiten und Störungen reagieren.

Auch alle Statusmeldungen werden über das ENERCON SCADA System an eine Serviceniederlassung gesendet und dort dauerhaft gespeichert. Nur so ist gewährleistet, dass alle Erfahrungen aus dem praktischen Langzeitbetrieb in die Weiterentwicklung der ENERCON Windenergieanlagen einfließen können.

Die Anbindung der einzelnen Windenergieanlagen läuft über den ENERCON SCADA Server, der üblicherweise in der Übergabestation oder in dem Umspannwerk eines Windparks aufgestellt wird. In jedem Windpark ist ein ENERCON SCADA Server installiert.

Auf Wunsch des Betreibers kann die Überwachung der Windenergieanlagen von einer anderen Stelle übernommen werden.

6 Wartung

Um den dauerhaft sicheren und optimalen Betrieb der Windenergieanlagen sicherzustellen, müssen die Windenergieanlagen in regelmäßigen Abständen gewartet werden.

Die Windenergieanlagen werden regelmäßig, je nach Anforderung mindestens einmal jährlich, gewartet. Dabei werden alle sicherheitsrelevanten Komponenten und Funktionen geprüft, z. B. Blattverstellsystem, Windnachführung, Sicherheitssysteme, Blitzschutzsystem, Anschlagpunkte und Sicherheitssteigleiter. Die Schraubverbindungen an den tragenden Verbindungen (Hauptstrang) werden geprüft.

Alle weiteren Komponenten werden einer Sichtprüfung unterzogen, bei der Auffälligkeiten und Schäden festgestellt werden. Verbrauchte Schmierstoffe werden nachgefüllt.

Die Komponenten werden regelmäßig präventiv ausgetauscht, um weiterhin einen sicheren Betrieb zu gewährleisten,

Niederschlagssensor

Für die Windenergieanlagen der aktuellen Produktpalette bietet ENERCON optional einen Niederschlagssensor an. Der von einem zertifizierten Zulieferer bezogene Sensor wird am Mast des Windmessgeräts auf der Gondel der Windenergieanlage montiert. Über den Gondelsteuerschrank der Windenergieanlage wird der Niederschlagssensor in die Anlagensteuerung integriert. So können die Messergebnisse des Sensors ausgewertet und in Steuerungssignale umgewandelt werden.

Aufbau

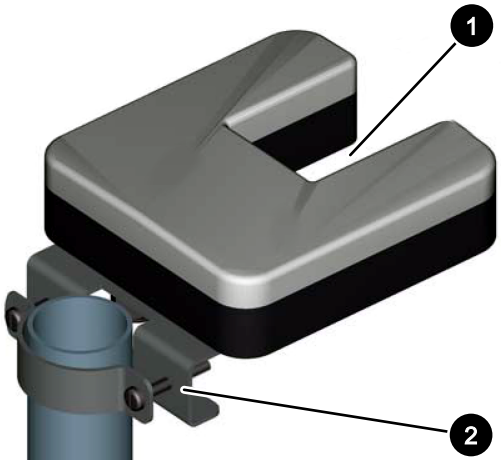


Abb. 1: Niederschlagssensor

1	Sensorbereich	2	Halterung

Funktionsweise

Der Niederschlagssensor arbeitet mit einer wartungsfreien optischen Technologie. Niederschläge wie Sprühregen, Regen, Schnee und Hagel fallen durch ein von Leuchtdioden erzeugtes Lichtband und führen zu einer Verringerung der Lichtstärke auf der Empfangsseite. Durch das Maß der Verringerung der Lichtstärke und die Durchtrittzeit des Niederschlags wird die Intensität des Niederschlags bestimmt. Es ist möglich, einen Intensitätsbereich von ca. 0,001 mm/min (schwacher Nieselregen) bis zu 10 mm/min (extrem starker Regen) zu erfassen.

Die vom Niederschlagssensor gemessenen Werte werden ausgewertet und in Steuerungssignale umgesetzt, die von der Anlagensteuerung der Windenergieanlage ausgewertet werden können. Die Windenergieanlage kann so angehalten oder, wenn sie bereits steht, neu gestartet werden.

© ENERCON GmbH. Alle Rechte vorbehalten.

Einsatz

Bei bestimmten Windparkprojekten ist eine Abschaltung der Windenergieanlagen in definierten Zeiträumen zum Schutz von Fledermäusen gefordert. Während der Fledermaussaison und beim Zutreffen weiterer Parameter, z. B. bei Temperaturen > 10 °C in der Zeit zwischen Sonnenuntergang und Sonnenaufgang, werden die betreffenden Anlagen abgeschaltet. Das kann zu einer Ertragsminderung führen.

Da Fledermäuse bei Niederschlag oft sehr geringe Aktivität zeigen, können Anlagen bei Niederschlag nach Ermessen eines Gutachters bzw. des projektspezifischen Gutachtens in Betrieb bleiben oder wieder zugeschaltet werden. So werden die Abschaltzeiten reduziert.

Unabhängig vom Fledermausschutz kann der Niederschlagssensor auch eingesetzt werden, um Niederschläge zu erfassen und aufzuzeichnen.

Sonstiges

Der Niederschlagssensor muss so montiert werden, dass der Niederschlag die Sensoröffnung ungestört erreicht und das Gerät im späteren Betrieb möglichst wenigen Erschütterungen ausgesetzt ist. Die Montage darf nur durch autorisiertes Fachpersonal erfolgen.

Der Sensor kann bei einer Umgebungstemperatur von -25° C bis +55° C eingesetzt werden. Für extreme Witterungsbedingungen besitzt der Niederschlagssensor eine Heizung, die Schnee- und Eisansatz am Gehäuse verhindert, indem die Oberflächentemperatur des Gehäuses immer über 0° C gehalten wird.

© ENERCON GmbH. Alle Rechte vorbehalten.

Technische Beschreibung

Anhalten der Windenergieanlage

ENERCON Windenergieanlagen

Freigabe: 01-Feb-2023 09:08

Herausgeber

ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Deutschland
Telefon: +49 4941 927-0 ▪ Telefax: +49 4941 927-109
E-Mail: info@enercon.de ▪ Internet: http://www.enercon.de
Geschäftsführer: Dr. Jürgen Zeschky, Dr. Martin Prillmann, Dr. Michael Jaxy
Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 411
Ust.Id.-Nr.: DE 181 977 360

Urheberrechtshinweis

Die Inhalte dieses Dokuments sind urheberrechtlich sowie hinsichtlich der sonstigen geistigen Eigentumsrechte durch nationale und internationale Gesetze und Verträge geschützt. Die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments liegen bei der ENERCON GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.

Die ENERCON GmbH räumt dem Verwender das Recht ein, zu Informationszwecken für den eigenen, rein unternehmensinternen Gebrauch Kopien und Abschriften dieses Dokuments zu erstellen; weitergehende Nutzungsrechte werden dem Verwender durch die Bereitstellung dieses Dokuments nicht eingeräumt. Jegliche sonstige Vervielfältigung, Veränderung, Verbreitung, Veröffentlichung, Weitergabe, Überlassung an Dritte und/oder Verwertung der Inhalte dieses Dokuments ist – auch auszugsweise – ohne vorherige, ausdrückliche und schriftliche Zustimmung der ENERCON GmbH untersagt, sofern und soweit nicht zwingende gesetzliche Vorschriften ein Solches gestatten.

Dem Verwender ist es untersagt, für das in diesem Dokument wiedergegebene Know-how oder Teile davon gewerbliche Schutzrechte gleich welcher Art anzumelden.

Sofern und soweit die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments nicht bei der ENERCON GmbH liegen, hat der Verwender die Nutzungsbestimmungen des jeweiligen Rechteinhabers zu beachten.

Geschützte Marken

Alle in diesem Dokument ggf. genannten Marken- und Warenzeichen sind geistiges Eigentum der jeweiligen eingetragenen Inhaber; die Bestimmungen des anwendbaren Kennzeichen- und Markenrechts gelten uneingeschränkt.

Änderungsvorbehalt

Die ENERCON GmbH behält sich vor, dieses Dokument und den darin beschriebenen Gegenstand jederzeit ohne Vorankündigung zu ändern, insbesondere zu verbessern und zu erweitern, sofern und soweit vertragliche Vereinbarungen oder gesetzliche Vorgaben dem nicht entgegenstehen.

Dokumentinformation

Dokument-ID	D0630561/3.1-de
Vermerk	Originaldokument

Datum	**Sprache**	**DCC**	**Werk / Abteilung**
2023-01-12	de	DB	WRD Wobben Research and Development GmbH / Technische Redaktion

Freigabe: 01-Feb-2023 09:08

Inhaltsverzeichnis

1 Allgemeines 4

2 Blattverstellsystem 5

3 Anhalten der Windenergieanlage 6

3.1 Trudelbetrieb 6

3.2 Fahnenstellung 8

3.3 Ertrag 9

Freigabe: 01-Feb-2023 09:08

1 Allgemeines

ENERCON Windenergieanlagen können manuell oder automatisch angehalten werden. Dabei werden die Rotorblätter aus dem Wind gedreht und der Rotor läuft aus. Die Windnachführung bleibt in Funktion und die Rotorbremse wird nicht betätigt.

Freigabe: 01-Feb-2023 09:08

2 Blattverstellsystem

Das Blattverstellsystem ändert den Anstellwinkel, mit dem die Luft das Blattprofil anströmt. Mit dem Blattwinkel ändert sich der Auftrieb des Rotorblatts und damit auch die Kraft, mit der das Blatt den Rotor dreht.

Im Automatikbetrieb (normale Betriebsart) wird der Blattwinkel so eingestellt, dass einerseits die im Wind enthaltene Energie optimal ausgenutzt wird und andererseits keine Überlastung der Windenergieanlage eintritt. Dabei werden je nach Bedarf auch Randbedingungen wie die Schalloptimierung eingehalten. Außerdem ermöglicht das Blattverstellsystem das aerodynamische Abbremsen des Rotors.

Erreicht die Windenergieanlage ihre Nennleistung, dreht das Blattverstellsystem die Rotorblätter bei weiter steigender Windgeschwindigkeit gerade so weit aus dem Wind, dass die Rotordrehzahl und die vom Wind aufgenommene bzw. vom Generator umzusetzende Leistung die Nennwerte nicht oder nur unwesentlich übersteigen.

Freigabe: 01-Feb-2023 09:08

3 Anhalten der Windenergieanlage

3.1 Trudelbetrieb

Die Blattwinkelstellung im Trudelbetrieb beträgt > 60°. Die Rotorblätter erzeugen eine geringe Auftriebskraft. Der Rotor trudelt oder steht bei völliger Windstille still. Der Trudelbetrieb ist für Windenergieanlagen, die in Tab. 1, S. 6 aufgelistet sind, verfügbar.

Vorteile des Trudelbetriebs

Durch die langsame Bewegung (Trudeln) werden die Nabenlager weniger belastet als bei längerem Stillstand und eine Wiederaufnahme der Stromerzeugung und -einspeisung bei wieder stärker werdendem Wind ist schneller möglich.

Trudeldrehzahl

Die Trudeldrehzahl ist abhängig vom Typ der Windenergieanlage und von der Windgeschwindigkeit. Die nominale Trudeldrehzahl (n_1) wird bei einer Windgeschwindigkeit (V_1) erreicht.

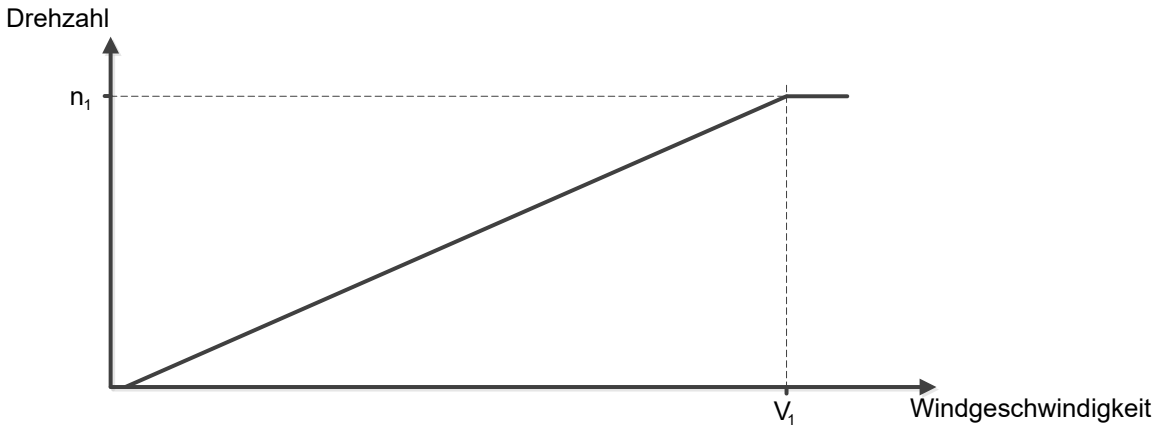


Abb. 1: Trudeldrehzahl in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit

n_1	Nominale Trudeldrehzahl	V_1	Windgeschwindigkeit bei der die nominale Trudeldrehzahl erreicht wird

Tab. 1: Trudeldrehzahlen und Blattspitzengeschwindigkeiten

Windenergieanlage	Nominale Trudeldrehzahl (n_1)[1]	Windgeschwindigkeit (V_1)[1]	Nominale Blattspitzengeschwindigkeit[1]	Trudeldrehzahl[1] bei Windgeschwindigkeit ≤ 6,5 m/s[1]	Blattspitzengeschwindigkeit[1] bei Windgeschwindigkeit ≤ 6,5 m/s[1]
E-44	5,0 U/min	11,0 m/s	11,5 m/s	≤ 2,9 U/min	≤ 6,8 m/s
E-48	5,0 U/min	11,9 m/s	12,6 m/s	≤ 2,7 U/min	≤ 6,8 m/s
E-53	4,5 U/min	11,0 m/s	12,5 m/s	≤ 2,7 U/min	≤ 7,3 m/s
E-70 E4	3,5 U/min	12,1 m/s	13,0 m/s	≤ 1,9 U/min	≤ 7,0 m/s
E-82 E2	3,5 U/min	13,1 m/s	15,0 m/s	≤ 1,7 U/min	≤ 7,4 m/s
E-82 E3	3,5 U/min	13,1 m/s	15,0 m/s	≤ 1,7 U/min	≤ 7,4 m/s
E-82 E4	3,5 U/min	13,1 m/s	15,0 m/s	≤ 1,7 U/min	≤ 7,4 m/s

Freigabe: 01-Feb-2023 09:08

Windenergieanlage	Nominale Trudeldrehzahl (n_1)[1]	Windgeschwindigkeit (V_1)[1]	Nominale Blattspitzengeschwindigkeit[1]	Trudeldrehzahl[1] bei Windgeschwindigkeit ≤ 6,5 m/s[1]	Blattspitzengeschwindigkeit[1] bei Windgeschwindigkeit ≤ 6,5 m/s[1]
E-92	3,3 U/min	13,8 m/s	15,9 m/s	≤ 1,6 U/min	≤ 7,5 m/s
E-101	3,0 U/min	15,2 m/s	15,9 m/s	≤ 1,3 U/min	≤ 6,8 m/s
E-101 E2	3,0 U/min	16,0 m/s	15,9 m/s	≤ 1,2 U/min	≤ 6,5 m/s
E-103 EP2	3,0 U/min	15,7 m/s	16,2 m/s	≤ 1,2 U/min	≤ 6,7 m/s
E-112	2,5 U/min	16,5 m/s	14,9 m/s	≤ 0,98 U/min	≤ 5,9 m/s
E-115	2,8 U/min	16,7 m/s	17,0 m/s	≤ 1,1 U/min	≤ 6,6 m/s
E-115 E2	2,8 U/min	16,5 m/s	17,0 m/s	≤ 1,1 U/min	≤ 6,7 m/s
E-115 EP3 E3	2,5 U/min	14,8 m/s	15,1 m/s	≤ 1,1 U/min	≤ 6,7 m/s
E-115 EP3 E4	2,5 U/min	14,8 m/s	15,17 m/s	≤ 1,1 U/min	≤ 6,7 m/s
E-126 EP3	2,5 U/min	16,5 m/s	16,6 m/s	≤ 1,0 U/min	≤ 6,6 m/s
E-126 EP4	2,5 U/min	14,9 m/s	16,6 m/s	≤ 1,1 U/min	≤ 7,3 m/s
E-138 EP3	2,5 U/min	17,5 m/s	18,1 m/s	≤ 0,9 U/min	≤ 6,7 m/s
E-138 EP3 E2	2,5 U/min	17,5 m/s	18,1 m/s	≤ 0,9 U/min	≤ 6,7 m/s
E-138 EP3 E3	2,5 U/min	17,5 m/s	18,1 m/s	≤ 0,9 U/min	≤ 6,7 m/s
E-141 EP4	2,0 U/min	13,6 m/s	14,8 m/s	≤ 1,0 U/min	≤ 7,1 m/s
E-160 EP5 E3[2]	2,0 U/min	17,4 m/s	16,8 m/s	≤ 0,75 U/min	≤ 6,3 m/s
E-160 EP5 E3 R1	2,0 U/min	17,3 m/s	16,8 m/s	≤ 0,75 U/min	≤ 6,3 m/s
E-175 EP5	2,0 U/min	16,3 m/s	18,4 m/s	≤ 0,8 U/min	≤ 7,3 m/s

Dauer des Übergangs vom Normalbetrieb in den Trudelbetrieb

Wenn die Windenergieanlage in den Trudelbetrieb übergeht, erreicht der Rotor der Windenergieanlage innerhalb von 35 s eine anlagenabhängige Trudeldrehzahl oder steht bei völliger Windstille still. Die Dauer kann, je nach Ursache, durch einen Gradientenstopp erhöht werden.

Mögliche Ursachen für den Übergang in den Trudelbetrieb:

- Windmangel
- Störung der Einspeisung
- nicht sicherheitsrelevante Komponentenstörung
- Fledermaus- oder Vogelschutz
- Eisansatzerkennung

[1] 1-Minuten-Mittelwert

[2] Übergang in den Trudelbetrieb nur bei Windmangel oder bedingt durch Fledermaus- oder Vogelschutz

Freigabe: 01-Feb-2023 09:08

3.2 Fahnenstellung

Die Blattwinkelstellung in Fahnenstellung beträgt ca. 90°. Die Rotorblätter erzeugen keinen Auftrieb. Der Rotor wird aerodynamisch gebremst. Er steht still oder bewegt sich minimal.

Dauer des Übergangs vom Normalbetrieb in die Fahnenstellung

Wenn die Windenergieanlage im Normalbetrieb angehalten wird, erreicht der Rotor der Windenergieanlage eine Drehzahl von nahezu 0 U/min. Die Dauer kann, je nach Ursache, durch einen Gradientenstopp erhöht werden.

Tab. 2: Drehzahlen und Zeiten bis zum Anhalten

Windenergieanlage	Zeit bis 2 U/min	Zeit bis 1 U/min	Zeit bis nahezu 0 U/min
E-44	-	-	35 s
E-48			
E-53			
E-70 E4			
E-82 E2			
E-82 E3			
E-82 E4			
E-92			
E-101			
E-101 E2			
E-103 EP2			
E-112			
E-115			
E-115 E2			
E-115 EP3 E3			
E-126 EP4			
E-141 EP4			
E-115 EP3 E4	27 s	30 s	55 – 60 s
E-126 EP3	28 s	34 s	50 s
E-138 EP3	35 s	40 s	45 – 60 s
E-138 EP3 E2	35 s	40 s	45 – 60 s
E-138 EP3 E3	35 s	40 s	45 – 60 s
E-147 EP5 E2	30 s	40 s	50 s
E-160 EP5 E2	20 s	27 s	42 s
E-160 EP5 E3	25 s	32 s	54 s
E-160 EP5 E3 R1	25 s	32 s	54 s
E-175 EP5	25 s	32 s	65 s

Freigabe: 01-Feb-2023 09:08

Mögliche Ursachen für den Übergang in die Fahnenstellung:

- Manuelles Stoppen: Der Schalter *Start/Stop* am Steuerschrank wird in Stellung *Stop* gedreht.
- Überdrehzahl
- Störung der Notverstellkondensatoren
- Störung des Generators
- Schattenabschaltung
- Notverstellung

3.3 Ertrag

Befindet sich die Windenergieanlage im Trudelbetrieb oder in Fahnenstellung, wird die Erregung ausgeschaltet. Es wird keine Leistung und somit kein Ertrag erzeugt. Die nominale Trudeldrehzahl liegt unter der minimalen Betriebsdrehzahl.

Freigabe: 01-Feb-2023 09:08

Technische Beschreibung

ENERCON Eisansatzerkennung

ENERCON Control System (CS48, CS82, CS101, CS126, EP3-CS-02, EP4-CS-01)

ENERCON
ENERGIE FÜR DIE WELT

Herausgeber

ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Deutschland
Telefon: +49 4941 927-0 ▪ Telefax: +49 4941 927-109
E-Mail: info@enercon.de ▪ Internet: http://www.enercon.de
Geschäftsführer: Dr. Jürgen Zeschky, Dr. Martin Prillmann, Dr. Michael Jaxy
Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 411
Ust.Id.-Nr.: DE 181 977 360

Urheberrechtshinweis

Die Inhalte dieses Dokuments sind urheberrechtlich sowie hinsichtlich der sonstigen geistigen Eigentumsrechte durch nationale und internationale Gesetze und Verträge geschützt. Die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments liegen bei der ENERCON GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.

Die ENERCON GmbH räumt dem Verwender das Recht ein, zu Informationszwecken für den eigenen, rein unternehmensinternen Gebrauch Kopien und Abschriften dieses Dokuments zu erstellen; weitergehende Nutzungsrechte werden dem Verwender durch die Bereitstellung dieses Dokuments nicht eingeräumt. Jegliche sonstige Vervielfältigung, Veränderung, Verbreitung, Veröffentlichung, Weitergabe, Überlassung an Dritte und/oder Verwertung der Inhalte dieses Dokuments ist – auch auszugsweise – ohne vorherige, ausdrückliche und schriftliche Zustimmung der ENERCON GmbH untersagt, sofern und soweit nicht zwingende gesetzliche Vorschriften ein Solches gestatten.

Dem Verwender ist es untersagt, für das in diesem Dokument wiedergegebene Know-how oder Teile davon gewerbliche Schutzrechte gleich welcher Art anzumelden.

Sofern und soweit die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments nicht bei der ENERCON GmbH liegen, hat der Verwender die Nutzungsbestimmungen des jeweiligen Rechteinhabers zu beachten.

Geschützte Marken

Alle in diesem Dokument ggf. genannten Marken- und Warenzeichen sind geistiges Eigentum der jeweiligen eingetragenen Inhaber; die Bestimmungen des anwendbaren Kennzeichen- und Markenrechts gelten uneingeschränkt.

Änderungsvorbehalt

Die ENERCON GmbH behält sich vor, dieses Dokument und den darin beschriebenen Gegenstand jederzeit ohne Vorankündigung zu ändern, insbesondere zu verbessern und zu erweitern, sofern und soweit vertragliche Vereinbarungen oder gesetzliche Vorgaben dem nicht entgegenstehen.

Dokumentinformation

Dokument-ID	D0154407/13.0-de
Vermerk	Originaldokument

Datum	**Sprache**	**DCC**	**Werk / Abteilung**
2022-10-05	de	DB	WRD Wobben Research and Development GmbH / Technische Redaktion

Mitgeltende Dokumente

Der aufgeführte Dokumenttitel ist der Titel des Sprachoriginals, ggf. ergänzt um eine Übersetzung dieses Titels in Klammern. Die Titel von übergeordneten Normen und Richtlinien werden im Sprachoriginal oder in der englischen Übersetzung angegeben. Die Dokument-ID bezeichnet stets das Sprachoriginal. Enthält die Dokument-ID keinen Revisionsstand, gilt der jeweils neueste Revisionsstand des Dokuments. Diese Liste enthält ggf. Dokumente zu optionalen Komponenten.

Dokument-ID	Dokument
D0160588	Technische Beschreibung Gondelpositionierung bei Eisansatz
D0167466	Formular Änderung Standardeinstellungen ENERCON Eisansatzerkennung
D0258603	Technische Beschreibung Windpark-Eisansatzerkennung
D0367983	TÜV NORD Bericht Nr.: 8111 881 239: Gutachten zur Bewertung der Funktionalität von Eisansatzerkennungssystemen zur Verhinderung von Eisabwurf an ENERCON Windenergieanlagen: Eisansatzerkennung nach dem ENERCON-Kennlinienverfahren
D0441885	Technische Beschreibung Blattheizung

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 5

2 ENERCON Kennlinienverfahren 6
2.1 Funktionsweise 6
2.2 Sicherheit 7
2.3 Grenzen 7
2.4 Anpassung der Detektionszeit 7
2.5 Einfluss einer angehaltenen Windenergieanlage auf die Detektionszeit 7
2.6 Präventiver Halt nach Störungen 8

3 Anhalten der Windenergieanlage 9

4 Wiederanlaufen der Windenergieanlage 10
4.1 Priorisierung von Anhalten und Wiederanlaufen der Windenergieanlage 10
4.2 Manueller Wiederanlauf 10
4.3 Automatischer Wiederanlauf nach Tauwetter 11
4.4 Automatischer 6-Stunden-Neustart 13
4.5 Automatischer Wiederanlauf mit Blattheizung 15
4.6 Automatischer Wiederanlauf nach Windpark-Eisansatzerkennung 17

5 Parameter 19

Fachwortverzeichnis 22

1 Einleitung

An den Rotorblättern kommt es bei bestimmten Witterungsverhältnissen zur Bildung von Eis-, Reif- oder Schneeablagerungen, die den Wirkungsgrad der Windenergieanlage reduzieren und die Lärmemission erhöhen. Durch diese Ablagerungen entsteht eine Unwucht, die zu erhöhter Materialbelastung führt. Die Ablagerungen können so stark werden, dass von ihnen beim Herabfallen (unvermeidbarer Eisfall, wie von hohen Gebäuden) oder Wegschleudern (Eiswurf) Gefahren für Personen und Sachen ausgehen.

Das ENERCON Kennlinienverfahren ist ein integraler Bestandteil des ENERCON Betriebsführungssystems und kann nicht deaktiviert werden. Das ENERCON Kennlinienverfahren nutzt die in der Anlagensteuerung vorhandenen Sensoren. Alle benötigten Eingangsgrößen wie Außentemperatur, Windgeschwindigkeit, Drehzahl, Leistung und Blattwinkel stehen dem ENERCON Kennlinienverfahren ständig zur Verfügung. Wird ein Fehler in der Sensorik festgestellt, wird die Windenergieanlage automatisch angehalten.

Dieses Dokument gibt eine Übersicht über das ENERCON Kennlinienverfahren und dessen Einfluss auf die Start- und Haltevorgänge der Windenergieanlage und ist gültig für ENERCON Windenergieanlagen mit folgenden Steuerungstypen:

- CS48, CS82, CS101, CS126, EP3-CS-02, EP4-CS-01

Für die ENERCON Windenergieanlagen E-147 EP5 E2, E-160 EP5 E2 und E-160 EP5 E3 befindet sich das ENERCON Kennlinienverfahren in Entwicklung.

2 ENERCON Kennlinienverfahren

2.1 Funktionsweise

Bei Rotorblättern werden hochwertige aerodynamische Profile eingesetzt, die in einem weiten Betriebsbereich einen optimalen Wirkungsgrad erzielen. Die aerodynamischen Eigenschaften dieser Profile reagieren sehr empfindlich auf Kontur- und Rauheitsänderungen durch Eisansatz. Die daraus resultierende signifikante Änderung des Betriebskennfelds der Windenergieanlage (Zusammenhang von Wind/Drehzahl/Leistung/Blattwinkel) wird vom Eisansatzerkennungssystem genutzt. Jede Windenergieanlage verfügt über eine Standard-Betriebskennlinie, welche während des Betriebs durch einen selbstlernenden Algorithmus automatisch an den jeweiligen Standort angepasst wird. Dazu werden bei Außenlufttemperaturen > +2 °C, witterungsgeschützt heckseitig unterhalb der Gondel gemessen, die anlagenspezifischen Betriebszusammenhänge (Wind/Leistung/Blattwinkel) als Langzeit-Mittelwerte erfasst. Bei Außenlufttemperaturen ≤ +2 °C werden die aktuellen Betriebsdaten mit den Langzeit-Mittelwerten verglichen, da es in diesem Temperaturbereich zu Eisansatz an den Rotorblättern kommen kann.

Dazu wird über die anlagenspezifische Wind-Leistungs- und Wind-Blattwinkelkennlinie ein empirisch ermitteltes Toleranzband gelegt. Dieses basiert auf Simulationen, Versuchen und mehrjähriger Erfahrung an einer Vielzahl von Windenergieanlagen der unterschiedlichen Baureihen. Wenn die Betriebsdaten von Leistung oder Blattwinkel im Rahmen einer gleitenden Mittelung außerhalb des Toleranzbands liegen, wird die Windenergieanlage mit dem Hauptstatus `14:XX Eisansatz` angehalten (Trudelbetrieb).

Die Art der Abweichung vom Toleranzband wird ebenfalls ausgewertet und in Form eines Zusatzstatus angezeigt.

Wenn die gemessene mittlere Leistung unterhalb des Leistungsfensters liegt, deutet dies auf Eisansatz an den Rotorblättern hin. Die Windenergieanlage wird dann mit dem Status `14:11 Eisansatz : Rotor (Leistungsmessung)` angehalten (Trudelbetrieb).

Bei Eisansatz an den Rotorblättern stellen sich im Regelbereich kleinere Blattwinkel ein als bei eisfreien Rotorblättern. Wenn der gemessene mittlere Blattwinkel unterhalb des Blattwinkelfensters liegt, deutet dies auf Eisansatz an den Rotorblättern hin. Die Windenergieanlage wird dann mit dem Status `14:13 Eisansatz : Rotor (Blattwinkelmessung)` angehalten (Trudelbetrieb).

Zeit bis zum Anhalten

Das Toleranzband ist relativ schmal. Deshalb erfolgt das Anhalten der Windenergieanlage erst nach Ablauf der Eisansatz-Detektionszeit (Kap. 2.4, S. 7). Die bis dahin entstandene Dicke der Eisschicht führt nicht zu einer Gefährdung der Umgebung. Auch im eisfreien Betrieb liegen regelmäßig einzelne Betriebspunkte außerhalb der Toleranz. Dies führt jedoch durch die gleitende Mittelung üblicherweise nicht zum Anhalten.

2.2 Sicherheit

Die Betriebssicherheit der Eisansatzerkennung nach dem ENERCON Kennlinienverfahren ist sehr hoch. Über voneinander unabhängige Temperatursensoren auf der Unterseite der Gondel und am Turmfuß wird ein eventueller Ausfall einer dieser Temperatur-Messstellen überwacht.

Alle relevanten Messgrößen der Windenergieanlage werden permanent durch die Steuerung auf Plausibilität überprüft. Gegebenenfalls werden unplausible Messwerte von der Steuerung aus Sicherheitsgründen als Eisansatz interpretiert, auch wenn kein Eisansatz vorliegt.

Das ENERCON Kennlinienverfahren kann Eisansatz auch erkennen, wenn von externen Eisansatzerkennungssystemen noch kein Eisansatz erkannt wurde.

2.3 Grenzen

Da sich der Rotor für das ENERCON Kennlinienverfahren drehen und die Windenergieanlage Leistung produzieren muss, kann mit dem ENERCON Kennlinienverfahren kein Eisansatz bei Stillstand des Rotors erkannt werden. Bei Windgeschwindigkeiten unterhalb von 3 m/s vermindert sich die Empfindlichkeit des Verfahrens. Bei Windgeschwindigkeiten oberhalb von 3 m/s gibt es keine Einschränkungen.

Wenn der Rotor anläuft, kann es bereits zum Eisfall/Eiswurf kommen. Da sich der Rotor jedoch lediglich mit einer geringen Geschwindigkeit dreht, wird das Eis nicht weggeschleudert, sondern fällt herunter, wie bei anderen hohen Bauwerken auch.

2.4 Anpassung der Detektionszeit

Die Detektionszeit – der Zeitraum zwischen der ersten Abweichung vom Toleranzband bis zum Anhalten der Windenergieanlage – wird wie folgt gebildet:

- Alle 60 Sekunden, in denen im Mittel eine Abweichung vorliegt, wird ein Zähler um 1 auf den Wert von P4112 (Kap. 5.3, S. 20) hochgezählt. Bei Erreichen des in P4112 eingestellten Zählerstands hält die Windenergieanlage mit einer der folgenden Statusmeldungen an:
  `14:11 Eisansatzerkennung : Rotor (Leistungsmessung)`
  `14:13 Eisansatzerkennung : Rotor (Blattwinkelmessung)`
- Alle 60 Sekunden, in denen im Mittel keine Abweichung vorliegt, wird der Zähler um 1 auf minimal 0 heruntergezählt.

Mit der Standardeinstellung des Parameters wird Eisansatz ausreichend zuverlässig erkannt. Je niedriger der Parameter eingestellt wird, desto schneller detektiert die Steuerung der Windenergieanlage Eisansatz, was aber auch zu verfrühtem Anhalten führen kann. Für Windenergieanlagen an Standorten, an denen aufgrund der örtlichen Vereisungs- und Windbedingungen und der Nutzung der Umgebung ein erhöhtes Risiko durch Eiswurf zu befürchten ist, kann die Einstellung des Parameters reduziert werden.

2.5 Einfluss einer angehaltenen Windenergieanlage auf die Detektionszeit

Zusätzlich zu der beschriebenen Funktion der Detektionszeit werden die Zähler für den Status `14:11` und `14:13` bei möglichem Eisansatz und stillstehender Windenergieanlage langsam erhöht. Da die Eisanwachsrate bei stehendem Rotor geringer ist als bei laufendem, erreichen die Zähler erst nach 3 Stunden einen Wert, der 3 Minuten unterhalb der eingestellten Detektionszeit liegt. Wenn die Windenergieanlage jetzt startet, ist da-

durch die Detektionszeit der Eisansatzerkennung je nach Dauer des Stillstands auf minimal 3 Minuten verkürzt. Die Anlagensteuerung detektiert schnell möglichen Eisansatz, und die Windenergieanlage hält unmittelbar wieder an.

2.6 Präventiver Halt nach Störungen

Auch bei längerem Stillstand der Windenergieanlage aufgrund einer Störung besteht bei Temperaturen unter +2 °C und entsprechend hoher Luftfeuchtigkeit die Möglichkeit, dass die Rotorblätter vereisen. Wird die Windenergieanlage dann durch die Fernsteuerung neu gestartet, besteht das Risiko von Eiswurf. Die Wurfweite des Eises hängt dabei u. a. stark von der Drehzahl der Windenergieanlage und damit von der zum Zeitpunkt des Wiederanlaufs vorherrschenden Windgeschwindigkeit ab.

Um dieses Risiko zu minimieren, ermittelt die Steuerung die Dauer des Stillstands in Folge einer Störung. Beruhend auf Erfahrungswerten von ENERCON für Standorte im Mittelgebirge läuft die Windenergieanlage bis zu einer Stillstandsdauer von 2 Stunden und 59 Minuten nach einem Störungsreset wieder selbstständig an. Erreicht oder überschreitet die Stillstandsdauer 3 Stunden, läuft die Windenergieanlage nach dem Reset der Störung nicht automatisch wieder an, wenn die gleitende, mittlere Windgeschwindigkeit über 10 Minuten größer als 5 m/s ist.

Diese Funktion wird wie folgt realisiert: Bei einer Störung wird bei möglichem Eisansatz der Zähler für den Status `14:16 Eisansatzerkennung : Anlage praeventiv gestoppt` erhöht. Nach 3 Stunden erreicht der Zähler den vorgegebenen Wert von 180 Minuten und wird dann automatisch nochmal um weitere 5 Minuten auf 185 Minuten erhöht. Wenn die Windenergieanlage jetzt neu gestartet wird, wird bei einem 10-Minuten-Mittelwert der Windgeschwindigkeit größer 5 m/s ein automatischer Wiederanlauf durch den Status `14:16` verhindert.

Wenn die mittlere Windgeschwindigkeit jedoch unterhalb von 5 m/s liegt, läuft die Windenergieanlage zunächst wieder an und beginnt, den Zähler für den Status `14:16` im Minutentakt zu senken. Da der Zähler in den ersten 5 Minuten größer 180 ist, wird weiterhin die Windgeschwindigkeit beobachtet. Wenn die mittlere Windgeschwindigkeit innerhalb dieser Zeit auf über 5 m/s ansteigen sollte, wird die Windenergieanlage wieder angehalten. Erst wenn der Zähler unter 180 Minuten gesunken ist, bleibt die Windenergieanlage auch bei Windgeschwindigkeiten über 5 m/s in Betrieb.

Der Zähler für den Status `14:16` wird während des Betriebs der Windenergieanlage weiterhin im Minutentakt gesenkt und erreicht somit erst nach 3 Stunden den Wert 0. Wenn die Windenergieanlage in der Zwischenzeit erneut eine Störung haben sollte, wird der Zähler vom jeweiligen aktuellen Wert aus wieder hochgezählt und erreicht entsprechend früher den Wert von 180 Minuten.

Der Status `14:16` wird automatisch quittiert, wenn der automatische Neustart nach Vereisung (Kap. 5.1, S. 19) eingeschaltet ist und der Timer für möglichen Eisansatz wieder auf 0 steht. Eventuelles Eis ist dann aufgrund von Außentemperaturen oberhalb von +2 °C abgetaut, sodass die Windenergieanlage gefahrlos starten kann.

Der präventive Halt nach Störungen kann über den Parameter 4115 (Kap. 5.4, S. 20) ein- oder ausgeschaltet werden.

3 Anhalten der Windenergieanlage

Erkennt das Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz, wird die Windenergieanlage angehalten (Trudelbetrieb). Zusätzlich erfolgt eine Signalisierung an ENERCON SCADA.

Je nach Parametrierung kann die Gondel in einer bestimmten Stellung positioniert werden. Optional wird die Blattheizung oder eine Eiswarnleuchte eingeschaltet.

4 Wiederanlaufen der Windenergieanlage

4.1 Priorisierung von Anhalten und Wiederanlaufen der Windenergieanlage

Das Anhalten der Windenergieanlage hat immer eine höhere Priorisierung als das Wiederanlaufen der Windenergieanlage. Das bedeutet, dass die Windenergieanlage nicht wiederanlaufen kann, solange ein Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz erkennt, obwohl ein anderes Eisansatzerkennungssystem Eisfreiheit meldet.

4.2 Manueller Wiederanlauf

Ein manuell eingeleiteter Wiederanlauf nach einer Eisansatzerkennung ist nur direkt an der Windenergieanlage nach entsprechender Sichtkontrolle möglich. Der Eisreset kann über den Taster am Steuerschrank oder über den ENERCON SCADA Server vor Ort ausgelöst werden. Dabei obliegt dem Personal vor Ort die Verantwortung für die eventuell vom Wiederanlauf ausgehende Gefährdung.

Die Windenergieanlage kann nicht wiederanlaufen, solange ein Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz erkennt.

4.3 Automatischer Wiederanlauf nach Tauwetter

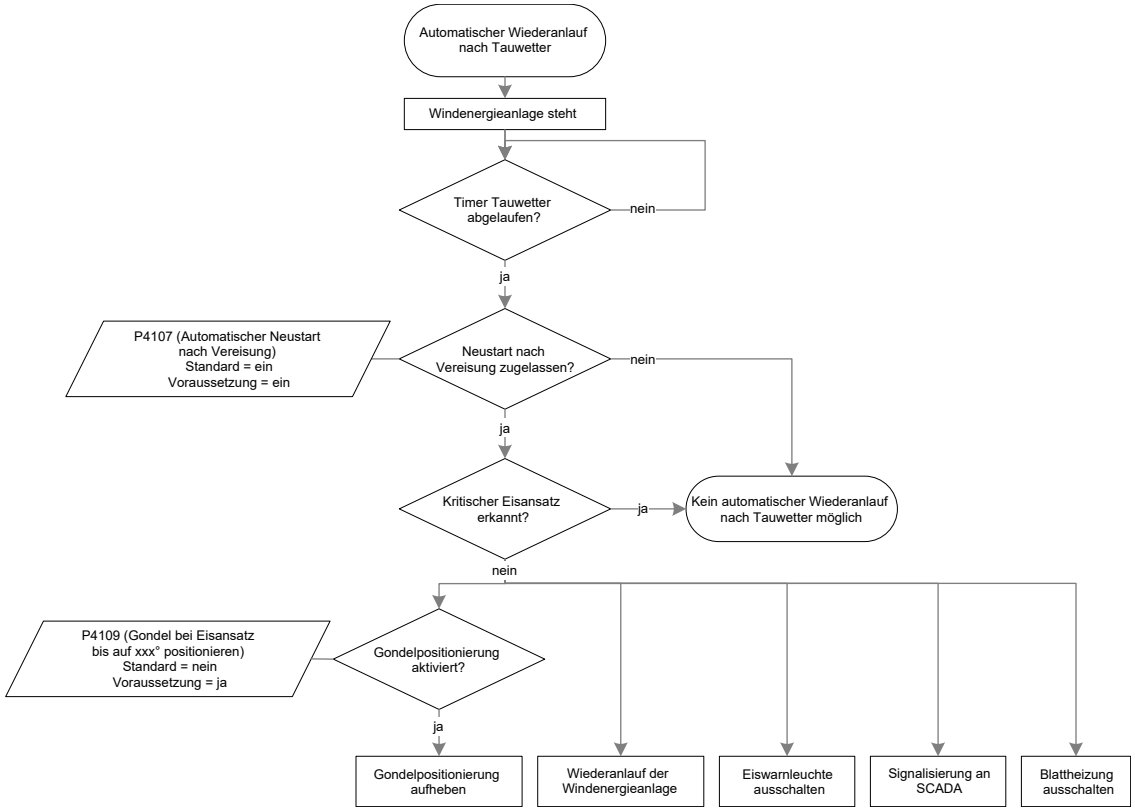


Abb. 1: Automatischer Wiederanlauf nach Tauwetter

Standardeinstellung:

- P4107 (Automatischer Neustart nach Vereisung) = ein

Voraussetzung:

✓ P4107 (Automatischer Neustart nach Vereisung) = ein

✓ Kein kritischer Eisansatz durch ein installiertes Eisansatzerkennungssystem erkannt.

Wenn anhand der zurückliegenden Außentemperaturmessungen Tauwetterlage erkannt wird und ein automatischer Wiederanlauf nach Tauwetter parametriert ist, nimmt die Windenergieanlage den Betrieb wieder auf.

Wenn ein Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz erkennt, ist der automatische Wiederanlauf nach Tauwetter nicht möglich.

Tab. 1: Automatischer Wiederanlauf nach Tauwetter

Außentemperatur in °C	Dauer in Minuten
> 2,0 bis ≤ 2,5	1200
> 2,5 bis ≤ 3,0	360
> 3,0 bis ≤ 4,0	180
> 4,0 bis ≤ 5,0	120
> 5,0 bis ≤ 6,0	90
> 6,0 bis ≤ 7,0	72
> 7,0 bis ≤ 8,0	60

Außentemperatur in °C	Dauer in Minuten
> 8,0 bis ≤ 9,0	51
> 9,0 bis ≤ 10,0	45
> 10,0	0

4.4 Automatischer 6-Stunden-Neustart

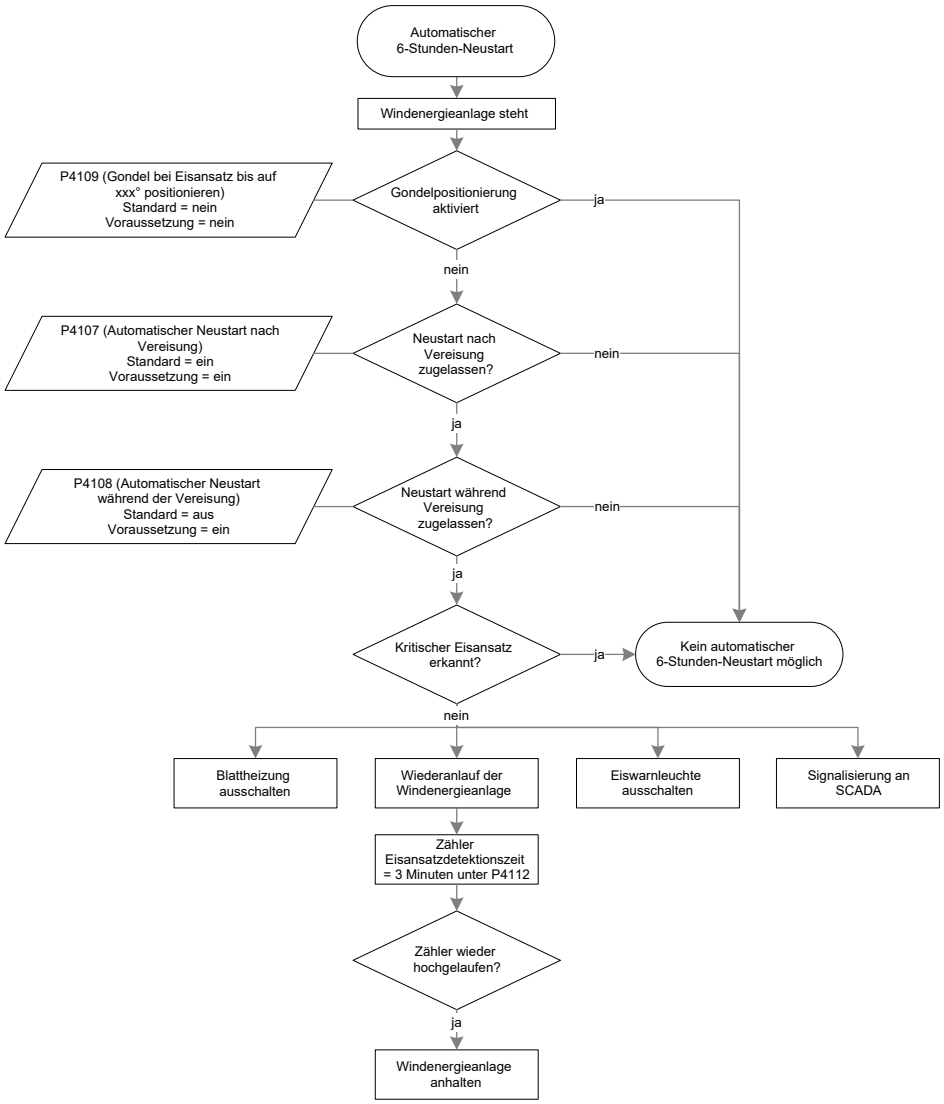


Abb. 2: Automatischer 6-Stunden-Neustart

Standardeinstellung:

- P4107 (Automatischer Neustart nach Vereisung) = ein
- P4108 (Automatischer Neustart während der Vereisung) = aus

Voraussetzung:

- ✓ P4108 (Automatischer Neustart während der Vereisung) = ein
- ✓ P4107 (Automatischer Neustart nach Vereisung) = ein
- ✓ Kein kritischer Eisansatz durch ein installiertes Eisansatzerkennungssystem erkannt

Wenn der automatische 6-Stunden-Neustart parametriert ist, unternimmt die Windenergieanlage während der Vereisungsbedingungen (u.a. anhaltende Temperaturen unter +2 °C) im Abstand von 6 Stunden einen Startversuch.

Die Zähler der Eisansatz-Detektionszeit des ENERCON Kennlinienverfahrens werden hierbei auf einen definierten Wert gesetzt. Dieser Wert liegt 3 Minuten unter dem voreingestellten Wert der Eisansatz-Detektionszeit. Falls noch Eisansatz erkannt wird, wird die Windenergieanlage daraufhin nach wenigen Minuten wieder angehalten.

Die Windenergieanlage kann nicht wiederanlaufen, solange ein Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz erkennt.

4.5 Automatischer Wiederanlauf mit Blattheizung

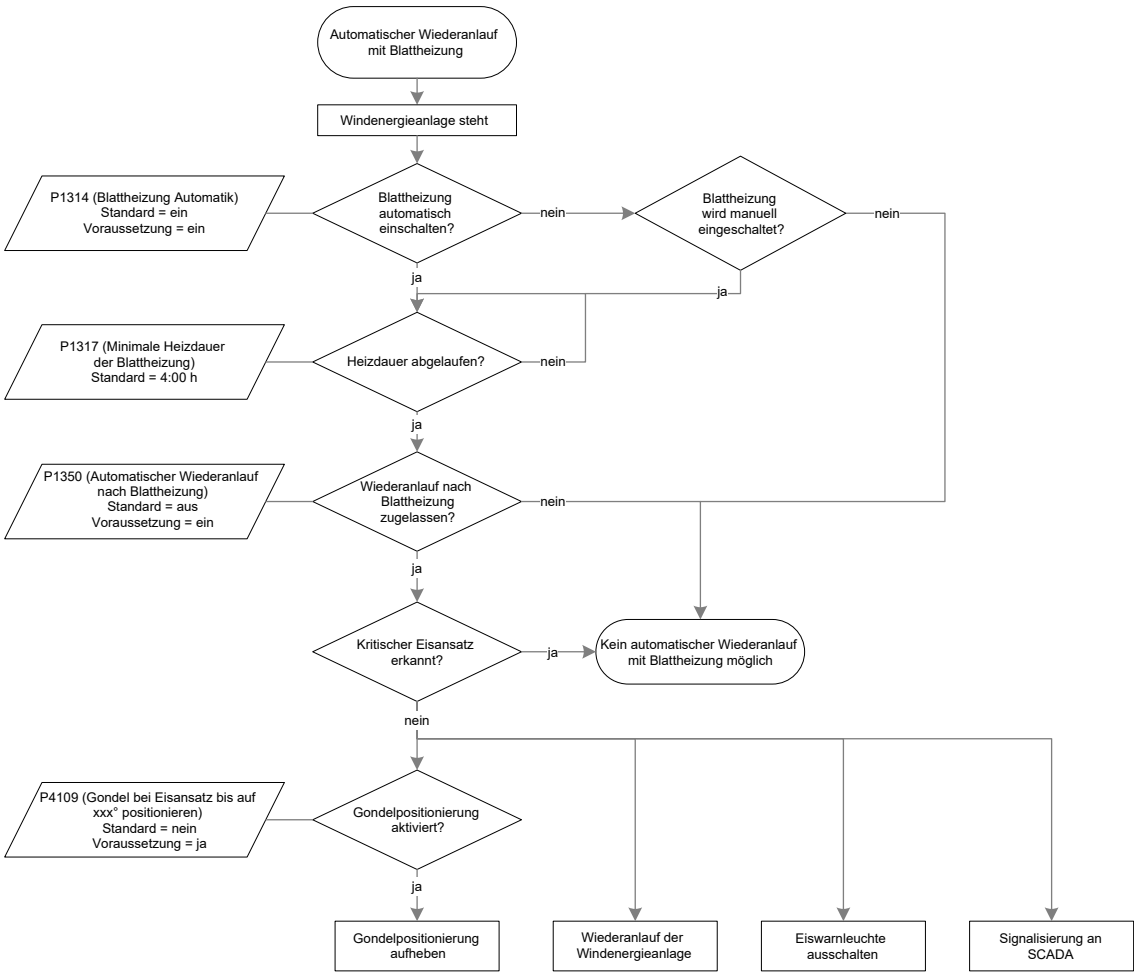


Abb. 3: Automatischer Wiederanlauf mit Blattheizung

Standardeinstellung:

- P1314 (Blattheizung Automatik) = ein
- P1350 (Automatischer Wiederanlauf nach Blattheizung) = aus

Voraussetzung:

- ✓ P1314 (Blattheizung Automatik) = ein
- ✓ P1350 (Automatischer Wiederanlauf nach Blattheizung) = ein
- ✓ Kein kritischer Eisansatz durch ein installiertes Eisansatzerkennungssystem erkannt

Wenn ein Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz erkannt hat und die Windenergieanlage angehalten wurde, wird die Blattheizung eingeschaltet.

Nachdem ein Blattheizungszyklus durchlaufen wurde, nimmt die Windenergieanlage den Betrieb wieder auf.

Die Zähler der Eisansatz-Detektionszeit des ENERCON Kennlinienverfahrens werden nach dem Durchlauf des Blattheizungszyklus auf einen definierten Wert gesetzt. Dieser Wert liegt 3 Minuten unter dem voreingestellten Wert der Eisansatz-Detektionszeit. Falls noch Eisansatz erkannt wird, wird die Windenergieanlage daraufhin nach wenigen Minuten wieder angehalten.

Diese Funktion ist auch unter Vereisungsbedingungen möglich.

Die Windenergieanlage kann nicht wiederanlaufen, solange ein Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz erkennt.

Detaillierte Informationen können der technischen Beschreibung entnommen werden:

- D0441885 „Technische Beschreibung Blattheizung“

4.6 Automatischer Wiederanlauf nach Windpark-Eisansatzerkennung

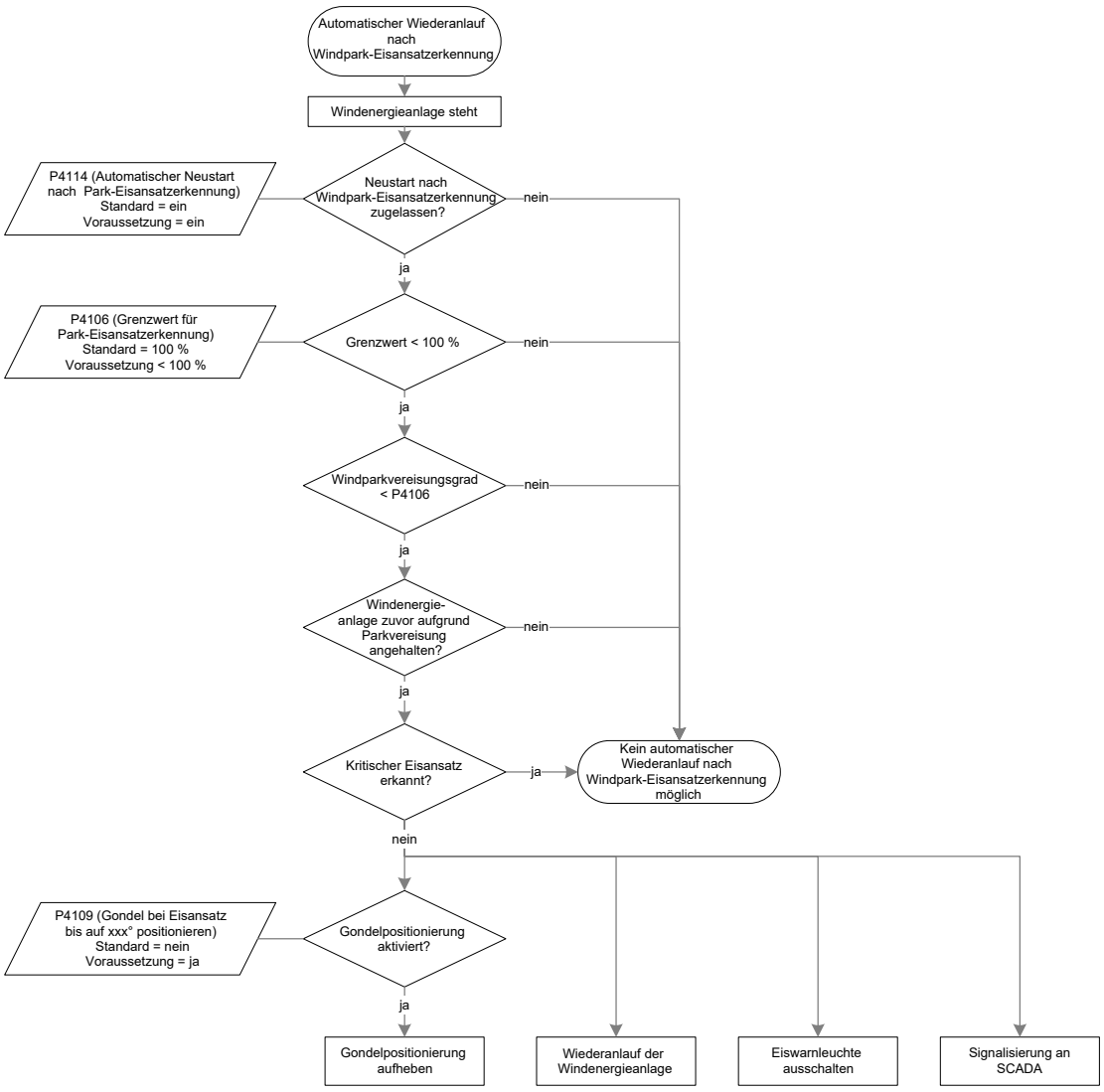


Abb. 4: Automatischer Wiederanlauf nach Windpark-Eisansatzerkennung

Standardeinstellung:

- P4114 (Automatischer Neustart nach Park-Eisansatzerkennung) = ein
- P4106 (Grenzwert für Park-Eiserkennung) = 100 %

Voraussetzung:

- ✓ P4114 (Automatischer Neustart nach Park-Eisansatzerkennung) = ein
- ✓ P4106 (Grenzwert für Park-Eiserkennung) < 100 %
- ✓ Kein kritischer Eisansatz durch ein installiertes Eisansatzerkennungssystem erkannt

Wird an einer Windenergieanlage kein kritischer Eisansatz mehr erkannt und die entsprechende Statusmeldung zurückgesetzt, gibt die Windenergieanlage diese Meldung über ENERCON SCADA an alle Windenergieanlagen im Windpark ab. Jede Windenergieanlage löscht die entsprechende Information und berechnet erneut den Windparkvereisungsgrad. Wenn der Windparkvereisungsgrad niedriger als der an der jeweiligen Windenergieanlage eingestellte Wert ist, wird der Startvorgang eingeleitet, sofern die Windenergieanlage selbst keinen kritischen Eisansatz detektiert hat oder durch längeren Stillstand bei niedrigen Temperaturen präventiv stillstehen muss.

Die Windenergieanlage kann nicht wiederanlaufen, solange ein Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz erkennt.

Detaillierte Informationen können der technischen Beschreibung entnommen werden:

- D0258603 „Technische Beschreibung Windpark-Eisansatzerkennung“

5 Parameter

Die einzustellenden Werte der nachfolgenden Parameter werden von der zuständigen Genehmigungsbehörde oder vom Betreiber vorgegeben. Gewünschte Änderungen vom Betreiber müssen dokumentiert (Formular Änderung Standardeinstellungen) und von ENERCON geprüft, freigegeben und eingestellt werden.

5.1 P4107: Automatischer Neustart nach Vereisung

Gibt an, ob die Windenergieanlage bei ausreichend hohen Außentemperaturen automatisch wieder starten darf. Dieser Parameter bezieht sich auf das ENERCON Kennlinienverfahren sowie die Eisansatzerkennung durch externe Systeme.

Bei Softwareversionen bis einschließlich V5.90 (I/O-Board Steuerschrank 1) wird über diesen Parameter auch gesteuert, ob die Windenergieanlage nach dem Durchlauf eines Blattheizungszyklus automatisch wieder starten darf.

Einstellmöglichkeiten	Standard
ein/aus	ein

5.2 P4108: Automatischer Neustart während der Vereisung

Gibt an, ob die Windenergieanlage während der Vereisung im Abstand von 6 Stunden einen Startversuch unternehmen soll. Dieser Parameter kann nur aktiviert werden, wenn der automatische Neustart nach Vereisung aktiviert ist (P4107 = ein).

Mit diesem Parameter kann ein automatischer Wiederanlauf an unkritischen Standorten erreicht werden.

Hinweis: Wenn P4108 = ein, erhöht sich das Eiswurfrisiko!

Einstellmöglichkeiten	Standard
ein/aus	aus

5.3 P4112: Eisansatz-Detektionszeit

Gibt an, wie viel Zeit der Windenergieanlage zur Detektion von Eisansatz zur Verfügung gestellt werden soll.

An der Empfindlichkeit des Eisansatzerkennungssystems ändert eine kürzere Detektionszeit nichts. Die Windenergieanlage reagiert lediglich früher, wenn das Toleranzband der Kennlinie verlassen wird. Somit besteht auch ein geringfügig höheres Risiko einer unberechtigten Abschaltung.

Bei einem automatischen Neustart während der Vereisung (Parameter 4108 = ein) oder bei einem Neustart nach erfolgter Enteisung durch die Blattheizung werden die Zähler für die Status `14:11` bis `14:14` (Leistungs- und Blattwinkelmessungen) jeweils definiert zurückgesetzt. Der definierte Wert liegt 3 Minuten unter dem voreingestellten Wert der Eisansatz-Detektionszeit. Falls noch Eisansatz vorliegt, wird die Windenergieanlage nach wenigen Minuten angehalten. Dies geschieht unabhängig von der eingestellten Eisansatz-Detektionszeit.

Hinweis: Eisansatzdetektionszeiten > 15 Minuten können zu einer Beeinträchtigung der zertifizierten Funktionalität des Eisansatzerkennungssystems führen.

Einstellmöglichkeiten	Standard	
10 – 30 Minuten	Kritischer Standort	15 Minuten
	Unkritischer Standort	30 Minuten
	Länderspezifische Ausnahmen	
	Deutschland BeNeLux Österreich (Neuanlagen)	15 Minuten
	Österreich (Bestandsanlagen)	30 Minuten

5.4 P4115: Präventive Eiserk. nach 3 Std. Störung

Gibt an, ob die Windenergieanlage bei möglichem Eisansatz nach einer länger als 3 Stunden dauernden Störung mit Status `14:16 Eisansatzerkennung: Anlage präventiv gestoppt` stehen bleibt.

Hinweis: Wenn P4115 = aus, erhöht sich ggf. das Eiswurfrisiko!

Einstellmöglichkeiten	Standard
ein/aus	ein

5.5 Sensitivität der Eisansatzerkennung

Gibt an, mit welcher Sensitivität das Toleranzband des Eisansatzerkennungssystems (ENERCON Kennlinienverfahren) eingestellt ist.

Je höher die Sensitivität, desto geringere Eismengen werden als Eisansatz erkannt.

Die Standardeinstellung entspricht dem Dokument D0367983 „TÜV NORD Bericht Nr.: 8111 881 239: Gutachten zur Bewertung der Funktionalität von Eisansatzerkennungssystemen zur Verhinderung von Eisabwurf an ENERCON Windenergieanlagen: Eisansatzerkennung nach dem ENERCON-Kennlinienverfahren“.

Hinweis: Geringe Sensitivität und verringerte Sensitivität entsprechen nicht dem Stand der Technik und können zu erhöhten Lasten auf den Rotorblättern führen und die Windenergieanlage negativ beeinflussen!

Einstellmöglichkeiten	Standard
Geringe Sensitivität	Normale Sensitivität
Verringerte Sensitivität	
Normale Sensitivität	
Erhöhte Sensitivität	
Hohe Sensitivität	

Fachwortverzeichnis

Eisfall	Herabfallen von Eis bei angehaltener Windenergieanlage, das sich bei bestimmten Wetterlagen an den Rotorblättern bilden kann. Die fallenden Eisstücke können Sach- und Personenschäden bewirken.
Eiswurf	Abwurf von Eis bei drehendem Rotor, das sich bei bestimmten Wetterlagen an den Rotorblättern von Windenergieanlagen bilden kann.
Kritischer Eisansatz	Entstehung von Eis, das aufgrund seiner Aufprallenergie eine Gefahr für ungeschützte Personen darstellt, wenn es herabfällt oder weggeschleudert wird.
Trudelbetrieb	Betriebsart einer ENERCON Windenergieanlage, bei der sich die Rotorblätter in einem Rotorblattwinkel von in der Regel 60° (in der sogenannten Trudelstellung) befinden, wodurch sich die Windenergieanlage im Leerlauf befindet. Der Rotor dreht nur sehr langsam. Im Trudelbetrieb wird keine Energie erzeugt und die Rotordrehzahl wird überwacht. Bei hohen Windgeschwindigkeiten wird der Rotorblattwinkel erhöht, damit die maximale Trudeldrehzahl nicht überschritten wird.

Technische Beschreibung

Eiswarnleuchte

ENERCON Windenergieanlagen

ENERCON
ENERGIE FÜR DIE WELT

Herausgeber

ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Deutschland
Telefon: +49 4941 927-0 ▪ Telefax: +49 4941 927-109
E-Mail: info@enercon.de ▪ Internet: http://www.enercon.de
Geschäftsführer: Dr. Jürgen Zeschky, Dr. Martin Prillmann, Dr. Michael Jaxy
Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 411
Ust.Id.-Nr.: DE 181 977 360

Urheberrechtshinweis

Die Inhalte dieses Dokuments sind urheberrechtlich sowie hinsichtlich der sonstigen geistigen Eigentumsrechte durch nationale und internationale Gesetze und Verträge geschützt. Die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments liegen bei der ENERCON GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.

Die ENERCON GmbH räumt dem Verwender das Recht ein, zu Informationszwecken für den eigenen, rein unternehmensinternen Gebrauch Kopien und Abschriften dieses Dokuments zu erstellen; weitergehende Nutzungsrechte werden dem Verwender durch die Bereitstellung dieses Dokuments nicht eingeräumt. Jegliche sonstige Vervielfältigung, Veränderung, Verbreitung, Veröffentlichung, Weitergabe, Überlassung an Dritte und/oder Verwertung der Inhalte dieses Dokuments ist – auch auszugsweise – ohne vorherige, ausdrückliche und schriftliche Zustimmung der ENERCON GmbH untersagt, sofern und soweit nicht zwingende gesetzliche Vorschriften ein Solches gestatten.

Dem Verwender ist es untersagt, für das in diesem Dokument wiedergegebene Know-how oder Teile davon gewerbliche Schutzrechte gleich welcher Art anzumelden.

Sofern und soweit die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments nicht bei der ENERCON GmbH liegen, hat der Verwender die Nutzungsbestimmungen des jeweiligen Rechteinhabers zu beachten.

Geschützte Marken

Alle in diesem Dokument ggf. genannten Marken- und Warenzeichen sind geistiges Eigentum der jeweiligen eingetragenen Inhaber; die Bestimmungen des anwendbaren Kennzeichen- und Markenrechts gelten uneingeschränkt.

Änderungsvorbehalt

Die ENERCON GmbH behält sich vor, dieses Dokument und den darin beschriebenen Gegenstand jederzeit ohne Vorankündigung zu ändern, insbesondere zu verbessern und zu erweitern, sofern und soweit vertragliche Vereinbarungen oder gesetzliche Vorgaben dem nicht entgegenstehen.

Dokumentinformation

Dokument-ID	D0353070/7.0-de
Vermerk	Originaldokument

Datum	**Sprache**	**DCC**	**Werk / Abteilung**
2022-10-07	de	DB	WRD Wobben Research and Development GmbH / Technische Redaktion

Inhaltsverzeichnis

1 Allgemeines 4

2 Ausführung der Eiswarnleuchte 5

3 Aufstellungsort der Eiswarnleuchte 6

4 Ansteuerung der Eiswarnleuchte 7

5 Versorgung und Überwachung der Eiswarnleuchte 8

6 Kompatible Steuerschränke 9

1 Allgemeines

An Rotorblättern einer Windenergieanlage kommt es bei bestimmten Witterungsverhältnissen zur Bildung von Eis-, Reif- oder Schneeablagerungen. Es können Eisstärken erreicht werden, von denen beim Herabfallen (Eisfall) oder Wegschleudern (Eiswurf) Gefahren für Personen und Sachen ausgehen.

Um Passanten und sonstige Personen, die sich auf die ENERCON Windenergieanlage zubewegen, auf diese Gefahren und den Gefahrenbereich hinzuweisen, können Eiswarnleuchten und Warnschilder in einiger Entfernung zur Windenergieanlage installiert werden.

Warnschilder weisen ganzjährig, aber unabhängig von den tatsächlichen Witterungsverhältnissen auf einen Gefahrenbereich hin. Eiswarnleuchten sind mit der Steuerung der Windenergieanlage verbunden und leuchten solange, wie auch die Windenergieanlage einen möglichen Eisansatz erkannt hat.

An bestimmten Standorten ist das Aufstellen von Eiswarnleuchten und Warnschildern behördlich vorgegeben.

Die Eiswarnleuchte, Warnschilder, Pfosten und weitere zu deren Aufbau benötigte Komponenten werden nicht von ENERCON bereitgestellt.

2 Ausführung der Eiswarnleuchte

Die Eiswarnleuchte ist so auszuführen, dass sie aus allen Richtungen gesehen werden kann. An die Steuerung der Windenergieanlage können mehrere Eiswarnleuchten angeschlossen werden. Durch die Anschlussmöglichkeiten und die Ausgangsleistung (Kap. 5, S. 8) wird die maximale Anzahl der anschließbaren Eiswarnleuchten begrenzt.

Abb. 1: Möglicher Aufbau einer Eiswarnleuchte mit zusätzlichen Warnschildern

3 Aufstellungsort der Eiswarnleuchte

Der Aufstellungsort der Eiswarnleuchte ergibt sich aus den behördlichen Auflagen, dem Gefahrenbereich und – falls sich der Rotor der Windenergieanlage auch bei detektiertem Eisansatz zwecks Ertragssteigerung drehen soll – der Eiswurfweite.

Wie in der folgenden Abbildung beispielhaft dargestellt, sind 2 Eiswarnleuchten an den Schnittpunkten des maximalen Gefahrenbereichs und der Zufahrt der Windenergieanlage aufgestellt.

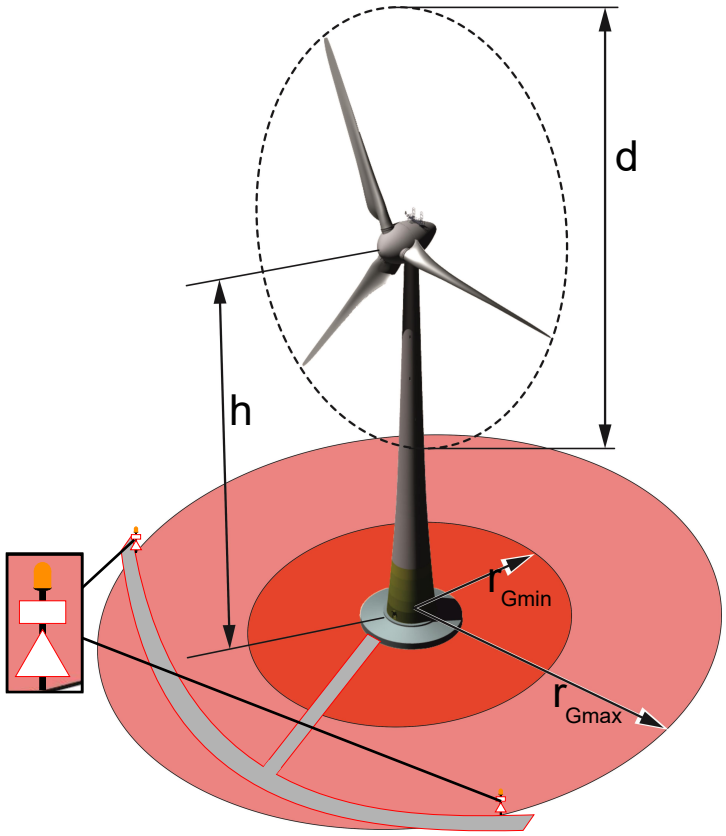


Abb. 2: Aufstellungsort der Eiswarnleuchten (Beispiel)

h	Nabenhöhe
d	Rotordurchmesser
r_{Gmin}	Radius minimaler Gefahrenbereich = 0,5 x d
r_{Gmax}	Radius maximaler Gefahrenbereich = 1,5 x (h + d)

4 Ansteuerung der Eiswarnleuchte

Wenn die Steuerung der Windenergieanlage möglichen Eisansatz erkennt, wird die Eiswarnleuchte eingeschaltet. Die Windenergieanlage wertet dazu sowohl die eigenen Informationen über den Eisansatz als auch die Informationen benachbarter Windenergieanlagen im Windpark aus.

Für die Windenergieanlagen E-44, E-48, E-53, E-70 E4, E-82 E2, E-82 E4, E-92, E-103 EP2, E-115 EP3 E3, E-126 EP3, E-138 EP3 und E-138 EP3 E2 sind folgende Einschaltbedingungen möglich:

- Ein Eisansatzerkennungssystem erkennt kritischen Eisansatz (ENERCON Kennlinienverfahren, Windpark-Eisansatzerkennung, eologix-, fos4X-, Wölfel-Eisansatzerkennungssystem).
- Die Außentemperatur ist kleiner als +2 °C und die relative Luftfeuchte liegt über dem eingestellten Wert.
- ENERCON SCADA PDI-OPC (optional) überträgt ein Signal zum Einschalten der Eiswarnleuchte.

Für die Windenergieanlagen E-115 EP3 E4, E-138 EP3 E3 und E-160 EP5 E3 R1 sind folgende Einschaltbedingungen möglich:

- Ein Eisansatzerkennungssystem erkennt kritischen Eisansatz (ENERCON Kennlinienverfahren, Windpark-Eisansatzerkennung, Wölfel-Eisansatzerkennungssystem).
- Die Außentemperatur ist kleiner als +2 °C.

Ist eine der genannten Einschaltbedingungen erfüllt, wird die Eiswarnleuchte eingeschaltet und bleibt für mindestens 20 Minuten eingeschaltet. Erst wenn über 20 Minuten keine der genannten Bedingungen mehr erfüllt sind, wird die Eiswarnleuchte wieder ausgeschaltet.

5 Versorgung und Überwachung der Eiswarnleuchte

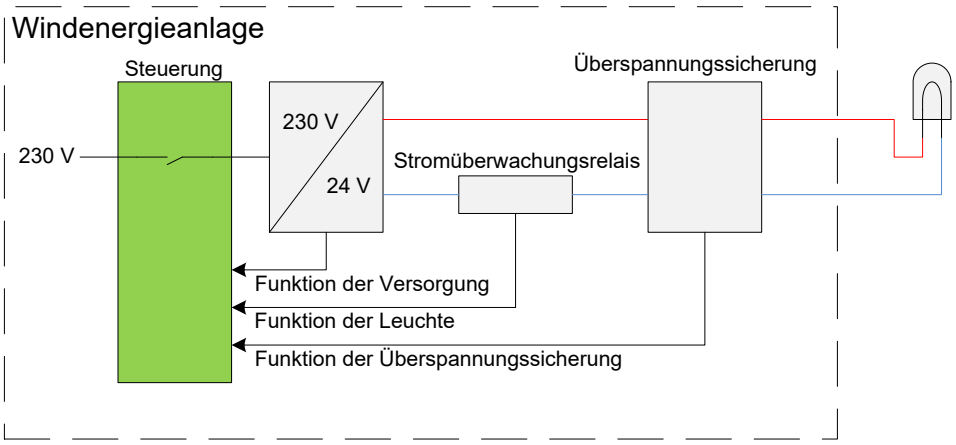


Abb. 3: Vereinfachter Stromlaufplan

Die Eiswarnleuchte wird an den Steuerschrank in der nächstgelegenen Windenergieanlage angeschlossen und von einem separaten Netzteil (Ausgangsspannung 24 V, Ausgangsleistung 50 W) versorgt.

Zur Kompensation von Leitungsverlusten zwischen Windenergieanlage und Eiswarnleuchte kann die Ausgangsspannung auf 28 V angehoben werden, sodass an der Eiswarnleuchte eine Spannung von 24 V anliegt.

Um einen Ausfall der Eiswarnleuchte zu erkennen, wird die Funktion durch ein Stromüberwachungsrelais geprüft. Wird die Eiswarnleuchte eingeschaltet und nimmt zu wenig oder gar keine Leistung auf, erkennt die Steuerung der Windenergieanlage dies und generiert eine Warnmeldung. Meldet die Stromüberwachung eine eingeschaltete Eiswarnleuchte, obwohl diese von der Windenergieanlage keinen Einschaltbefehl erhalten hat, wird ebenfalls eine Warnmeldung generiert. Die Eiswarnleuchte wird auch angesteuert, wenn die Überwachung gestört ist.

Die Überspannungssicherung schützt die Windenergieanlage insbesondere vor hohen Spannungen durch elektromagnetische Einkopplung naher Blitzeinschläge.

Der Schaltkontakt der Eiswarnleuchte schaltet unabhängig davon, ob eine Eiswarnleuchte angeschlossen ist oder nicht.

6 Kompatible Steuerschränke

Bei folgenden Steuerschränken ist eine Nachrüstung der Eiswarnleuchte möglich:

Tab. 1: Kompatible Steuerschränke

Windenergieanlage	Artikelnr. des Steuer-schranks	Min. Versionsstand des Steuerschranks
E-44, E-48, E-53	568019	V4
	585218	V1
E-70 E4, E-82 E2, E-82 E4, E-92	550216	V6
	550217	V7
	577833	V1
	582423	V2
E-103 EP2	636785	V1
E-126 EP3	679115	V1
E-138 EP3, E-138 EP3 E2, E-115 EP3 E3	715173	V1
E-115 EP3 E4, E-138 EP3 E3	725152	V1
E-160 EP5 E3 R1	1055567	-

Technische Beschreibung

Wölfel-Eisansatzerkennung

ENERCON Control System (CS82, CS101, CS126, EP3-CS-02, EP4-CS-01)

ENERCON
ENERGIE FÜR DIE WELT

Herausgeber

ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Deutschland
Telefon: +49 4941 927-0 ▪ Telefax: +49 4941 927-109
E-Mail: info@enercon.de ▪ Internet: http://www.enercon.de
Geschäftsführer: Dr. Jürgen Zeschky, Dr. Martin Prillmann, Dr. Michael Jaxy
Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 411
Ust.Id.-Nr.: DE 181 977 360

Urheberrechtshinweis

Die Inhalte dieses Dokuments sind urheberrechtlich sowie hinsichtlich der sonstigen geistigen Eigentumsrechte durch nationale und internationale Gesetze und Verträge geschützt. Die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments liegen bei der ENERCON GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.

Die ENERCON GmbH räumt dem Verwender das Recht ein, zu Informationszwecken für den eigenen, rein unternehmensinternen Gebrauch Kopien und Abschriften dieses Dokuments zu erstellen; weitergehende Nutzungsrechte werden dem Verwender durch die Bereitstellung dieses Dokuments nicht eingeräumt. Jegliche sonstige Vervielfältigung, Veränderung, Verbreitung, Veröffentlichung, Weitergabe, Überlassung an Dritte und/oder Verwertung der Inhalte dieses Dokuments ist – auch auszugsweise – ohne vorherige, ausdrückliche und schriftliche Zustimmung der ENERCON GmbH untersagt, sofern und soweit nicht zwingende gesetzliche Vorschriften ein Solches gestatten.

Dem Verwender ist es untersagt, für das in diesem Dokument wiedergegebene Know-how oder Teile davon gewerbliche Schutzrechte gleich welcher Art anzumelden.

Sofern und soweit die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments nicht bei der ENERCON GmbH liegen, hat der Verwender die Nutzungsbestimmungen des jeweiligen Rechteinhabers zu beachten.

Geschützte Marken

Alle in diesem Dokument ggf. genannten Marken- und Warenzeichen sind geistiges Eigentum der jeweiligen eingetragenen Inhaber; die Bestimmungen des anwendbaren Kennzeichen- und Markenrechts gelten uneingeschränkt.

Änderungsvorbehalt

Die ENERCON GmbH behält sich vor, dieses Dokument und den darin beschriebenen Gegenstand jederzeit ohne Vorankündigung zu ändern, insbesondere zu verbessern und zu erweitern, sofern und soweit vertragliche Vereinbarungen oder gesetzliche Vorgaben dem nicht entgegenstehen.

Dokumentinformation

Dokument-ID	D0734076/3.0-de
Vermerk	Originaldokument

Datum	**Sprache**	**DCC**	**Werk / Abteilung**
2022-10-05	de	DB	WRD Wobben Research and Development GmbH / Technische Redaktion

Mitgeltende Dokumente

Der aufgeführte Dokumenttitel ist der Titel des Sprachoriginals, ggf. ergänzt um eine Übersetzung dieses Titels in Klammern. Die Titel von übergeordneten Normen und Richtlinien werden im Sprachoriginal oder in der englischen Übersetzung angegeben. Die Dokument-ID bezeichnet stets das Sprachoriginal. Enthält die Dokument-ID keinen Revisionsstand, gilt der jeweils neueste Revisionsstand des Dokuments. Diese Liste enthält ggf. Dokumente zu optionalen Komponenten.

Dokument-ID	Dokument
D0160588	Technische Beschreibung Gondelpositionierung bei Eisansatz
D02481600	Wölfel IDD.Blade - Überblick zur Referenzierung für den Kunden
D0258603	Technische Beschreibung Windpark-Eisansatzerkennung
D0441885	Technische Beschreibung Blattheizung
D0783573	Formular Änderung Standardeinstellungen Wölfel-Eisansatzerkennung

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 5

2 Aufbau 6

3 Integration in das Betriebsführungssystem 8
3.1 Sicherheitsrelevante Signale des externen Eisansatzerkennungssystems 9
3.2 Sicherheitsrelevante Signale der Anlagensteuerung 9
3.3 Nicht sicherheitsrelevante Funktionen der Anlagensteuerung 9
3.4 Überwachung der Verfügbarkeit des Eisansatzerkennungssystems 10

4 Kritischer Eisansatz und Eisfreiheitsmeldung 11

5 Anhalten der Windenergieanlage 12

6 Wiederanlaufen der Windenergieanlage 13
6.1 Priorisierung von Anhalten und Wiederanlaufen der Windenergieanlage 13
6.2 Manueller Wiederanlauf 13
6.3 Automatischer Wiederanlauf nach Tauwetter 14
6.4 Automatischer Wiederanlauf mit Blattheizung 16
6.5 Automatischer Wiederanlauf ohne Blattheizung 18
6.6 Automatischer Wiederanlauf nach Windpark-Eisansatzerkennung 19

7 ENERCON SCADA System 21

8 Parameter 22

Fachwortverzeichnis 25

1 Einleitung

An den Rotorblättern kommt es bei bestimmten Witterungsverhältnissen zur Bildung von Eis-, Reif- oder Schneeablagerungen, die den Wirkungsgrad der Windenergieanlage reduzieren und die Lärmemission erhöhen. Durch diese Ablagerungen entsteht eine Unwucht, die zu erhöhter Materialbelastung führt. Die Ablagerungen können so stark werden, dass von ihnen beim Herabfallen (unvermeidbarer Eisfall, wie von hohen Gebäuden) oder Wegschleudern (Eiswurf) Gefahren für Personen und Sachen ausgehen.

Das externe Eisansatzerkennungssystem der Fa. Wölfel kann ab Werk oder als Nachrüstung eingesetzt werden.

Eingesetzte Eisansatzerkennungssysteme beeinflussen sich nicht gegenseitig.

Das Wölfel-Eisansatzerkennungssystem funktioniert ab einer Windgeschwindigkeit von 2 – 3 m/s (unterhalb der Einschaltwindgeschwindigkeit) unabhängig vom Betrieb der Windenergieanlage, auch bei Stillstand der Windenergieanlage.

Dieses Dokument gibt eine Übersicht über das Wölfel-Eisansatzerkennungssystem und dessen Einfluss auf die Start- und Haltevorgänge der Windenergieanlage.

Dieses Dokument ist gültig für ENERCON Windenergieanlagen mit folgenden Steuerungstypen:

- CS82, CS101, CS126, EP3-CS-02, EP4-CS-01

2 Aufbau

Das Wölfel-Eisansatzerkennungssystem erkennt Eisdicken an Rotorblättern von Windenergieanlagen durch eine Frequenzanalyse der Rotorblattschwingungen mittels piezoelektrischen zweidimensionalen Beschleunigungssensoren.

Das Wölfel-Eisansatzerkennungssystem besteht aus mindestens 3 Structural-Noise-Sensoren und einer Basisstation, welche eine Datenerfassungseinheit und eine Datenverarbeitungseinheit beinhaltet.

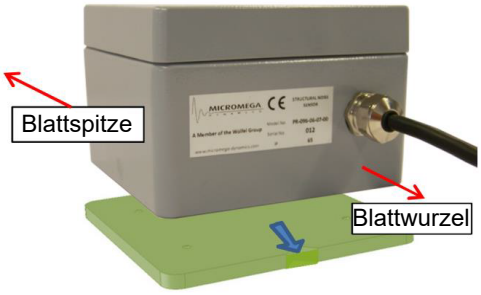


Abb. 1: Montageplatte und Structural-Noise-Sensor

Abb. 2: Basisstation

Die Structural-Noise-Sensoren erfassen jeweils die Schwingbeschleunigungen (Abb. 3, S. 6) und die Temperatur direkt im Rotorblatt. Es wird jeweils 1 Sensor innerhalb jedes Rotorblatts auf einer Montageplatte installiert (Standardkonfiguration). Die Sensoren sind gegen Überspannungen geschützt und haben ein extrem geringes Eigenrauschen und eine hohe Signalauflösung.

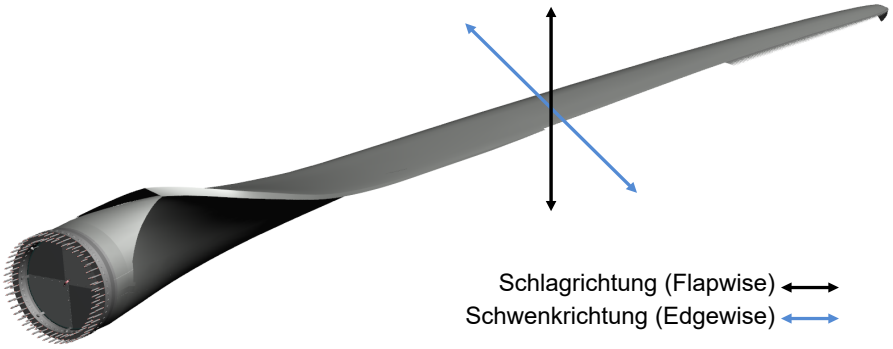


Abb. 3: Erfasste Schwingbeschleunigungen durch Structural-Noise-Sensoren

Die Datenerfassungseinheit bereitet die Sensorsignale zur Weiterverarbeitung in der Datenverarbeitungseinheit auf. Die Datenerfassung erfolgt kontinuierlich, um jederzeit Aussagen zum aktuellen Rotorblattzustand bereitstellen zu können.

In der Datenverarbeitungseinheit werden die Messdaten vollautomatisiert verarbeitet und die Zustandsindikatoren zur Eisdetektion berechnet.

Die Datenerfassungseinheit und die Datenverarbeitungseinheit befinden sich in der Basisstation, welche im Rotorkopf der Windenergieanlage installiert ist.

3 Integration in das Betriebsführungssystem

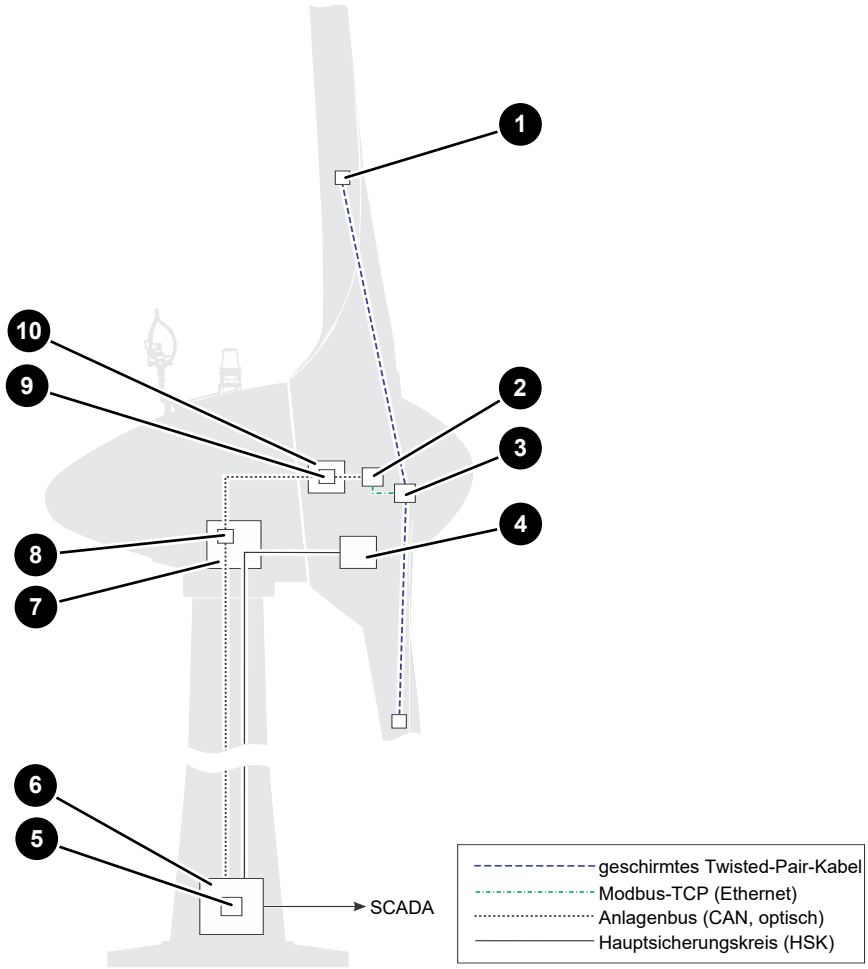


Abb. 4: Baugruppenübersicht für die Einbindung des Eisansatzerkennungssystems in das Betriebsführungssystem

1	Wölfel-Structural-Noise-Sensor	2	ENERCON Ice Detection Interface
3	Wölfel-Basisstation	4	Blattverstellsystem, Notverstellsystem
5	I/O-Board Steuerschrank 1	6	Steuerschrank
7	Gondelsteuerschrank	8	Optoverteiler Gondel
9	Optoverteiler Rotor	10	Rotorunterverteilung

Das externe Eisansatzerkennungssystem ist über eine Modbus-TCP-Schnittstelle (Ethernet) mit dem ENERCON Ice Detection Interface verbunden und somit in die Anlagensteuerung eingebunden.

Die Übertragung der sicherheitsrelevanten Signale erfolgt mithilfe eines Black-Channels. Die Auslegung des Black-Channels erfolgt nach DIN EN 61784-3.

3.1 Sicherheitsrelevante Signale des externen Eisansatzerkennungssystems

Das externe Eisansatzerkennungssystem stellt der Anlagensteuerung folgende sicherheitsrelevante Signale zur Verfügung:

- kritischer Eisansatz
- Verfügbarkeit des Eisansatzerkennungssystems
- Eisfreiheit

3.2 Sicherheitsrelevante Signale der Anlagensteuerung

Die Anlagensteuerung stellt dem externen Eisansatzerkennungssystem sicherheitsrelevante Signale zur Verfügung. Dies sind unter anderem:

- Blattverstellwinkel
- Rotordrehzahl
- Außentemperatur

3.3 Nicht sicherheitsrelevante Funktionen der Anlagensteuerung

Die Anlagensteuerung stellt dem externen Eisansatzerkennungssystem nicht sicherheitsrelevante Funktionen zur Verfügung. Dies sind unter anderem:

- Steuerung der Blattheizung
  - Aktivierung der Blattheizung zur Erwärmung der Rotorblätter
- Steuerung der Eisansatzsimulation
  - Zur Abnahmeprüfung und im Zuge der Wartung, um die korrekte Funktionsweise der Betriebsführung bei der Eisansatzerkennung zu kontrollieren (unter nichtvereisten Bedingungen).
- Parametrierung des Eisansatzerkennungssystems
  - Die Anlagesteuerung stellt zwei Schnittstellen zur Verfügung, um das Eisansatzerkennungssystem zu parametrieren. Die Parameter des Eisansatzerkennungssystems können bei der Inbetriebnahme per CompactFlash-Karte in die Anlagensteuerung eingespielt und am Anlagendisplay abgelesen werden Die Übertragung der Daten an das Eisansatzerkennungssystem erfolgt mit einer CRC-Prüfung (zyklische Redundanzprüfung). Die Parameter sind durch die Überwachungsmechanismen der Anlagensteuerung abgesichert und werden kontinuierlich über das ENERCON SCADA System überwacht. Der ENERCON Service führt eine automatische Parameterüberwachung durch. Bei einer Abweichung der Parameterwerte wird der ENERCON Service benachrichtigt.
- Daten- und Ereignisprotokollierung
  - Alle durch das Eisansatzerkennungssystem ausgelösten Ereignisse werden über das ENERCON SCADA System protokolliert.
- Signalisierung von Teilsystemausfällen (z. B. Ausfall eines Sensors), um eine rechtzeitige Reparatur oder Wartung zu ermöglichen.

3.4 Überwachung der Verfügbarkeit des Eisansatzerkennungssystems

Die Anlagensteuerung überwacht die Verfügbarkeit des externen Eisansatzerkennungssystems.

Wenn der Anlagensteuerung die sicherheitsgerichteten Signale des installierten und parametrierten externen Eisansatzerkennungssystems nicht mehr zur Verfügung stehen oder das externe Eisansatzerkennungssystem keine Verfügbarkeit meldet, wird eine Meldung über das ENERCON SCADA System generiert und eine der folgenden Ausfallreaktionen eingeleitet:

Standard-Ausfallreaktion

- Der Betrieb der Windenergieanlage ist bei Verfügbarkeit eines weiteren Eisansatzerkennungssystems zulässig.

Da das ENERCON Kennlinienverfahren standardmäßig zur Verfügung steht, ist der Betrieb der Windenergieanlage somit trotz Ausfall des externen Eisansatzerkennungssystems gegeben.

Alternativ parametrierbare Ausfallreaktionen

- Der Betrieb der Windenergieanlage ist immer zulässig.
- Der Betrieb der Windenergieanlage ist bei Tauwetter zulässig.
- Der Betrieb der Windenergieanlage ist nie zulässig.

4 Kritischer Eisansatz und Eisfreiheitsmeldung

Die Datenverarbeitungseinheit wertet die Structual-Noise-Sensorsignale zusammen mit den aktuellen Betriebs- und Umgebungsdaten der Windenergieanlage aus. Die Datenverarbeitungseinheit berechnet die Zustandsindikatoren, welche auf Strukturveränderungen und Eisansatz hinweisen. Unterschreiten die Zustandsindikatoren den Schwellwert für den Eisalarm, wird eine Alarmmeldung für kritischen Eisansatz generiert. Überschreiten die Zustandsindikatoren den Schwellwert für die Eisfreiheit, wird eine Eisfreiheitsmeldung generiert.

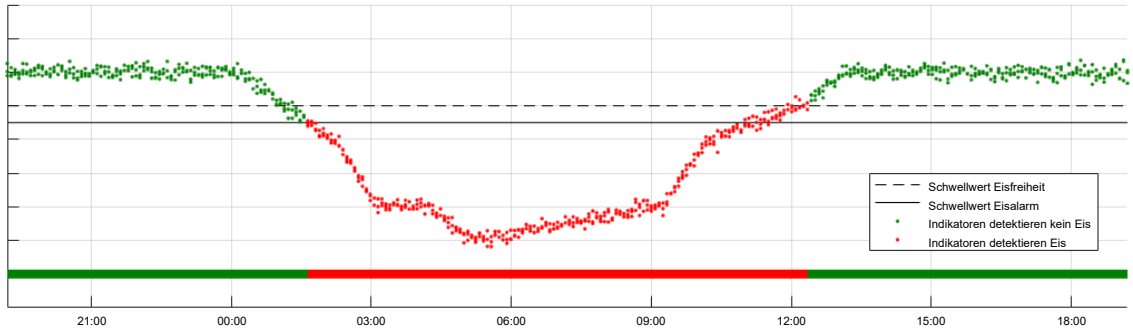


Abb. 5: Berechnete Zustandsindikatoren des Wölfel-Eisansatzerkennungssystems

Die aus den Messwerten berechneten Zustandsindikatoren werden, abhängig von den herrschenden Betriebs- und Umgebungsbedingungen, i. d. R. im Abstand von ca. 5 Minuten gebildet. Die Zustandsindikatoren werden genutzt, um Aussagen über den Rotorblattzustand zu treffen. Im Normalzustand (ohne Eisansatz) sind die Zustandsindikatoren im Bereich der Nulllinie. Bei Eisansatz weichen die Zustandsindikatoren von Null ab. Je stärker die Abweichung ist, umso ausgeprägter ist der Eisansatz. Zustandsindikatoren zur Eisansatzerkennung werden in praktisch allen relevanten Betriebszuständen gebildet, so dass eine permanente Überwachung sichergestellt ist.

Standardmäßig sind 2 Schwellwerte vorgegeben, auf deren Basis automatisch eine Alarmmeldung generiert und an die Anlagensteuerung kommuniziert wird. Die Schwellwerte werden für jeden Rotorblatttyp individuell angepasst.

Da die strukturdynamischen Eigenschaften von Rotorblättern komplex und stark vom Rotorblatttyp und Windenergieanlagentyp abhängig sind und zudem die Detektion von Vereisungen nur in Bezug auf einen bekannten Anfangszustand erfolgen kann, ist eine Systemreferenzierung erforderlich.

Informationen zur Referenzierung können dem Dokument D02481600 „Wölfel IDD.Blade - Überblick zur Referenzierung für den Kunden“ entnommen werden.

5 Anhalten der Windenergieanlage

Erkennt das Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz, wird die Windenergieanlage angehalten (Trudelbetrieb). Zusätzlich erfolgt eine Signalisierung an ENERCON SCADA.

Je nach Parametrierung kann die Gondel in einer bestimmten Stellung positioniert werden. Optional wird die Blattheizung oder eine Eiswarnleuchte eingeschaltet.

6 Wiederanlaufen der Windenergieanlage

6.1 Priorisierung von Anhalten und Wiederanlaufen der Windenergieanlage

Das Anhalten der Windenergieanlage hat immer eine höhere Priorisierung als das Wiederanlaufen der Windenergieanlage. Das bedeutet, dass die Windenergieanlage nicht wiederanlaufen kann, solange ein Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz erkennt, obwohl ein anderes Eisansatzerkennungssystem Eisfreiheit meldet.

6.2 Manueller Wiederanlauf

Ein manuell eingeleiteter Wiederanlauf nach einer Eisansatzerkennung ist nur direkt an der Windenergieanlage nach entsprechender Sichtkontrolle möglich. Der Eisreset kann über den Taster am Steuerschrank oder über den ENERCON SCADA Server vor Ort ausgelöst werden. Dabei obliegt dem Personal vor Ort die Verantwortung für die eventuell vom Wiederanlauf ausgehende Gefährdung.

Die Windenergieanlage kann nicht wiederanlaufen, solange ein Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz erkennt.

6.3 Automatischer Wiederanlauf nach Tauwetter

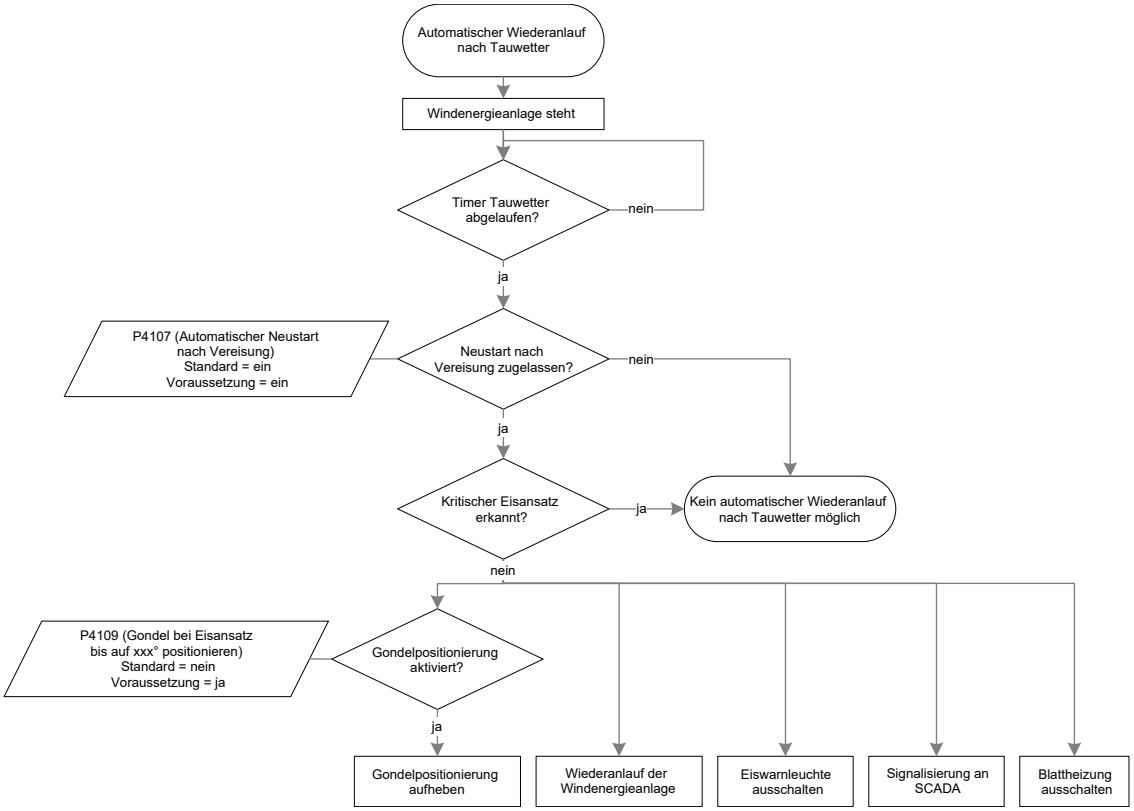


Abb. 6: Automatischer Wiederanlauf nach Tauwetter

Standardeinstellung:

- P4107 (Automatischer Neustart nach Vereisung) = ein

Voraussetzung:

✓ P4107 (Automatischer Neustart nach Vereisung) = ein

✓ Kein kritischer Eisansatz durch ein installiertes Eisansatzerkennungssystem erkannt.

Wenn anhand der zurückliegenden Außentemperaturmessungen Tauwetterlage erkannt wird und ein automatischer Wiederanlauf nach Tauwetter parametriert ist, nimmt die Windenergieanlage den Betrieb wieder auf.

Wenn ein Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz erkennt, ist der automatische Wiederanlauf nach Tauwetter nicht möglich.

Tab. 1: Automatischer Wiederanlauf nach Tauwetter

Außentemperatur in °C	Dauer in Minuten
> 2,0 bis ≤ 2,5	1200
> 2,5 bis ≤ 3,0	360
> 3,0 bis ≤ 4,0	180
> 4,0 bis ≤ 5,0	120
> 5,0 bis ≤ 6,0	90
> 6,0 bis ≤ 7,0	72
> 7,0 bis ≤ 8,0	60

Außentemperatur in °C	Dauer in Minuten
> 8,0 bis ≤ 9,0	51
> 9,0 bis ≤ 10,0	45
> 10,0	0

6.4 Automatischer Wiederanlauf mit Blattheizung

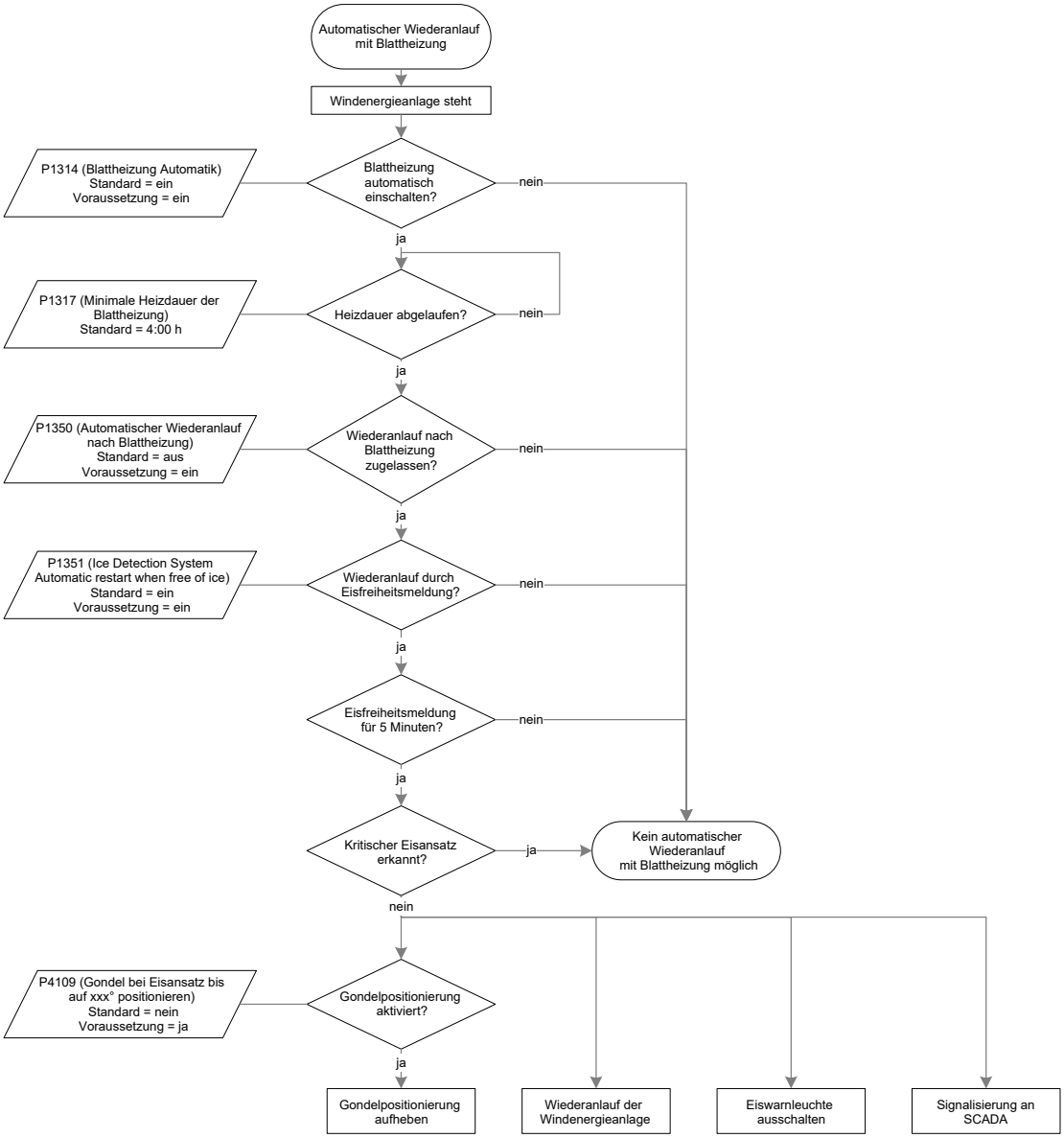


Abb. 7: Automatischer Wiederanlauf mit Blattheizung

Standardeinstellung:

- P1314 (Blattheizung Automatik) = ein
- P1350 (Automatischer Wiederanlauf nach Blattheizung) = aus
- P1351 (Automatischer Wiederanlauf bei Eisfreiheitssign. durch ext. System) = ein

Voraussetzung:

- ✓ P1314 (Blattheizung Automatik) = ein
- ✓ P1350 (Automatischer Wiederanlauf nach Blattheizung) = ein
- ✓ P1351 (Automatischer Wiederanlauf bei Eisfreiheitssign. durch ext. System) = ein
- ✓ Kein kritischer Eisansatz durch ein installiertes Eisansatzerkennungssystem erkannt.

Wenn ein Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz erkannt hat und die Windenergieanlage angehalten wurde, wird die Blattheizung eingeschaltet.

Wenn das Eisansatzerkennungssystem über einen Zeitraum von 5 Minuten Eisfreiheit signalisiert, nachdem ein Blattheizungszyklus durchlaufen wurde, nimmt die Windenergieanlage den Betrieb wieder auf.

Diese Funktion ist auch unter Vereisungsbedingungen möglich.

Die Windenergieanlage kann nicht wiederanlaufen, solange ein Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz erkennt.

Detaillierte Informationen können der technischen Beschreibung entnommen werden:

- D0441885 „Technische Beschreibung Blattheizung“

6.5 Automatischer Wiederanlauf ohne Blattheizung

Abb. 8: Automatischer Wiederanlauf ohne Blattheizung

Standardeinstellung:

- P1351 (Automatischer Wiederanlauf bei Eisfreiheitssign. durch ext. System) = ein

Voraussetzung:

- ✓ P1351 (Automatischer Wiederanlauf bei Eisfreiheitssign. durch ext. System) = ein
- ✓ Kritischer Eisansatz oder eine Eiswarnung wurden durch das Wölfel-Eisansatzerkennungssystem erkannt
- ✓ Signalisierung von Eisfreiheit für mindestens 5 Minuten
- ✓ Kein kritischer Eisansatz durch ein installiertes Eisansatzerkennungssystem erkannt

Ohne Blattheizung ist ein automatischer Wiederanlauf der Windenergieanlage durch das Eisansatzerkennungssystem möglich, wenn das Eisansatzerkennungssystem den kritischen Eisansatz oder die Eiswarnung selbst erkannt hat.

Wenn das Eisansatzerkennungssystem über einen Zeitraum von 5 Minuten Eisfreiheit signalisiert, nimmt die Windenergieanlage den Betrieb wieder auf.

Die Windenergieanlage kann nicht wiederanlaufen, solange ein Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz erkennt.

6.6 Automatischer Wiederanlauf nach Windpark-Eisansatzerkennung

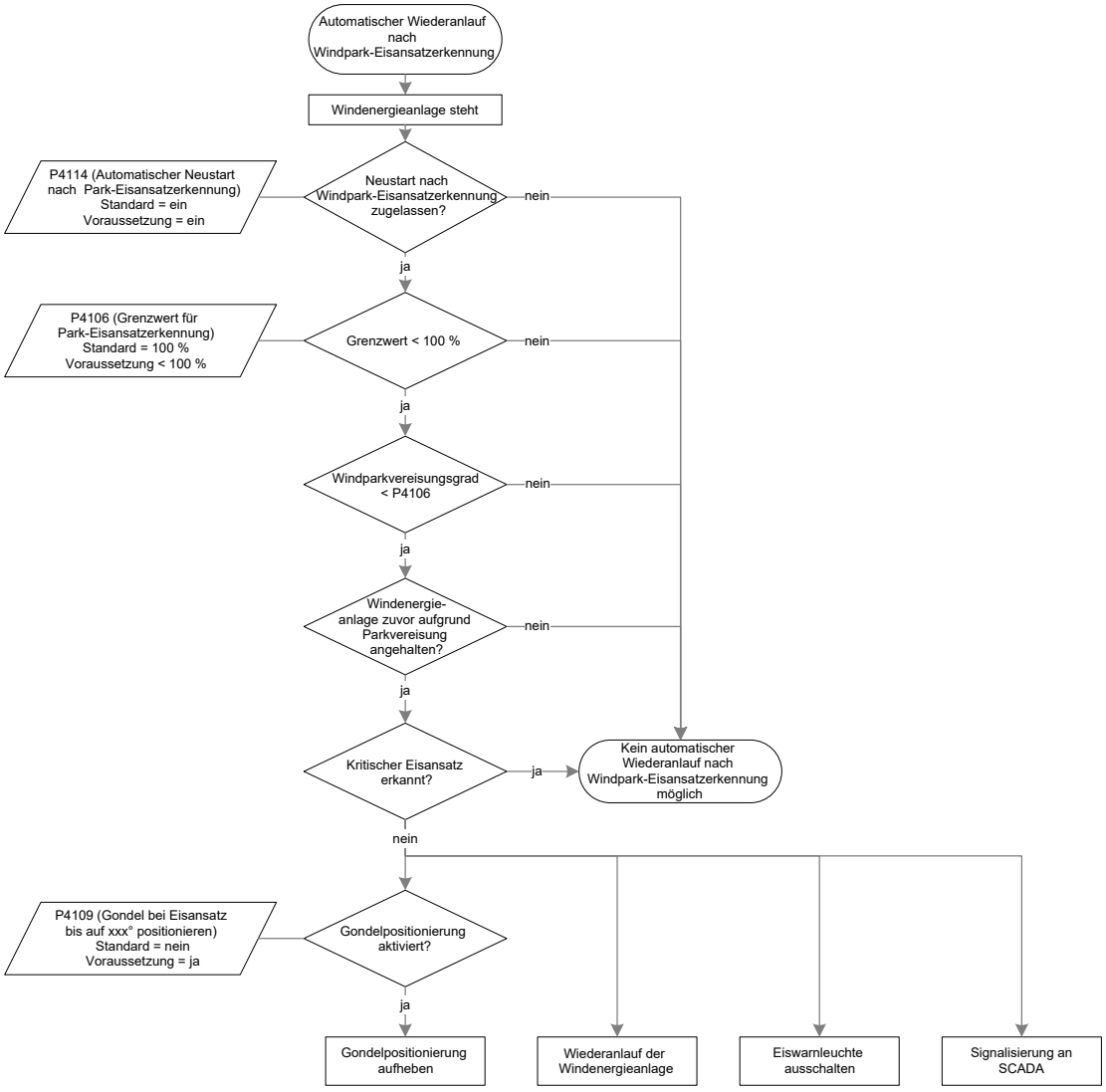


Abb. 9: Automatischer Wiederanlauf nach Windpark-Eisansatzerkennung

Standardeinstellung:

- P4114 (Automatischer Neustart nach Park-Eisansatzerkennung) = ein
- P4106 (Grenzwert für Park-Eiserkennung) = 100 %

Voraussetzung:

- ✓ P4114 (Automatischer Neustart nach Park-Eisansatzerkennung) = ein
- ✓ P4106 (Grenzwert für Park-Eiserkennung) < 100 %
- ✓ Kein kritischer Eisansatz durch ein installiertes Eisansatzerkennungssystem erkannt

Wird an einer Windenergieanlage kein kritischer Eisansatz mehr erkannt und die entsprechende Statusmeldung zurückgesetzt, gibt die Windenergieanlage diese Meldung über ENERCON SCADA an alle Windenergieanlagen im Windpark ab. Jede Windenergieanlage löscht die entsprechende Information und berechnet erneut den Windparkvereisungsgrad. Wenn der Windparkvereisungsgrad niedriger als der an der jeweiligen Windenergieanlage eingestellte Wert ist, wird der Startvorgang eingeleitet, sofern die Windenergieanlage selbst keinen kritischen Eisansatz detektiert hat oder durch längeren Stillstand bei niedrigen Temperaturen präventiv stillstehen muss.

Die Windenergieanlage kann nicht wiederanlaufen, solange ein Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz erkennt.

Detaillierte Informationen können der technischen Beschreibung entnommen werden:

- D0258603 „Technische Beschreibung Windpark-Eisansatzerkennung“

7 ENERCON SCADA System

Über das ENERCON SCADA System und die PDI-OPC-Schnittstelle können verschiedene Signale vom Wölfel-Eisansatzerkennungssystem empfangen werden.

Folgende Signale werden alle 10 Minuten aufgezeichnet:

- Zustands- oder Eisindikatoren pro Rotorblatt
- Schaltschranktemperatur der Wölfel-Basisstation
- Prozessortemperatur des ENERCON Ice Detection Interface

Wenn die Wölfel-Basisstation keine Daten sendet oder ein Sensor nicht konfiguriert ist, wird der Wert 65535 aufgezeichnet.

8 Parameter

Die einzustellenden Werte der nachfolgenden Parameter werden von der zuständigen Genehmigungsbehörde oder vom Betreiber vorgegeben. Gewünschte Änderungen vom Betreiber müssen dokumentiert (Formular Änderung Standardeinstellungen) und von ENERCON geprüft, freigegeben und eingestellt werden.

8.1 P1351: Ice Detection System Automatic restart when free of ice

Gibt an, ob die Windenergieanlage nach einer Eisfreiheitsmeldung durch ein externes Eisansatzerkennungssystem automatisch wieder starten darf.

Einstellmöglichkeiten	Standard
ein/aus	ein

8.2 P1352: Ice Detection System fall-back reaction

Gibt an, wie die Windenergieanlage mit einem installierten und parametrierten, jedoch nicht verfügbaren externen Eisansatzerkennungssystem betrieben werden darf.

- 0 = Der Betrieb ist bei Verfügbarkeit eines weiteren Eisansatzerkennungssystems zulässig.
- 1 = Der Betrieb ist immer zulässig.
- 2 = Der Betrieb ist bei Tauwetter zulässig.
- 3 = Der Betrieb ist nicht zulässig.

Hinweis: Wenn P1352 = 1, erhöht sich ggf. das Eiswurfrisiko!

Einstellmöglichkeiten	Standard
0 – 3	0

8.3 P1355: Ice Detection System Wölfel

Gibt an, ob ein Wölfel-Eisansatzerkennungssystem installiert ist.

Einstellmöglichkeiten	Standard
installiert/nicht installiert	nicht installiert

8.4 P1357: Ice Detection System only active with turbine stopped

Gibt an, ob das Eisansatzerkennungssystem nur bei angehaltener Windenergieanlage aktiv sein soll.

Einstellmöglichkeiten	Standard
ja/nein	nein

8.5 P1358: Ice Detection System inactive from ...

Gibt an, ab welcher Windgeschwindigkeit das Eisansatzerkennungssystem inaktiv sein soll.

Einstellmöglichkeiten	Standard
2,0 – 60,0 m/s	3,0 m/s

8.6 P1359: Ice Detection System inactive to ...

Gibt an, bis zu welcher Windgeschwindigkeit das Eisansatzerkennungssystem inaktiv sein soll.

Einstellmöglichkeiten	Standard
2,0 – 60,0 m/s	3,0 m/s

Tab. 2: Auswirkung der Parameter 1357 bis 1359 auf die Funktionsweise des Eisansatzerkennungssystems

Funktionsweise	Einstellung der Parameter
Das Eisansatzerkennungssystem ist immer aktiv (Standard).	P1357 = nein P1358 = P1359
Das Eisansatzerkennungssystem ist nur aktiv, wenn die Windenergieanlage angehalten ist.	P1357 = ja P1358 = P1359
Das Eisansatzerkennungssystem ist nur aktiv, wenn die Windgeschwindigkeit außerhalb des eingestellten Bereichs liegt.	P1357 = nein P1358 < P1359
Das Eisansatzerkennungssystem ist aktiv, wenn die Windgeschwindigkeit außerhalb des eingestellten Bereichs liegt oder wenn die Windenergieanlage angehalten ist.	P1357 = ja P1358 < P1359

Hinweis: Eine Abweichung vom Standard schränkt den Aktivitätsbereich des Eisansatzerkennungssystems ein! Damit ist das Eisansatzerkennungssystem gemäß Zertifizierung und Stand der Technik nicht mehr vollständig funktionsfähig!

8.7 P7450: Woelfel certified Ice-Thres. active

Gibt an, ob das Wölfel-Eisansatzerkennungssystem nur Parametrierungen akzeptieren darf, die der Zertifizierung entsprechen.

Hinweis: Wenn P7450 = nicht aktiv, können für die Parameter 7451 bis 7452 von der Zertifizierung abweichende Einstellungen vorgenommen werden.

Einstellmöglichkeiten	Standard
aktiv/nicht aktiv	aktiv

8.8 P7451: Woelfel Schwellwert Eis-Alarm

Gibt den Indikatorwert für den Schwellwert des Eis-Alarms an.

Die Einstellung des Parameters wird nicht berücksichtigt, wenn die Einstellung der Zertifizierung entsprechen muss (P7450 = aktiv).

Einstellmöglichkeiten	Standard
-30,000 – 32,767	-0,750

8.9 P7452: Woelfel Schwellwert Eisfreiheit

Gibt den Indikatorwert für den Schwellwert der Eisfreiheit an.

Die Einstellung des Parameters wird nicht berücksichtigt, wenn die Einstellung der Zertifizierung entsprechen muss (P7450 = aktiv).

Einstellmöglichkeiten	Standard
-30,000 – 32,767	-0,500

8.10 P7454: Woelfel Blade Heating Thres.

Gibt den Indikatorwert für den Einschaltschwellwert der Blattheizung bei laufender Windenergieanlage an.

Einstellmöglichkeiten	Standard
-30,000 – 32,767	32,767 (deaktiviert)

Fachwortverzeichnis

Eisfall	Herabfallen von Eis bei angehaltener Windenergieanlage, das sich bei bestimmten Wetterlagen an den Rotorblättern bilden kann. Die fallenden Eisstücke können Sach- und Personenschäden bewirken.
Eiswurf	Abwurf von Eis bei drehendem Rotor, das sich bei bestimmten Wetterlagen an den Rotorblättern von Windenergieanlagen bilden kann.
Kritischer Eisansatz	Entstehung von Eis, das aufgrund seiner Aufprallenergie eine Gefahr für ungeschützte Personen darstellt, wenn es herabfällt oder weggeschleudert wird.
Trudelbetrieb	Betriebsart einer ENERCON Windenergieanlage, bei der sich die Rotorblätter in einem Rotorblattwinkel von in der Regel 60° (in der sogenannten Trudelstellung) befinden, wodurch sich die Windenergieanlage im Leerlauf befindet. Der Rotor dreht nur sehr langsam. Im Trudelbetrieb wird keine Energie erzeugt und die Rotordrehzahl wird überwacht. Bei hohen Windgeschwindigkeiten wird der Rotorblattwinkel erhöht, damit die maximale Trudeldrehzahl nicht überschritten wird.

Gutachten

Zur Bewertung der Funktionalität von Eisansatzerkennungssystemen zur Verhinderung von Eisabwurf an ENERCON Windenergieanlagen:

Eisansatzerkennung nach dem ENERCON-Kennlinienverfahren

Erstellt im Auftrag für

ENERCON
Dreekamp 5 F&E
26605 Aurich
Deutschland

Rev.	Datum	Änderungen
0	18.11.2014	Erste Fassung
1	22.08.2016	Formale Änderungen, Spezifizierung der Detektionszeit
2	20.04.2017	Ergänzung E-141 EP4, Berücksichtigung von Weiterentwicklungen
3	13.06.2017	Ergänzende Betrachtung bei vorgegebenem min. Blattwinkel (Kap. 5.3.3)
4	06.02.2018	Kombination mit Labko Eissensor, Ergänzung von Trudeldrehzahlen
5	19.09.2018	Ergänzung von Anlagenvarianten, Änderung bzgl. zusätzlicher Eiserkennungs-systeme
6	04.06.2020	Reduzierung des Umfangs auf Bewertung des Kennlinienverfahrens, redaktio-nelle Änderungen, Aktualisierung von Dokumenten
7	09.12.2021	Neue Portierung für das Eiskennlinienverfahren, Dokumente /22/ und /23/ auf-genommen.

TÜV NORD Bericht Nr.: 8111 881 239 Rev.7

Gegenstand der Prüfung: Eisansatzerkennung durch das ENERCON Kennlinienverfahren

Anlagenhersteller:
ENERCON
Dreekamp 5 F&E
26605 Aurich
Deutschland

Die Ausarbeitung des Gutachtens erfolgte durch:

Verfasser	Dipl.-Ing. (FH) G. Ewald Sachverständiger	Hamburg, 09.12.2021
Geprüft durch	Dipl.-Ing. O. Raupach Sachverständiger	Hamburg, 09.12.2021

An der Prüfung beteiligt:

B.Sc. F. Lautenschlager

Für weitere Auskünfte:

TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG
Gunnar Ewald
Große Bahnstraße 31
22525 Hamburg
Tel.: +49 40 8557 1449
E-Mail: gewald@tuev-nord.de

Inhalt

1 Einleitung 5
1.1 Ausgangssituation 5
1.2 Eisansatzerkennung nach dem Kennlinienverfahren 6
1.3 Gültigkeitsbereich 6
1.4 Beschreibung der Bewertungskette 6
1.4.1 Bewertungsmaßstäbe 6
1.4.2 Grenzen der Bewertung 7
1.4.3 Beschreibung der Vorgehensweise 7
2 Untersuchungen zur Eisdicke und zur Eiswurfweite 8
2.1 Bestimmung einer kritischen Eisdicke 8
2.1.1 Festlegung von Randbedingungen für den Eisabwurf 8
2.1.2 Ermittlung eines kritischen Eisobjektes 12
2.1.3 Ermittlung einer kritischen Zeit zur Bildung eines kritischen Eisobjektes 14
2.2 Untersuchung zum Eisabwurf beim Leerlauf (Startbetrieb) 15
2.2.1 Festlegung der Randbedingungen für den Eisabwurf beim Leerlauf 15
2.2.2 Ermittlung der Eisabwurfweite für den Leerlauf 17
2.2.3 Bewertung und Zusammenfassung der Eisabwurfweite für den Leerlauf 21
2.2.4 Ergänzende Informationen zum Trudelbetrieb 22
3 Beschreibung des Eiserkennungsalgorithmus 23
3.1 Programmablauf 23
3.1.1 Prüfung des Programmablaufs auf Plausibilität 23
3.1.2 Prüfung von Lücken/Unsicherheiten im Programmablauf 23
3.2 Bewertung des Messprinzips beim ENERCON Eiserkennungsverfahren 23
3.3 Bewertung der Algorithmen beim Kennlinienverfahren 24
3.3.1 Messbericht Meteotest: „Performance of the ENERCON ice detection system“ 24
3.3.2 Beobachtungen und Bewertungen zum Messbericht Meteotest 24
3.3.3 Messung an der Anlage „WEA 2“ 25
3.4 Grenzen der Bewertungskette 26
3.4.1 Geschlossenheit der Bewertungskette und Schnittstellen 26

3.4.2 Repräsentativität der Messung 26
3.4.3 Unsicherheiten der Messung 27
3.4.4 Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Anlagen 27
4 Zusammenfassung und Ergebnis der Bewertung 27
5 Dokumente und Literaturverzeichnis 29
5.1 Geprüfte Dokumente 29
5.2 Literatur 31
5.2.1 Literatur zu Kapitel 2.1 und 2.2 31

Tabellen

Tabelle 2.1: Gewähltes Eisobjekt. 11
Tabelle 2.2: Untersuchungsergebnisse unter den gegebenen Randbed. (Würfel). 13
Tabelle 2.3: Untersuchungsergebnisse: Variation der generierten Eisobjekte. Auswahlkriterium: kinetische Energie größer 40 J. 13
Tabelle 2.4: Untersuchungsergebnisse: Variation der generierten Eisobjekte. Auswahlkriterium: kinetische Energie größer 40 J und Windgeschw. kleiner gleich 20 m/s. 14
Tabelle 2.5: Detektionszeiten bis zum Aufwachsen einer kritischen Eisdicke. 15
Tabelle 2.6: Maximale Wurfweiten bei Eisabwurf Leerlauf (Windgeschw. 3 m/s). 18
Tabelle 2.7: Maximale Wurfweiten bei Eisabwurf Leerlauf (Windgeschw. 5 m/s). 19
Tabelle 2.8: Maximale Trudeldrehzahl 22

Abbildungen

Abbildung 1: Abwurfwinkel Eisobjekt Würfel. 11
Abbildung 2: Flugbahn unter den gegebenen Randbed. – Eisobjekt Würfel (E-82, 78 m Nabenhöhe) 12
Abbildung 3: Treffer Eisabwurf (Würfel) Leerlauf, Windgeschw. 3 m/s. ENERCON E-82, Nabenhöhe 138 m (Rotorradius schwarz gestrichelt, Gesamthöhe rot gestrichelt) 20
Abbildung 4: Treffer Eisabwurf (144 generierte Eisobjekte) Leerlauf, Windgeschw. 3 m/s. ENERCON E-82, Nabenhöhe 138 m (Rotorradius schwarz gestrichelt, Gesamthöhe rot gestrichelt) 20
Abbildung 5: Übersicht der aufgezeichneten Signale während der gesamten Messperiode für WEA 09 ohne RBH. 25

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Die Rotorblätter von Windenergieanlagen (WEA), die in Regionen mit Temperaturen unter +2°C aufgestellt werden, können bei ungünstigen Bedingungen Eis ansammeln. Aus der dann entstehenden Eisschicht können sich durch Abtauen oder Blattverformung Eisbrocken ablösen, die im Betrieb der Anlage vom Rotorblatt abgeworfen werden (Eisabwurf) und zu Personen- oder Sachschäden im Wurfbereich der Anlage führen können. Ab einer bestimmten Masse der abgeworfenen Brocken besteht damit eine zu beachtende Gefahr. Beobachtungen zeigen abgeworfene Brocken mit einer Masse von mehreren kg, jedoch sind dem TÜV NORD bisher keine Personenschäden bekannt geworden.

An den Anlagen installierte Eiserkennungssysteme dienen dem Zweck, dass die Anlage bei erkannter Vereisung der Rotorblätter abgeschaltet wird und somit keine Gefahr von Eisabwurf mehr besteht. Das Eis wird dann von den Blättern der stehenden / trudelnden Anlage abfallen (Eisabfall), bevor die Anlage wieder in den Betrieb genommen wird.

Eiserkennungssysteme verfügen generell über einen Sensor und eine Auswerteeinheit. Das Sensorsignal wird durch vereiste Rotorblätter beeinflusst und kann beispielsweise die Leistung der Anlage oder die Blattbeschleunigung sein. Die Auswerteeinheit übernimmt die Aufgabe, das Sensorsignal auszuwerten und daraus einen Indikator für Vereisung zu generieren. Üblicher Weise gibt es einen Schwellwert, bei dessen Überschreitung das Eiserkennungssystem ein Abschalten der Anlage initiiert. Oft ist dieser Schwellwert spezifisch für jeden Anlagentyp oder gar jede Anlage einzustellen.

Die Bewertung von Eiserkennungssystemen erfolgte bisher in Gutachterlichen Stellungnahmen über Plausibilitätsprüfungen. Es wurde Stellung bezogen zum physikalischen Prinzip der Erkennung bzw. zu der Frage, ob die durch den Eisansatz hervorgerufene Veränderung der Anlageneigenschaften zu einer detektierbaren Veränderung des Sensorsignals führt. Außerdem wurde Stellung bezogen zu auftretenden Lücken der Messung im Betriebsbereich der Anlage. Die Bewertung beschränkte sich jedoch auf eine rein qualitative Bewertung bzw. Plausibilitätsprüfung.

Gerade vor dem Hintergrund, dass ein Eiserkennungssystem immer im Zusammenhang mit der Anlage und der vorliegenden Vereisung zu bewerten ist, wurden seitens der Genehmigungsbehörden die Anforderungen an die Bewertung von Eiserkennungssystemen in den letzten Monaten erhöht. Es ist durch genauere, teilweise quantitative Untersuchungen zu indizieren, dass das Eiserkennungssystem

- dem „Stand der Technik“ entspricht,
- hinsichtlich der Schwellwerte und Parameter korrekt auf die Anlage eingestellt ist,
- sicherheitstechnisch funktioniert.

Eine Aussage zum Stand der Technik erfolgt über die Untersuchung, ob das Eiserkennungssystem in der Lage ist, eine vorher definierte, kritische Eisdicke zu detektieren und ob das System hinsichtlich der Hardware die notwendigen Voraussetzungen hinsichtlich Zuverlässigkeit erfüllt. In diesem Sinne ist das vorliegende Gutachten aufgebaut.

1.2 Eisansatzerkennung nach dem Kennlinienverfahren

Das ENERCON Eiserkennungsverfahren ist ein Kennlinienverfahren und unterteilt in die Erkennung über die Leistung und die Erkennung über den Blattwinkel. Voraussetzung zur Aktivierung des Verfahrens ist eine Unterschreitung der direkt an der Windenergieanlage gemessenen Außentemperatur unter einen kritischen Schwellenwert (+2°C).

Die von der Windenergieanlage erbrachte elektrische Leistung wird mit Referenzwerten des unvereisten Produktionsbetriebs bei gleicher Windgeschwindigkeit verglichen. Bei Abweichung der Leistungsabgabe gegenüber dem Referenzwert wird von einer Veränderung der aerodynamischen Beiwerte der Rotorblätter aufgrund von Vereisung ausgegangen. Die Anlage wird dann kontrolliert abgeschaltet.

Im Volllastbereich wird die Anlage ggf. auch mit vereisten Rotorblättern die volle elektrische Leistung erbringen, so dass anhand dieses Parameters keine Vereisung mehr zu erkennen ist. Die Anlage wird bei Erreichen der vollen elektrischen Leistung unter Anwendung des Regelalgorithmus die Rotorblattwinkel zur Leistungs- und Drehzahlregelung verstellen. Deshalb wird neben den Leistungskennwerten auch der Rotorblattwinkel mit den Referenzwerten des unvereisten Produktionsbetriebs bei gleicher Windgeschwindigkeit verglichen. Bei Abweichung im anliegenden Rotorblattwinkel gegenüber dem Referenzwert wird von einer Veränderung der aerodynamischen Beiwerte der Rotorblätter aufgrund von Vereisung ausgegangen und die Anlage wird kontrolliert abgeschaltet.

Die Zuverlässigkeit des Eiserkennungsverfahrens ist somit stark von einer zuverlässigen Wind- und Temperaturmessung, auch unter Vereisungsbedingungen, abhängig.

Mit dieser Methode ist keine Eiserkennung bei stillstehendem oder trudelndem Rotor möglich. Im Produktionsbetrieb bei sehr niedrigen und unbeständigen Windgeschwindigkeiten nahe der Einschaltwindgeschwindigkeit kann die Zuverlässigkeit des Verfahrens sinken.

1.3 Gültigkeitsbereich

Dieses Gutachten ist gültig für alle ENERCON Windenergieanlagen, in denen das Kennlinienverfahren mit den ENERCON-Standardeinstellungen der Parameter zum Einsatz kommt, d.h. nicht deaktiviert oder über die Schwellwerte in der Leistungsfähigkeit der Eisansatzerkennung herabgesetzt ist.

Änderungen an diesen Parametern sind jeweils nur nach Prüfung durch ENERCON möglich.

1.4 Beschreibung der Bewertungskette

1.4.1 Bewertungsmaßstäbe

Die Bewertung erfolgt in Bezug auf das sichere Abschalten der WEA bei kritischem Eisansatz an den Rotorblättern. Weil es keine Richtlinie gibt, nach der Eiserkennungssysteme zu bewerten sind, ist die Form dieser Bewertung ein Gutachten, in dem die einzelnen Schritte der Bewertung beschrieben werden. Anhaltspunkte zur Bewertung liefert das von der Struktur- und Genehmigungsdirektion Nord, Rheinland Pfalz, herausgegebene

„MERKBLATT für Vorhaben zur Errichtung von Windenergieanlagen hinsichtlich immissionsschutzrechtlicher und arbeitsschutzrechtlicher Anforderungen an die Antragsunterlagen in Genehmigungsverfahren nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG mit Anlagen A und B)“, Fassung vom Oktober 2019.

1.4.2 Grenzen der Bewertung

Die vorliegende Untersuchung konzentriert sich auf die Funktionalität der Systeme bezüglich Verhinderung von *Eisabwurf*. Eine Untersuchung bezüglich Eisabfall wird hier nicht behandelt, denn Eisabfall von einer stehenden/trudelnden Anlage kann nicht verhindert werden. Die Gefahr bezüglich Eisabfall sollte immer standortspezifisch, in Abhängigkeit gefährdeter Objekte im für Eisabfall kritischen Radius um die Anlage bewertet werden.

1.4.3 Beschreibung der Vorgehensweise

Die Bewertung der Eiserkennungssysteme hat zum Ziel, quantitative Aussagen zur Detektionsfähigkeit der Systeme zur Eiserkennung zu treffen und damit in Hinblick auf die Windenergieanlage (WEA) Aussagen zu treffen, ob und unter welchen Bedingungen eine Detektion einer Vereisung der Rotorblätter im Betrieb der WEA funktioniert. Weiterhin werden qualitative Aussagen zur Einbindung der Systeme in die Steuerung der WEA getroffen, um die sichere Abschaltung der WEA bei Eiserkennung und das Wiederanfahren nach Vereisung zu bewerten.

Das Vorgehen zur Bewertung unterteilt sich in die folgenden Schritte:

1. **Bestimmung einer kritischen Eisdicke**
   (s. Kap. 2.1) Die Bestimmung der kritischen Eisdicke erfolgt für ausgewählte anlagen des ENERCON Produktspektrums, um eine Eisdicke festzulegen, die für alle Anlagen der Produktübersicht /14/ als kritisch einzustufen ist. Diese Eisdicke wird bei der Bewertung des Eisdetektionsalgorithmus einbezogen.

2. **Untersuchung zu Eisabwurf beim Leerlauf**
   (s. Kap. 2.2) Diese Untersuchung hat zum Ziel, die Eiswurfweite beim Leerlauf vor dem Starten der Anlage zu untersuchen. Damit kann eine Aussage getroffen werden, ob die beim Leerlauf abgeworfenen Eisstücke weniger weit geworfen werden als der kritische Radius für Eisabfall beträgt und somit der Leerlauf der Anlage für das Thema Eisabwurf unkritisch ist.

3. **Analyse des Programmablaufs**
   (s. Kap. 3.1) Diese Untersuchung betrifft die Prüfung des Programmablaufes auf Plausibilität, Nachvollziehbarkeit und Lücken.

4. **Bewertung des Eisdetektionsalgorithmus**
   (s. Kap. 3.3) Die Bewertung des Algorithmus basiert auf einem Messbericht und hat zum Ziel, Aussagen darüber zu treffen, ob der Algorithmus funktionsfähig ist und ob die in der Anlage eingestellten Schwellwerte und Parameter des Algorithmus zur Erkennung der zuvor ermittelten kritischen Eisdicke führen.

2 Untersuchungen zur Eisdicke und zur Eiswurfweite

2.1 Bestimmung einer kritischen Eisdicke

Gegenstand der Untersuchung ist die Bewertung, inwieweit das zu betrachtende Eiserkennungssystem geeignet ist, Eisabwurf im Betrieb der Anlage durch frühzeitiges Abschalten der Anlage zu verhindern, bevor sich eine kritische Eisdicke am Blatt akkumuliert hat. Es ist somit erforderlich in einem ersten Schritt eine kritische Eisdicke festzulegen. Dies erfolgt in einzelnen Arbeitsschritten:

- Festlegung von Randbedingungen für den Eisabwurf.
- Ermittlung eines kritischen Eisobjektes. Ein kritisches Eisobjekt ist definiert als ein Eisobjekt, welches aufgrund seiner Aufprallenergie eine Gefahr für eine ungeschützte Person am Boden darstellt. Dem kritischen Eisobjekt werden eine kritische Eismasse und eine kritische Eisdicke zugeordnet.
- Ermittlung einer kritischen Zeit, bis zu der mit der Akkumulation der kritischen Eisdicke zu rechnen ist.

2.1.1 Festlegung von Randbedingungen für den Eisabwurf

Verwendetes Rechenmodell:

Die Flugbahn von Eisobjekten lässt sich durch Überlagerung zweier Kräfte modellieren, der Schwerkraft und dem Winddruck. Die Erfahrung zeigt, dass die herabfallenden Eisobjekte eine sehr unregelmäßige Form besitzen und deshalb praktisch wenig Auftrieb erfahren, so dass in vertikaler Richtung im Wesentlichen die Schwerkraft und der Luftwiderstand wirken. Der Winddruck wirkt horizontal in x-Richtung (Achsenkonvention nach der GL Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen /28/). Zur Modellierung des Winddrucks werden jedem Eisobjekt ein konstanter Widerstandsbeiwert C_W /42/ und eine konstante Projektionsfläche A zugeordnet.

Der zeitabhängige Verlauf des Eisabwurfs lässt sich mit einem dreidimensionalen Modell beschreiben (in Anlehnung an /25/):

$$\ddot{x} = -\frac{\rho \cdot A \cdot C_W}{2 \cdot m} \cdot (\dot{x} - v) \cdot \sqrt{\dot{y}^2 + \dot{z}^2 + (\dot{x} - v)^2} \,, \qquad (1)$$

$$\ddot{y} = -\frac{\rho \cdot A \cdot C_W}{2 \cdot m} \cdot \dot{y} \cdot \sqrt{\dot{y}^2 + \dot{z}^2 + (\dot{x} - v)^2} \quad \text{und} \qquad (2)$$

$$\ddot{z} = -g - \frac{\rho \cdot A \cdot C_W}{2 \cdot m} \cdot \dot{z} \cdot \sqrt{\dot{y}^2 + \dot{z}^2 + (\dot{x} - v)^2} \qquad (3)$$

mit

x = horizontale Koordinate (senkrecht zur y-z-Ebene) [m]

y = horizontale Koordinate [m],

z = vertikale Koordinate (y-z-Ebene entspricht der Rotationsebene) [m],

v = Windgeschwindigkeit in x-Richtung [m/s],

g = Erdbeschleunigung [m/s^2],

ρ = Luftdichte [kg/m^3],

A = Projektionsfläche des Eisobjekts [m^2],

C_W = Luftwiderstandsbeiwert des Eisobjekts und

m = Masse des Eisobjekts [kg].

Anlagenbezogene Randbedingungen:

WEA-Typ:

Aus dem Anlagenportfolio /19/ wurden drei WEA-Typen ausgewählt, die als repräsentativ für die Produktpalette herangezogen werden können (kleine, mittlere und große Anlage). Es wurde jeweils die kleinste Nabenhöhe ausgewählt, da diese nach unseren Untersuchungen für die Ermittlung der kritischen Eisdicke des Eisabwurfs konservativ ist.

- E-44 mit 45,0 m Nabenhöhe, 44,0 m Rotordurchmesser /19/
- E-82 mit 78,0 m Nabenhöhe, 82,0 m Rotordurchmesser /19/
- E-126 mit 135,0 m Nabenhöhe, 127,0 m Rotordurchmesser /19/

Drehzahl bei Eisabwurf:

Für die Drehzahl wird jeweils die maximale Anlagendrehzahl berücksichtigt /19/.

- E-44 Rotordrehzahl 34,5 U/min
- E-82 Rotordrehzahl 18 U/min
- E-126 Rotordrehzahl 12,1 U/min

Physikalische Randbedingungen:

Luftdichte:

Die Luftdichte wird gemäß der GL Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen /28/ zu 1,225 kg/m^3 festgelegt.

Die gewählte Luftdichte ist für den betrachteten Eisabwurf als konservativ zu betrachten, da sie gegenüber der bei Eisansatzbedingungen zu erwartenden Luftdichte von ca. 1,27kg/m^3 (siehe unsere Untersuchungen /27/) zu einer höheren Aufprallgeschwindigkeit führt.

Windgeschwindigkeit:	Zur Festlegung der Windgeschwindigkeit wird in einem ersten Schritt die jeweilige anlagenbezogene Abschaltwindgeschwindigkeit (25,0 m/s) auf Nabenhöhe (ohne Sturmregelung) zugrunde gelegt /19/.
Höhenabhängigkeit:	Die Windgeschwindigkeit wird als Funktion der Höhe modelliert, hierzu wird das exponentielle Windprofil verwendet. Der Höhenexponent α wird gemäß der IEC 61400-1 ed. 3 /24/ zu 0,2 festgelegt.
Erdbeschleunigung:	Die Erdbeschleunigung wird zu 9,81 m/s^2 festgelegt.

Die kritische Eisdicke wurde in zwei getrennten Schritten mit unterschiedlichen Randbedingungen ermittelt. In einem ersten Schritt wurde für die Ermittlung der kritischen Eisdicke ein Würfel untersucht (kompaktes Eisobjekt). Die hierfür gewählten Randbedingungen sind im Folgenden dargestellt („Schritt eins“). Im zweiten Schritt wurden unter anderem die Anzahl und die Objektgeometrie der zugrunde gelegten Eisobjekte variiert.

<u>Randbedingungen zum Eisabwurf („Schritt eins“, Würfel):</u>

Gewicht und Geometrie der Eisobjekte:	In Feldstudien /26/ hat sich gezeigt, dass das Gewicht der Eisobjekte für die Fallweite von geringer Relevanz ist. Die Flugeigenschaften werden im Wesentlichen von der Geometrie und dem c_w-Wert beeinflusst. Die Gewichte der Eisobjekte normieren wir unter Zugrundelegung der Kenntnisse aus /26/ (geringe Relevanz, siehe vorherigen Absatz) auf 1,0 kg (zur normierten Ermittlung der Flugbahn). Die Normierung ist nach eigenen Untersuchungen bzgl. der Ermittlung der Eisdicke (Eisabwurf) über die Aufprallenergie konservativ. Auf Basis eigener Untersuchungen (siehe z.B. /38/, /39/) wird als zu betrachtendes Eisobjekt im ersten Schritt ein Würfel angesetzt (siehe Tabelle 2.1). Der Würfel ist gegenüber länglichen Eisobjekten hinsichtlich der Aufprallgeschwindigkeit und der resultierenden Aufprallenergie als konservativ zu betrachten.
Lageparameter des Eisobjekts:	Die maximale Umfangsgeschwindigkeit ist an der Rotorblattspitze gegeben. Im Rahmen der Modellierung wird angesetzt, dass sich das Eisobjekt zum Zeitpunkt des Abwurfs an der Rotorblattspitze befindet und somit die größtmögliche Startenergie besitzt.
Lageparameter des Rotorblattes (Abwurfwinkel):	Die Aufprallgeschwindigkeit des Eisobjekts ist auf Basis eigener Untersuchungen im Wesentlichen von der Lage des Eisobjekts zum Zeitpunkt des Abwurfs (gegeben durch Lage des Rotorblattes in der Rotorebene und der Lage des

Eisobjekts auf dem Rotorblatt) und von der Höhe der WEA abhängig (die Aufprallgeschwindigkeit reduziert sich mit zunehmender Höhe – Einfluss des Luftwiderstands). Unter den genannten Aspekten wird der Abwurfwinkel zu 125° ca. 4 Uhr festgesetzt (ausgehend von der 0:00 Uhr Position im Uhrzeigersinn).

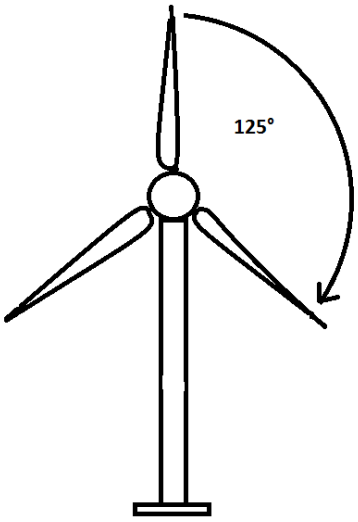


Abbildung 1: Abwurfwinkel Eisobjekt Würfel.

Masse [kg]	Dichte [kg/m³]	Form	mittlere Fläche [m²]	mittlerer C_W-Wert [-]
1,0	700	Würfel	0,013	1,11

Tabelle 2.1: Gewähltes Eisobjekt.

Randbedingungen zur Schadensbewertung:

Dichte des Eises: Die Dichte des Eises wird gemäß der GL Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen /28/ zu 700 kg/m^3 festgelegt.

Kritische Aufprallenergie: Für die Ermittlung der kritischen Eisdicke wird die kritische Aufprallenergie (kinetische Energie) gemäß /40/ auf 40 J festgelegt. Die kritische Aufprallenergie (kinetische Energie) berechnet sich zu

$$Ekin = 1/2 \cdot m \cdot v^2 .$$

mit

Ekin: kinetische Energie [J],
m: Masse des Eisobjekts [kg] und
v: Aufprallgeschwindigkeit [m/s].

Die Masse wird hierbei vereinfacht punktförmig angenommen.

2.1.2 Ermittlung eines kritischen Eisobjektes

Ein kritisches Eisobjekt ist definiert als ein Eisobjekt, welches aufgrund seiner Aufprallenergie eine Gefahr für eine ungeschützte Person am Boden darstellt. Dem kritischen Eisobjekt werden eine kritische Eismasse und eine kritische Eisdicke zugeordnet. Zur Ermittlung sind die folgenden Arbeitsschritte erforderlich:

- Ermittlung der Aufprallgeschwindigkeit unter Berücksichtigung der festgelegten Randbedingungen.
- Ermittlung der kritischen Eismasse unter Berücksichtigung der ermittelten Aufprallgeschwindigkeit und der festgelegten kritischen Aufprallenergie.
- Ermittlung der kritischen Eisdicke für einen Würfel (gewählte Geometrie des Eisobjekts) unter Berücksichtigung der festgelegten Eisdichte und der ermittelten kritischen Eismasse.

In Abbildung 2 ist die Flugbahn eines Eisobjekts unter Berücksichtigung der festgelegten Randbedingungen dargestellt. Die Randbedingungen (siehe Kapitel 2.1.1) wurden so gewählt, dass eine maximale Aufprallgeschwindigkeit vorliegt (Geometrie Würfel, Abwurfwinkel, geringer Abstand Abwurfpunkt Boden).

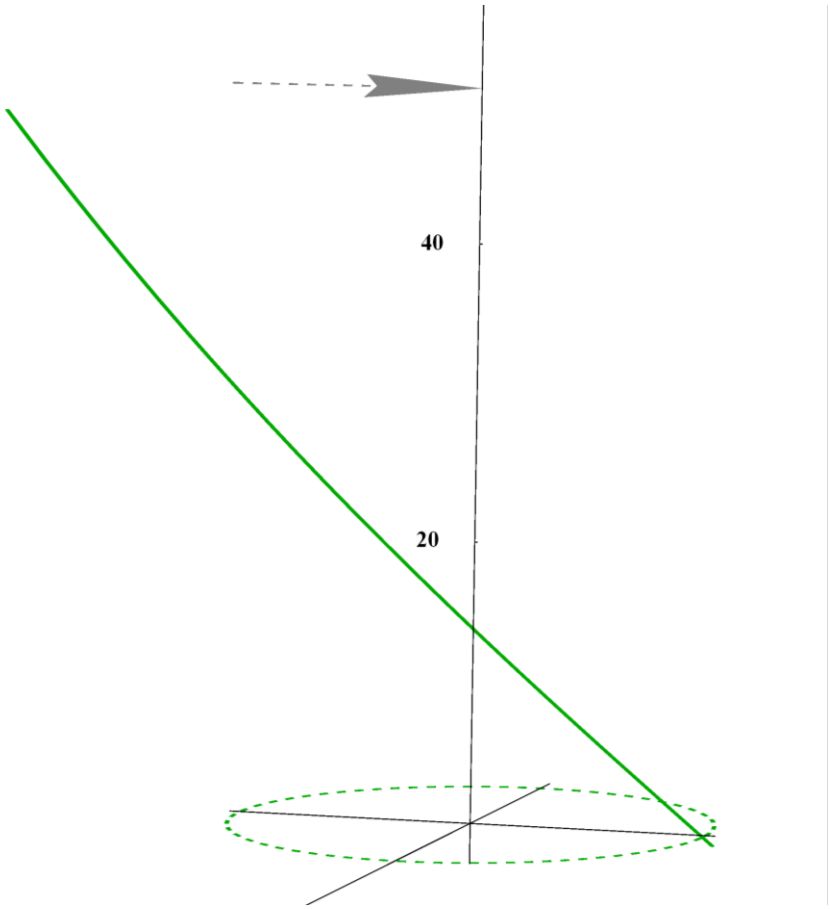


Abbildung 2: Flugbahn unter den gegebenen Randbed. – Eisobjekt Würfel (E-82, 78 m Nabenhöhe)

Aufgrund der gewählten Randbedingungen ist die erzielte Wurfweite minimal – im Sinne einer „Worst-Case“ Betrachtung sind die Aufprallgeschwindigkeit und die resultierende Aufprallenergie für die Ermittlung der kritischen Eisdicken entscheidend. Auf Basis der ermittelten Aufprallgeschwindigkeiten wurden für die untersuchten WEA-Typen die kritischen Eismassen unter Berücksichtigung der festgelegten kritischen Aufprallenergie von 40J und die daraus resultierenden kritischen Eisdicken ermittelt (siehe Tabelle 2.2).

	E-44	E-82	E-126
Aufprallgeschwindigkeit [m/s]	59,8	50,5	42,9
Kritische Eismasse [g]	22,4	31,3	43,6
Kritische Eisdicke [cm]	3,2	3,6	4

Tabelle 2.2: Untersuchungsergebnisse unter den gegebenen Randbed. (Würfel).

Vergleicht man den Würfel („Schritt eins“) mit beobachteten Eisobjekten aus der Praxis (TÜV NORD Erfahrungen aus den Wiederkehrenden Prüfungen und Literaturquellen /26/, /29/, /30/) sowie Modellrechnungen (Turbine /29/, /33/, /34/, /35/), so ist festzustellen, dass der Würfel als gewähltes Eisobjekt nicht die Bandbreite der möglichen abgeworfenen Eisobjekte abdeckt. Aus diesem Grund wurden in einem zweiten Schritt etwa 144 verschiedene Eisobjekte mit ihren objektspezifischen Massen generiert (Randbedingungen der Eisobjekte: B; H; L: 10 cm; 0,3 cm bis 5 cm; 5 cm bis 20 cm; Dichte 700 kg/m³ /28/) und die Aufprallenergie unter Variation der Abwurfbedingungen ermittelt. Die folgenden Randbedingungen wurden für die Parameterstudie („Schritt zwei“) der generierten Eisobjekte gegenüber dem ersten Schritt (Würfel) variiert:

- Die Windgeschwindigkeit wurde von 15 m/s bis 25 m/s (Abschaltwindgeschwindigkeit ohne Sturmregelung /19/) kontinuierlich mit einer Schrittweite von 1 m/s variiert. Für die Ermittlung der kritischen Eisdicke hat sich gezeigt, dass der oberen Windgeschwindigkeitsbereich maßgeblich ist.
- Die Lage des Rotorblattes in der Rotorebene (Abwurfwinkel) wurde in 10° Schritten von 0° bis 360° variiert.

Für jedes abgeworfene Eisobjekt wurden die Aufprallgeschwindigkeit sowie die zugehörige Aufprallenergie ermittelt und mit der zugrunde gelegten kritischen Aufprallenergie von 40 J verglichen (siehe Kapitel 2.1.1). In der Tabelle 2.3 sind die daraus resultierenden minimalen Eisdicken für die untersuchten WEA-Typen angegeben.

	E-44	E-82	E-126
Aufprallgeschwindigkeit [m/s]	23,0	21,9	21,1
Masse [kg]	0,154	0,168	0,182
Dicke [cm]	1,1	1,2	1,3
Windgeschwindigkeit [m/s]	25	25	25

Tabelle 2.3: Untersuchungsergebnisse: Variation der generierten Eisobjekte. Auswahlkriterium: kinetische Energie größer 40 J.

Die Ergebnisse in Tabelle 2.3 zeigen, dass die ermittelte kritische Eisdicke mit einer hohen Windgeschwindigkeit (Abschaltwindgeschwindigkeit 25 m/s) einhergeht. Gemäß Deutschem Wetterdienst (DWD) /41/ entspricht eine Windgeschwindigkeit von 25 m/s einem „schwerem Sturm“, bei dem mit brechenden Bäumen und größeren Schäden an Häusern zu rechnen ist. Die Ergebnisse aus /27/ und weiteren internen Studien zeigen, dass an den überwiegenden Standorten in Deutschland bei Eisansatz überwiegend mit niedrigeren Windgeschwindigkeiten, bezogen auf die Ganzjahreswindstatistik, zu rechnen ist. Auf dieser Basis wurde für die Auswahl des kritischen Eisobjektes die Windgeschwindigkeit auf kleiner gleich 20 m/s begrenzt. Gemäß DWD /41/ ist bei einer Windgeschwindigkeit von 20 m/s („Sturm“) immer noch mit brechenden Ästen von Bäumen (vergleichbar mit der Gefährdung durch herabfallende Eisobjekte) und einem beschwerlichem Gehen zurechnen. Daraus ergeben sich die in Tabelle 2.4 dargestellten kritischen Eisdicken.

	E-44	E-82	E-126
Aufprallgeschwindigkeit [m/s]	21,1	20,4	20,0
Masse [kg]	0,182	0,196	0,210
Dicke [cm]	1,3	1,4	1,5
Windgeschwindigkeit [m/s]	20	20	20

Tabelle 2.4: Untersuchungsergebnisse: Variation der generierten Eisobjekte. Auswahlkriterium: kinetische Energie größer 40 J und Windgeschw. kleiner gleich 20 m/s.

Die Ergebnisse aus Tabelle 2.3 und Tabelle 2.4 zeigen, dass mit zunehmender Anlagengröße die kritische Eisdicke zunimmt. Dies ist unter anderem durch den längeren Flugweg und die größere Flugzeit der abgeworfenen Eisobjekte begründet. Die hohe Anfangsgeschwindigkeit, die durch die Blattspitzengeschwindigkeit auf das abgeworfene Eisobjekt wirkt, wird über den Flugweg durch den Luftwiderstand zunehmend abgebremst. Daraus folgt, dass mit zunehmendem Flugweg (größere Anlage) die Aufprallgeschwindigkeit sinkt und damit die kritische Masse sowie die kritische Eisdicke steigen.

Abschließend werden die kritischen Eisdicken, unter Berücksichtigung einer niedrigeren Windgeschwindigkeit bei Eisansatz /27/, zu den in Tabelle 2.4 aufgeführten Dicken festgelegt. Die dünnste ermittelte kritische Eisdicke stellt sich somit bei der ENERCON E-44 (Nabenhöhe 45 m) zu 1,3 cm ein.

2.1.3 Ermittlung einer kritischen Zeit zur Bildung eines kritischen Eisobjektes

In der Vergangenheit gab es zum Eiswachstum verschiedene Studien auf Basis der Simulationsprogramme /29/, /33/, /34/, /35/ (WEA – Vereisung von Rotorblättern) und LEWICE /33/ (Luftfahrt – Vereisung von Tragflächen) sowie auf Basis experimenteller Windkanalversuche /29/, /33/, /36/.

Die Studien zeigen übereinstimmend die folgenden Ergebnisse:

- Die Eiswachstumsrate von Raureif (Eisdicke pro Zeiteinheit [mm/min]) nimmt mit zunehmender Größe der WEA (450 kW bis 2 MW) ab (0,75 mm/min bis 0,45 mm/min) /34/, /35/. Zusätzlich zu den Versuchsergebnissen /34/ wurde dieses

Phänomen zunächst in einem Windpark beobachtet und daraufhin näher untersucht /34/.

- Raureif wächst insgesamt dicker auf als Klareis /33/, /36/ besitzt aber eine geringere Dichte /37/ (Raureif: 600 bis 900 kg/m^3, Klareis 900 kg/m^3).
- Die Eiswachstumsrate liegt in einem Bereich von 0,45 mm/min /34/ bis 3 mm/min /33/.

Zusammenfassend wird die Eiswachstumsrate zu 1mm/min festgelegt. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Eiswachstumsrate mit zunehmender Größe der WEA abnimmt /34/, /35/ - gemäß der Erkenntnisse aus /34/ eher unterhalb von 1 mm/min liegt. Die festgelegte Eiswachstumsrate gilt in Anlehnung an /36/ (Studie DTU Wind Energy 2013) für Klareis, Raureif bzw. einer Vereisungsmischung /36/.

Auf Basis der ermittelten kritischen Eisdicken (siehe Tabelle 2.4) ergibt sich die kritische Zeit, bis zu der mit der Akkumulation der kritischen Eisdicke zu rechnen ist, ca. zu den in Tabelle 2.5 aufgeführten Werten. Innerhalb dieser Zeit sollte das Eiserkennungssystem den Eisansatz erkannt und die WEA abgeschaltet haben, um den Eisabwurf eines kritischen Eisobjekts zu verhindern.

	E-44	E-82	E-126
Detektionszeit [min]	13	14	15

Tabelle 2.5: Detektionszeiten bis zum Aufwachsen einer kritischen Eisdicke.

Auf Grund der sehr konservativ gewählten Eiswachstumsrate von 1 mm/min kann für alle in der Produktübersicht /14/ aufgeführten ENERCON Windenergieanlagen, eine Detektionszeit von 15 Minuten angesetzt werden.

2.2 Untersuchung zum Eisabwurf beim Leerlauf (Startbetrieb)

Beim Start der ENERCON WEA vom Stillstandsbetrieb in den Leistungsbetrieb werden die WEA zunächst in einen Startbetrieb gefahren. Der Startvorgang ist insbesondere durch eine erhöhte Drehzahl gegenüber dem normalen Trudelbetrieb gekennzeichnet, sowie dadurch, dass die Windgeschwindigkeit beim Start unter möglichen Vereisungsbedingungen im Bereich von 3 m/s bis 5 m/s liegt.

Im Folgenden werden die Auswirkungen des Leerlaufs (Windgeschwindigkeit 3 m/s bzw. 5 m/s) auf die Abwurfweiten bei Eisabwurf untersucht und mit der nicht vermeidbaren Gefährdung durch Eisabfall verglichen.

2.2.1 Festlegung der Randbedingungen für den Eisabwurf beim Leerlauf

<u>Anlagenbezogene Randbedingungen:</u>

WEA-Typ: Aus dem Anlagenportfolio /15/, /19/ wurden die folgenden WEA-Typen ausgewählt, die bzgl. der Anlagengröße und Drehzahl als repräsentativ für die Produktpalette herangezogen werden können.

- E-44 mit 45 m und 55 m Nabenhöhe, 44 m Rotordurchmesser /19/
- E-48 mit 50 m und 76 m Nabenhöhe, 48 m Rotordurchmesser /19/
- E-48 mit 60 m und 73 m Nabenhöhe, 53 m Rotordurchmesser /19/
- E-82 mit 78 m und 138 m Nabenhöhe, 82 m Rotordurchmesser /19/
- E-115 mit 92 m und 149 m Nabenhöhe, 115 m Rotordurchmesser /19/
- E-126 mit 135 m Nabenhöhe, 127 m Rotordurchmesser /19/
- E-141 mit 129 m und 159 m Nabenhöhe, 141 m Rotordurchmesser /15/

Für eine gute Abdeckung der jeweiligen Anlagenparameter wurden jeweils die höchste und die niedrigste Nabenhöhe für die Untersuchung des Leerlaufs (Startbetrieb) ausgewählt.

Drehzahl bei Eisabwurf: Für die Drehzahl wird die jeweilige Drehzahl des Leerlaufs berücksichtigt /15/, /20/:

- E-44 – 14 U/min
- E-48 – 11 U/min
- E-53 – 10 U/min
- E-82 – 5 U/min
- E-115 – 4 U/min
- E-126 – 5 U/min
- E-141 – 4 U/min

Physikalische Randbedingungen:

Luftdichte: Die Luftdichte wird gemäß der GL Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen /28/ zu 1,225 kg/m^3 festgelegt.

Windgeschwindigkeit: Für die Windgeschwindigkeit wird eine Einschaltwindgeschwindigkeit von 3 m/s sowie 5 m/s berücksichtigt (siehe /12/)

Höhenabhängigkeit: Die Windgeschwindigkeit wird als Funktion der Höhe modelliert, hierzu wird das exponentielle Windprofil verwendet. Der Höhenexponent α wird gemäß der IEC 61400-1 ed. 3 /24/ zu 0,2 festgelegt.

Erdbeschleunigung: Die Erdbeschleunigung wird zu 9,81 m/s^2 festgelegt.

Randbedingungen zum Eisabwurf:

Gewicht und Geometrie der Eisobjekte:	Für Gewicht und Geometrie werden die zur Ermittlung der kritischen Eisdicke untersuchten Eisobjekte herangezogen. • Der Würfel (siehe 2.1.1, Tabelle 2.1, Ermittlung der kritischen Eisdicke „Schritt eins“) sowie • die 144 verschiedene Eisobjekte, mit den folgenden Randbedingungen: B; H; L: 10 cm; 0,3 cm bis 5 cm; 5 cm bis 20 cm (siehe 2.1.2, Ermittlung der kritischen Eisdicke „Schritt zwei“). Hierbei werden die ermittelten kritischen Eisdicken als untere Grenze für die Auswahl der Eisobjekte mitberücksichtigt (siehe Kapitel 2.1.2, Tabelle 2.4) Mit den gewählten Eisobjekten wird eine Vielzahl möglicher Eisobjekte abgedeckt.
Lageparameter des Eisobjekts:	Die maximale Umfangsgeschwindigkeit ist an der Rotorblattspitze gegeben. Im Rahmen der Modellierung wird angesetzt, dass sich das Eisobjekt zum Zeitpunkt des Abwurfs an der Rotorblattspitze befindet und somit die größtmögliche Startenergie besitzt.
Lageparameter des Rotorblattes (Abwurfwinkel):	Die Lage des Rotorblattes in der Rotorebene (Abwurfwinkel) wird in 10° Schritten von 0° bis 360° variiert.

2.2.2 Ermittlung der Eisabwurfweite für den Leerlauf

Die Eisabwurfweiten für den Leerlauf wurden auf Basis der unter Kapitel 2.2.1 genannten Randbedingungen und dem in Kapitel 2.1.1 eingeführten Rechenmodell für den Eisabwurf ermittelt. Die Ergebnisse der maximalen Wurfweite der untersuchten Eisobjekte sind in der Tabelle 2.6 und Tabelle 2.7 dargestellt. Die Abbildung 3 und Abbildung 4 zeigen die Treffer der untersuchten Eisobjekte (Rotorradius schwarz gestrichelt, Gesamthöhe rot gestrichelt) beispielhaft für die ENERCON E-82 mit einer Nabenhöhe 138 m und einer Windgeschwindigkeit von 3 m/s.

WEA-Typ	Nabenhöhe [m]	Gesamthöhe [m]	Untersuchte Eisobjekte	Maximale Wurfweite [m]	Verhältnis: max. Wurfweite/Gesamthöhe [%]
E-44	45,0	67,0	144 Eisobjekte	79,3	118
E-44	45,0	67,0	Würfel	95,2	142
E-44	55,0	77,0	144 Eisobjekte	82,2	107
E-44	55,0	77,0	Würfel	99,0	129

WEA-Typ	Naben-höhe [m]	Gesamthöhe [m]	Untersuchte Eisobjekte	Maximale Wurfweite [m]	Verhältnis: max. Wurfweite/Ge-samthöhe [%]
E-48	50,0	74,0	144 Eisobjekte	73,6	100
E-48	50,0	74,0	Würfel	86,0	116
E-48	76,0	114,0	144 Eisobjekte	79,1	79
E-48	76,0	114,0	Würfel	94,2	94
E-53	60,0	86,5	144 Eisobjekte	77,1	89
E-53	60,0	86,5	Würfel	90,0	105
E-53	73,0	99,5	144 Eisobjekte	80,0	80
E-53	73,0	99,5	Würfel	94,5	95
E-82	78,0	119,0	144 Eisobjekte	76,8	65
E-82	78,0	119,0	Würfel	85,0	71
E-82	138,0	179,0	144 Eisobjekte	83,8	47
E-82	138,0	179,0	Würfel	97,0	54
E-115	92	149,9	144 Eisobjekte	95,1	63
E-115	92	149,9	Würfel	106,0	71
E-115	149	206,9	144 Eisobjekte	100,8	49
E-115	149	206,9	Würfel	115,5	56
E-126	135,0	198,0	144 Eisobjekte	118,5	60
E-126	135,0	198,0	Würfel	140,7	71
E-141	129	199,5	144 Eisobjekte	117,2	59
E-141	129	199,5	Würfel	134,6	67
E-141	159	229,5	144 Eisobjekte	119,6	52
E-141	159	229,5	Würfel	138,5	60

Tabelle 2.6: Maximale Wurfweiten bei Eisabwurf Leerlauf (Windgeschw. 3 m/s).

WEA-Typ	Naben-höhe [m]	Gesamthöhe [m]	Untersuchte Eisobjekte	Maximale Wurfweite [m]	Verhältnis: max. Wurfweite/Ge-samthöhe [%]
E-44	45,0	67,0	144 Eisobjekte	79,5	119
E-44	45,0	67,0	Würfel	95,3	142
E-44	55,0	77,0	144 Eisobjekte	82,6	107
E-44	55,0	77,0	Würfel	99,0	129
E-48	50,0	74,0	144 Eisobjekte	73,8	100
E-48	50,0	74,0	Würfel	85,9	116
E-48	76,0	114,0	144 Eisobjekte	79,6	80
E-48	76,0	114,0	Würfel	94,2	94
E-53	60,0	86,5	144 Eisobjekte	77,3	89
E-53	60,0	86,5	Würfel	90,4	105
E-53	73,0	99,5	144 Eisobjekte	80,4	81
E-53	73,0	99,5	Würfel	94,5	95
E-82	78,0	119,0	144 Eisobjekte	77,0	65
E-82	78,0	119,0	Würfel	85,0	71
E-82	138,0	179,0	144 Eisobjekte	84,8	47
E-82	138,0	179,0	Würfel	97,1	54
E-115	92	149,9	144 Eisobjekte	95,3	64
E-115	92	149,9	Würfel	105,9	71
E-115	149	206,9	144 Eisobjekte	101,8	49
E-115	149	206,9	Würfel	115,7	56
E-126	135,0	198,0	144 Eisobjekte	119,7	60
E-126	135,0	198,0	Würfel	140,9	71
E-141	129	199,5	144 Eisobjekte	117,9	59
E-141	129	199,5	Würfel	134,7	68
E-141	159	229,5	144 Eisobjekte	120,8	53
E-141	159	229,5	Würfel	138,8	60

Tabelle 2.7: Maximale Wurfweiten bei Eisabwurf Leerlauf (Windgeschw. 5 m/s).

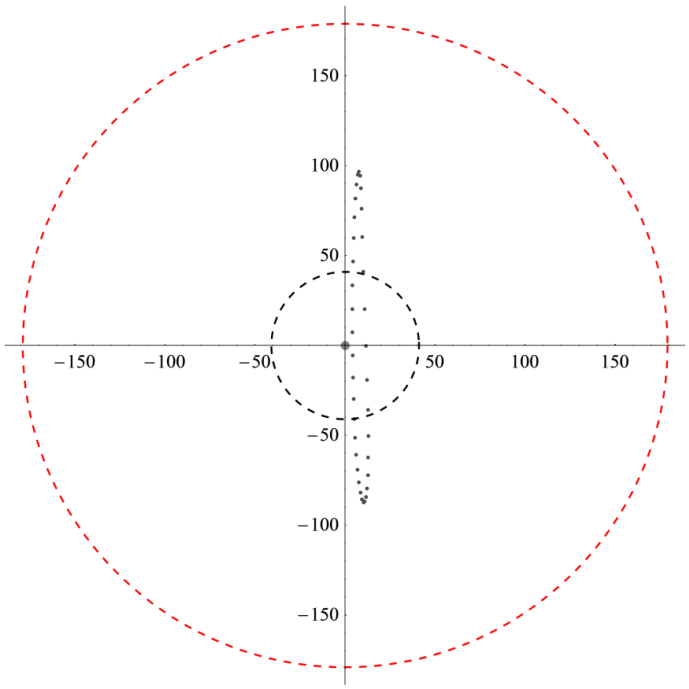


Abbildung 3: Treffer Eisabwurf (Würfel) Leerlauf, Windgeschw. 3m/s. ENERCON E-82, Nabenhöhe 138 m (Rotorradius schwarz gestrichelt, Gesamthöhe rot gestrichelt)

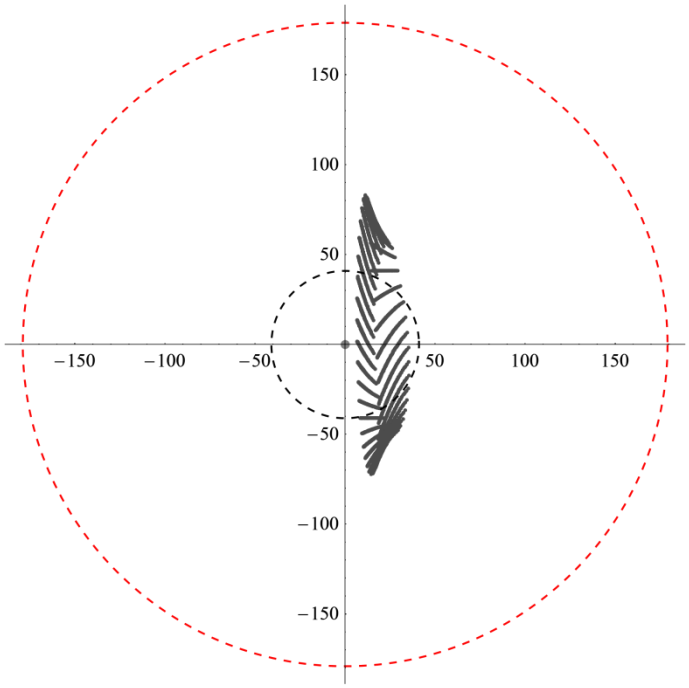


Abbildung 4: Treffer Eisabwurf (144 generierte Eisobjekte) Leerlauf, Windgeschw. 3 m/s. ENERCON E-82, Nabenhöhe 138 m (Rotorradius schwarz gestrichelt, Gesamthöhe rot gestrichelt)

Die Ergebnisse der maximalen Eisabwurfweiten beim Leerlauf für 3 m/s bzw. 5 m/s Windgeschwindigkeit in Tabelle 2.6 und Tabelle 2.7 zeigen, dass der Würfel für alle untersuch-

ten WEA-Konfigurationen die größten Wurfweiten erzielt. Dies liegt u.a. an dem geringeren Luftwiderstand gegenüber flächigen Eisobjekten, er wird auf seiner Flugbahn weniger abgebremst. Die maximalen ermittelten Eisabwurfweiten für den Leerlauf liegen bei ca. 142 % der Gesamthöhe der entsprechenden WEA (siehe Tabelle 2.6 und Tabelle 2.7).

2.2.3 Bewertung und Zusammenfassung der Eisabwurfweite für den Leerlauf

Im Winter können Vereisungen (Eisansatz) an WEA bei Temperaturn um 0°C vorkommen. Eisabfall von Rotorblättern tritt dann nach jeder Vereisungswetterlage (Eisansatz) mit einsetzendem Tauwetter auf. Abgeschaltete WEA unterscheiden sich hierbei nicht wesentlich von anderen hohen Objekten wie Brücken oder Strommasten /31/. Ist kein System zur Eiserkennung und Abschaltung der WEA bei Eisansatz installiert, so werden die gebildeten Eisobjekte im Betrieb abgeworfen (Eisabwurf) und erzielen wesentlich weitere Flugweiten als bei stehender WEA (Eisabfall).

Die Beurteilung der Gefährdung durch Eisabfall (stehende WEA) ist standortspezifisch zu bewerten und unter anderem abhängig von den gefährdeten Schutzobjekten sowie den Windbedingungen am Standort. Zur ersten groben Abschätzung der Eisabfallweite kann die folgende empirische Gleichung nach Seifert /30/ herangezogen werden:

$$Eisabfallweite = Windgeschwindigkeit \cdot \frac{Rotordurchmesser / 2 + Nabenhöhe}{15} \qquad /30/$$

Für die Abschätzung der möglichen maximalen Eisabfallweite bietet sich das 99,9 % Quantil der Windgeschwindigkeitsverteilung am Standort an. Diese Windgeschwindigkeit ist hinreichend konservativ, da sie zu 99,9 % nicht überschritten wird.

Auf Basis unserer derzeitigen Erfahrung mit standortspezifischen Untersuchungen (Risikobeurteilung Eisabfall) zum Eisabfall (>100 Projekte u.a. in Deutschland und Österreich) und den jeweils ermittelten maximalen Gefährdungsbereichen für Eisabfall, ist eine Gefährdung durch Eisabfall innerhalb eines Bereichs von ca. 75 % bis 170 % der Gesamthöhe der geplanten WEA möglich. Der Gefährdungsbereich für den Eisabfall ist standortspezifisch und unter anderem abhängig von den Windbedingungen (z. B. Schwachwind- oder Starkwindstandort) sowie dem geplanten WEA-Typ. Der maximal mögliche Gefährdungsbereich durch Eisabfall ist an Schwachwindstandorten kleiner als an Starkwindstandorten.

Für die untersuchten WEA ergeben sich die folgenden maximalen Eisabwurfweiten in Prozent der Gesamthöhe im Leerlauf zu (Drehzahl siehe Kapitel 2.2.1, Windgeschwindigkeit 3 m/s bzw. 5 m/s, siehe Kapitel 2.2.2, Tabelle 2.6 und Tabelle 2.7):

- E-44 – 142 %
- E-48 – 116 %
- E-53 – 105 %
- E-82 – 71 %
- E-115 – 71 %
- E-126 – 71 %
- E-141 – 68 %

Die maximalen Eisabwurfweiten für die E-44, die E-48 und die E-53 liegen oberhalb des ermittelten minimalen Gefährdungsbereichs für Eisabfall (ca. 75 % der Gesamthöhe, empirisch ermittelt). Für die E-82, die E-115 sowie die E-126 liegen die maximalen Eisabwurfweiten unterhalb des ermittelten minimalen Gefährdungsbereichs für Eisabfall.

Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass eine Gefährdung durch Eisabfall innerhalb des Gefährdungsbereichs (Eisabfall) der WEA im Winter grundsätzlich vorliegen kann, stellt der untersuchte Betrieb des Leerlaufs (Windgeschwindigkeit 3 m/s bzw. 5 m/s) gegenüber dem Eisabfall (nach jedem Eisansatz eintretendes Ereignis) für die WEA-Typen E-44, E-48 sowie E-53 in Abhängigkeit des Standortes (Schwachwind- oder Starkwindstandort) eine mögliche zusätzliche Gefährdung dar.

Für die WEA E-82, E-115, E-126 sowie E-141, welche für die restlichen WEA der ENERCON Produktpallette /20/ als abdeckend angesehen werden können, stellt der untersuchte Betrieb des Leerlaufs (Windgeschwindigkeit 3 m/s bzw. 5 m/s) gegenüber dem Eisabfall (nach jedem Eisansatz eintretendes Ereignis) keine unzulässige zusätzliche Gefährdung dar.

2.2.4 Ergänzende Informationen zum Trudelbetrieb

Neben dem oben betrachteten Leerlauf (Startbetrieb, s. 2.2) gibt es z. Bsp. bei Windmangel, Störungen oder Eisansatzerkennung den sog. Trudelbetrieb bei geringer Drehzahl. Durch die langsame Bewegung (Trudeln) werden die Nabenlager weniger belastet als bei längerem Stillstand und eine Wiederaufnahme der Stromerzeugung bei ausreichendem Wind ist schneller möglich. Die Trudeldrehzahl ist abhängig vom Typ der Windenergieanlage und von der Windgeschwindigkeit.

- kein Wind = Rotor steht still
- schwacher Wind = niedrige Drehzahl bis max. Trudeldrehzahl
- viel Wind = max. Trudeldrehzahl

Der Blattwinkel beträgt im Trudelbetrieb mind. 60° (Fahnenstellung =92°) /16/.

Windenergieanlage	**Max. Trudeldrehzahl**
E-44, E-48, E-53	5,0 U/min
E-70 E4, E-82 E2, E-82 E3, E-82 E4, E-92, E-103 EP2	3,5 U/min
E-101, E-101 E2, E-115, E-115 E2	3,0 U/min
E-112, E-126	2,5 U/min
E-126 EP4, E-141 EP4	2,5 U/min

Tabelle 2.8: Maximale Trudeldrehzahl

Eisabfall von einer abgeschalteten (trudelnden) WEA lässt sich nicht verhindern. Der potentielle Gefährdungsradius kann im Rahmen einer standortspezifischen Risikoanalyse ermittelt werden.

3 Beschreibung des Eiserkennungsalgorithmus

3.1 Programmablauf

3.1.1 Prüfung des Programmablaufs auf Plausibilität

Der Programmablauf wurde auf Basis der Dokumente /4/, /22/ und /23/ geprüft und bewertet. Er ist in sich plausibel und kann durch den Vergleich von Leistungswerten und Blattwinkeln sowohl im Bereich der Nennleistung als auch darunter eine Vereisung erkennen.

Durch die Verwendung von Zählern wird verhindert, dass die Anlage während kurzer Vereisungsperioden, in denen die kritische Eisdicke nicht erreicht wird, sofort abschaltet. Die Anpassung der Leistungskurve an die Anlage vermeidet ein Abschalten bei zu starker Verschmutzung.

Da es bei Aktivierung der Einstellung „Automatischer Neustart während Vereisung“ zu einem Wiederanfahren einer vereisten Turbine und somit zu Eisabwurf kommen kann steht dieser Parameter als Default-Wert auf „aus“. Dadurch wird einen Neustart nur erlaubt, wenn eine Vereisung auf Grund der Vereisungsbedingungen nicht mehr möglich ist. Der Parameter „automatischer Neustart während Vereisung“ kann und darf erst nach schriftlicher Beauftragung durch den Betreiber und nur durch ENERCON-Mitarbeiter durch Eingabe eines persönlichen Servicecodes eingeschaltet werden.

3.1.2 Prüfung von Lücken/Unsicherheiten im Programmablauf

Für den Fall, dass eine Anlage längere Zeit stillsteht (auf Grund längerer Schwachwindperioden oder eines Defekts) und sich während dieser Zeit die Wetterbedingungen ändern, könnte es zu unbemerkten Vereisungen an der Anlage kommen. Dies geschieht von Erfahrungswerten ausgehend jedoch selten. Wenn die Anlage anschließend anfährt würden die Zähler der Eiserkennung mindestens 15 bzw. 30 min benötigen, um die Vereisung festzustellen und die Anlage zu stoppen. Um dem entgegen zu wirken und die Anlage bereits bei niedrigen Blattspitzengeschwindigkeiten zu stoppen wurde von ENERCON eine Funktion integriert, die die Zeit zur Erkennung von Vereisung nach Stillstandszeiten auf 3 min verringert /14/.

3.2 Bewertung des Messprinzips beim ENERCON Eiserkennungsverfahren

Das Messprinzip des Kennlinienverfahrens basiert auf der Änderung der aerodynamischen Eigenschaften der Blattprofile durch Eisansatz, welcher sowohl die Oberflächenrauigkeit als auch die Geometrie des Blattes so verändert, dass es zu einem signifikanten Verlust an aerodynamischer Performance kommt. Theoretisch ist das Kennlinienverfahren in der Lage, bereits eine erhöhte Rauigkeit der Oberfläche durch Raureif zu erkennen. Diese Aussage wird gestützt durch Veröffentlichungen wie /43/, in welcher ein hoher Verlust an Auftrieb bereits bei leichter Vereisung messtechnisch gezeigt wird. Der einzustellende Schwellwert ist deshalb so zu wählen, dass Fehldetektionen und somit unnötige Abschaltungen der WEA vermieden werden.

3.3 Bewertung der Algorithmen beim Kennlinienverfahren

Der Kern des Eiserkennungssystems ist ein im Regler der Anlage implementierter Algorithmus, der gemessene Signale (Leistung, Blattwinkel, …) verarbeitet und das Ergebnis mit einem Schwellwert vergleicht. Eine Überschreitung dieses Schwellwertes führt darauf hin zum Abschalten der Anlage.

Der Schwellwert kann dabei abhängig sein von den Eigenschaften der Anlage oder auch konstant sein und für jede Anlage den gleichen Wert annehmen. Im Fall des ENERCON Eiserkennungssystems liegt dieser Schwellwert für alle Anlagen bei 1.2 m/s Windgeschwindigkeit.

Die detaillierte Beschreibung des Eiserkennungsalgorithmus befindet sich in den Dokumenten /4/, /22/ und /23/.

Es ist zu indizieren, dass eine kritische Eisdicke, wie sie in Kapitel 2.1 ermittelt wurde, durch Überschreitung dieses Schwellwertes erkannt wird. Zu diesem Zweck wurde der Messbericht /1/ eingereicht.

3.3.1 Messbericht Meteotest: „Performance of the ENERCON ice detection system“

Zentrales Dokument zur Bewertung des Eisdetektionsalgorithmus ist der von Meteotest verfasste Bericht zur Vermessung einer ENERCON E-82 unter Vereisungsbedingungen im Februar 2014, /1/. Der Bericht enthält Ergebnisse einer Vermessungsperiode von 18 Tagen (20.1.2014 - 7.2.2014).

Die Bewertung des Eiserkennungssystems basiert auf den folgenden Informationen.

Ergebnisse zum Vereisungszustand der Blätter (genannt „instrumental icing“): Von einer auf der Gondel installierten Kamera wurden in regelmäßigen Zeitabständen Fotos der Blätter aufgenommen, welche dem TÜV NORD vorliegen. Aus diesen Aufnahmen wurde auf den Vereisungszustand geschlossen.

Ergebnisse zur athmosphärischen Vereisung (genannt „meteorological icing“): Diese Ergebnisse zeigen Zeitintervalle an, in denen es aufgrund der externen Bedingungen zu einem Anwachsen der Eisdicke kommen kann.

Ergebnisse des Signals des Eiserkennungssystems.

3.3.2 Beobachtungen und Bewertungen zum Messbericht Meteotest

In diesem Abschnitt werden folgende Punkte bewertet, die sich für die Prüfung als möglicherweise kritisch heraus stellten:

- Trefferquote des Eiserkennungssystems
- Vor-Start-Betrieb der Anlage (nicht leistungserzeugend) und Zeitverzögerung der Eiserkennung nach Zuschalten der Anlage
- Abdeckung verschiedener Betriebsbereiche
- Übereinstimmung der Beobachtungen aus der Messung mit der Spezifikation des Algorithmus.

Der Bericht zeigt, dass das Eisdetektionssystem mit einem Zeitanteil von 95 % Eis an den Rotorblättern erkannt hat.

Aus den Aufzeichnungen ist ferner der Zeitverzug bis zur Eiserkennung nach Übergang in den leistungserzeugenden Betrieb zu erkennen. In diesem Leerlauf-Betrieb dreht sich der Rotor abhängig vom Typ und Windgeschwindigkeit mit entsprechender Drehzahl, so dass das Risiko von Eisabwurf besteht. Laut Bericht /1/ beträgt dieser Zeitverzug bis zu 0.7 Stunden. Der Auswertungsalgorithmus benötigt eine Dauer von zwar nur mindestens 3 Minuten, bevor Eis erkannt wird, jedoch ist anzunehmen, dass die Anlage während eines großen Zeitanteils der bis zu 0.7 Stunden noch keine Leistung erzeugt.

Aufgrund folgender Betrachtungen sind diese Phasen der Nicht-Detektierbarkeit als eher unkritisch einzustufen:

- Die Studie zur Abschätzung der Eisabwurfweite für den Leerlauf (Wind 3m/s, Drehzahl 5U/min) zeigt, dass die Eiswurfweite für diesen Modus geringer ist als die kritische Weite für Eisabfall.
- Üblicherweise steigt die Windgeschwindigkeit nicht derart schnell an, so dass nicht anzunehmen ist, dass Leerlauf der Anlage bei signifikant höheren Windgeschwindigkeiten auftritt.

Der dem TÜV NORD vorliegende Messbericht /1/ indiziert, dass das Eiserkennungssystem im Vollastbetrieb für Windgeschwindigkeiten über 12 m/s funktioniert und damit ebenfalls die Eiserkennung auf Basis des Pitchwinkels. Das gemessene Verhalten des Eiserkennungssystems stimmt mit dem spezifizierten Verhalten überein.

3.3.3 Messung an der Anlage „WEA 2“

Die Ergebnisse zur Messung an einer Anlage ohne RBH zeigen, dass die Anlage während der Vereisungszeit gestoppt ist (siehe Abbildung 5). Die Messung an der Anlage ohne RBH lässt sich aufgrund der ungenauen Daten schlechter für die Bewertung verwenden als die Messung an der Anlage mit RBH.

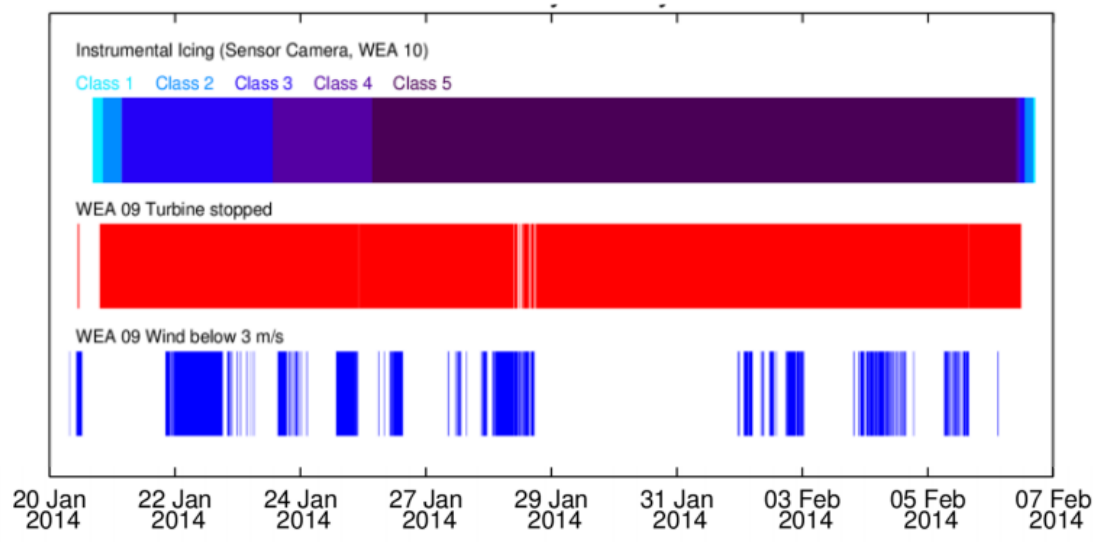


Abbildung 5: Übersicht der aufgezeichneten Signale während der gesamten Messperiode für WEA 09 ohne RBH.

3.4 Grenzen der Bewertungskette

3.4.1 Geschlossenheit der Bewertungskette und Schnittstellen

Für eine geschlossene Bewertungskette ist es notwendig, die kritische Eisdicke und die Einstellung des Eiserkennungssystems in Verbindung mit dem Messbericht zu bringen.

Die in Kapitel 2.1 ermittelte kritische Eisdicke für alle ENERCON Anlagen beträgt einerseits 13 mm. Auf der anderen Seite zeigt der Messbericht, dass für die Vereisungskategorie „light icing“ mit einer Zuverlässigkeit von 95 % Eis erkannt wird.

Ein zentraler Punkt der Bewertungskette ist nun, diese Informationen zu verknüpfen.

Wie Fotoaufnahmen der Blätter zeigen, ist nur eine geringe Eisdicke bei Vereisungskategorie „light icing“ vorhanden. Es wird dabei angenommen, dass die auf dem Foto sichtbare Eisdicke nur wenige Millimeter beträgt und geringer ist als die kritische Eisdicke von 13 mm. Ferner ist eine zentrale Annahme, dass die (subjektive) Klassifizierung der Fotoaufnahmen in „instrumental icing“ Kategorien für alle anderen Zeitpunkten nach den gleichen Maßstäben durchgeführt wurde.

Zusätzlich wurde von ENERCON bestätigt, dass die in den vermessenen Anlagen eingestellten Schwellwerte zu Eiserkennung denen der eingereichten Spezifikation entsprechen.

3.4.2 Repräsentativität der Messung

Die Messung wurde über einen Zeitraum von 10 Tagen durchgeführt und betraf eine Periode mit hoher Vereisung. Zwei Punkte an diesem Vorgehen sind kritisch zu sehen:

- Dauer der Messung: Die Dauer der Messung kann als repräsentativ angesehen werden.

- Vereisungsgrad: Für einen großen Teil der Messperiode lagen schwere Vereisungsbedingungen vor. Die hohe gemessene Zuverlässigkeit der Eiserkennung zeigt einerseits, dass schwere und damit auch Vereisungsbedingungen, die Schäden verursachen können, relativ zuverlässig erkannt werden. Auf der anderen Seite erreicht der Vereisungsgrad in dieser Periode selten eine so geringe Dicke, dass die Funktionsfähigkeit bei kritischer Vereisung indiziert werden kann. Wie Abbildung 5 zeigt, ist der Vereisungsgrad „light instrumental icing“ nur zu Beginn der Messperiode vorzufinden. Es wird allerdings angenommen, dass auch bei Wiederholung der Vereisungsbedingungen die Funktionsfähigkeit gewährleistet ist.

Ferner ist anzumerken, dass die Fotoaufnahmen der vereisten Blätter, welche dem TÜV NORD vorliegen, eine Vereisung der Blätter im Bereich der Hinterkante zeigen. Wie der Bericht /43/ anhand von Windkanalversuchen indiziert, führt eine Vereisung an der Blattvorderkante zu einer stärkeren Änderung der aerodynamischen Beiwerte als eine Vereisung in der Nähe der Hinterkante. Die in der Messung vorliegende Vereisung scheint somit schwerer detektierbar als eine Vereisung der Profilvorderkante.

3.4.3 Unsicherheiten der Messung

Die Unsicherheiten der Messung können als gering eingestuft werden, da die Leistung sehr präzise gemessen werden kann und die Messung der Windgeschwindigkeit ebenfalls bei vorliegenden Längen der Mittelwertbildung präzise ist.

3.4.4 Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Anlagen

Darüber hinaus ist die Übertragbarkeit der Ergebnisse aus der Messung, die lediglich an der E-82 durchgeführt wurden, auf andere Anlagen von ENERCON zu bewerten.

Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass auch bei höheren Rotordurchmessern bereits eine leichte Vereisung der Blätter zu einem derart hohen Verlust an erzeugter Leistung führen, dass auch hier die Detektierbarkeit gegeben ist. Auch wenn die Möglichkeit besteht, dass bei weiteren Anlagen von ENERCON bei leichter Vereisung einen etwas geringere Differenz der Leistung auftritt, scheint hier in Bezug auf die kritische Eisdicke ausreichend Reserve vorhanden zu sein.

4 Zusammenfassung und Ergebnis der Bewertung

Die kritische Eisdicke und damit einhergehend die kritische Detektionszeit für verschiedene ENERCON Anlagen wurde ermittelt. Die dünnste ermittelte kritische Eisdicke stellt sich bei der ENERCON E-44 (Nabenhöhe 45 m) zu 1,3 cm ein (siehe 2.1.2). Diese Eisdicke wurde für die weitere Bewertung als Maßstab herangezogen.

Sowohl die Prüfung des Algorithmus als auch die Analyse der Messergebnisse deuten darauf hin, dass der von ENERCON implementierte Eisdetektionsalgorithmus mit hinreichend hoher Zuverlässigkeit eine kritische Vereisung der Blätter erkennen kann.

Eine wichtige Voraussetzung für diese Aussage ist, dass die kritische Eisdicke größer ist als die in der Messung vorliegende Eisdicke für „light icing“. Diese Aussage kann lediglich über eine Bewertung der Fotoaufnahmen erfolgen. Obwohl der in den dem TÜV NORD vorliegenden Abbildungen erkennbare Vereisungsgrad eine geringere Eisdicke indiziert, als die kritische Eisdicke, liegt in diesem Schritt der Bewertungskette eine gewisse Unsicherheit. Das Kennlinienverfahren wird jedoch von ENERCON bereits seit 2003 in über 17000 Windenergieanlagen erfolgreich eingesetzt. Daher kann von einer hohen Betriebsbewährung ausgegangen werden /13/.

Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass eine Gefährdung durch Eisabfall innerhalb des Gefährdungsbereichs für Eisabfall von der WEA im Winter grundsätzlich vorliegen kann, stellt der untersuchte Betrieb des Leerlaufs (Windgeschwindigkeit 3m/s bzw. 5m/s) gegenüber dem Eisabfall (nach jedem Eisansatz eintretendes Ereignis) für die WEA-Typen E-44, E-48 sowie E-53 in Abhängigkeit des Standortes (Schwachwind- oder Starkwindstandort) eine mögliche zusätzliche Gefährdung dar.

Für die WEA E-82, E-115, E-126, sowie E-141 welche für die restlichen WEA der ENERCON Produktpalette (s. Kap. 1.3) als abdeckend angesehen werden können, stellt der untersuchte Betrieb des Leerlaufs (Windgeschwindigkeit 3m/s bzw. 5m/s) gegenüber dem Eisabfall (nach jedem Eisansatz eintretendes Ereignis) keine unzulässige zusätzliche Gefährdung dar.

Der Eiserkennungsalgorithmus ist plausibel und stellt durch die doppelte Kontrolle über Leistungs- und Blattwinkelkennlinie eine sinnvolle Methode der Eiserkennung dar.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass der von ENERCON verwendete Eiserkennungsalgorithmus in Bezug auf die Eisansatzerkennung dem Stand der Technik entspricht und viele Indizien dafür sprechen, dass mit vorliegenden Einstellungen bzw. mit vorliegenden Parametern eine Eisdicke erkannt wird, die geringer ist als die kritische.

5 Dokumente und Literaturverzeichnis

5.1 Geprüfte Dokumente

/1/ Meteotest, Bericht zur Funktionsfähigkeit des Eiserkennungssystems für ENERCON
“Performance of the ENERCON ice detection system”
Dok.-Name: 140610_report_ice_detection.pdf, Rev. 0.1,
Datum: 06.06.2014

/2/ ENERCON, Mitteilung
“Antworten zum Status Report ENERCON ice detection TÜV-NORD Sys Tec GmbH & Co. KG vom 22.7.2014”
Dok.-Name: D0342023-0.pdf, Rev. 0,
Datum: 05.08.2014

/3/ T. Wallenius (VTT Technical Research Center of Finland) and further authors:
“The relationship between chord length and rime icing on wind turbines”

/4/ ENERCON
Technische Beschreibung, ENERCON Eiserkennung Programmablauf
Dok.-Name: ENERCON Eiserkennung – Flussdiagramm.pdf
Dok. Nr.: D0337087-2
Datum: 06.08.2014

/5/ ENERCON
Technische Beschreibung ENERCON Eiserkennung Sensorik
Dok.-Name: D0332210-0 Flussdiagram.pdf
Datum: 27.06.2014

/6/ ENERCON
Statusbeschreibung, 14 Eisansatzerkennung, 11 Rotor (Leistungsmessung)
Dok.-Name: 014_0011_Status_CS48_CS82_CS101_CS126.pdf, Revision: 004
Datum: 26.06.2012

/7/ ENERCON
Statusbeschreibung, 14 Eisansatzerkennung, 12 Anemometer (Leistungsmessung)
Dok.-Name: 014_0012_Status_CS48_CS82.pdf, Revision: 004
Datum: 26.06.2012

/8/ ENERCON
Statusbeschreibung, 14 Eisansatzerkennung, 13 Rotor (Blattwinkelmessung)
Dok.-Name: 014_0013_Status_CS48_CS82_CS101_CS126.pdf, Revision: 004
Datum: 26.06.2012

/9/ ENERCON
Statusbeschreibung, 14 Eisansatzerkennung, 14 Anemometer (Blattwinkelmessung)
Dok.-Name: 014_0014_Status_CS48_CS82.pdf, Revision: 003
Datum: 26.06.2012

/10/ ENERCON
Funktionsbeschreibung Eisansatzsimulation
Dok.-Name: Eisansatzsimulation_Funktionsbeschreibung_V1 2.pdf,
Revision: 002
Datum: 24.02.2014

/11/ ENERCON: Mitteilung
„Antworten zum Status Report ENERCON ice detection TÜV-NORD Sys Tec GmbH & Co. KG vom 22.07.2014“,

Datum: 05.08.2014

/12/ ENERCON: email
Harald Wegmann, „AW: Anmerkungen zur ENERCON Eiserkennung“
Datum: 09.09.2014

/13/ ENERCON: Erklärung
S. Janssen, H. Wegmann, Vermeidung von eiswurfbedingten Personenschäden durch das ENERCON Kennlinienverfahren
Dok. Nr.: D0353125-0
Datum: 14.10.2014

/14/ ENERCON
Technische Beschreibung ENERCON Windenergieanlagen Eisansatzerkennung
Dok. Nr.: D0154407-8
Datum: 10.01.2020

/15/ ENERCON
Betriebsanleitung ENERCON Windenergieanlage E-141 EP4 / 4200kW
Dok. Nr.: D0496591-0
Datum: 30.06.2016

/16/ ENERCON
Technische Beschreibung, Anhalten der Windenergieanlage
Dok. Nr.: D0630561-0
Datum: 25.10.2017

/17/ ENERCON
Technische Beschreibung, Übersicht Eisansatzerkennungssysteme
Dok. Nr.: D0666949-2
Datum: 24.10.2019

/18/ VTT Technical Research Centre of Finland Ltd
Customer Report, Pre-Certification of Labkotec LID-3300IP ice detector for wind energy applications
Dok. Nr.: VTT-CR-03658-16
Datum: 14.12.2016

/19/ ENERCON GmbH. ENERCON Produktübersicht, Stand September 2016. Übermittelt durch die ENERCON GmbH mit Email vom 02.03.2017.

/20/ ENERCON GmbH. ENERCON Produktübersicht inkl. Drehzahlen zum Leerlaufbetrieb für die WEA E-44, E-48 sowie E-53. Übermittelt durch die ENERCON GmbH mit Email vom 15.09.2014.

/21/ ENERCON GmbH. Übersicht „Zertifikate für Control and Safety Systeme ENERCON WEAs“, D0342021-0. Übermittelt durch die ENERCON GmbH mit Email vom 08.08.2014.

/22/ ENERCON GmbH
Portierung ENERCON Kennlinienverfahren PI-CS und EP5-CS-03
Dok. Nr.: D02532142/0.0-de

/23/ ENERCON GmbH
Validierung ENERCON Eiskennlinienverfahren
Dok. Nr.: D02549197/0.0

5.2 Literatur

5.2.1 Literatur zu Kapitel 2.1 und 2.2

/24/ IEC 61400-1. Wind turbines – Part 1:Design requirements. Third Edition. 2005.

/25/ Morgan, C. et al. Wind Turbine Icing and Public Safety - A Quantifiable Risk? Wind Energy Production in Cold Climates. Bristol. 1996.

/26/ Cattin, R. et al. WIND TURBINE ICE THROW STUDIES IN THE SWISS ALPS. European Wind Energy Conference, Milan, Italy. 2007.

/27/ Lautenschlager, F. Studie zum Einfluss der Windgeschwindigkeit auf das Ereignis Eisabwurf bei Windenergieanlagen. Bachelorarbeit im Studiengang Umwelttechnik. 2012.

/28/ Germanischer Lloyd. Vorschriften und Richtlinien. IV Industriedienste. Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen. Ausgabe 2010.

/29/ Seifert, H. Betrieb von Windenergieanlagen unter Vereisungsbedingungen. St. Pölten. 1999.

/30/ Seifert, H. et al. Risk analysis of ice throw from wind turbines, BOREAS VI. Pyhä, Finland. 2003.

/31/ Seifert, H. Technische Ausrüstung von Windenergieanlagen an extremen Standorten. St. Poelten. 2002.

/32/ Seifert, H. Technical requirements for rotor blades operating in cold climate. Wilhemlshaven. 2003

/33/ Makkonen, L. et. al. Modelling and prevention of ice accretion on wind turbines. Wind Engineering Volume 25, No. 1. 2001.

/34/ Wallenius, T. et. al. The relationship between chord length and rime icing on wind turbines. Winterwind. 2008.

/35/ Lehtomäki, V. et. al. IcedBlades - Modelling of ice accretion on rotor blades in a coupled wind turbine tool. Winterwind. 2012.

/36/ Hudecz, A. et. al. Experimental investigation of ice accretion on wind turbine blades. Winterwind. 2013.

/37/ Cattin, R. Alpine Test Site Guetsch, Handbuch und Fachtagung. Genossenschaft METEOTEST. Bern. 2008.

/38/ Hauschild, J. et al. Monte-Carlo-Simulation zur probabilistischen Bewertung der Gefährdung durch Eisabwurf bei Windenergieanlagen. Düsseldorf: VDI-Verlag, VDI-Bericht 2146. 2011.

/39/ Hauschild, J. et al. Ermittlung von Trefferwahrscheinlichkeiten in der Umgebung einer Windenergieanlage: Eisabfall, Rotorblattbruch und Turmversagen. Düsseldorf: VDI-Verlag, VDI-Bericht 2210. 2013.

/40/ Green Book. Methods for the determination of possible damage – first edition. Voorburg 1989.

/41/ Deutscher Wetterdienst. Online Wetterlexikon, Stand: September 2014. Offenbach. 2014.

/42/ Karl-Heinrich Grote, Jörg Feldhusen (Hrsg.): DUBBEL – Taschenbuch für den Maschinenbau. 22. Auflage. Springer, Berlin/Heidelberg 2011

/43/ NASA: Ice Accretions and Icing Effects for Modern Airfoils, April 2000

/44/ DIBt. Muster-Liste der Technischen Baubestimmungen – Fassung September 2013

Technische Beschreibung

Blitzschutz

ENERCON Windenergieanlagen

ENERCON
ENERGIE FÜR DIE WELT

Freigabe: 13-Feb-2023 12:36

Herausgeber

ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Deutschland
Telefon: +49 4941 927-0 ▪ Telefax: +49 4941 927-109
E-Mail: info@enercon.de ▪ Internet: http://www.enercon.de
Geschäftsführer: Dr. Jürgen Zeschky, Dr. Martin Prillmann, Dr. Michael Jaxy
Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 411
Ust.Id.-Nr.: DE 181 977 360

Urheberrechtshinweis

Die Inhalte dieses Dokuments sind urheberrechtlich sowie hinsichtlich der sonstigen geistigen Eigentumsrechte durch nationale und internationale Gesetze und Verträge geschützt. Die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments liegen bei der ENERCON GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.

Die ENERCON GmbH räumt dem Verwender das Recht ein, zu Informationszwecken für den eigenen, rein unternehmensinternen Gebrauch Kopien und Abschriften dieses Dokuments zu erstellen; weitergehende Nutzungsrechte werden dem Verwender durch die Bereitstellung dieses Dokuments nicht eingeräumt. Jegliche sonstige Vervielfältigung, Veränderung, Verbreitung, Veröffentlichung, Weitergabe, Überlassung an Dritte und/oder Verwertung der Inhalte dieses Dokuments ist – auch auszugsweise – ohne vorherige, ausdrückliche und schriftliche Zustimmung der ENERCON GmbH untersagt, sofern und soweit nicht zwingende gesetzliche Vorschriften ein Solches gestatten.

Dem Verwender ist es untersagt, für das in diesem Dokument wiedergegebene Know-how oder Teile davon gewerbliche Schutzrechte gleich welcher Art anzumelden.

Sofern und soweit die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments nicht bei der ENERCON GmbH liegen, hat der Verwender die Nutzungsbestimmungen des jeweiligen Rechteinhabers zu beachten.

Geschützte Marken

Alle in diesem Dokument ggf. genannten Marken- und Warenzeichen sind geistiges Eigentum der jeweiligen eingetragenen Inhaber; die Bestimmungen des anwendbaren Kennzeichen- und Markenrechts gelten uneingeschränkt.

Änderungsvorbehalt

Die ENERCON GmbH behält sich vor, dieses Dokument und den darin beschriebenen Gegenstand jederzeit ohne Vorankündigung zu ändern, insbesondere zu verbessern und zu erweitern, sofern und soweit vertragliche Vereinbarungen oder gesetzliche Vorgaben dem nicht entgegenstehen.

Dokumentinformation

Dokument-ID	D0260891/16.2-de
Vermerk	Originaldokument

Datum	**Sprache**	**DCC**	**Werk / Abteilung**
2023-02-01	de	DB	WRD Wobben Research and Development GmbH / Technische Redaktion

Freigabe: 13-Feb-2023 12:36

Mitgeltende Dokumente

Der aufgeführte Dokumenttitel ist der Titel des Sprachoriginals, ggf. ergänzt um eine Übersetzung dieses Titels in Klammern. Die Titel von übergeordneten Normen und Richtlinien werden im Sprachoriginal oder in der englischen Übersetzung angegeben. Die Dokument-ID bezeichnet stets das Sprachoriginal. Enthält die Dokument-ID keinen Revisionsstand, gilt der jeweils neueste Revisionsstand des Dokuments. Diese Liste enthält ggf. Dokumente zu optionalen Komponenten.

Dokument-ID	Dokument
DIN EN 50308*VDE 0127-100	Windenergieanlagen - Schutzmaßnahmen - Anforderungen für Konstruktion, Betrieb und Wartung; Deutsche Fassung EN 50308
DIN EN 50522*VDE 0101-2	Erdung von Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV; Deutsche Fassung EN 50522
DIN EN 61400-24*VDE 0127-24	Windenergieanlagen - Teil 24: Blitzschutz (IEC 61400-24); Deutsche Fassung EN 61400-24
DIN EN 62305-1*VDE 0185-305-1	Blitzschutz - Teil 1: Allgemeine Grundsätze (IEC 62305-1); Deutsche Fassung EN 62305-1
DIN EN 62305-2*VDE 0185-305-2	Blitzschutz - Teil 2: Risiko-Management (IEC 62305-2); Deutsche Fassung EN 62305-2
DIN EN 62305-3*VDE 0185-305-3	Blitzschutz - Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen (IEC 62305-3); Deutsche Fassung EN 62305-3
DIN EN 62305-4*VDE 0185-305-4	Blitzschutz - Teil 4: Elektrische und elektronische Systeme in baulichen Anlagen (IEC 62305-4); Deutsche Fassung EN 62305-4
DIN EN 62561-1*VDE 0185-561-1	Blitzschutzsystembauteile (LPSC) - Teil 1: Anforderungen an Verbindungsbauteile (IEC 62561-1); Deutsche Fassung EN 62561-1
DIN EN 62561-2*VDE 0185-561-2	Blitzschutzsystembauteile (LPSC) - Teil 2: Anforderungen an Leiter und Erder (IEC 62561-2); Deutsche Fassung EN 62561-2
DIN IEC 60364-5-54*VDE 0100-540	Errichtung von Niederspannungsanlagen Teil 5-54: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel - Erdungsanlagen, Schutzleiter und Schutzpotentialausgleichsleiter (IEC 64/2370); Deutsche Fassung EN 60364-5-54

Freigabe: 13-Feb-2023 12:36

Inhaltsverzeichnis

1 Allgemeines 6

2 Äußerer Blitzschutz 8

2.1 Fangeinrichtungen 8

2.1.1 Maschinenhaus 8

2.1.2 Rotorblatt 8

2.2 Ableitungen 9

2.2.1 Blattanschluss – Rotor 9

2.2.2 Rotor – Maschinenträger 9

2.2.3 Maschinenträger – Turm 10

2.2.4 Turm 10

2.2.5 Turm – Fundament 10

2.3 Erdungsanlage 11

3 Innerer Blitzschutz 12

4 Übersicht der Blitzschutzkomponenten der Windenergieanlagen 14

5 Zugrundeliegende Normen 16

Freigabe: 13-Feb-2023 12:36

Abkürzungsverzeichnis

CFK	Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
GFK	Glasfaserverstärkter Kunststoff
LPL	Lightning protection level (Blitzschutzklasse)
LPZ	Lightning protection zone (Blitzschutzzone)

Freigabe: 13-Feb-2023 12:36

1 Allgemeines

Blitzschläge können Teile von Gebäuden in Brand setzen und zerstören. Zudem können die hohen Blitzströme direkt durch leitende Verbindungen oder indirekt durch induktive, kapazitive oder galvanische Kopplung ins Gebäudeinnere übertragen werden und dort zu weiteren Beschädigungen führen. Windenergieanlagen sind aufgrund ihrer exponierten Lage besonders gefährdet.

Um mögliche Schäden durch Blitzschläge zu vermeiden und einen sicheren Anlagenbetrieb zu gewährleisten, werden Windenergieanlagen mit einem Blitzschutz ausgestattet. Ein Blitzstrom wird dabei kontrolliert von den Fangeinrichtungen über die Ableitungen zur Erdungsanlage geführt.

Äußerer Blitzschutz

Zum äußeren Blitzschutz gehören alle Maßnahmen, die zur Verhinderung von Beschädigungen der Windenergieanlagen durch Blitzschläge getroffen werden. Fangeinrichtungen an den Rotorblättern, Ableitungen, die Erdungsanlage und anlagenspezifische Metallteile sind Bestandteile des äußeren Blitzschutzes. Der äußere Blitzschutz reduziert zudem die durch Blitzströme erzeugten Störfelder im Inneren der Windenergieanlagen.

Innerer Blitzschutz

Zum Schutz der elektrischen und elektronischen Einrichtungen werden weitere Maßnahmen ergriffen, die als innerer Blitzschutz bezeichnet werden. Hierzu zählen ein Potentialausgleichssystem sowie Überspannungsableiter.

Blitzschutzklasse – Lightning protection level

Das LPL wird von IV (niedrig) bis I (hoch) eingestuft. Alle Windenergieanlagen sind dafür ausgelegt, die Anforderungen an das LPL I zu erfüllen, ggf. sind Anpassungen an der Erdungsanlage erforderlich. Dies ist von der Leitfähigkeit des Erdreichs am Standort abhängig und wird als Teil der Baugrunduntersuchung projektspezifisch geprüft.

Freigabe: 13-Feb-2023 12:36

Blitzschutzzonen

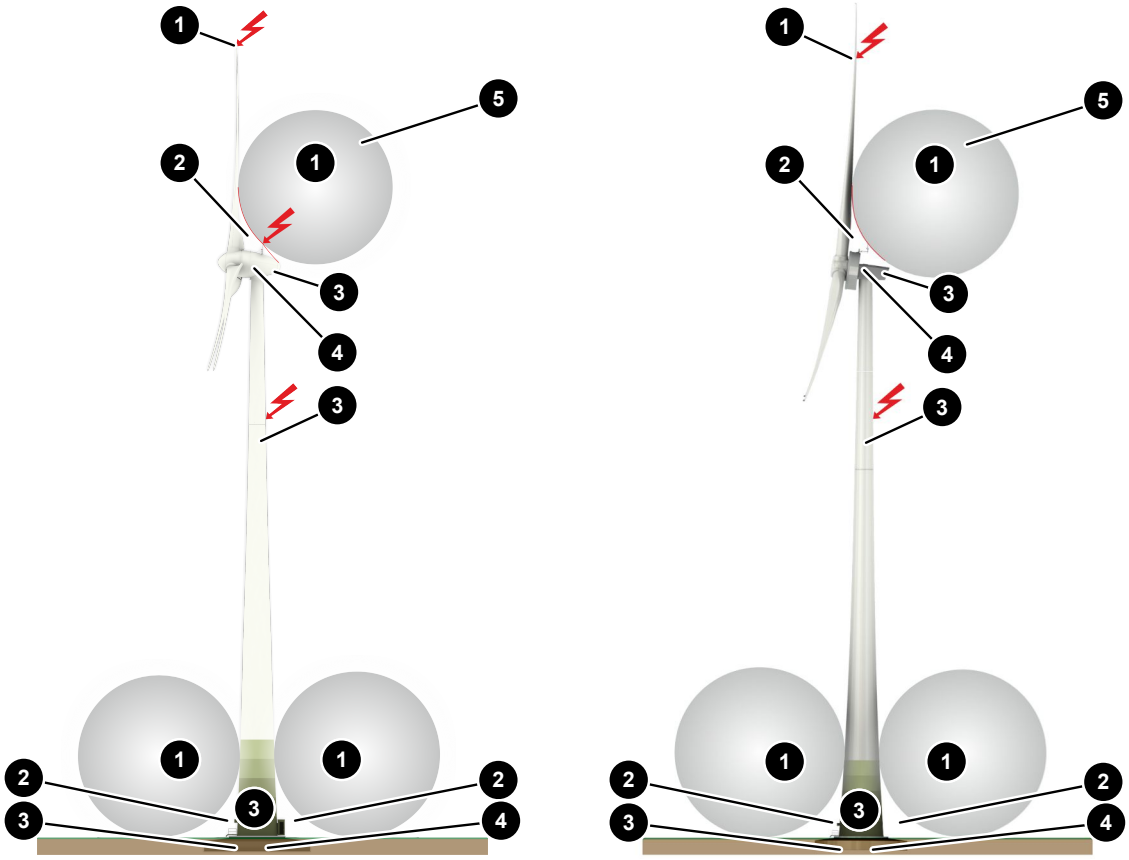


Abb. 1: Blitzschutzzonen, Gondel in Tropfenform (links) und Gondel in Kompaktform/E-Gondel (rechts), Beispiel

1	LPZ 0_A	2	LPZ 0_B
3	LPZ 1	4	LPZ 2
5	Blitzkugel (Radius 20 m)		

Freigabe: 13-Feb-2023 12:36

2 Äußerer Blitzschutz

2.1 Fangeinrichtungen

2.1.1 Maschinenhaus

Am Maschinenhaus befinden sich, in Abhängigkeit von der Größe des Maschinenhauses, mehrere Fangstangen aus Rundstahl. Die Fangstangen fangen den Blitz. Die Positionierung findet entsprechend des Blitzkugelverfahrens mit dem Radius der Blitzschutzklasse I statt. Hierdurch werden die restliche Struktur sowie die Komponenten im Außenbereich (z. B. Anemometer) vor unkontrollierten Blitzschlägen geschützt. Je nach Überspannungs- und EMV-Konzept der Windenergieanlage ist das Maschinenhaus mit einem innenliegenden faradayschen Käfig ausgestattet.

2.1.2 Rotorblatt

In den Rotorblättern ist ein Blitzschutz integriert, der den Blitzstrom von der Einschlagstelle an den Fangeinrichtungen über den Ableitpfad zur Erdungsanlage führt. Der Blitzschutz besteht, je nach Rotorblatt, aus den folgenden Elementen:

- Blattspitze aus leitfähigem Material oder Rezeptoren im Bereich der Blattspitze
- Blitzableiter (Kupfer oder Aluminium)
- ggf. zusätzliche Rezeptoren
- ggf. Ableitring an der Blattwurzel
- Oberflächenblitzschutz (z. B. Streckmetall) bei Rotorblättern aus CFK

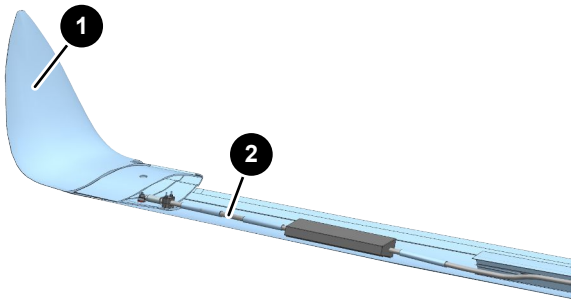


Abb. 2: Blattspitze mit Blitzableiter

1	Blattspitze	2	Blitzableiter

Je nach Aufbau des Rotorblatts besteht die Blattspitze aus leifähigem Material oder es sind Rezeptoren in der Blattspitze verbaut. Die Fangeinrichtungen sind durch einen Blitzableiter mit dem Blattflansch verbunden.

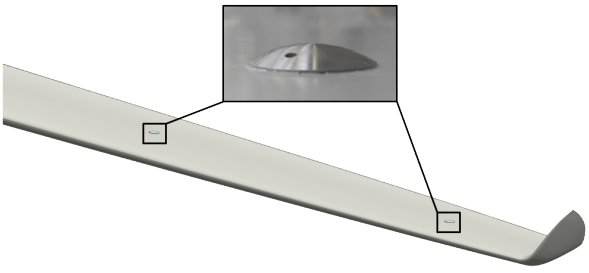


Abb. 3: Rotorblatt mit Rezeptoren auf der Druck- und Saugseite, Beispiel

Freigabe: 13-Feb-2023 12:36

Je nach Länge und Aufbau des Rotorblatts sind ggf. zusätzlich Rezeptoren auf der Druck- und Saugseite angeordnet. Die Rezeptoren sind an den Ableitpfad angeschlossen.

Rezeptoren sind definierte Solleinschlagsstellen, welche blitzstromtragfähig dimensioniert sind.

Bei Rotorblättern aus CFK ist auf der Druck- und Saugseite ein Oberflächenblitzschutz (z. B. Streckmetall) verbaut. Der Oberflächenblitzschutz überragt die CFK-Bauteile um mindestens 5 cm. Der Oberflächenblitzschutz schützt die darunterliegenden Komponenten zusätzlich vor einem Blitzeinschlag und ist Bestandteil des Ableitpfads.

Weitere leitfähige Bauteile im Rotorblatt werden bei Bedarf über Potentialausgleichsverbindungen mit dem Blitzschutz verbunden.

Durchgangsmessung des Blitzschutzes der Rotorblätter nach IEC 61400-24

Der Blitzschutz der Rotorblätter der ENERCON Windenergieanlagen wird nach der IEC 61400-24 ausgelegt und zertifiziert. Die IEC 61400-24 basiert auf der IEC 62305-Reihe. Die IEC 61400-24 empfiehlt, dass die Durchgängigkeit der Ableitung in Rotorblättern durch die Konstruktion sichergestellt sein muss und bei der Fertigung geprüft werden soll.

Um den Inspektionsaufwand der ENERCON Rotorblätter gering zu halten, werden im Rahmen des Zertifizierungsprozesses die mechanische und elektrische Stabilität des Blitzschutzsystems der Rotorblätter nachgewiesen, sodass auf Durchgangsmessungen an den Rotorblättern über die Betriebszeit verzichtet werden kann. Am Ende des Herstellungsprozesses eines jeden Rotorblatts erfolgt eine Durchgangsmessung. Hierdurch wird sichergestellt, dass das Blitzschutzsystem in einem einwandfreien Zustand ist und die im Rahmen des Zertifizierungsprozesses nachgewiesene Haltbarkeit über die Lebensdauer gewährleistet werden kann.

2.2 Ableitungen

2.2.1 Blattanschluss – Rotor

Die Ableitung des Blitzstroms vom Blattanschluss zum Rotor wird mit Rollenblitzabnehmern oder Schleifkontakten realisiert. Die im Rotor installierten Rollenblitzabnehmer oder Schleifkontakte werden durch eine Federwirkung auf einen am Blattanschluss angebrachten Ableitring gedrückt.

Rollenblitzabnehmer werden bei Windenergieanlagen mit Spinnerverkleidung verbaut. Bei Windenergieanlagen ohne Spinnerverkleidung werden Schleifkontakte eingesetzt.

Bei Rotorblättern ohne Ableitring wird der Blitzstrom über den im Rotorblatt installierten Blitzableiter direkt auf den Blattflansch geführt.

2.2.2 Rotor – Maschinenträger

Bei allen Windenergieanlagen führen symmetrisch angeordnete Funkenstrecken den Blitzstrom unabhängig von dem momentanen Rotorblattwinkel und der Stellung des Rotors zur tragenden Struktur.

Bei Maschinenhausverkleidungen aus Aluminium führen die Funkenstrecken den Blitzstrom vom Spinner auf die Verkleidung. Von dort aus wird der Blitzstrom in den Maschinenträger abgeleitet.

Bei Verkleidungen aus GFK führen die Funkenstrecken den Blitzstrom auf den Stator und dann zum Maschinenträger.

Freigabe: 13-Feb-2023 12:36

2.2.3 Maschinenträger – Turm

Die Verbindung zwischen Maschinenträger und Turm wird durch das großflächige Azimutlager sichergestellt. Je nach Windenergieanlage sind zusätzlich Schleifkontakte installiert.

2.2.4 Turm

Stahlturm

Der Stahlturm selbst ist leitfähig, so dass ein Blitzstrom über diesen abgeleitet wird. 2 am Turm angeschweißte Laschen dienen dem Anschließen der Anschlussfahnen des Fundamenterders. Wenn das unterste Segment aus mehreren Teilen besteht, werden diese jeweils mit einem zusätzlichen, inneren Erdungsring verbunden, an welchem die 2 Anschlussfahnen des Fundamenterders angeschlossen werden.

Hybridturm

Der Hybridturm besteht aus Betonsegmenten, die im oberen Turmbereich um Stahlsegmente ergänzt werden. Die Ableitung wird durch die Verbindungslaschen des Fundaments aufwärts bis zu den Stahlturmsegmenten realisiert. Der Übergang zu den Stahlturmsegmenten erfolgt über 4 Leitungen, jeweils um 90° versetzt, mit mind. 50 mm^2 Querschnitt.

Jedes Betonsegment verfügt über 4 vertikal geführte Bandstähle, welche mit der inneren Bewehrung verbunden sind. Die Enden des Bandstahls sind mit Gewindehülsen versehen. Die Gewindehülsen werden mit den Verbindungslaschen des nächsten Segments verbunden. Hierdurch wird der Spalt zwischen den Segmenten überbrückt. Abschließend dienen 4 Gewindehülsen, jeweils um 90° versetzt, als Erdungsfestpunkte zum Anschluss des Fundamenterders.

2.2.5 Turm – Fundament

Der Anschluss des Turms an das Fundament erfolgt über Laschen und Anschlussfahnen. Die an den Turm angeschweißten Laschen werden mit den Anschlussfahnen der Erdungsanlage verbunden. Die Erdungsanlage ist mit der Bewehrung des Fundaments verbunden. Somit wird eine großflächige Potentialsteuerung erreicht.

Je nach Turm wird die Erdungsanlage um einen im untersten Bereich des Turms liegenden Erdungsring erweitert. Der Erdungsring dient der Anbindung der elektrischen Einbauten innerhalb des Turms an die Erdungsanlage.

Freigabe: 13-Feb-2023 12:36

2.3 Erdungsanlage

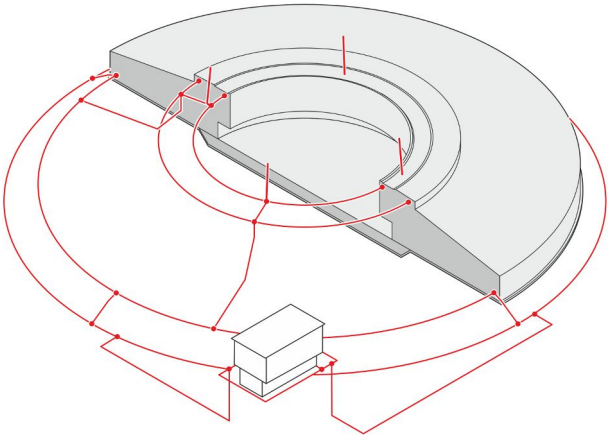


Abb. 4: Erdungsanlage, Beispiel

Erdungsanlagen schützen Lebewesen und Sachwerte vor Gefahren, die durch Kurz- bzw. Erdschlüsse und transiente Vorgänge, wie Blitzschläge und Schalthandlungen, entstehen können. Sie stellen eine effektive Wirkung der (Fehlerstrom-)Schutzeinrichtungen und eine Bereitstellung eines Referenzpotenzials für elektrische Komponenten sicher. Bei einem Blitzschlag entsteht im stromdurchflossenen Bodenbereich ein Potentialanstieg in Richtung Windenergieanlage. Die Höhe der Berührungs- und Schrittspannung ist u. a. abhängig vom Erdungswiderstand des Fundamenterders und der äußeren Erdungsanlage.

Um alle Anforderungen an das LPL I zu erfüllen und die Einhaltung von Schritt- und Berührungsspannungen im Fehlerfall sicherstellen zu können, müssen in Abhängigkeit des spezifischen Erdwiderstands am Standort ggf. erdungsverbessernde Maßnahmen realisiert werden. Der spezifische Erdwiderstand muss gemäß normativer Anforderung im Rahmen der Baugrunduntersuchung messtechnisch erfasst werden.

Die Erdungsanlage im Fundament besteht aus mehreren, radial installierten Erdungsleitern. Um eine gezielte Potentialsteuerung zu erzielen, sind die Erdungsleiter gestaffelt mit der Bewehrung verbunden. Der außerhalb des Fundaments liegende Ringerder integriert die Erdungsanlage der Windenergieanlage in das umgebende Potential.

Nach Errichtung der Erdungsanlage wird abschließend der erreichte Erdungswiderstand gemessen und mit den ermittelten Grenzwerten verglichen. Bei Nichteinhaltung können erdungsverbessernde Maßnahmen wie z. B. zusätzliche Tiefenerder oder Ersatzmaßnahmen wie z. B. eine Standortisolierung erforderlich sein, um die Sicherheit für Lebewesen im Umfeld der Windenergieanlage sicherzustellen.

Je nach vereinbartem Lieferumfang werden die erforderlichen Maßnahmen vom Kunden oder von ENERCON durchgeführt. Die Regelung ist vertraglich festzuhalten.

Freigabe: 13-Feb-2023 12:36

3 Innerer Blitzschutz

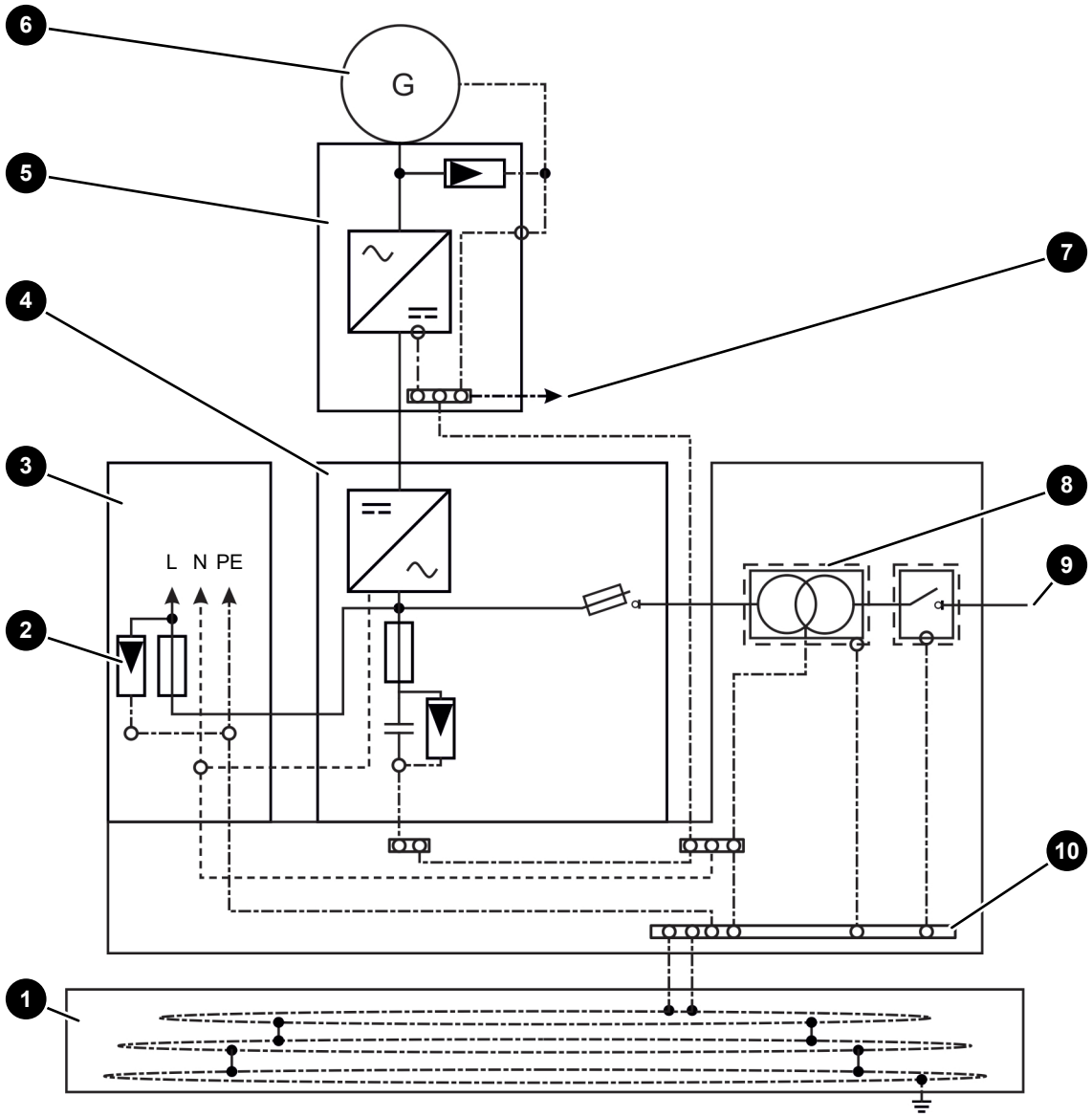


Abb. 5: Schematischer Aufbau des Potentialausgleichssystems und der Überspannungsableiter

1	Erdungsanlage	2	Überspannungsableiter
3	Steuerschrank	4	Leistungsschrank
5	Maschinenträger	6	Generator
7	Schleifringübertrager	8	Transformator
9	Mittelspannungsschaltanlage	10	Potentialausgleichsschiene

Potentialausgleichssystem

Das Potentialausgleichssystem verbindet alle leitfähigen Hauptkomponenten wie z. B. die Rotornabe, die Gondel, den Turm und die Schaltschränke mit dem Hauptpotentialausgleich. Der Zusammenschluss des Niederspannungs- und Hochspannungspotentialausgleichs verhindert Potentialdifferenzen.

Freigabe: 13-Feb-2023 12:36

Überspannungsableiter

Überspannungsableiter schützen elektrische Komponenten nicht nur vor durch Blitzschlag hervorgerufene elektromagnetische Impulse, sondern auch vor anderen transienten Störgrößen, welche durch Schalthandlungen von induktiven oder kapazitiven Lasten entstehen. Des Weiteren schützen die Überspannungsableiter vor den Folgen von elektrostatischen Entladungseffekten.

Damit wird sichergestellt, dass jederzeit eine Überwachung, Regelung und Steuerung der Windenergieanlage möglich ist.

Freigabe: 13-Feb-2023 12:36

4 Übersicht der Blitzschutzkomponenten der Windenergieanlagen

Tab. 1: Übersicht der Blitzschutzkomponenten der Windenergieanlagen

	Maschinenhaus	Blattanschluss – Rotor			Maschinenträger – Turm
	Faradayscher Käfig	Rollenblitzabnehmer	Schleifkontakte	Direkter Anschluss	Zusätzliche Schleif-kontakte
E-44	-	X	-	-	-
E-48	-	X	-	-	-
E-53	-	X	-	-	-
E-70 E4	-	X	-	-	-
E-82 E2	-	X	-	-	-
E-82 E4	-	X	-	-	-
E-92	-	X	-	-	-
E-103 EP2	-	X	-	-	-
E-115 E2	-	X	-	-	-
E-115 EP3 E3	-	-	X	-	-
E-115 EP3 E4	-	-	X	-	-
E-126 EP3	-	X	-	-	-
E-138 EP3	-	X	-	-	-
E-138 EP3 E2	-	-	X	-	-
E-138 EP3 E3	-	-	X	-	-
E-136 EP5	X	-	-	X	X
E-147 EP5	X	-	-	X	X
E-147 EP5 E2	-	-	-	X	-
E-160 EP5	-	-	-	X	-
E-160 EP5 E2	-	-	-	X	-
E-160 EP5 E3	-	-	-	X	-

ENERCON
ENERGIE FÜR DIE WELT

Freigabe: 13-Feb-2023 12:36

	Maschinenhaus	Blattanschluss – Rotor			Maschinenträger – Turm
	Faradayscher Käfig	Rollenblitzabnehmer	Schleifkontakte	Direkter Anschluss	Zusätzliche Schleif-kontakte
E-160 EP5 E3 R1	-	-	-	X	-
E-175 EP5	-	-	-	X	-

5 Zugrundeliegende Normen

Bei der Konstruktion und der Umsetzung des Blitzschutzes für Windenergieanlagen wurden folgende Normen und Standardisierungen in der jeweils aktuellsten Fassung beachtet.

- DIN EN 50308*VDE 0127-100
- DIN EN 50522*VDE 0101-2
- DIN EN 61400-24*VDE 0127-24
- DIN EN 62305-1*VDE 0185-305-1
- DIN EN 62305-2*VDE 0185-305-2
- DIN EN 62305-3*VDE 0185-305-3
- DIN EN 62305-4*VDE 0185-305-4
- DIN EN 62561-1*VDE 0185-561-1
- DIN EN 62561-2*VDE 0185-561-2
- DIN IEC 60364-5-54*VDE 0100-540

Freigabe: 13-Feb-2023 12:36

Einleitung

Rotorblätter von ENERCON Windenergieanlagen sind mit einem Blitzschutzsystem ausgestattet, mit dem Blitzströme von der Blattspitze zur Gondel abgeleitet werden. Blitzschutzsysteme reflektieren elektromagnetische Wellen und führen somit zu ungewollten zusätzlichen Signalen bei Radarsystemen von zivilen Flugsicherungen, militärischen Einrichtungen und Wetterdiensten.

Bisherige Blitzschutzsysteme

Ursprünglich bestand das Blitzschutzsystem aus metallischen Vorder- und Hinterkanten am Rotorblatt, welche jedoch einen starken Einfluss auf Radarsysteme verursachen.

Ein verbessertes Blitzschutzsystem mit innenliegendem Aluminiumprofil konnte den Einfluss auf Radarsysteme auf ca. 20 % des Ursprungswertes vermindern. Eine weitere Reduktion in den relevanten Frequenzbändern S, C und X (2 bis12 GHz) konnte durch den Einbau von reflexionsdämpfenden Breitband-Radarabsorbern EPF 51 aus Polyurethanschaum erreicht werden.

Optimiertes Blitzschutzsystem

Das optimierte Blitzschutzsystem wurde entwickelt, um den Blitzschutz und somit die Rotorblatthaltbarkeit zu verbessern und gleichzeitig den Einfluss auf Radarsysteme weiter zu verringern.

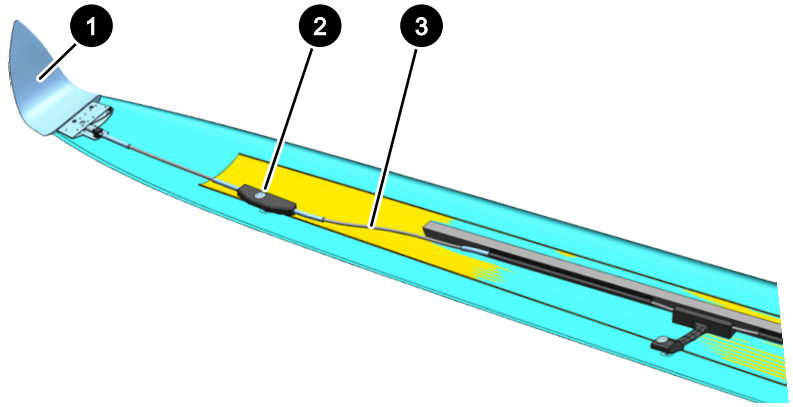


Abb. 1: Optimiertes Blitzschutzsystem im Rotorblatt

1	Blattspitze	2	Rezeptor
3	Aluminiumleitung mit PVC-Isolierung		

Das optimierte Blitzschutzsystem besteht überwiegend aus Aluminiumleitungen mit PVC-Isolierung. Diese Isolierung sorgt für eine deutliche Reduktion des Einflusses auf Radarsysteme. An der Rotorblattoberfläche liegen nur die metallischen Rezeptoren.

Das optimierte Blitzschutzsystem wird außer bei der E-101 bei allen Rotorblatttypen von ENERCON ab 70 m Durchmesser eingeführt.

Messung und Vergleich der Blitzschutzsysteme

In den signaturtechnischen Labors der RWTH Aachen wurden Vergleichsmessungen vorgenommen, um die Wirksamkeit der Maßnahmen zu belegen.

Die Vergleichsmessungen der 3 Blitzschutzsysteme belegen die signifikante Reduktion der Radarreflexion. Sie berücksichtigen alle relevanten Frequenzen von 2 bis 12 GHz und alle Anstrahlungswinkel (360°) für horizontale und vertikale Polarisation des Radars.

© ENERCON GmbH. Alle Rechte vorbehalten.

Die folgende Tabelle zeigt die Maximalwerte der Reduktion der Radarreflexion bei einer Rotorblattstellung von 90° sowie die Mittelwerte über alle Rotorblattstellungen am Beispiel der 2 typischen Frequenzen 3 GHz und 9 GHz.

Tab. 1: Gemessene Minderung der Radarreflexionen in dB

Frequenz	3 GHz				9 GHz			
Polarisation	Horizontal		Vertikal		Horizontal		Vertikal	
Rotorblattstellung	90°	Mittelwert	90°	Mittelwert	90°	Mittelwert	90°	Mittelwert
Blitzschutzsystem mit metallischer Vorder- und Hinterkante	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Blitzschutzsystem aus Aluminium mit Radarabsorber	-0,7	-1,9	-0,8	-2,4	-3,6	-3,7	-3,5	-3,5
Blitzschutzsystem mit isolierter Aluminiumleitung	-2,1	-2,2	-2,1	-2,1	-13,2	-9,8	-13,9	-9,6

© ENERCON GmbH. Alle Rechte vorbehalten.

F2E Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG

Gutachten zu Risiken durch Eiswurf und Eisfall am Standort Georgshof III

Referenz-Nummer:
2023-D-062-P4-R1 - ungekürzte Fassung

Auftraggeber:
Windpark Georgshof GmbH & Co KG
Joachimsfeld 1, 26553 Dornum

Bauherr:
Herr Theo Verweyen
Westerstraße 16, 26553 Dornum

Die Ausarbeitung des Gutachtens erfolgte durch:
Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG
Borsteler Chaussee 178, 22453 Hamburg, www.f2e.de

Verfasser:

M.Sc. Rebecca Bode, Sachverständige, Hamburg, 30.10.2023

Geprüft:

Dr.-Ing. Thomas Hahm, Sachverständiger, Hamburg, 30.10.2023

Für weitere Auskünfte:
Tel.: 040 53303680 Fax: 040 53303680-79
Rebecca Bode: bode@f2e.de oder Dr. Thomas Hahm: hahm@f2e.de

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

Inhaltsverzeichnis

1 Aufgabenstellung....3
2 Grundlagen....4
2.1 Vereisung....4
2.2 Regelungen in den Normen....5
2.3 Grenzwerte und Risikobewertung....7
2.3.1 Grenzwerte individuelles Risiko....7
2.3.2 Grenzwerte kollektives Risiko....9
2.3.3 Risikobewertung....10
2.3.4 Risikomindernde Maßnahmen....13
2.3.5 Addition von Risiken....15
2.4 Berechnung der Flugbahnen von Eisstücken....17
2.5 Vereisungshäufigkeiten....17
2.6 Gültigkeit der Ergebnisse....19
2.7 Systeme zur Prävention und Enteisung....20
2.8 Verwendete Begriffe und Symbole....21
3 Eingangsdaten....22
3.1 Ausgangssituation....22
3.2 Winddaten am Standort....22
3.3 Windparkkonfiguration und Schutzobjekte....23
3.4 Aufenthaltshäufigkeiten....27
3.5 Vereisungsrelevante WEA-Systeme....28
3.5.1 WEA-interne Eiserkennungssysteme....28
3.5.2 Optionale Eiserkennungssysteme....28
3.5.3 Systeme zur Prävention und Enteisung....28
3.5.4 Betriebsführungssystem....29
3.6 Risikoreduzierende Maßnahmen....29
4 Durchgeführte Untersuchungen....29
4.1 Standortbesichtigung....29
4.2 Vereisungsbedingungen am Standort....29
4.3 Ermittlung der potentiellen Gefährdungsbereiche....30
4.4 Eiswurf....31
4.5 Eisfall....32
5 Weitere Maßnahmen....33
6 Zusammenfassung....34
7 Formelzeichen und Abkürzungen....36
8 Literaturangaben....37
Anhang A: Detaillierte Berechnungsergebnisse Eisfall....39
A.1 Berechnung der Auftreffhäufigkeiten....39
A.2 Schadenshäufigkeiten....40

1 Aufgabenstellung

Die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG ist beauftragt worden, die vorliegende Windparkkonfiguration hinsichtlich einer Gefährdung durch Eiswurf und Eisfall ausgehend von sich in Betrieb befindlichen bzw. stillstehenden (trudelnden) Windenergieanlagen (WEA) zu betrachten und zu bewerten.

2 Grundlagen

2.1 Vereisung

Abhängig von den Vereisungsbedingungen kann es auf dem Rotorblatt einer WEA zu starken Vereisungen kommen, in deren Folge eine Gefahr durch sich lösende bis zu mehreren Kilogramm schwere Eisstücke besteht.

Während des Betriebes der WEA erfahren diese Eisstücke einen deutlichen Anfangsimpuls durch das schnell rotierende Blatt. In diesem Fall wird daher von Eiswurf gesprochen. Während des Stillstandes der WEA trudelt diese mit deutlich niedrigeren Drehzahlen. In diesem Fall wird daher von Eisfall gesprochen. In beiden Fällen (Eiswurf und Eisfall) wirken auf die abgelösten Eisstücke durch den Wind weitere Kräfte. Bei Sturm und auch entlang eines abfallenden Geländes können so nennenswerte Flugweiten erreicht werden.

Vereisung tritt ein, wenn entweder unterkühlte Wassertropfen auf das Rotorblatt aufschlagen oder die Oberflächentemperatur des Rotorblattes unterhalb des Reifpunktes liegt und Wasserdampf auf der Oberfläche in Form von Reif resublimiert.

Im Temperaturbereich von ca. 0° bis -10°C bildet sich aus den Wassertropfen beim Auftreffen auf das Rotorblatt Eis. Bis etwa -4°C kommt es dabei aufgrund der verzögerten Eisbildung zu großflächiger Klareisbildung. Bei niedrigeren Temperaturen dominiert hingegen die Raueisbildung, mit geringer Haftoberfläche und einem milchigeren und rauerem Erscheinungsbild.

Unterhalb von -10°C können sich größere Ablagerungen von Raureif an den Profilkanten bilden. Der sich bei noch kälteren Temperaturen bildende Reif bildet typischerweise keine größeren Ablagerungen und spielt hinsichtlich einer Gefährdung durch Eisfall oder Eiswurf keine Rolle.

Grundsätzlich sollten bei der Gefährdung durch Eisfall bzw. Eiswurf daher zwischen großflächigen Eisplatten, die sich über einen großen Bereich der Profiltiefe ausbilden können, und schlankeren Eisstücken, die von der Profilkante abbrechen, unterschieden werden. Hinweise zu Form und Masse von Eisstücken finden sich z.B. in /1.1/.

Aufgrund der extrem hohen Variabilität der Vereisungstage von Jahr zu Jahr werden langjährige Messungen benötigt, die möglichst auf einen klimatologischen Zeitraum, also 30 Jahre, zu beziehen sind /2.1/. Derart langjährige Messungen oder Beobachtungen liegen in Deutschland z.B. in Bodennähe für die Klimastationen des Deutschen Wetterdienstes DWD vor. Messungen in Bodennähe unterliegen jedoch starken mikroskaligen Einflüssen, so dass sie bezüglich einer Vereisung schon wenige hundert Meter entfernt nicht mehr aussagekräftig sein können, wenn sich dort z.B.

aufgrund einer lokalen Senke kalte Luft sammelt. Diese mikroskaligen Effekte, die auf Nabenhöhe der Windenergieanlagen typischerweise keine Rolle mehr spielen, zu identifizieren und entsprechend zu korrigieren ist so gut wie nicht möglich. Hinzu kommt, dass die Daten der Klimastationen oft über mehr als 10km und auf andere Höhen über Meeresniveau übertragen werden müssen, so dass die Unsicherheiten in der Vorhersage der Vereisungstage nach dieser Methode insgesamt sehr groß sind.

Eine weitere mögliche Quelle stellen großflächige Vereisungskarten dar, wie sie z.B. in /1.1/ und /1.2/ dargestellt sind. Diese Karten liefern jedoch nur Hinweise und Tendenzen. In /1.2/ wird darauf hingewiesen, dass im Gegensatz zu den in den großflächigen Karten dargestellten Werten, die tatsächlichen Werte schon auf kurzen Distanzen stark schwanken können und die lokale Geländetopografie berücksichtigt werden sollte. Die daraus entstehenden Unterschiede in der Einschätzung der Vereisungstage können extrem groß sein, so dass diese Karten selbst zur Plausibilisierung lokaler Vereisungsdaten nur sehr bedingt geeignet sind.

Für Deutschland liegt mittlerweile eine hochaufgelöste Vereisungskarte des DWD vor, die die lokale Topografie berücksichtigt /1.8/. Sie stellt vor dem Hintergrund der dargestellten Zusammenhänge die zurzeit beste Datengrundlage zur Ermittlung der Vereisungstage für Standorte in Deutschland dar.

2.2 Regelungen in den Normen

In /1.1/ findet sich für Regionen mit einer hohen Vereisungshäufigkeit die Empfehlung, einen Mindestabstand von 1,5 · (Nabenhöhe + Rotordurchmesser) zu gefährdeten Bereichen einzuhalten oder die Windenergieanlage bei Vereisungsbedingungen abzuschalten.

Der vorgeschlagene Mindestabstand von 1,5 · (Nabenhöhe + Rotordurchmesser) fand in Deutschland Eingang in die Muster-Liste der technischen Baubestimmungen bzw. die Muster-Verwaltungsvorschrift Technischen Baubestimmungen /2.2/. Dort heißt es in der Anlage zur Richtlinie für Windenergieanlagen:

„Abstände zu Verkehrswegen und Gebäuden sind unbeschadet der Anforderungen aus anderen Rechtsbereichen wegen der Gefahr des Eisabwurfs (Windenergieanlage in Betrieb) und des Eisfalls (Windenergieanlage im Stillstand) einzuhalten, soweit eine Gefährdung der öffentlichen Sicherheit nicht auszuschließen ist. Abstände, gemessen von der Turmachse, größer als 1,5 x (Rotordurchmesser plus Nabenhöhe) gelten im Allgemeinen in nicht besonders eisgefährdeten Regionen als ausreichend. In anderen Fällen ist die Stellungnahme eines Sachverständigen erforderlich.“

Soweit dieser Mindestabstand nicht eingehalten wird bzw. der Standort der Wind-

energieanlage in einer besonders eisgefährdeten Region liegt und der Mindestabstand daher keine Anwendung finden kann, ist also das Risiko durch Eiswurf standortspezifisch zu bewerten.

Weiterhin wird in /2.2/ ausgeführt, dass die gutachterliche Stellungnahme eines Sachverständigen zur Funktionssicherheit von Einrichtungen vorzulegen ist, durch die der Betrieb der Windenergieanlage bei Eisansatz sicher ausgeschlossen werden kann oder durch die ein Eisansatz verhindert werden kann. Dies hat immer dann zu erfolgen, wenn erforderliche Abstände wegen der Gefahr des Eisabwurfes nicht eingehalten werden.

Die gutachterliche Stellungnahme zur Funktionssicherheit von Einrichtungen zur Eiserkennung ist im Gegensatz zur gutachterlichen Stellungnahme bei Unterschreitung des in der Muster-Liste genannten Mindestabstandes von 1,5 · (Nabenhöhe + Rotordurchmesser) kein standortspezifischer Nachweis, sondern ein entweder vom Hersteller des Eiserkennungssystemes bzw. für die Implementierung in eine spezifische Windenergieanlage vom Hersteller der Windenergieanlage einmalig für den jeweiligen Typ in Auftrag gegebenes Gutachten. Diese Systeme schließen damit den Betrieb bei potentiell gefährlichem Eisansatz aus, können aber nicht grundsätzlich Eisansatz verhindern. Das für eine Verhinderung des Eisansatzes in /2.2/ genannte Beispiel einer Rotorblattheizung ist an dieser Stelle typischerweise nicht als Sicherheitssystem konzipiert. Der Betrieb einer Rotorblattheizung wird daher durch einzelne Hersteller für Standorte, in deren Umgebung eventuell durch Eiswurf eine erhebliche Gefährdung besteht, sogar ausgeschlossen.

Damit ergibt sich die Situation, dass auch bei einem vorhandenen System zur Eiserkennung mit Eisfall (Ablösen von Eisstücken von der stillstehenden bzw. trudelnden Windenergieanlage) zu rechnen ist und damit auch in diesen Fällen bei Unterschreitung des Mindestabstandes von 1,5 · (Nabenhöhe + Rotordurchmesser) eine standortspezifische Bewertung des Risikos erfolgen sollte.

Der in der Abbildung 2.2.1 dargestellte Entscheidungsbaum für die Bewertung des Risikos durch Eiswurf und Eisfall fasst dies noch einmal zusammen.

Auf internationaler Ebene wurden durch die International Energy Agency (IEA) Empfehlungen für die Risikobewertung von Eisfall und Eiswurf erarbeitet /2.1/. Neben der Risikobewertung beschäftigen sich die Empfehlungen der IEA auch mit der mathematischen Modellierung und den eingehenden Randbedingungen. Die Empfehlungen der IEA /2.1/ werden im Folgenden berücksichtigt.

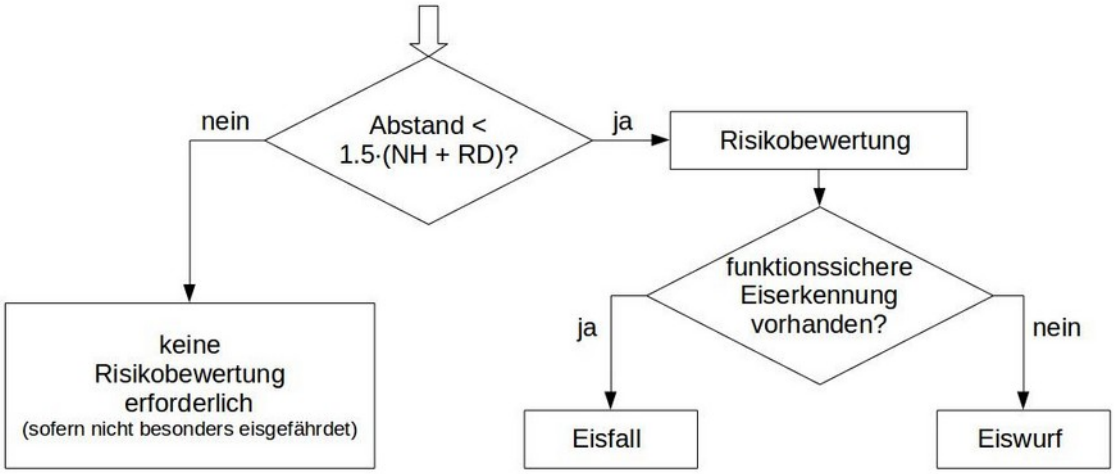


Abbildung 2.2.1: *Entscheidungsbaum für die Bewertung des Risikos durch Eiswurf und Eisfall.*

2.3 Grenzwerte und Risikobewertung

2.3.1 Grenzwerte individuelles Risiko

Für Personenschäden findet sich in der Literatur das Konzept der minimalen endogenen Sterblichkeit (MEM) /2.3/. Die minimale endogene Sterblichkeit in entwickelten Ländern findet sich in der Gruppe der fünf bis 15jährigen. Sie liegt bei $2 \cdot 10^{-4}$ Todesfällen pro Person und Jahr. Eine neue Technologie sollte diese endogene Sterblichkeit nicht nennenswert erhöhen. Es wird daher gefordert, dass die mit einer neuen Technologie verbundene Sterblichkeit nicht mehr als $1 \cdot 10^{-5}$ Todesfälle pro Person und Jahr betragen darf.

An anderer Stelle wird das gesellschaftlich akzeptierte Todesfallrisiko abhängig vom Grad der Freiwilligkeit und möglichen Einflussnahme auf die Handlung dargestellt /1.7/. Die Akzeptanz sinkt, wenn zum einen die Möglichkeit sich durch adäquates Handeln zu schützen gegen Null geht und zum anderen sich die Person nicht freiwillig der Gefährdung aussetzt. Der unter diesen Randbedingungen definierte Grenzwert liegt bei $1 \cdot 10^{-5}$ Todesfällen pro Person und Jahr und entspricht damit dem definierten MEM-Kriterium.

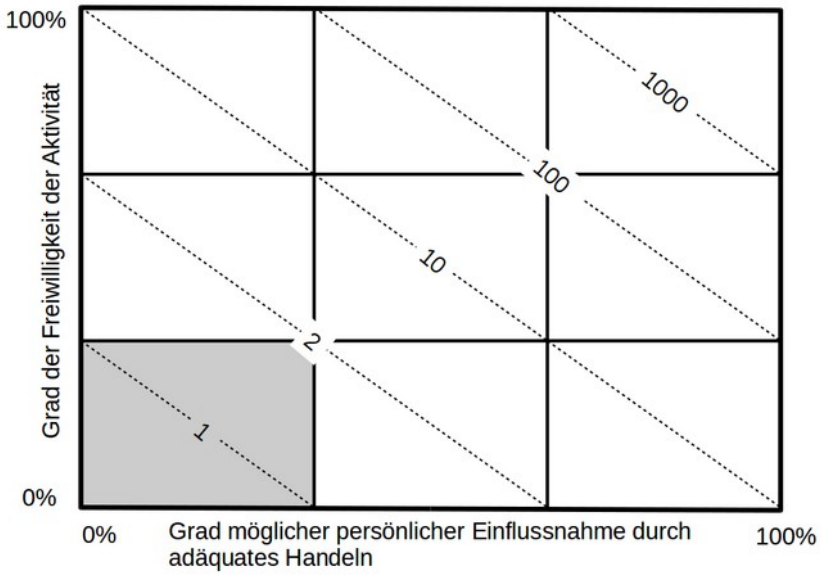


Abbildung 2.3.1.1: *Akzeptiertes Todesfallrisiko pro 100 000 Personen /1.7/. Grau hinterlegter Bereich entspricht dem MEM-Kriterium /2.3/.*

Betrachtet man das Risiko in der Nähe einer WEA durch Eisfall oder Eiswurf tödlich zu verunglücken, begibt man sich in der Regel weder freiwillig in diese Lage noch hat man durch persönliche Einflussnahme eine Möglichkeit das Risiko nennenswert zu minimieren. Der Ansatz des MEM-Kriteriums ist daher an dieser Stelle gerechtfertigt und sinnvoll.

Damit liegt eine inakzeptable Gefährdung durch Eiswurf oder Eisfall nur vor, wenn der so definierte Grenzwert überschritten wird.

Um hier eine konservative Vorgehensweise zu gewährleisten, werden folgende Annahmen getroffen:

- Ein Eisstück, das eine ungeschützte Person außerhalb eines Fahrzeuges oder Gebäudes im Bereich des Kopfes trifft, führt immer zu einer schweren Verletzung oder zum Tode.
- Bis zu einer Geschwindigkeit von 50km/h kann angenommen werden, dass eine Person innerhalb eines Fahrzeuges vor direkten tödlichen Treffern durch Eisstücke geschützt ist. Oberhalb von 50km/h kann es neben einem direkten tödlichen Treffer auch zu einem schweren Unfall mit tödlichem Ausgang kommen, wenn ein Eisstück auf das Fahrzeug oder dicht vor dem Fahrzeug aufschlägt. Das Risiko für einen solchen Unfall steigt überproportional mit der Fahrzeuggeschwindigkeit. Die durchschnittliche Anzahl von Personen in einem Kraftfahrzeug ist statistisch erfasst /1.6/, so dass sich hieraus eine Anzahl betroffener Personen ableiten lässt.

Mit dem Ausschluss leichter Verletzungen sowie der fehlenden Unterscheidung zwischen schweren und tödlichen Verletzungen wird hier ein konservativer Ansatz gewählt. Eine weitere Differenzierung gestaltet sich an dieser Stelle sehr schwierig und lässt sich statistisch zurzeit nicht ausreichend absichern.

2.3.2 Grenzwerte kollektives Risiko

Bei der Bewertung von Schutzobjekten, bei denen sich eine größere Anzahl von Personen in der Nähe der WEA aufhält, wie es typischerweise bei Verkehrswegen der Fall ist, ist gemäß /2.1/ das daraus resultierende Kollektivrisiko zu bewerten. Entsprechende Grenzwerte für das Kollektivrisiko werden in /2.1/ definiert. Diese liegen für das Kollektivrisiko zwei Größenordnungen oberhalb des MEM-Kriteriums /2.1/ und somit bei $1 \cdot 10^{-3}$ Todesfällen pro Jahr.

Gemäß /2.1/ kann für das Risiko im Straßenverkehr der Grenzwert für das kollektive Risiko basierend auf vorliegenden Unfallstatistiken ermittelt werden. Diese Vorgehensweise findet Anwendung für Straßen des Fernverkehrs und angeschlossene Straßen, die dem Durchgangsverkehr dienen. Dies sind in Deutschland die Bundesautobahnen, die Bundesstraßen und die Landesstraßen.

Das aktuelle Risiko ist dabei auf Basis der Todesfälle und der Schwerverletzten im Straßenverkehr zu ermitteln. Entsprechend der grundsätzlichen Idee des MEM-Kriteriums wird auch hier gefordert, dass ein bestehendes Risiko nicht nennenswert erhöht werden darf. Der anzusetzende Grenzwert für eine inakzeptable Gefährdung durch Eiswurf oder Eisfall wird daher eine Größenordnung niedriger gewählt als das bestehende Risiko /2.1/.

Mit /1.3/ liegen entsprechende Unfallzahlen für Kfz-Benutzer gegliedert nach Straßenklasse, Ortslage und Unfallfolge vor. Tabelle 2.3.2.1 listet die entsprechenden absoluten Unfallzahlen pro Jahr für die betreffenden Straßengruppen.

Tabelle 2.3.2.1: *Verunglückte Kfz-Benutzer gegliedert nach Straßenklasse pro Jahr /1.3/.*

Straßenklasse	Getötete	Schwerverletzte
Bundesautobahn	344	5673
Bundesstraße (außerorts)	640	7742
Landesstraße (außerorts)	646	9210

In Verbindung mit der Inlandsfahrleistung auf den verschiedenen Straßenklassen lassen sich daraus die bestehenden Risiken bezogen auf die gefahrene Strecke bestimmen. Damit ist es möglich abhängig von der Verkehrsdichte straßenspezifische Risikowerte festzulegen. Die Streckenlänge ist dabei so festzulegen, dass jeweils nur

eine WEA zur Gefährdung beitragen kann, um auch hier zu gewährleisten, dass das von jeder WEA ausgehende Risiko unabhängig bewertet werden kann. Werden die Risikogrenzwerte standortspezifisch bestimmt, so sind sie in Kapitel 3 dargestellt. Für alle anderen Straßenklassen kann der oben definierte Grenzwert für das Kollektivrisiko von $1 \cdot 10^{-3}$ zugrunde gelegt werden.

2.3.3 Risikobewertung

Im Folgenden wird in allen Fällen das individuelle Risiko und das kollektive Risiko ermittelt. Anschließend wird in Abhängigkeit von der Aufenthaltshäufigkeit von Personen das individuelle oder kollektive Risiko für eine Bewertung zugrunde gelegt. In Anlehnung an /2.1/ kann dabei folgende Aufteilung verwendet werden:

- Individuelles Risiko:
  - land- und forstwirtschaftlich genutzte Wege, Wanderwege, Fahrradwege und Straßen mit geringer Verkehrsdichte,
  - Objekte wie Scheunen, Hütten etc., die regelmäßig durch den Besitzer oder durch einen kleinen Personenkreis genutzt werden.
- Kollektives Risiko:
  - stark genutzte Gemeindestraßen, Kreisstraßen, Landesstraßen, Bundesstraßen und Autobahnen,
  - Objekte, die von generellem Interesse für die Öffentlichkeit sind und entsprechend durch eine größere Personengruppe genutzt werden (öffentliche Parkplätze, Industrieanlagen etc.).

Für die Bewertung des kollektiven Risikos sind dabei die Risiken aller zu betrachtenden Personengruppen zu addieren. Für die Bewertung des individuellen Risikos ist das sogenannte kritische Individuum maßgeblich, das aufgrund seiner Nutzung der Schutzobjekte dem höchsten Risiko ausgesetzt ist. Das individuelle Risiko ist im Gegensatz zum kollektiven Risiko daher nicht von der Gesamtanzahl der Personen abhängig, die die Schutzobjekte frequentieren. Auf kleineren Wegen, auf denen nur eine geringe Fahrgeschwindigkeit von Kfz zu unterstellen ist, ist das kritische Individuum z.B. in der Regel der ungeschützte Fußgänger oder Radfahrer.

Das individuelle Risiko ist in der Regel für stark genutzte überregionale Verkehrswege nicht maßgeblich. Eine Ausnahme bilden hier die überregionalen Bahnstrecken, da hier nur wenige individuelle Personen, nämlich die Lokführer, gefährdet sind. Da es nicht praktikabel oder nicht möglich ist, das individuelle Risiko entlang einer gesamten Bahnstrecke zu bewerten, werden in diesem Fall die Grenzwerte für das individuelle Risiko um den Faktor zehn erniedrigt.

Entsprechend dem Vorgehen der UK Health and Safety Executive (HSE) /1.9/ werden in /2.1/ unterhalb des inakzeptablen Bereiches weitere Risikobereiche definiert, die unterschiedliche Maßnahmen erfordern.

Das MEM-Kriterium definiert für das individuelle Risiko dabei die Obergrenze des sogenannten ALARP-Bereichs (As Low As Reasonably Practicable, s. Abbildung 2.3.3.1). Risiken die höher als das MEM-Kriterium liegen, sind demnach nicht akzeptabel.

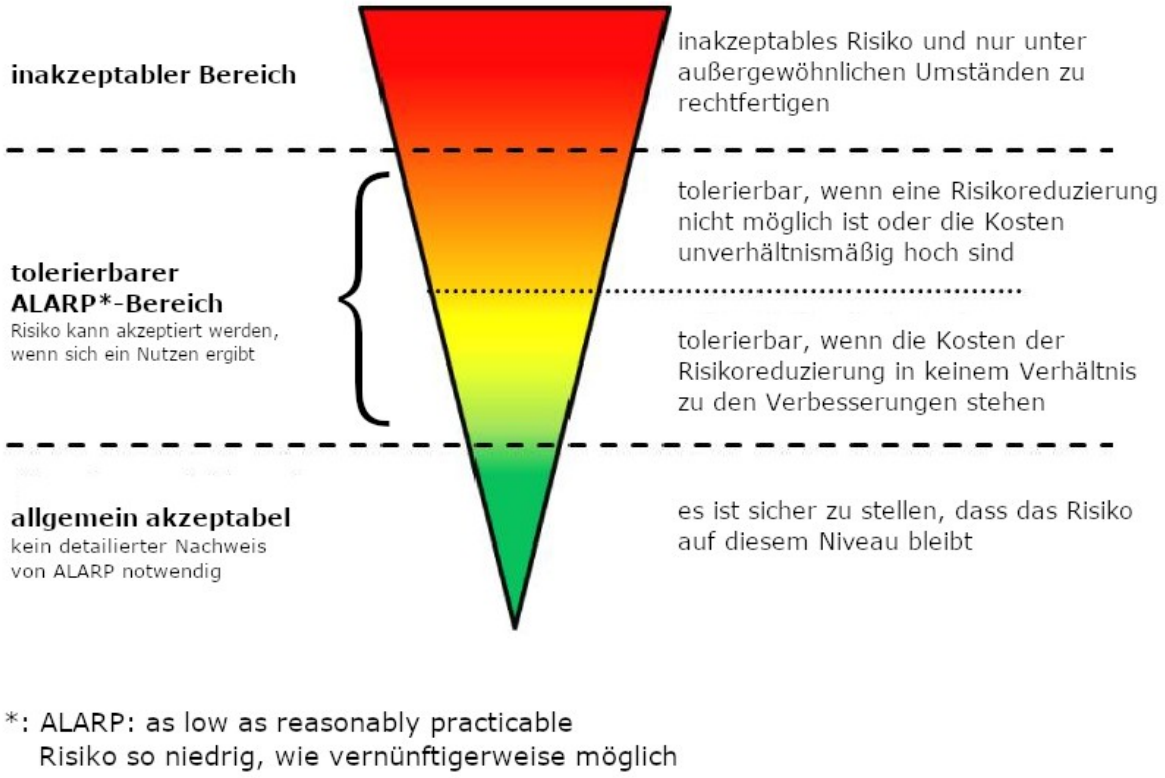


Abbildung 2.3.3.1: *ALARP-Prinzip nach /1.9/. Die Grenze zum roten inakzeptablen Bereich wird für das individuelle Risiko durch das MEM-Kriterium /2.3/ definiert.*

Darunter folgt der ALARP-Bereich, welcher sich über zwei Größenordnungen der Risikowerte erstreckt. Die untere Grenze des ALARP-Bereichs liegt damit bei einem Hundertstel der oberen Grenze des ALARP-Bereichs.

Liegt das Risiko im oberen ALARP-Bereich, sollen Maßnahmen in Betracht gezogen werden, um das Risiko weiter zu reduzieren. Die Maßnahmen sollten sich an den bekannten und etablierten Techniken und den am Standort gegebenen Möglichkeiten orientieren.

Liegt das Risiko im unteren ALARP-Bereich, sind Maßnahmen zur Reduzierung des Risikos in der Regel nicht erforderlich. Im Rahmen des Gutachtens werden entspre-

chend nur im Einzelfall Maßnahmen vorgeschlagen.

Liegt das Risiko mehr als einen Faktor 100 unterhalb des MEM-Kriteriums, ist es ohne weitere Maßnahmen allgemein akzeptabel. Die Grenze zwischen dem ALARP-Bereich und dem allgemein akzeptablen Risiko liegt für das individuelle Risiko bei einer Sterbehäufigkeit von 10^{-7} pro Person und Jahr (einmal in 10 Millionen Jahren). Dies entspricht etwa dem Risiko durch Blitzschlag zu sterben /1.11/.

Dieser grüne Bereich erstreckt sich sinnvollerweise ebenfalls über eine Größenordnung der Risikowerte, da Risikowerte, die mehr als einen Faktor 1000 unterhalb des hier definierten Grenzwertes für das individuelle Risiko liegen, sich jenseits fast aller bekannten Risiken befinden. Entsprechend kann die Abbildung 2.3.3.1 nach unten um einen blauen Bereich erweitert werden, in dem das Risiko vernachlässigbar ist. Der einzige bekannte Wert für das individuelle Risiko, der sich nach /1.11/ noch diesem Bereich zuordnen lässt, ist die Sterbehäufigkeit durch einen Meteoriteneinschlag (siehe auch Abbildung 2.3.3.2).

Bei der Bewertung der individuellen und kollektiven Risiken wird entsprechend zwischen den fünf in Tabelle 2.3.3.1 aufgeführten Bereichen unterschieden.

Da Sachschäden hier in ihrer Schwere gegenüber Personenschäden vernachlässigbar sind, werden diese in der Regel nicht weiter bewertet und in den Detailergebnissen im Anhang nicht dargestellt.

Tabelle 2.3.3.1: *Risikobereiche für das individuelle und kollektive Risiko nach /2.1/ erweitert um einen Bereich für vernachlässigbares Risiko.*

Individuelles Risiko (Sterbehäufigkeit pro Person und Jahr)	Kollektives Risiko (Sterbehäufigkeit pro Jahr)	Bewertung	
$> 10^{-5}$	$> 10^{-3}$ oder standortspezifisch	Roter Bereich: Risiko inakzeptabel - Maßnahmen sind einzuleiten und deren Nutzen nachzuweisen	
10^{-6} bis 10^{-5}	10^{-4} bis 10^{-3} oder standortspezifisch	Oranger Bereich: Risiko tolerierbar - Maßnahmen sind in Betracht zu ziehen	
10^{-7} bis 10^{-6}	10^{-5} bis 10^{-4} oder standortspezifisch	Gelber Bereich: Risiko tolerierbar - Maßnahmen in der Regel nicht erforderlich	
10^{-8} bis 10^{-7}	10^{-6} bis 10^{-5} oder standortspezifisch	Grüner Bereich: Risiko allgemein akzeptabel	
$< 10^{-8}$	$< 10^{-6}$ oder standortspezifisch	Blauer Bereich: Risiko vernachlässigbar	

Abbildung 2.3.3.2 veranschaulicht die Risikobereiche für das individuelle Risiko noch einmal, indem für die einzelnen Risikobereiche Beispiele für Tätigkeiten und Gefahren genannt werden. Zusätzlich wird in Abbildung 2.3.3.2 auch die jährliche Fahrleistung in Kilometern aufgeführt, bei der man als Kraftfahrer im deutschen Straßenverkehr die jeweiligen Grenzwerte zwischen den Risikobereichen überschreitet. Man erkennt, dass bereits ab einer sehr geringen Fahrleistung von 3000km pro Jahr der hier definierte inakzeptable Bereich erreicht wird. Da sehr viele Tätigkeiten mit ihrem Risiko in den inakzeptablen Bereich fallen, wurde dieser in Abbildung 2.3.3.2 noch weiter untergliedert.

Farbe	Sterberisiko pro Person pro Jahr	Symbol / Bezeichnung	Beispiele für Sterberisiken	
			Kfz im Straßenverkehr (Fahrleistung pro Jahr) /1.6/	Andere Beispiele /1.11/
	10^{-3}	- inakzeptabel	300.000 km	Bergsteigen
	10^{-4}		30.000 km	Hausarbeit
	10^{-5}		3.000 km	Arbeitsunfall
	10^{-6}	+ tolerierbar	300 km	Gebäudebrand
	10^{-7}	++ tolerierbar	30 km	Blitzschlag
	10^{-8}	+++ allgemein akzeptabel	3 km	Erdbeben
		≈ 0 vernachlässigbar		Meteorit

Abbildung 2.3.3.2: *Risikobereiche und Beispiele für das individuelle Sterberisiko.*

2.3.4 Risikomindernde Maßnahmen

Liegt das Risiko im inakzeptablen roten Bereich, ist ein Nachweis erforderlich, dass das Risiko durch geeignete Maßnahmen in den ALARP-Bereich verschoben werden

kann. Gemäß /2.1/ kommen insbesondere folgende Maßnahmen in Frage, um das Risiko in den ALARP-Bereich zu verschieben:

- Fixierung der Azimut-Position des Rotors der WEA nach Abschaltung durch die Eiserkennung,
- Wahl eines kleineren WEA-Typs,
- Verschiebung der WEA,
- Verlegung des betroffenen Schutzobjektes.

In allen Fällen ist durch eine erneute Berechnung nachzuweisen, dass das Risiko anschließend nicht mehr im roten inakzeptablen Bereich liegt /2.1/.

Liegt das Risiko im oberen orangen ALARP-Bereich sind etablierte risikomindernde Maßnahmen umzusetzen. Zu den empfohlenen Maßnahmen zählen:

- Fixierung der Azimut-Position des Rotors der WEA nach Abschaltung durch die Eiserkennung, wenn dies aufgrund der Lage der Schutzobjekte möglich und sinnvoll ist,
- Einsatz einer funktionssicheren Eiserkennung,
- Warnschilder,
- Warnleuchten, die mit dem Eiserkennungssystem der WEA gekoppelt sind,
- Physische Barrieren wie Schranken sofern dies vor Ort umgesetzt werden kann.

Die Auswahl der Maßnahmen sollte sich an den bekannten und etablierten Techniken und den am Standort gegebenen Möglichkeiten orientieren.

Auf Freiflächen mit kontrolliertem und beschränktem Zutritt wie z.B. einem Betriebsgelände kann das Risiko auch durch Aufenthaltsbeschränkungen oder das Tragen eines Schutzhelmes reduziert werden. Bei der Quantifizierung dieser Maßnahmen kann gemäß /1.10/ davon ausgegangen werden, dass das Tragen eines Schutzhelmes mit einem Chancenverhältnis (odds ratio) für schwere und tödliche Kopfverletzungen von etwa ⅓ verbunden ist.

Bei einer Fixierung der Azimut-Position wird die WEA nach einer Abschaltung durch die Eiserkennung in eine fixe Azimut-Position gefahren. Damit kann die Trefferhäufigkeit von Eisstücken auf die Schutzobjekte verringert werden, indem im Falle eines Verkehrsweges z.B. der Rotor parallel zum Fahrbahnrand ausgerichtet wird. Die Azimut-Position wird dabei definiert über den Azimutwinkel zwischen geografisch Nord und der Achsenrichtung der WEA.

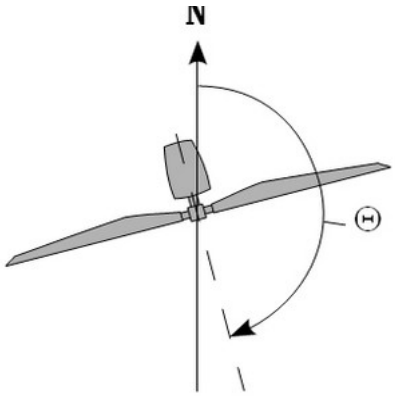


Abbildung 2.3.4.1: *Definition des Azimutwinkels Θ.*

Beim Einsatz von Warnschildern kann z.B. das von der IEA empfohlene Warnschilddesign verwendet werden. Dieses lässt sich auch um Hinweise zu Warnleuchten ergänzen.

Allgemeines Warnschild. **Allgemeines Warnschild mit Zusatzhinweis.**

Abbildung 2.3.4.2: *Warnschildbeispiele nach /2.1/.*

2.3.5 Addition von Risiken

Entlang von Verkehrswegen kann in der Regel nicht ausgeschlossen werden, dass einzelne oder alle Personen mehrere WEA passieren und damit einer Summe von Risiken ausgesetzt sind.

Dies spielt für den überregionalen Verkehr keine Rolle, da hier mit Grenzwerten verglichen wird, die auf die gefahrene Strecke bezogen sind (siehe Kapitel 2.3.2).

WEA an Autobahnen, Bundesstraßen und Landesstraßen können daher stets einzeln betrachtet werden. Hier sind benachbarte WEA nur dann von Interesse, wenn sich die Gefährdungsbereiche der zu bewertenden WEA und einer benachbarten WEA überlappen.

Bei der Bewertung von Verkehrswegen des regionalen bzw. des Nahverkehrs werden die akzeptierten Grenzwerte für das individuelle bzw. kollektive Risiko herangezogen. Für Kreisstraßen, Gemeindestraßen und sonstige Verkehrswege ist daher zu prüfen, ob die übliche Nutzung dazu führt, dass die Gefährdungsbereiche mehrerer WEA passiert werden. Diese Betrachtung kann aufgrund des regionalen Charakters dieser Verkehrswege dabei auf den zu betrachtenden Windpark beschränkt werden.

In einem verzweigten Verkehrswegenetz innerhalb eines Windparks gibt es eine Vielzahl von Routen, die nicht alle betrachtet werden können. Es ist hier ausreichend eine repräsentative Route zu wählen, die eine konservative Bewertung gewährleistet.

In der Praxis kann für Verkehrswege des regionalen bzw. des Nahverkehrs folgendermaßen vorgegangen werden:

- Im ersten Schritt werden die Risiken ausgehend von jeder einzelnen WEA und bezogen auf die verschiedenen Schutzobjekte ermittelt. Wenn einzelne Risiken hier bereits im oberen ALARP-Bereich liegen, werden die entsprechenden Maßnahmen abgeleitet (siehe auch Kapitel 5).
- Im zweiten Schritt wird eine repräsentative Route festgelegt und hierfür das Risiko ermittelt und bewertet. Eventuell sind hieraus weitere risikomindernde Maßnahmen abzuleiten.
- Auf den zweiten Schritt kann verzichtet werden, wenn die Summe der Risiken über alle WEA die jeweils anzusetzenden Grenzwerte für das individuelle bzw. kollektive Risiko nicht übersteigen.
- Auf den zweiten Schritt kann ebenfalls verzichtet werden, wenn die Risiken der geplanten WEA bezüglich der relevanten Schutzobjekte jeweils im allgemein akzeptablen Bereich liegen, da der Beitrag zum Gesamtrisiko entlang eines repräsentativen Weges dann vernachlässigbar ist. Liegen die Risiken der geplanten WEA bezüglich der relevanten Schutzobjekte im unteren ALARP-Bereich, ist im Einzelfall zu prüfen, ob der Beitrag zum Gesamtrisiko als nicht signifikant eingestuft werden kann.

2.4 Berechnung der Flugbahnen von Eisstücken

Für die Berechnung der Flugbahnen der Eisstücke wird basierend auf den Luftwiderstandsbeiwerten, der Geometrie und der Masse der Eisstücke die Lage des Eisstückes während der gesamten Bewegung erfasst und verfolgt, so dass sich im Vergleich zu einer rein ballistischen Flugbahn ein realistischeres Bild der Flugweiten ergibt.

Im Rahmen einer Monte-Carlo-Simulation werden dabei folgende Größen zufällig im Rahmen der am Standort zu erwartenden Wahrscheinlichkeitsverteilung variiert:

- Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe,
- Windrichtung,
- Position des Eisstückes auf dem Blatt,
- Geometrie und Dichte des Eisstückes,
- Drehzahl und Stellung des Rotors im Moment der Ablösung des Eisstückes.

Für das Geländemodell in der Umgebung der WEA werden Daten aus /1.5/ berücksichtigt. Eine eventuell vorhandene Schutzwirkung durch Bewuchs oder Gebäude wird dabei vernachlässigt.

Das Berechnungsmodell wurde im Rahmen der Entwicklung der IEA Recommendations /2.1/ anhand von Messkampagnen in realen Windparks validiert.

2.5 Vereisungshäufigkeiten

Datengrundlage für die Bewertung der Vereisungshäufigkeit bildet die Vereisungskarte des Deutschen Wetterdienstes /1.8/. Für die Bestimmung der Häufigkeit atmosphärischer Vereisung wurden hierzu in /1.8/ verschiedene Wetter-Meldungen ausgewertet:

- Allgemeine Wetterereignisse:
  - leichter, mäßiger oder starker gefrierender Regen,
  - leichter, mäßiger oder starker gefrierender Sprühregen,
  - leichter, mäßiger oder starker Schneeregen,
  - Eiskörner (gefrorene Regentropfen),
  - Nebel mit Reifansatz
- Wetterereignisse bei Temperaturen ≤ 0° Celsius:
  - durchgehender oder unterbrochener leichter, mäßiger oder starker Sprühregen,
  - leichter, mäßiger oder starker Sprühregen mit Regen,

- durchgehender oder unterbrochener leichter, mäßiger oder starker Regen,
- Nebel oder Nebel mit Reifansatz

- Wetterereignisse bei Temperaturen > 0° Celsius:
  - durchgehender oder unterbrochener leichter, mäßiger oder starker Schneefall,
  - leichter, mäßiger oder starker Schneeregen- oder Schneeschauer,
- Wetterereignisse der letzten Stunde aber nicht zur Beobachtungszeit:
  - Schneefall,
  - Schneeregen oder Eiskörner,
  - gefrierender Regen,
  - Schneeschauer bei Temperaturen > 0° Celsius,
  - Nebel bei Temperaturen ≤ 0° Celsius.

Damit werden eine Vielzahl von Ereignissen erfasst, die nicht in allen Fällen zu einer signifikanten Vereisung bzw. in einigen Fällen zu keiner Vereisung der WEA führen. Gleichzeitig beziehen sich die Meldungen auf Beobachterhöhe und nicht auf die Nabenhöhe der WEA. Es wurden daher Vergleiche mit verschiedenen Klimastationen des Deutschen Wetterdienstes durchgeführt. Hierzu wurden langjährige (30 Jahre) Messreihen zum Tagesmittel der relativen Luftfeuchte und der Lufttemperatur ausgewertet, um die Vereisungshäufigkeit auf Nabenhöhe zu bestimmen. Der Vergleich zeigt, dass die in /1.8/ auf Beobachterhöhe ermittelten Vereisungshäufigkeiten konservativere Ergebnisse liefern. Eine Umrechnung auf Nabenhöhe der WEA ist daher unter Berücksichtigung der in /1.8/ betrachteten Ereignisse nicht erforderlich.

Gemäß /1.8/ sind für Standorte in großen Höhen besondere Betrachtungen erforderlich, wenn diese besonders exponiert oder besonders geschützt liegen. Entsprechende Orte wurden in /1.8/ daher gefiltert. Die niedrigste betroffene Höhe liegt bei ca. 700m üNN, so dass das hier verwendete Verfahren im Folgenden für Orte bis zu einer Höhe von 700m üNN ohne Korrekturen angewendet wird. In diesem Höhenbereich weist die in /1.8/ verwendete exponentielle Regression eine gute Annäherung an die Daten auf und wird daher hier verwendet. Abbildung 2.5.1 zeigt die hierauf beruhende Vereisungskarte für Deutschland.

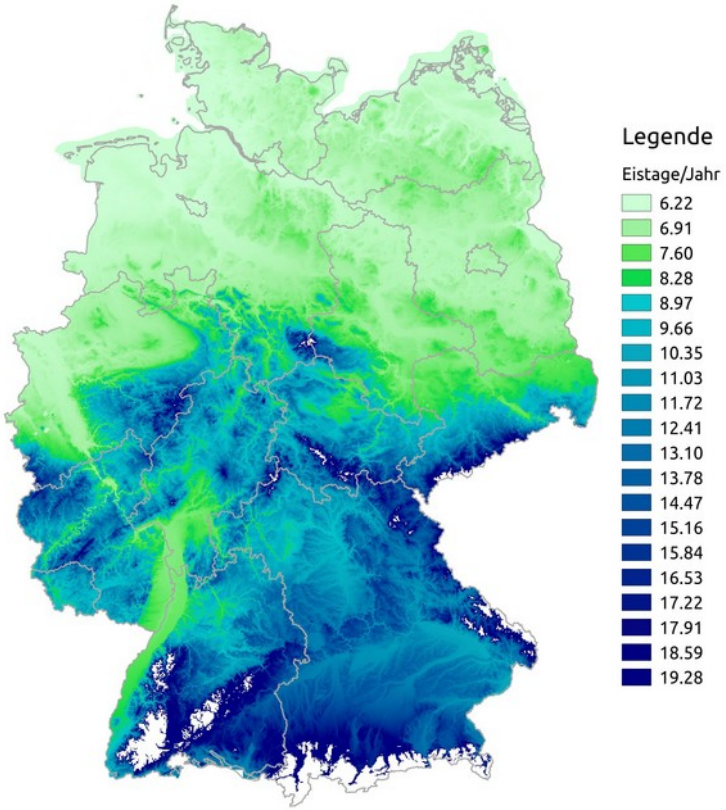


Abbildung 2.5.1: *Eistage pro Jahr basierend auf /1.8/ für Höhen bis 700m üNN.*

2.6 Gültigkeit der Ergebnisse

Die für die Risikobewertung erforderliche Häufigkeitsverteilung von Eisstücken in der Umgebung der WEA hängt von mehreren Faktoren ab. Dies sind neben den WEA-Daten (Koordinaten, WEA-Typ, Nabenhöhe, Nennleistung, Betriebsweise der WEA sowie Vorhandensein und Art des Eiserkennungssystems), die Windbedingungen (Häufigkeitsverteilung der Windrichtung, sektorielle Weibull-Parameter der Windgeschwindigkeitsverteilung) und die Vereisungsbedingungen am Standort. Mit letzterem sind neben der Anzahl der Vereisungstage auch die zu erwartende Eismasse auf dem Rotorblatt sowie die Massen- und Formverteilung der sich lösenden Eisstücke gemeint. Weiterhin ist die Risikobewertung abhängig von der Aufenthaltshäufigkeit und dem Bewegungsmuster von Personen im Umfeld der WEA.

Jede Änderung dieser Randbedingungen erfordert daher eine Neubewertung des Risikos.

Für alle Parameter, die einen Einfluss auf die Auftreffpunkte der Eisstücke haben, lassen sich keine pauschalen konservativen Werte festlegen /2.1/. Dies bedeutet

insbesondere, dass eine Reduzierung der Nabenhöhe nicht automatisch zu einer Reduzierung des Risikos führt. Auch sind die Ergebnisse eines Risikos durch Eiswurf nicht unbedingt abdeckend für das Risiko durch Eisfall von derselben WEA am selben Standort.

2.7 Systeme zur Prävention und Enteisung

Zurzeit liegen keine gesicherten Erkenntnisse vor, wie die Verteilung von Eisstückgrößen oder deren Dichte durch eine Rotorblattenteisung im Einzelfall beeinflusst wird. Nach derzeitigem Kenntnisstand führt der Einsatz einer Rotorblattenteisung wie zum Beispiel einer Rotorblattheizung dazu, dass die Größe der Eisstücke beim Eisfall sinkt, gleichzeitig aber die Anzahl der Eisstücke deutlich zunehmen kann.

Da zu den einzelnen Systemen keine spezifischen Untersuchungen vorliegen, wie sich die Rotorblattenteisung auf das Eisfallrisiko auswirkt, ist eine genau Quantifizierung im Rahmen der Berechnungen zurzeit nicht möglich. Der Einfluss dieser Systeme wird entsprechend in den Berechnungen nicht berücksichtigt.

Im Allgemeinen kann aber davon ausgegangen werden, dass die Berechnungen für Eisfall den Einsatz einer Rotorblattenteisung im Trudelbetrieb bzw. bei Stillstand der WEA abdecken und ihr Einsatz zulässig ist.

2.8 Verwendete Begriffe und Symbole

Es ergeben sich folgende Begriffe und Symbole, die im Zusammenhang mit WEA im Gutachten verwendet werden:

Tabelle 2.8.1: *Erläuterung der verwendeten Begriffe und Symbole.*

Erläuterung der Begriffe		
	„geplante WEA“	WEA, deren Risiko im Rahmen des Gutachtens zu bewerten ist.
	„benachbarte WEA“	Alle weiteren WEA, die vom Auftraggeber übermittelt wurden. Es ist dabei unerheblich, ob sich einzelne benachbarte WEA ebenfalls in Planung oder Bau befinden. Entscheidend ist die Windparkkonfiguration, die als Vorbelastung für die geplanten WEA zu unterstellen ist. Alle benachbarten WEA sind in Tabelle 3.3.1aufgeführt.
	„Referenzpunkt der Winddaten“	Jeweiliger Standort, auf dessen Koordinaten sich die verwendeten Winddaten beziehen.
Farbliche Zuordnung der Symbole		
	Zu bewertende WEA: geplante WEA, deren Risiko bewertet wird.	
	Zu berücksichtigende WEA: Benachbarte WEA, die aufgrund ihres Abstandes zu den geplanten WEA Einfluss auf das Risiko im Gefährdungsbereich der zu bewertenden WEA ( ) nehmen bzw. aufgrund der Nutzung der Schutzobjekte innerhalb des Windparks potentiell zu berücksichtigen sind.	
	Benachbarte WEA, die aufgrund ihres Abstandes zu den geplanten WEA und ihrer Lage im Windpark nicht bei der Bewertung des Risikos der zu bewertenden WEA ( ) zu berücksichtigen sind. Diese WEA sind eventuell nur zum Teil in Abbildung 3.3.1 dargestellt.	
	Referenzpunkte der Winddaten.	
	Referenzpunkt der Winddaten auf den Koordinaten einer (in diesem Fall geplanten) WEA.	

3 Eingangsdaten

3.1 Ausgangssituation

Am Standort Georgshof III (Niedersachsen) plant der Auftraggeber die Errichtung von vier Windenergieanlagen (WEA 30 - 33). Der Bauherr Herr Theo Verweyen plant die Errichtung einer weiteren Windenergieanlage (WEA 34).

Am Standort befinden sich 28 weitere benachbarte WEA.

Die vom Auftraggeber übermittelten Daten zur Windparkkonfiguration und die Schutzobjekte sind in Tabelle 3.3.1 bzw. Abbildung 3.3.1 dargestellt.

In der Umgebung befinden sich der Arler Weg und die zwei Höfe Georgshof und Hof Goldenstein, welche im Rahmen dieser Untersuchung in Abstimmung mit dem Auftraggeber als Schutzobjekte definiert wurden (siehe Abbildung 3.3.1). Die im Norden befindliche Bahnverbindung zwischen Norden und Dornum wird laut /3.2/ nur in den Sommermonaten durch eine Museumsbahn befahren. Eine Betrachtung kann daher entfallen.

Im Folgenden wird eine Risikoanalyse der WEA 30 - 34 hinsichtlich einer Gefährdung durch Eiswurf und Eisfall durchgeführt.

3.2 Winddaten am Standort

Die relativen Häufigkeiten der Windrichtung und Windgeschwindigkeiten am Standort wurden /3.1/ entnommen. Datengrundlage zur Abschätzung des Windpotentials am Standort Georgshof III bilden die Daten des anemos Windatlas für Deutschland mit einer räumlichen Auflösung von 3km und einer zeitlichen Auflösung von 10 Minuten. Der Referenzzeitraum deckt 20 Jahre von 2003 – 2022 ab /3.1/.

Entsprechend den Empfehlungen aus /2.1/ wurden die Daten für Perioden gefiltert, bei denen Eiswurf oder Eisfall potentiell auftreten kann. Die gefilterten Daten sind in Tabelle 3.2.1 aufgetragen und werden als richtig und repräsentativ für die freie Anströmung bei potentiellen Vereisungsbedingungen am Standort Georgshof III vorausgesetzt.

Die Parameter der Weibull-Verteilung werden genutzt, um die Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen auf die jeweiligen Windgeschwindigkeiten umzurechnen. Die Weibull-Parameter werden dabei soweit notwendig auf die jeweilige Nabenhöhe der WEA umgerechnet.

Tabelle 3.2.1: *Winddaten am Standort (f: Häufigkeit der Windrichtung; A und k: Skalen- und Formparameter der Weibull-Verteilung).*

Wind-Datensatz Nr.	**Parameter**	**N**	**NNO**	**ONO**	**O**	**OSO**	**SSO**	**S**	**SSW**	**WSW**	**W**	**WNW**	**NNW**	**Koordinaten** (UTM ETRS89/WGS84 Zone 32)	
1	A [m/s]	6.66	6.93	7.66	8.06	8.12	7.86	7.43	8.50	7.86	5.86	6.50	5.92	Höhe über Grund [m]	111
	k [-]	2.476	2.212	3.056	2.943	3.742	3.128	3.176	3.168	3.317	2.089	2.219	1.827	Ost	32395426
	f (100%=1)	0.041	0.064	0.106	0.163	0.142	0.098	0.098	0.137	0.066	0.029	0.029	0.028	Nord	5944108

3.3 Windparkkonfiguration und Schutzobjekte

Tabelle 3.3.1: *Windparkkonfiguration.*

	Lfd. Nr. WEA	Bezeichnung	Hersteller WEA-Typ	P_N [MW]	NH [m]	RD [m]	Koordinaten (GK PD Bessel)		Wind-Datensatz Nr.
							Rechts	Hoch	
	1	425	ENERCON E-70 E4	2.30	64.00	71.00	2595853	5945316	---
	2	516	ENERCON E-70 E4	2.30	64.00	71.00	2595173	5945132	---
	3	517	ENERCON E-70 E4	2.30	64.00	71.00	2595132	5944724	---
	4	612	ENERCON E-70 E4	2.30	64.00	71.00	2594720	5945289	---
	5	613	ENERCON E-70 E4	2.30	64.00	71.00	2594718	5944706	---
	6	615	ENERCON E-70 E4	2.30	64.00	71.00	2594842	5944477	---
	7	708	ENERCON E-70 E4	2.30	64.00	71.00	2593535	5944595	---
	8	EA049	ENERCON E-66/15.66	1.50	67.00	66.00	2593982	5943921	---

	Lfd. Nr. WEA	Bezeichnung	Hersteller WEA-Typ	P_N [MW]	NH [m]	RD [m]	Koordinaten (GK PD Bessel)		Wind-Datensatz Nr.
							Rechts	Hoch	
	9	EA052	ENERCON E-66/15.66	1.50	67.00	66.00	2593768	5943971	---
	11	EA098	ENERCON E-70 E4	2.30	64.00	71.00	2592741	5945447	---
	12	EA108	ENERCON E-70 E4	2.30	64.00	71.00	2592622	5945809	---
	13	410	ENERCON E-101	3.05	135.00	101.00	2596156	5945332	---
	14	520	ENERCON E-70 E4	2.30	113.00	71.00	2595100	5944514	---
	15	630	ENERCON E-92	2.35	138.00	92.00	2594925	5944907	---
	16	706	ENERCON E-70 E4	2.30	85.00	71.00	2593520	5944845	---
	17	420	ENERCON E-101	3.05	135.00	101.00	2596060	5945016	---
	18	M03	ENERCON E-101	3.05	135.00	101.00	2593780	5944296	---
	19	M04	ENERCON E-70 E4	2.30	64.00	71.00	2593972	5944555	---
	20	M02	ENERCON E-82 E2	2.30	108.00	82.00	2593226	5944185	---
	21	M06	ENERCON E-82 E2	2.30	108.00	82.00	2593503	5943972	----
	22	703	ENERCON E-70 E4	2.30	64.00	71.00	2593037	5945339	---
	23	Georgshof I. WEA 40117	ENERCON E-40 5.40	0.50	50.00	40.30	2593640	5945697	---
	24	Georgshof I. WEA 40118	ENERCON E-40 5.40	0.50	50.00	40.30	2593698	5945492	---
	25	Georgshof I. WEA 40120	ENERCON E-40 5.40	0.50	50.00	40.30	2593814	5945072	---

	Lfd. Nr. WEA	Bezeichnung	Hersteller WEA-Typ	P_N [MW]	NH [m]	RD [m]	Koordinaten (GK PD Bessel)		Wind-Datensatz Nr.
							Rechts	Hoch	
	26	Georgshof II. WEA 1011414	ENERCON E-101	3.05	135.00	101.00	2593961	5945561	---
	27	Georgshof II. WEA 1011415	ENERCON E-101	3.05	135.00	101.00	2593904	5945261	---
	28	Georgshof II. WEA 1011416	ENERCON E-101	3.05	135.00	101.00	2593914	5944959	---
	29	Georgshof II. WEA 1011417	ENERCON E-101	3.05	135.00	101.00	2594242	5945123	---
	30	Georgshof III. WEA 01	ENERCON E-138 EP3 E3	4.20	111.00	138.25	2593479	5946172	1
	31	Georgshof III. WEA 02	ENERCON E-138 EP3 E3	4.20	111.00	138.25	2593615	5945915	1
	32	Georgshof III. WEA 03	ENERCON E-138 EP3 E3	4.20	111.00	138.25	2594114	5945851	1
	33	Georgshof III. WEA 04	ENERCON E-138 EP3 E3	4.20	111.00	138.25	2594240	5945431	1
	34	WEA Verweyen	ENERCON E-138 EP3 E3	4.20	111.00	138.25	2593933	5946136	1

Alle Benennungen von WEA im Dokument beziehen sich auf die Nomenklatur von Spalte 2 (Lfd. Nr.) in Tabelle 3.3.1. Die WEA mit der laufenden Nummer 10 ist inaktiv.

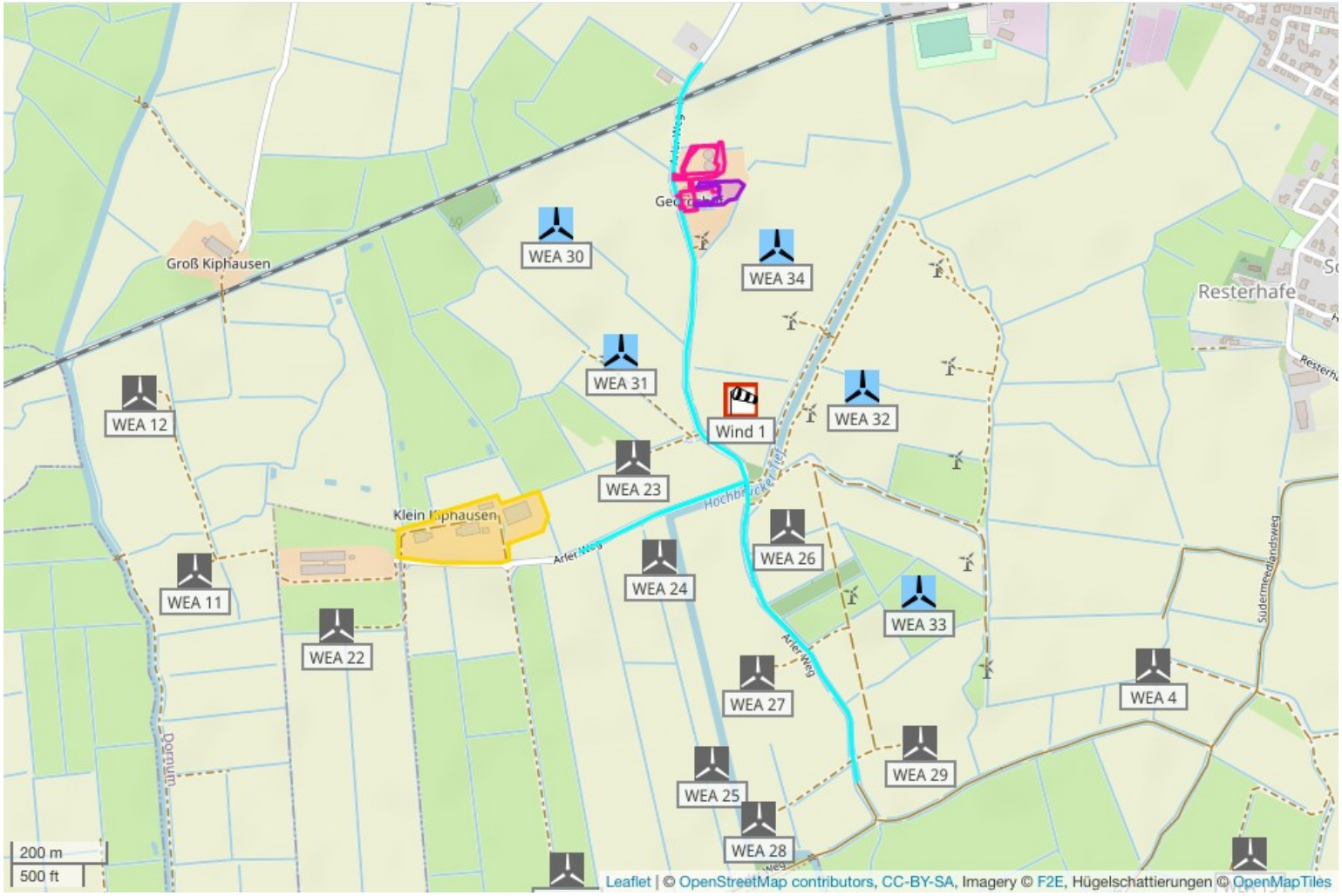


Abbildung 3.3.1:
Lage des Standortes, Karte /1.4/.

zu bewertende WEA

zu berücksichtigende WEA

weitere WEA

Referenzpunkt der Winddaten

Schutzobjekte:

türkis:	*Arler Weg*
pink:	*Georgshof – Aufenthaltsbereich 1*
lila:	*Georgshof – Aufenthaltsbereich 2*
gelb:	*Hof Goldenstein*

3.4 Aufenthaltshäufigkeiten

Tabelle 3.4.1: *In den Auswertungen berücksichtigtes Verkehrs- und Personenaufkommen auf den Schutzobjekten im Bereich der WEA.*

Verkehrswege								
Schutzobjekt	**Verkehrsaufkommen**			**Personenaufkommen**				**Kritisches Individuum**
	Kfz/Tag	**km/h**	**Individuelle Nutzungshäufigkeit**	**Personen/ Tag**		**Individuelle Nutzungshäufigkeit**		
				Radfahrer	**Fußgänger**	**Radfahrer**	**Fußgänger**	
Arler Weg	---*	<50*	---	---**	---**	zweimal täglich	einmal täglich	Fußgänger

Freiflächen		
Schutzobjekt	**Personenaufkommen**	
	Personen/ Tag	**Szenario für individuelle Nutzungshäufigkeit durch das kritische Individuum**
Georgshof – Aufenthaltsbereich 1	---**	1.5h täglich ungeschützter Aufenthalt im Freien /3.3/
Georgshof – Aufenthaltsbereich 2	---**	2h täglich ungeschützter Aufenthalt im Freien /3.3/

---* Bis zu einer Fahrzeuggeschwindigkeit von 50km/h kann das Risiko für Personen innerhalb des Fahrzeuges vernachlässigt werden (siehe Kapitel 2.3.1).

---** Bei Schutzobjekten, die gemäß Kapitel 2.3.3 dem individuellen Risiko zuzuordnen sind, ist für die Risikoabschätzung nur die eine individuelle Person mit der auf der individuellen Nutzungshäufigkeit basierenden größten Gefährdung maßgeblich (kritisches Individuum). Weitere Angaben zur Anzahl der Personen pro Tag können daher entfallen.

* Aufgrund von Wegbeschaffenheit und -verlauf im standortspezifischen Gefährdungsbereich angenommen.

Tabelle 3.4.1 enthält alle Angaben zum Verkehrs- und Personenaufkommen, die in den nachfolgenden Risikobewertungen für die Verkehrswege berücksichtigt werden. Für Schutzobjekte, die sich nicht im standortspezifisch ermittelten Gefährdungsbereich der WEA befinden, sind Angaben zur Frequentierung nicht erforderlich. Für Fußgänger und Radfahrer werden die jeweiligen Geschwindigkeiten mit 5km/h bzw. 15km/h zugrunde gelegt. Für Schutzobjekte, für die nach Kapitel 2.3.3 das individuelle Risiko maßgeblich ist, wird ein kritisches Individuum ermittelt und in Tabelle 3.4.1 aufgeführt.

3.5 Vereisungsrelevante WEA-Systeme

3.5.1 WEA-interne Eiserkennungssysteme

Die WEA 30 - 34 sind mit dem ENERCON-Eiserkennungssystem nach dem Leistungskurvenverfahren /3.4/ ausgestattet. Über die optionale Parametrierung des Eiserkennungssystems können die WEA im Modus Eiswurf oder Eisfall betrieben werden.

Die Bewertung des Eiserkennungssystems nach dem Leistungskurvenverfahren ist nicht Bestandteil dieses Gutachtens wurde aber in /3.5/ vorgenommen. Gemäß /3.5/ entspricht das System dem Stand der Technik und viele Indizien sprechen dafür, dass eine Eisdicke erkannt wird, die geringer als die kritische Eisdicke ist. Erst ab einer kritischen Eisdicke besteht eine Gefahr für ungeschützte Personen /3.5/.

3.5.2 Optionale Eiserkennungssysteme

Die WEA 30 - 34 sind zusätzlich mit einem externen, zertifizierten Eiserkennungssystem der Firma Wölfel ausgestattet. Die Eisansatzerkennung nach dem ENERCON-Kennlinienverfahren bleibt dabei weiterhin aktiv.

In /3.5/ wurde die Kompatibilität von IDD.Blade mit den ENERCON Betriebsführungs- und Sicherheitssystemen geprüft. Danach ist IDD.Blade als Eiserkennungssystem für Windenergieanlagen des Herstellers ENERCON geeignet.

Das System IDD.Blade zur Eiserkennung ist entsprechend der Richtlinie des Germanischen Lloyd für die Zertifizierung von Systemen zur Zustandsüberwachung von Windenergieanlagen /3.6/ typgeprüft /3.7/.

3.5.3 Systeme zur Prävention und Enteisung

Die betrachteten WEA sind nicht mit einem System zur Enteisung (de-icing) oder einem System zur Reduzierung von Vereisung (anti-icing) ausgestattet.

3.5.4 Betriebsführungssystem

Nach einer Abschaltung durch das Eiserkennungssystem geht die WEA in einen definierten Zustand. Angaben zu Trudeldrehzahlen, Blattstellung und Windnachführung der WEA wurden gemäß /3.8/ umgesetzt.

3.6 Risikoreduzierende Maßnahmen

Die im Anhang A dargestellten Ergebnisse berücksichtigen keine risikoreduzierenden Maßnahmen.

4 Durchgeführte Untersuchungen

4.1 Standortbesichtigung

Eine Standortbesichtigung ist im Rahmen der Bewertung des Risikos durch Eiswurf oder Eisfall nicht durch ein Regelwerk vorgeschrieben oder geregelt. Eine Standortbesichtigung empfiehlt sich, wenn die Situation vor Ort nicht ausreichend bekannt ist.

Im Rahmen der Standortbesichtigung werden die potentiellen Schutzobjekte vor Ort dokumentiert und besichtigt. Es werden Informationen zur Beschaffenheit der Schutzobjekte, wie z.B. Straßenbelag, Geschwindigkeitsbeschränkungen und Fahrverboten bei Verkehrswegen aufgenommen.

Die Standortbesichtigung dient nicht zur Bestimmung der Aufenthaltshäufigkeit von Personen in oder auf Schutzobjekten, der Bestimmung der Frequentierung von Verkehrswegen, der Bestimmung der Klimatologie des Standortes oder der Verifizierung der Windparkkonfiguration.

Die Schutzobjekte vor Ort wurden in Abstimmung mit dem Auftraggeber festgelegt (siehe Kapitel 3.1). Aufgrund der vorhandenen Datenlage zu den Schutzobjekten wurde auf eine Standortbesichtigung verzichtet.

4.2 Vereisungsbedingungen am Standort

Die Vereisungshäufigkeit am Standort wurde entsprechend Kapitel 2.5 ermittelt.

Die Anzahl der insgesamt am Standort zu unterstellenden Eisstücke ergibt sich aus der Anzahl der Eisstücke pro Vereisungsereignis und der Anzahl der Vereisungstage.

Für die WEA ist konservativ davon auszugehen, dass es an allen Vereisungstagen zu einer vollständigen Vereisung der WEA kommt.

In Übereinstimmung mit /2.1/ kann die insgesamt zu berücksichtigende Eismasse abhängig von der Blattgeometrie anhand des Vereisungslastfalles der internationalen Richtlinie für WEA /2.4/ definiert werden. Unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Masse der Eisstücke lässt sich daraus eine Anzahl Eisstücke pro Vereisung ableiten.

Damit ergeben sich am Standort Georgshof III die in Tabelle 4.2.1 dargestellten Vereisungsbedingungen.

Tabelle 4.2.1: *Vereisungsbedingungen am Standort Georgshof III .*

Lfd. Nr. WEA	Vereisungs-häufigkeit [%]	Vereisungstage pro Jahr	Eisstücke pro Jahr pro WEA	
			Eisfall	Eiswurf
30 - 34	1.7	6.2	882	---

4.3 Ermittlung der potentiellen Gefährdungsbereiche

Für die zu bewertenden WEA sind die zu betrachtenden Schutzobjekte, die im potentiellen Gefährdungsbereich der WEA liegen, in Tabelle 4.3.1 aufgeführt.

Tabelle 4.3.1: *Zu betrachtende Schutzobjekte.*

Lfd.Nr. WEA	Potentieller Gefährdungsbereich	
	Radius [m]	Schutzobjekte im Bereich
30	373.9	Arler Weg
		Georgshof – Aufenthaltsbereich 1
		Georgshof – Aufenthaltsbereich 2
31		Arler Weg
		Georgshof – Aufenthaltsbereich 1
		Georgshof – Aufenthaltsbereich 2
		Hof Goldenstein
32		Arler Weg
33		Arler Weg
34		Arler Weg
		Georgshof – Aufenthaltsbereich 1
		Georgshof – Aufenthaltsbereich 2

Für WEA in deren potentiellem Gefährdungsbereich sich keine Schutzobjekte befinden, ist eine weitere Betrachtung im Rahmen der Risikobewertung nicht erforderlich.

Die potentiellen Gefährdungsbereiche der WEA vom 1.5fachen der Summe aus Nabenhöhe und Rotordurchmesser (siehe Kapitel 2.2) sind in Abbildung 4.3.1 dargestellt.

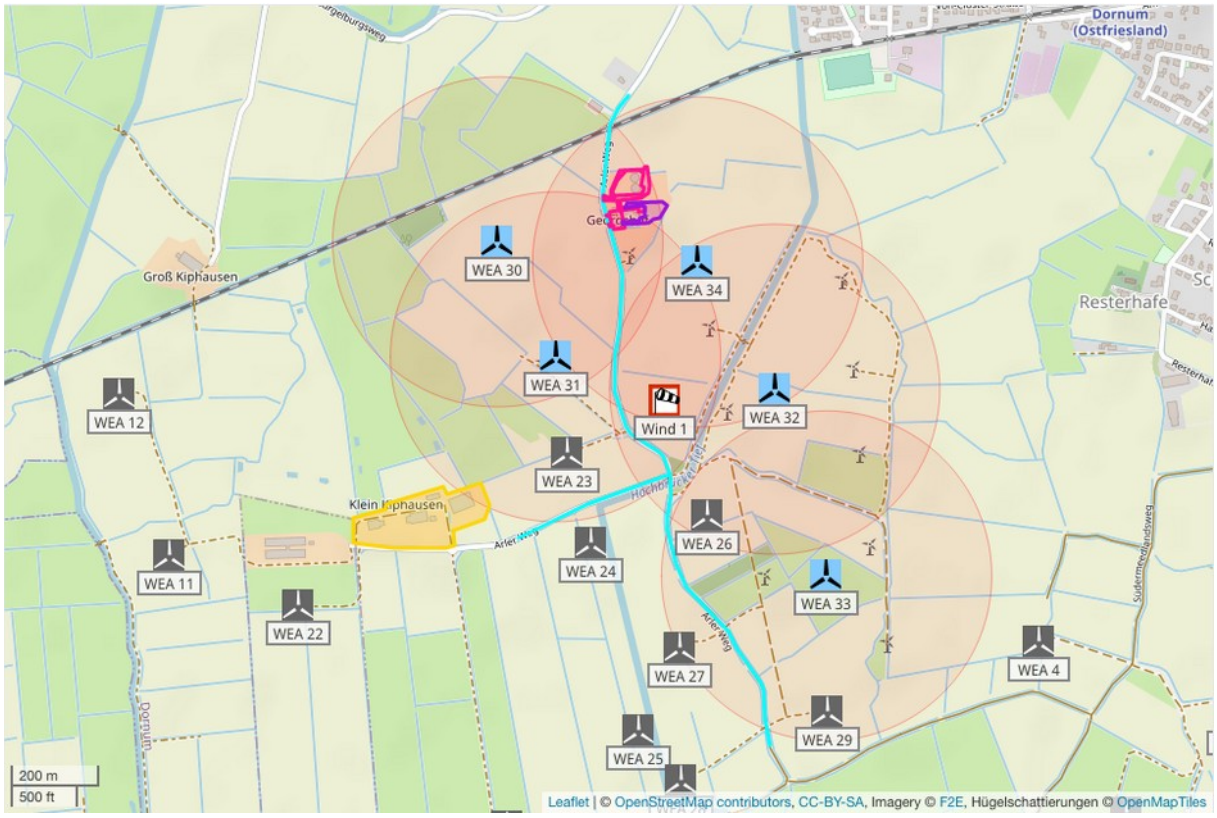


Abbildung 4.3.1: *Potentielle Gefährdungsbereiche der WEA und Schutzobjekte am Standort Georgshof III (Karte /1.4/).*

Wenn entlang eines Weges mit regionalem Charakter die Gefährdungsbereiche der geplanten und der benachbarten WEA passiert werden (siehe Kapitel 2.3.5), wird das Risiko der betreffenden benachbarten WEA entsprechend berücksichtigt.

4.4 Eiswurf

Aufgrund der vorhandenen Systeme zur Eiserkennung kann der Betrieb bei potentiell gefährlichem Eisansatz weitestgehend ausgeschlossenen werden. Für diese WEA ist daher eine Gefährdung durch Eiswurf standortspezifisch nicht zu betrachten.

4.5 Eisfall

Entsprechend Kapitel 2.2 ist eine Gefährdung durch Eisfall für Personen in der Umgebung der WEA 30 - 34 standortspezifisch zu betrachten, auch wenn eines der in Kapitel 3.5 genannten Systeme zur Eiserkennung zu diesem Zweck genutzt wird.

Aus der in Kapitel 4.2 ermittelten Gesamtanzahl von Eisstücken, der Windgeschwindigkeitsverteilung gemäß Tabelle 3.2.1, der Geometrie und Betriebsweise der WEA sowie der Topografie am Standort, ergeben sich in der Umgebung einer WEA für jeden Punkt unterschiedliche Trefferhäufigkeiten von Eisstücken. Auf Basis dieser Trefferhäufigkeiten ist die spezifische Gefährdung von Personen abhängig von der Wegstrecke, die die Personen bzw. die mit Personen besetzten Fahrzeuge in der Umgebung der WEA nehmen, der Geschwindigkeit, mit der sie sich fortbewegen sowie der Häufigkeit, mit der ein bestimmter Weg genommen wird. Verkehrswege und andere Freiflächen bzw. Gebäude, die keinen Schutz gegen Eisstücke bieten, unterscheiden sich an dieser Stelle nur dahingehend, dass die Wegstrecke bei Verkehrswegen deutlich vorgegeben ist, während sie bei Freiflächen typischerweise durch eine allgemeine Aufenthaltshäufigkeit ersetzt wird.

Eine spezifische Gefährdung lässt sich daher nicht in Form einer Gefährdungskarte in der Umgebung einer WEA darstellen, da für jeden Punkt in der Umgebung einer WEA theoretisch unendlich viele Szenarien denkbar sind. Die Gefährdung ist daher stets in Bezug zu einem Schutzobjekt unter Berücksichtigung der genannten Randbedingungen zu ermitteln.

Wie in Kapitel 2.3 dargestellt, erfolgt die Bewertung des individuellen und kollektiven Risikos durch eine Einteilung in fünf Bereiche von inakzeptabel bis vernachlässigbar. Dabei werden Schutzobjekte, die in den Berechnungen nicht von Eisstücken getroffen werden, aber im potentiellen Gefährdungsbereich liegen, dem vernachlässigbaren Risiko zugeordnet. Damit ergeben sich bezogen auf die betrachteten WEA folgende Ergebnisse für das Szenario Eisfall.

Es ist in Tabelle 4.5.1 jeweils nur das in Abhängigkeit von der Aufenthaltshäufigkeit von Personen zu betrachtende Risiko dargestellt (siehe Kapitel 2.3).

Sind gemäß Kapitel 2.3.5 Risiken verschiedener WEA zu addieren, wird die Bewertung der addierten Risiken in Tabelle 4.5.1 gesondert aufgeführt.

Tabelle 4.5.1: *Bewertung der Gefährdung durch Eisfall am Standort Georgshof III.*

Lfd. Nr. WEA	Schutzobjekt	Kollektives Personenrisiko	Individuelles Personenrisiko
30	Arler Weg	---	vernachlässigbar*
	Georgshof – Aufenthaltsbereich 1	---	vernachlässigbar*
	Georgshof – Aufenthaltsbereich 2	---	vernachlässigbar*
31	Arler Weg	---	vernachlässigbar
	Georgshof – Aufenthaltsbereich 1	---	vernachlässigbar*
	Georgshof – Aufenthaltsbereich 2	---	vernachlässigbar*
	Hof Goldenstein	---	vernachlässigbar*
32	Arler Weg	---	vernachlässigbar*
33	Arler Weg	---	vernachlässigbar*
34	Arler Weg	---	vernachlässigbar
	Georgshof – Aufenthaltsbereich 1	---	allgemein akzeptabel
	Georgshof – Aufenthaltsbereich 2	---	tolerierbar – Maßnahmen sind in Betracht zu ziehen

**: Die Ergebnisse zeigen, dass das Schutzobjekt in den Berechnungen nicht von Eisstücken der WEA getroffen wird.*

Aufgrund der Einzelergebnisse der Risikobewertung und der Lage der benachbarten WEA kann auf eine weitere Betrachtung addierter Risiken verzichtet werden.

Details der zugrunde liegenden Berechnungen sind im Anhang A dargestellt.

5 Weitere Maßnahmen

Liegt das Risiko im inakzeptablen oder im oberen tolerierbaren ALARP-Bereich sind etablierte risikomindernde Maßnahmen umzusetzen (siehe Kapitel 2.3.4).

Die ermittelten Risiken liegen für die WEA 34 für das Schutzobjekt „Georgshof – Aufenthaltsbereich 2“ im oberen ALARP-Bereich.

Wir empfehlen eine Aufklärung der sich dort regelmäßig aufhaltenden Personen über die Gefahren von Eisfall und Eiswurf in der Umgebung von WEA.

Weiterhin empfehlen wir für die WEA 34 nach Abschaltung auf Grund von Eisansatz den Rotor der WEA so auszurichten, dass möglichst wenige Eisstücke die jeweiligen Schutzobjekte treffen und entsprechend den Vorgaben des Herstellers die Azimutposition des Rotors bis zur maximal möglichen Windgeschwindigkeit beizubehalten. Die erforderlichen Werte sind in Tabelle 5.1 dargestellt (zur Definition des Azimutwinkels siehe Abbildung 2.3.4.1).

Tabelle 5.1: *Empfohlene Azimut-Positionen nach Abschaltung auf Grund von Eisansatz für den Rotor der WEA.*

Lfd. Nr. WEA	Azimutwinkel bei Stillstand [°]
34	140

6 Zusammenfassung

Die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG ist beauftragt worden, die vorliegende Windparkkonfiguration hinsichtlich einer Gefährdung durch Eiswurf und Eisfall ausgehend von den stillstehenden (trudelnden) bzw. in Betrieb befindlichen WEA zu betrachten und zu bewerten.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Risikoanalyse der WEA 30 - 34 hinsichtlich einer Gefährdung durch Eiswurf und Eisfall zusammengefasst.

Als Schutzobjekte wurden der Arler Weg und die zwei Höfe Georgshof und Hof Goldenstein in der Nachbarschaft der WEA definiert. Die im Norden befindliche Bahnverbindung zwischen Norden und Dornum wird laut /3.2/ nur in den Sommermonaten durch eine Museumsbahn befahren. Eine Betrachtung kann daher entfallen.

Die abschließende Bewertung des Risikos durch Eisfall und Eiswurf ist in Tabelle 6.1 für alle zu bewertenden und zu berücksichtigenden WEA aus Tabelle 3.3.1 bezüglich der relevanten Schutzobjekte dargestellt.

Maßnahmen, die in den Berechnungen berücksichtigt wurden und entsprechend für die getroffene Aussage unabdingbar sind, werden in der Tabelle 6.1 in den Randbedingungen dargestellt.

Maßnahmen, die zur Verringerung des Risikos umgesetzt werden sollten, werden in Tabelle 6.1 in der Spalte „Maßnahmen zur Risikoreduzierung“ aufgeführt. Eine genauere Erläuterung der Maßnahmen erfolgt in Kapitel 5.

***Tabelle 6.1**: Übersicht über die Bewertung des Risikos durch Eisfall und Eiswurf (Risikogrenzwert: - = überschritten, + = noch tolerierbar, ++ = tolerierbar, +++ = allgemein akzeptabel, ≈ 0 = vernachlässigbar).*

Lfd. Nr. WEA	Randbedingungen der Berechnung					Ergebnisse		
	Eiserkennungssystem			Azimutwinkel nach Abschaltung	Anti- / De-Icing	Schutzobjekt	Bewertung Personenrisiko	Maßnahmen zur Risikoreduzierung (Kapitel 5)
	aktiv	Windrichtungs-sektor	Anteil Eiswurf					
30	ja	0 – 360°	0%	---	---	Arler Weg	≈ 0	---
						Georgshof – Aufenthaltsbereich 1	≈ 0	---
						Georgshof – Aufenthaltsbereich 2	≈ 0	---
31	ja	0 - 360°	0%	---	---	Arler Weg	≈ 0	---
						Georgshof – Aufenthaltsbereich 1	≈ 0	---
						Georgshof – Aufenthaltsbereich 2	≈ 0	---
						Hof Goldenstein	≈ 0	---
32	ja	0 - 360°	0%	---	---	Arler Weg	≈ 0	---
33	ja	0 - 360°	0%	---	---	Arler Weg	≈ 0	---
34	ja	0 - 360°	0%	---	---	Arler Weg	≈ 0	---
						Georgshof – Aufenthaltsbereich 1	+++	---
						Georgshof – Aufenthaltsbereich 2	+	Azimutposition 140° Aufklärung der den Bereich nutzenden Personen

7 Formelzeichen und Abkürzungen

WEA	Windenergieanlage
RD	Rotordurchmesser
NH	Nabenhöhe
GK	Gauß Krüger Projektion
PD	Potsdam-Datum
ETRS89	Europäisches Terrestrisches Referenzsystem 1989
UTM	Universale Transversale Mercator Projektion
WGS84	World Geodetic System 1984
ü. NN	über Normalnull
MEM	Minimale endogen Sterblichkeit
Kfz	Kraftfahrzeug

A	Skalierungsparameter der Weibull-Verteilung	[m/s]
k	Formparameter der Weibullverteilung	[-]
v	Windgeschwindigkeit	[m/s]
h	Höhe	[m]
Θ	Azimutwinkel	[°]

8 Literaturangaben

Allgemein

/1.1/ Bengt Tammelin et. al.; Wind Energy Production in Cold climates; Meteorological publications No.41, Finnish Meteorological Institute, Helsinki, Finland, February 2000.

/1.2/ International Energy Agency (IEA), IEA Wind Task 19, State-of-the-Art of Wind Energy in Cold Climates, Edition October 2012.

/1.3/ Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen; Verkehrstechnik Heft V 291, Fahrleistungserhebung 2014 – Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko; Bergisch Gladbach, August 2017.

/1.4/ OpenStreetMap und Mitwirkende; siehe Internet: http://www.openstreetmap.org, http://opendatacommons.org, http://creativecommons.org.

/1.5/ U.S. Geological Survey (USGS); EROS Archive - Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global.

/1.6/ Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung; Mobilität in Deutschland 2008; Ergebnisbericht, Struktur – Aufkommen – Emissionen – Trends; Bonn und Berlin, Februar 2010.

/1.7/ Schneider J., Schlatter H. P.; Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen - Grundwissen für Ingenieure; 1. Auflage, B. G. Teubner, Stuttgart, 1994.

/1.8/ Wichura, B., 2013. The Spatial Distribution of Icing in Germany Estimated by the Analysis of Weather Station Data and of Direct Measurements of Icing, Proceedings of the 15th International Workshop On Atmospheric Icing Of Structures (IWAIS 2013). Compusult Ltd., St. John's, Newfoundland and Labrador, September 8-11, 2013, pp. 303-309.

/1.9/ HSE, Health and safety Executive. (n.d.); Risk analyses or 'predictive' aspects of comah safety reports guidance for explosives sites - The COMAH Safety Report Process for Predictive Assessment of Explosives Sites, downloaded 2014-08-21; Retrieved from http://www.hse.gov.uk/comah/

/1.10/ Oliver J., Creighton P.; Road Accidents, Bicycle injuries and helmet use: a systematic review and meta-analysis; International Journal of Epidemiology, 2017, 278-292.

/1.11/ Dirk Proske; Katalog der Risiken, 3. vollständig überarbeitete Auflage; Würenlingen 2021.

Normen

/2.1/ International Energy Agency (IEA), IEA Wind TCP Task 19; Technical Report; International Recommendations for Ice Fall and Ice Throw Risk Assessments; April 2022.

/2.2/ Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) Ausgabe 2020/1; Berlin, 19.01.2021.

/2.3/ DIN EN 50126; Bahnanwendungen – Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS); Deutsches Institut für Normung e.V., März 2000.

/2.4/ International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 61400-1, Wind energy generation systems - Part 1: Design requirements; Edition 4, 2019-12; Geneva, Switzerland (Deutsche Fassung: Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN IEC 61400-1 (VDE 0127-1); Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2019); Dezember 2019; Berlin, Deutschland).

Projektspezifisch

/3.1/ anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH; anemos Windatlas für Deutschland, https://awis.anemos.de/, Winddaten zum Standort Georgshof III heruntergeladen am 16.08.2023.

/3.2/ Museumseisenbahn Küstenbahn Ostfriesland e.V.; Fahrplan und Fahrpreise 2023, siehe Internet: http://www.mkoev.de/seite/385074/fahrplan-und-fahrpreise.html, abgerufen am 21.08.2023.

/3.3/ Windpark Georgshof GmbH & Co KG; Projekt Georgshof III (2023-D062-P4-R1) / Risikobeurteilung Eiswurf/Eisfall; Angaben zum Aufenthalt auf dem Georgshof, per Mail am 25.10.2023.

/3.4/ ENERCON GmbH; Technische Beschreibung ENERCON Eisansatzerkennung ENERCON Windenergieanlagen; Dokument D0154407-10.1, 2021-02-23.

/3.5/ TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG; Gutachten Eisansatzerkennung an Rotorblättern von ENERCON Windenergieanlagen durch das ENERCON-Kennlinienverfahren und externe Eissensoren; TÜV Nord Bericht Nr.: 8111 7247 373 Rev. 2; Hamburg, 28.02.2022, in Verbindung mit ENERCON; Technical information Overview of control system designations for WECs; D02641620/0.1-en; 22.03.2022.

/3.6/ DNV AS; Certification of condition monitoring, DNV-SE-0439:2021-10; October 2021.

/3.7/ DNV; Type Certificate, Ice Detection System IDD.BLade; Certificate No. TC-DNV-SE-0439-03577-3; Hamburg, 2022-01-17.

/3.8/ ENERCON GmbH; Technische Beschreibung, Anhalten der Windenergieanlage, ENERCON Windenergieanlagen; Dokument-ID D0630561-3.1-de; 2023-01-12.

Anhang A: Detaillierte Berechnungsergebnisse Eisfall

A.1 Berechnung der Auftreffhäufigkeiten

In der Abbildung A.1.1 sind die für die Umgebung der WEA resultierenden Treffer pro 16 Quadratmeter und Jahr dargestellt.

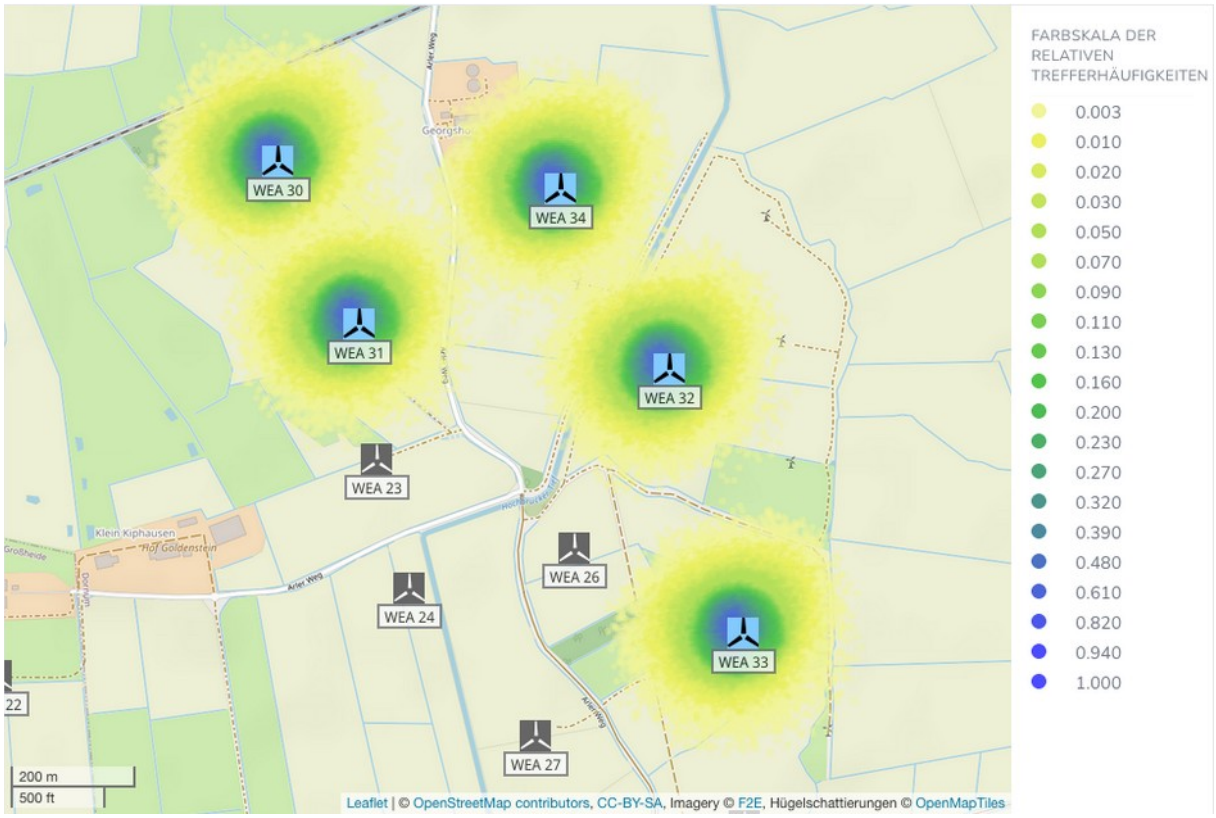


Abbildung A.1.1: *Trefferhäufigkeiten von Eisstücken pro Rasterfläche (16m²) und Jahr in der Umgebung der WEA 30 - 34 am Standort Georgshof III (Karte /1.4/).*

Tabelle A.1.1 listet die maximal erreichte Flugweite der Eisstücke bezogen auf den Fußpunkt der WEA auf.

Tabelle A.1.1*: Maximale Flugweite der betrachteten Eisstücke am Standort Georgshof III.*

Lfd. Nr. WEA	Maximale Flugweite [m]
30	224.4
31	223.5
32	222.6
33	224.1

Lfd. Nr. WEA	Maximale Flugweite [m]
34	219.8

A.2 Schadenshäufigkeiten

Aus den ermittelten Flugbahnen ergeben sich für die Schutzobjekte im Gefährdungsbereich der zu bewertenden WEA die in Tabelle A.2.1 aufgeführten Ergebnisse.

In Tabelle A.2.1 ist jeweils nur das in Abhängigkeit von der Aufenthaltshäufigkeit von Personen zu betrachtende Risiko dargestellt.

Tabelle A.2.1: *Ergebnisse für die kollektiven und individuellen Risiken für Personenschäden am Standort Georgshof III.*

Lfd. Nr. WEA	Schutzobjekt	Anzahl Treffer pro Jahr	Kollektives Personenrisiko	Individuelles Personenrisiko
30	Arler Weg	0	---	---
	Georgshof – Aufenthaltsbereich 1	0	---	---
	Georgshof – Aufenthaltsbereich 2	0	---	---
31	Arler Weg	0.1	---	$8.58*10^{-9}$ (einmal in 116 Mio. Jahren)
	Georgshof – Aufenthaltsbereich 1	0	---	---
	Georgshof – Aufenthaltsbereich 2	0	---	---
	Hof Goldenstein	0	---	---
32	Arler Weg	0	---	---
33	Arler Weg	0	---	---
34	Arler Weg	0.08	---	$5.45*10^{-9}$ (einmal in 183 Mio. Jahren)
	Georgshof – Aufenthaltsbereich 1	0.02	---	$1.01*10^{-8}$ (einmal in 99 Mio. Jahren)
	Georgshof – Aufenthaltsbereich 2	0.8	---	$1.03*10^{-6}$ (einmal in 927 000 Jahren)

16.1.4 Standsicherheit

Siehe Anlage

Aufgrund der zeitgleichen Errichtung von vier weiteren WEA des WP Georgshof, siehe BimSch-Anträge, müssen alle WEA in einem Gutachten auf die Standsicherheit geprüft werden.

Anlagen:

- 17.1._f2e_gutachten_georgshof_iii_rev1_final.pdf
- 2023-08-23-F2E-Georgshof-EX-MS.pdf
- 15.1._23.1098 V&B WP Georgshof Repowering_GUA_1_Rev.pdf
- wake2e_bericht_georgshof_iii_rev1.pdf

F2E Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG

Gutachten zur Standorteignung von WEA am Standort Georgshof III

Referenz-Nummer:
2023-D-062-P3-R1 - ungekürzte Fassung

Auftraggeber:
Windpark Georgshof GmbH & Co KG
Joachimsfeld 1, 26553 Dornum

Bauherr:
Herr Theo Verweyen
Westerstraße 16, 26553 Dornum

Die Ausarbeitung des Gutachtens erfolgte durch:
Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG
Borsteler Chaussee 178, 22453 Hamburg, www.f2e.de

Verfasser:

M.Sc. Andres Flügel, Sachverständiger, Hamburg, 27.10.2023

Geprüft:

Dipl.-Ing. (FH) Silva Mäusling, Sachverständige, Hamburg, 27.10.2023

Für weitere Auskünfte:
Tel.: 040 5330368-0 Fax: 040 53303680-79
Andres Flügel fluegel@f2e.de oder Silva Mäusling: maeusling@f2e.de

Urheber- und Nutzungsrecht:

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

Inhaltsverzeichnis

1 Aufgabenstellung....3
2 Grundlagen....4
2.1 Nachweis durch Vergleich der Windbedingungen....4
2.2 Nachweis durch Vergleich der Lasten....10
2.3 Auslegungswerte....11
2.3.1 Turbulenzintensität....11
2.3.2 Windgeschwindigkeit....11
2.3.3 Weitere Windbedingungen....11
2.4 Erläuterungen zu den verwendeten Methoden....12
2.4.1 Bestimmung der Komplexität....12
2.4.2 Bestimmung der Umgebungsturbulenzintensität....13
2.4.3 Bestimmung der effektiven Turbulenzintensitäten....14
2.4.4 Bestimmung der Extremwerte der Turbulenzintensitäten....16
2.4.5 Bestimmung der Luftdichte....16
2.4.6 Bestimmung des Höhenexponenten....16
2.4.7 Bestimmung der Schräganströmung....17
2.4.8 Extrapolation der Winddaten....17
2.5 Gültigkeit der Ergebnisse....18
2.5.1 Betriebsbeschränkungen....19
2.6 Darstellung von Betriebsbeschränkungen im Gutachten....20
2.6.1 Einfluss von benachbarten Windenergieanlagen....20
2.6.2 Alternative Betriebsbeschränkungen....20
2.6.3 Einfluss der Umgebungsbedingungen....22
3 Eingangsdaten....23
3.1 Windparkkonfiguration und Auslegungswerte....23
3.2 Windgeschwindigkeitsverteilung am Standort....23
3.3 Extremwind am Standort....24
3.4 Umgebungsturbulenzintensität am Standort....24
3.5 Sektorielle Betriebsbeschränkungen....24
4 Bestimmung der Standortbedingungen....24
4.1 Standortbesichtigung....24
4.2 Ergebnisse Standortbedingungen....25
4.2.1 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren....26
5 Nachweis der Standorteignung....26
5.1 Allgemeine Hinweise....26
5.2 Nachweis der Standorteignung durch einen Vergleich der Windbedingungen....26
5.2.1 Erläuterungen und Hinweise....28

5.2.2 Betriebsbeschränkungen....28
5.2.3 Einschränkungen....30
5.3 Nachweis der Standorteignung durch einen Vergleich der Lasten....30
6 Zusammenfassung....31
7 Literaturangaben....33
Anhang: wake2e-Bericht, Projektname Georgshof III……..…….…….…. A.1

1 Aufgabenstellung

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

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

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

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

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

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

2 Grundlagen

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

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

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

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

Abbildung 2.1.1 gibt einen Überblick über das Prüfverfahren.

2.1 Nachweis durch Vergleich der Windbedingungen

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

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

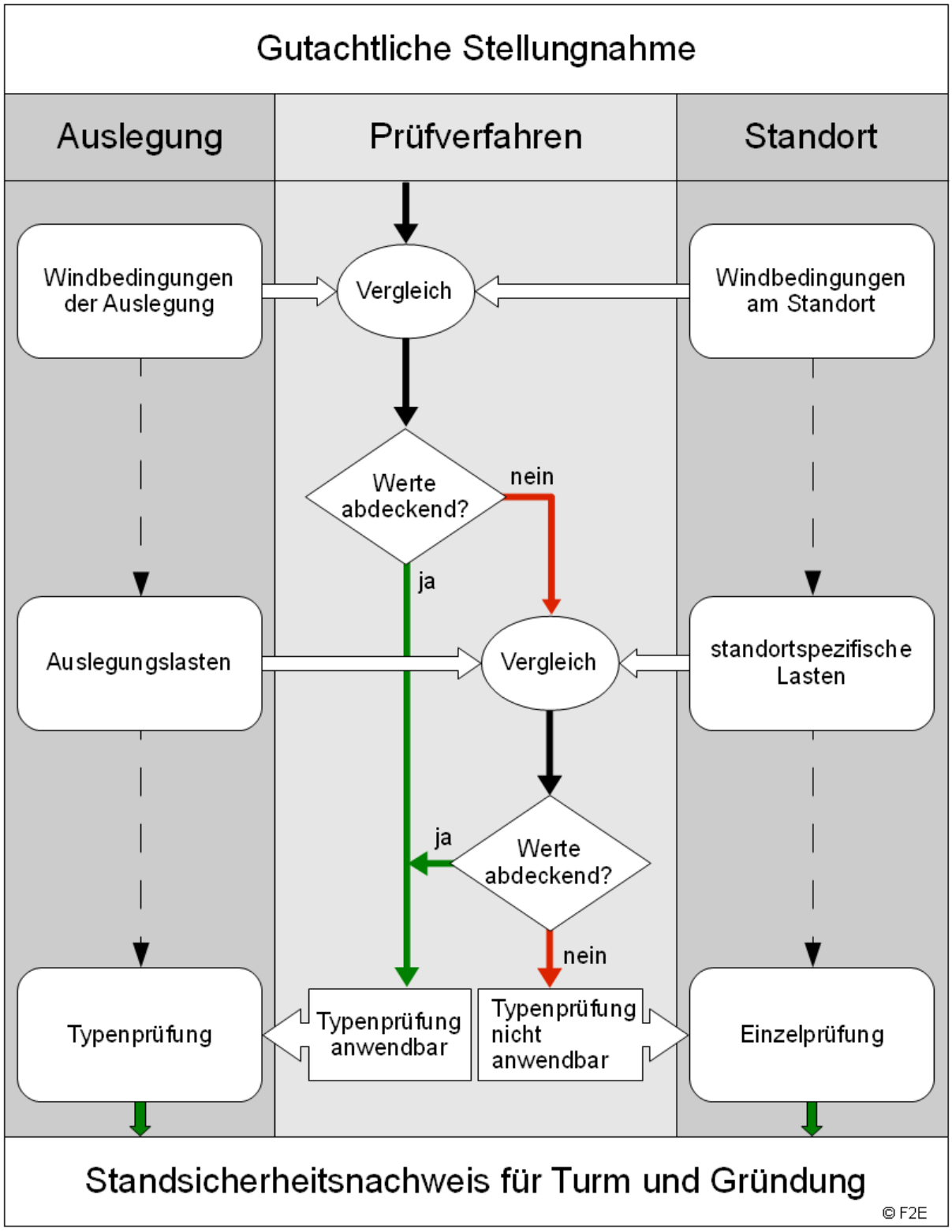


***Abbildung 2.1.1**: Schematische Darstellung des Prüfverfahrens.*

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

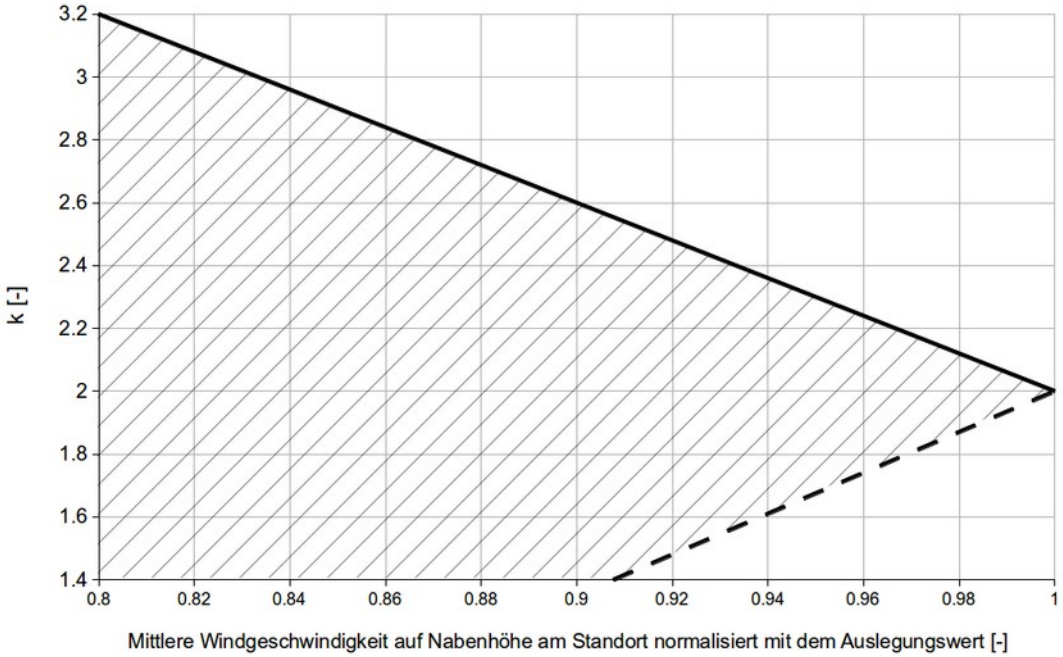


Abbildung 2.1.2: *Mögliche Kombinationen von normierter Windgeschwindigkeit und Formparameter k der Weibull-Verteilung (schraffierter Bereich).*

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

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

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

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

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

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

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

Abbildung 2.1.3 gibt einen Überblick über die jeweils nachzuweisenden Windbedingungen.

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

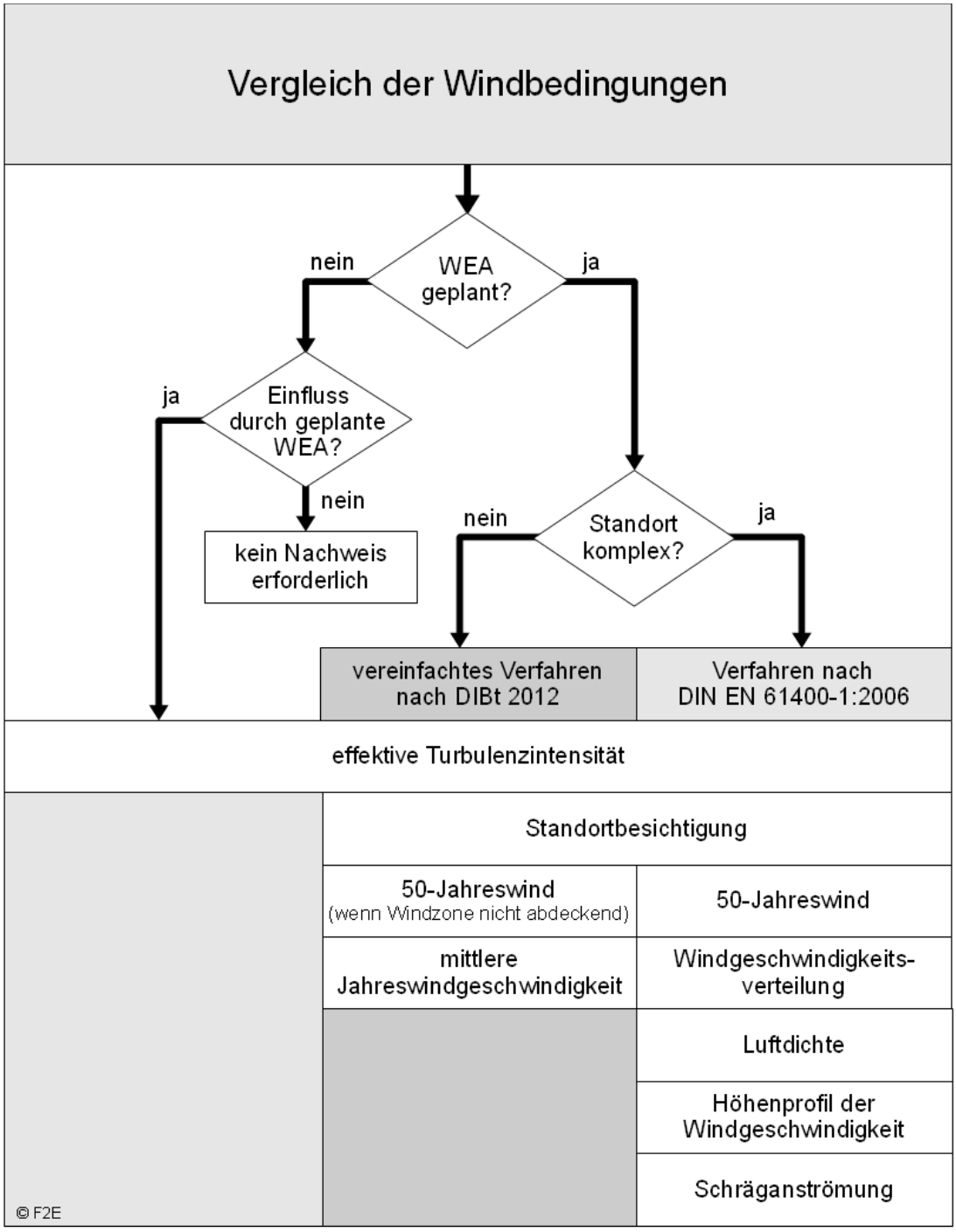


***Abbildung 2.1.3**: Nachweis durch Vergleich der Windbedingungen gemäß /2.8/.*

2.2 Nachweis durch Vergleich der Lasten

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

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

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

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

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

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

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

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

2.3 Auslegungswerte

2.3.1 Turbulenzintensität

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

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

2.3.2 Windgeschwindigkeit

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

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

2.3.3 Weitere Windbedingungen

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

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

- mittlere Neigung der Anströmung: 8°,
- mittlere Luftdichte: ρ = 1.225 kg/m³.

2.4 Erläuterungen zu den verwendeten Methoden

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

2.4.1 Bestimmung der Komplexität

Große Geländesteigungen und Höhenunterschiede können zu erhöhten Umgebungsturbulenzintensitäten führen und müssen daher in orografisch komplexem Gelände bewertet werden. Der Einfluss der Geländeorografie kann nach /2.2, 2.3, 2.4/ durch einen Turbulenzstrukturparameter erfasst werden, der als Faktor auf die Turbulenzintensität wirkt.

Die Bestimmung der Komplexität kann gemäß DIBt-Richtlinie /2.8/ auf Basis der IEC 61400-1 Edition 3 /2.3/ erfolgen. Da die Bewertung der Komplexität in der IEC 61400-1 mit der Edition 4 /2.4/ maßgeblich überarbeitet wurde, erfolgt im Folgenden die Bestimmung der Komplexität gemäß /2.4/.

Die Bewertung der orografischen Komplexität eines WEA-Standortes erfolgt nach /2.4/ auf Basis von Geländesteigungen und Geländedifferenzen zu insgesamt 39 Ausgleichsebenen. Die Ausgleichsebenen werden mit der Methode der kleinsten Fehlerquadrate durch die Höhendaten gelegt. Zur Bewertung werden in /2.4/ Kriterien definiert, nach denen sowohl eine bestimmte Anströmrichtung als auch der gesamte Standort als „non complex“, „low complex“ (L), „medium complex“ (M) oder „high complex“ (H) charakterisiert werden kann.

Den einzelnen Komplexitätskategorien wird dann ein Turbulenzstrukturparameter gemäß Tabelle 2.4.1.1 zugeordnet. Der maximale sektorielle Turbulenzstrukturparameter, der für eine Anströmrichtung ermittelt wird, wirkt dabei als Faktor auf die aus dieser Richtung ermittelte Umgebungsturbulenzintensität.

Tabelle 2.4.1.1: Turbulenzstrukturparatemer C_{CT} für die verschiedenen Komplexitätskategorien L, M und H nach /2.4/.

	Komplexitätskategorie		
	L	M	H
C_{CT}	1.05	1.10	1.15

Das vereinfachte Verfahren zur Bewertung der Standorteignung nach /2.8/ wird im

Weiteren nur angewandt, wenn der gesamte Standort gemäß /2.4/ als nicht komplex eingestuft werden kann.

2.4.2 Bestimmung der Umgebungsturbulenzintensität

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

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

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

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

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

Die zu berücksichtigenden Umgebungsturbulenzintensitäten sind im Gegensatz zu

den Rauigkeiten nicht nur richtungsabhängig, sondern auch abhängig von der Windgeschwindigkeit und Höhe über Grund und werden entsprechend für die verschiedenen Richtungen und Windgeschwindigkeiten für jede einzelne WEA auf Nabenhöhe ermittelt und in den weiteren Berechnungen berücksichtigt. Der Windgeschwindigkeitsverlauf orientiert sich dabei am Normalen Turbulenzmodell (NTM) der IEC 61400-1 /2.3/.

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

2.4.3 Bestimmung der effektiven Turbulenzintensitäten

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

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

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

auch im internationalen Regelwerk /2.2, 2.3/ ist weiterhin ein Modell zur Bestimmung der zusätzlich im Nachlauf produzierten Turbulenzintensität angegeben, das ganz ohne anlagenspezifische Parameter auskommt. Hier wird ein generalisierter, konservativer Verlauf der Schubbeiwerte zugrunde gelegt /1.4/. Dieses Modell wird von uns verwendet, wenn für eine WEA die anlagenspezifischen Parameter nicht vorliegen oder diese einen Verlauf zeigen, der deutlich von denen der WEA abweicht, die der ursprünglichen Validierung zugrunde lagen.

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

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

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

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

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

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

2.4.4 Bestimmung der Extremwerte der Turbulenzintensitäten

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

2.4.5 Bestimmung der Luftdichte

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

2.4.6 Bestimmung des Höhenexponenten

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

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

Der Mittelwert des Höhenexponenten sollte bei einem Auslegungswert von 0.2 gemäß /2.4/ in einem Wertebereich von 0.05 bis 0.25 liegen und kann damit um 25% nach oben und um 75% nach unten abweichen. Für andere Auslegungswerte des Höhenexponenten können analoge Gültigkeitsbereiche definiert werden.

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

2.4.7 Bestimmung der Schräganströmung

Die Bewertung der Schräganströmung kann gemäß /2.3/ auf Basis der durch die Höhendaten am Standort gelegten Ausgleichsebenen erfolgen. Da die Bewertung der Komplexität des Standortes, für den diese Ausgleichsebenen erzeugt werden, hier entsprechend der IEC 61400-1 Ed. 4 /2.4/ erfolgt, wird abweichend von der DIBt-Richtlinie /2.8/ die Bewertung der Schräganströmung ebenfalls nach /2.4/ durchgeführt. Dies ist erforderlich, um ein Bewertungsverfahren zu verwenden, das konform mit den Komplexitätskriterien nach /2.4/ ist.

Gemäß /2.4/ kann dabei angenommen werden, dass das energiegewichtete Mittel der Steigungen der sektoriellen Ausgleichsebenen, ermittelt für einen Umkreis vom fünffachen der Nabenhöhe der WEA, ein Maß für die Schräganströmung des WEA-Standortes darstellt.

Im Falle ausgeprägter Kuppen- oder Kammlagen, sind eventuell weitere Ausgleichsebenen gemäß Kapitel 2.4.1 heranzuziehen und werden dann zusätzlich in Kapitel 4 ausgewiesen.

2.4.8 Extrapolation der Winddaten

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

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

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

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

2.5 Gültigkeit der Ergebnisse

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

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

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

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

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

Die Ergebnisse beziehen sich dabei auf eine vorliegende gültige Typenprüfung für die betrachteten WEA. Der Typenprüfung müssen mindestens die jeweils aufgeführten Auslegungswerte zugrunde liegen. Für alle betrachteten WEA wird für die Bewertung die Entwurfslebensdauer der Typenprüfung zugrunde gelegt.

Für bestehende WEA, die ihre Entwurfslebensdauer bereits überschritten haben, kann es durch eine Neuplanung zu einer Verkürzung der möglichen Weiterbetriebszeit kommen. Eine Bewertung der Zumutbarkeit dieses Einflusses ist

nicht Gegenstand dieses Gutachtens. Die ermittelten Ergebnisse können aber als Eingangsparameter für standortspezifische Berechnungen der Betriebslasten verwendet werden, um den Einfluss der geplanten WEA auf die mögliche Weiterbetriebszeit zu ermitteln.

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

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

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

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

2.5.1 Betriebsbeschränkungen

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

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

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

2.6 Darstellung von Betriebsbeschränkungen im Gutachten

2.6.1 Einfluss von benachbarten Windenergieanlagen

Betriebsbeschränkungen, bei denen der Einfluss einer windaufwärts gelegenen WEA auf eine windabwärts gelegene WEA reduziert oder ausgeschlossen wird, werden in Kapitel A.2.6 des Anhangs aufgeführt.

Für verschiedene Berechnungsvarianten können dabei unterschiedliche Betriebsbeschränkungen definiert werden. Die Betriebsbeschränkungen werden daher in Gruppen zusammengefasst. Diese Betriebsbeschränkungs-Gruppen werden dann den Berechnungsvarianten zugeordnet. Die Zuordnung ist in der Übersicht der Berechnungsvarianten in Kapitel A.2.5 des Anhangs dargestellt.

Innerhalb der Betriebsbeschränkungs-Gruppe werden die einzelnen Betriebsbeschränkungen durchnummeriert.

2.6.2 Alternative Betriebsbeschränkungen

Da die Lasten bei einer abgeschalteten WEA auch in der erhöhten Turbulenz der Nachlaufströmung der verursachenden Nachbar-WEA geringer sind als im Betrieb bei ungestörter Anströmung, kann statt der windaufwärts gelegenen, verursachenden WEA alternativ auch die zu schützende WEA abgeschaltet werden.

Betriebsbeschränkungen, bei denen für einen bestimmten Windgeschwindigkeits- und Windrichtungsbereich Abschaltungen definiert sind, decken Betriebsbeschränkungen, bei denen ein anderer Betriebsmodus oder eine Blattwinkelverstellung für dieselben Bereiche definiert wird ab.

Es ergeben sich also zu jeder definierten Betriebsbeschränkung automatisch entweder zwei mögliche Alternativen (Beispiel a in Abbildung 2.6.2.1) oder eine mögliche Alternative (Beispiel b in Abbildung 2.6.2.1).

In den Ergebnissen wird oft nur eine der Betriebsbeschränkungsvarianten dargestellt. Die genannten Alternativen sind aber stets möglich.

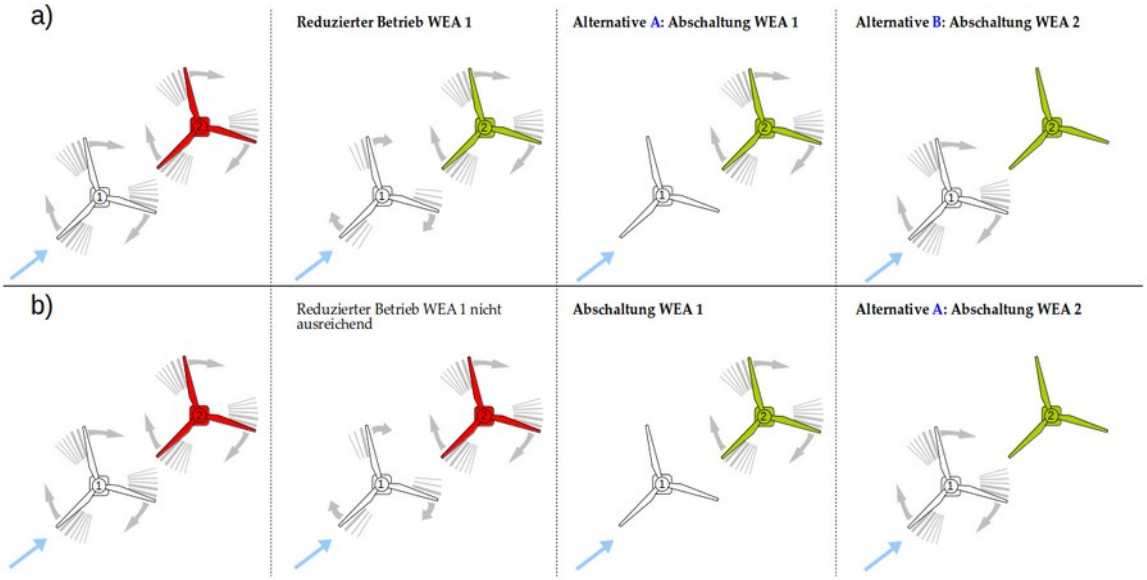


Abbildung 2.6.2.1: *Betriebsbeschränkung mit zwei Alternativen (a) und mit nur einer Alternative (b) für die verursachende WEA 1 und die zu schützende WEA 2.*

Abbildung 2.6.2.2 zeigt ein Beispiel für die Darstellung einer Betriebsbeschränkungs-Gruppe mit zwei Betriebsbeschränkungen im Gutachten, wenn auch die Alternativen mit aufgeführt werden.

In der obersten Tabelle in Abbildung 2.6.2.2 wird zunächst eine Übersicht dargestellt. Die WEA 3 wird zum Schutz der WEA 2 bei einigen Windgeschwindigkeiten in einem anderen Betriebsmodus betrieben (Betriebsbeschränkung Nr. 1). Die WEA 3 wird weiterhin zum Schutz der WEA 4 bei einigen Windgeschwindigkeiten abgeschaltet (Betriebsbeschränkung Nr. 2).

In der zweiten Tabelle in Abbildung 2.6.2.2 sind die Details der Betriebsbeschränkung dargestellt.

In der dritten und vierten Tabelle in Abbildung 2.6.2.2 folgen dann die oben genannten Alternativen, die sich automatisch ergeben. Die Betriebsbeschränkung Nr. 2 besitzt dabei nur eine mögliche, sich automatisch ergebende Alternative. Die Betriebsbeschränkung Nr. 2 ist daher in der zweiten und dritten Tabelle identisch.

Für jede Betriebsbeschränkung muss eine der Alternativen umgesetzt werden. Es ist aber nicht erforderlich für alle Betriebsbeschränkungen die Alternativen aus der selben Tabelle umzusetzen. Für die Betriebsbeschränkung Nr. 1 kann also z.B. die Variante aus der zweiten Tabelle in Abbildung 2.6.2.2 und für die Betriebsbeschränkung Nr. 2 die Variante aus der vierten Tabelle gewählt werden.

Betriebsbeschränkungen - Übersicht (A = Abschaltung, R = Eingeschränkter Betrieb)

	Beschränkte WEA		Zu schützende WEA		Wind-Bin																									
Nr.	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Lfd. Nr.	Bezeichnung	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
1	3	WEA03	2	WEA02						R																					
2	3	WEA03	4	WEA04					A																						

Betriebsbeschränkungen - Details

	Beschränkte WEA		Zu schützende WEA		Beschränkungen						
Nr.	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Abschaltung	Betriebsmodus	β [°]	γ_{start} [°]	γ_{stop} [°]	v_{start} [m/s]	v_{stop} [m/s]
1	3	WEA03	2	WEA02	-	Mode SO5 (v-out 20m/s)	-	135.1	190.5	6.5	8.5
	3	WEA03			-	Mode SO4 (v-out 20m/s)	-	135.1	190.5	8.5	9.5
2	3	WEA03	4	WEA04	X	-	-	283.3	302.9	v-in	9.8

Betriebsbeschränkungen - Alternative **A** - Details

	Beschränkte WEA		Zu schützende WEA		Beschränkungen						
Nr.	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Abschaltung	Betriebsmodus	β [°]	γ_{start} [°]	γ_{stop} [°]	v_{start} [m/s]	v_{stop} [m/s]
1	3	WEA03	2	WEA02	X	-	-	135.1	190.5	6.5	9.5
2	3	WEA03	4	WEA04	X	-	-	283.3	302.9	v-in	9.8

Betriebsbeschränkungen - Alternative **B** - Details

	Beschränkte WEA		Zu schützende WEA		Beschränkungen						
Nr.	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Abschaltung	Betriebsmodus	β [°]	γ_{start} [°]	γ_{stop} [°]	v_{start} [m/s]	v_{stop} [m/s]
1	2	WEA02	2	WEA02	X	-	-	135.1	190.5	6.5	9.5
2	4	WEA04	4	WEA04	X	-	-	283.3	302.9	v-in	9.5

Abbildung 2.6.2.2: *Beispiel für die Darstellung einer Betriebsbeschränkungs-Gruppe mit zwei Betriebsbeschränkungen und dargestellten Alternativen.*

2.6.3 Einfluss der Umgebungsbedingungen

Betriebsbeschränkungen, die erforderlich sind, weil die Umgebungswindbedingungen die jeweiligen Auslegungswerte der WEA überschreiten, werden in Kapitel 5.2 dargestellt. Zu diesen Betriebsbeschränkungen können keine alternativen Betriebsbeschränkungen definiert werden.

Dies kann z.B. Überschreitungen bei der Windgeschwindigkeitsverteilung, der Schräganströmung aber auch bei der Turbulenzintensität betreffen, wenn im letzteren Fall bereits die Umgebungsturbulenzintensität die Auslegung überschreitet.

3 Eingangsdaten

3.1 Windparkkonfiguration und Auslegungswerte

Am Standort Georgshof III (Niedersachsen) planen der Auftraggeber und der Bauherr Theo Verweyen die Errichtung von fünf Windenergieanlagen (WEA 30 - 34). Am Standort befinden sich 29 weitere benachbarte WEA.

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

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

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

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

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

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

WEA		Auslegung	
	Lfd. Nr.	Richtlinie	Windzone
	30 – 34	DIBt 2012	WZ S
	2, 4, 5, 7, 11, 12, 15, 16, 19, 22, 26 - 29	DIBt 2004	---
	23 - 25	DIBt 1993/1995	---

3.2 Windgeschwindigkeitsverteilung am Standort

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

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

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

3.3 Extremwind am Standort

Durch die anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH wurde in /3.3/ der 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren standortspezifisch ermittelt.

Der in /3.3/ ermittelte Wert ist in Tabelle 3.3.1 aufgeführt.

***Tabelle 3.3.1**: 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren /3.3/.*

WEA		v_{50} [m/s]
	Lfd. Nr.	
	30 - 34	36.49

3.4 Umgebungsturbulenzintensität am Standort

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

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

3.5 Sektorielle Betriebsbeschränkungen

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

Bei den in Tabelle A.2.6.1.2 des Anhangs als Nr. 1 und 2 aufgeführten Betriebsbeschränkungen handelt es sich um Betriebsbeschränkungen, die aufgrund eines Anlagenabstandes von weniger als zwei Rotordurchmesser erforderlich sind. Diese Betriebsbeschränkungen wurden in der Berechnungsvariante „Situation vor dem Zubau“, „Situation nach dem Zubau“ sowie in allen weiteren Berechnungsvarianten berücksichtigt.

4 Bestimmung der Standortbedingungen

4.1 Standortbesichtigung

Gemäß DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen von 2012 /2.8/ ist eine Standortbesichtigung durchzuführen. Im Rahmen des Nachweises der Standorteignung dient die Standortbesichtigung der Dokumentation der aktuellen

Situation vor Ort und der Bestimmung der Geländekategorie nach /2.9/.

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

Im schwächer gestörten Bereich hinter einer Einzelstruktur kommt es dabei im Wesentlichen zu erhöhten Turbulenzintensitäten und der Einfluss auf eine WEA kann in Form erhöhter Umgebungsturbulenzintensitäten berücksichtigt werden. Dieser Einfluss ist auch für bestehende WEA zu berücksichtigen, da diese im Zuge des Zubaus hinsichtlich der Turbulenzintensität bewertet werden. Im Falle orografischer Hindernisse im weiteren Umfeld der WEA erfolgt eine solche Bewertung automatisch durch die Bestimmung des Orografiebeiwertes (siehe Kapitel 2.4.1).

Im stärker gestörten Bereich hinter einer Einzelstruktur kommt es zu weiteren Effekten, die detaillierte Untersuchungen durch z.B. eine dreidimensionale Strömungsberechnung erfordern. Dieser Einfluss ist nur für die geplanten WEA zu untersuchen.

Benachbarte WEA sind nicht als Einzelstrukturen zu betrachten. Die Verifizierung der Windparkkonfiguration (siehe Kapitel 3) ist daher nicht Umfang der Standortbesichtigung.

Der Standort Georgshof III wurde am 04.06.2023 besichtigt /3.2/.

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

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

4.2 Ergebnisse Standortbedingungen

Die ermittelten Standortbedingungen sind in den Tabellen A.3.2.1 - A.3.2.3 des Anhangs dargestellt. Überschreitungen der Auslegungswerte der Turbulenzintensität sind in Tabelle A.3.2.1 des Anhangs rot markiert.

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

Für die WEA, die in Tabelle A.3.2.3 des Anhangs als komplex markiert sind, kann das vereinfachte Verfahren zum Nachweis der Standorteignung nach DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen von 2012 /2.8/ nicht angewendet werden.

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

Es ist zusätzlich in der Tabelle A.3.1.1 des Anhangs die Situation vor dem Zubau der WEA 30 - 34 dargestellt.

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

Die Windzone der Standorte der geplanten WEA und der zugehörige 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren wurden gemäß /2.10/ bzw. /2.11/ ermittelt und können Tabelle A.3.2.3 des Anhangs entnommen werden.

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

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

5 Nachweis der Standorteignung

5.1 Allgemeine Hinweise

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

5.2 Nachweis der Standorteignung durch einen Vergleich der Windbedingungen

In Tabelle 5.2.1 ist das Ergebnis des Nachweises der Standorteignung durch einen Vergleich der Windbedingungen sowie die Einzelergebnisse für die einzelnen Windparameter in einer Übersicht dargestellt. Die Bewertung beruht auf einem Vergleich der in Tabelle 3.3.1 sowie in den Tabellen A.3.2.1 und A.3.2.3 des Anhangs dargestellten Werte mit den Auslegungswerten in den Tabellen A.2.3.1 und A.2.3.2.

Für die Bewertung der Windgeschwindigkeitsverteilung werden die Parameter A und k der Weibullverteilung dabei nicht direkt verglichen, sondern dienen als Eingangswerte für die in Kapitel 2.1 aufgeführten Nachweismethoden.

Die in Tabelle 5.2.1 dargestellten Ergebnisse wurden unter Berücksichtigung der Betriebsbeschränkungen gemäß Tabelle A.2.6.1.2 des Anhangs ermittelt (siehe auch Kapitel 3.5).

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

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

WEA			Einzelergebnisse						Gesamt-ergebnis
	Lfd. Nr.	Bezeichnung	I_{eff}	α	φ	ρ	A, k	v_{50}	
	2	516	+	---					+
	4	612	+	---					+
	5	613	+	---					+
	7	708	+	---					+
	10	EA116	+	---					+
	11	EA098	+	---					+
	12	EA108	+	---					+
	15	630	+	---					+
	16	706	+	---					+
	19	M04	-	---					-
	22	703	+	---					+
	23	Georgshof I. WEA 401	+	---					+
	24	Georgshof I. WEA 401	-	---					-
	25	Georgshof I. WEA 401	-	---					-
	26	Georgshof II. WEA 10	-	---					-
	27	Georgshof II. WEA 10	-	---					-
	28	Georgshof II. WEA 10	+	---					+
	29	Georgshof II. WEA 10	-	---					-
	30	Georgshof III. WEA 0	-	---	---	---	+	+	-
	31	Georgshof III. WEA 0	-	---	---	---	+	+	-
	32	Georgshof III. WEA 0	-	---	---	---	+	+	-

WEA			Einzelergebnisse						Gesamt-ergebnis
	Lfd. Nr.	Bezeichnung	I_{eff}	α	φ	ρ	A, k	v_{50}	
	33	Georgshof III. WEA 0	-	---	---	---	+	+	-
	34	WEA Verweyen	-	---	---	---	+	+	-

5.2.1 Erläuterungen und Hinweise

- Für die WEA 23 wird der konstante Auslegungswert von 20% Turbulenzintensität nach DIBt von 1995 (1993) zugrunde gelegt /2.6/ (siehe Kapitel 2.4.3).
- Die WEA 19, 24 - 27 und 29 weisen bereits vor dem Zubau der hier als geplant betrachteten WEA Überschreitungen bei den effektiven Turbulenzintensitäten auf.
- Der Einfluss der geplanten WEA auf die WEA 19 und 25 ist so gering, dass sich durch die geplanten WEA keine signifikante Erhöhung der effektiven Turbulenzintensitäten an den WEA 19 und 25 ergibt. Die Überschreitungen an den WEA 19 und 25 sind daher nicht auf die geplanten WEA zurückzuführen, sondern ergeben sich bereits aus der bestehenden Windparkkonfiguration (siehe Tabellen A.3.1.1 und A.3.2.1 des Anhangs).
- Die Überschreitungen bei der effektiven Turbulenzintensität an der WEA 28 liegen außerhalb des zu betrachtenden Windgeschwindigkeitsbereiches (siehe Kapitel 2.1) und werden als vernachlässigbar bewertet.
- Bezüglich der in /3.3/ getroffenen Aussage zum 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren ist gemäß /3.3/ die Möglichkeit einer Überschreitung des in /3.3/ ausgewiesenen Extremwertes nicht auszuschließen, da Extremwinde nicht vorhersagbaren klimatologischen Einflüssen unterworfen sind und somit Extremwinde eines längeren Bezugszeitraumes auch in einem kürzeren Zeitraum auftreten können.

5.2.2 Betriebsbeschränkungen

Alle aufgeführten Betriebsbeschränkungen stellen Mindestanforderungen dar. Eine Prüfung der technischen Umsetzbarkeit wurde nicht vorgenommen.

Der Einfluss der geplanten WEA 30 - 34 auf die WEA 24, 26, 27 und 29 ist so groß, dass sich durch die geplanten WEA 30 - 34 eine signifikante Erhöhung der effektiven Turbulenzintensitäten an den WEA 24, 26, 27 und 29 ergibt (siehe Tabellen A.3.1.1

und A.3.2.1 des Anhangs).

Der signifikante Einfluss der WEA 30 - 34 auf die WEA 24 kann in der geplanten Windparkkonfiguration durch Ausschluss des Betriebes der WEA 24 in der Nachlaufströmung der WEA 30 - 34 unterbunden werden. Dies kann durch das Abschalten der WEA 30 - 34 bei Auftreten der entsprechenden Nachlaufsituation erreicht werden.

Der signifikante Einfluss der WEA 31 - 34 auf die WEA 26 kann in der geplanten Windparkkonfiguration durch Ausschluss des Betriebes der WEA 26 in der Nachlaufströmung der WEA 31 - 34 unterbunden werden. Dies kann durch das Abschalten der WEA 31 - 34 bei Auftreten der entsprechenden Nachlaufsituation erreicht werden.

Der signifikante Einfluss der WEA 31 - 33 auf die WEA 27 kann in der geplanten Windparkkonfiguration durch Ausschluss des Betriebes der WEA 27 in der Nachlaufströmung der WEA 31 - 33 unterbunden werden. Dies kann durch das Abschalten der WEA 31 - 33 bei Auftreten der entsprechenden Nachlaufsituation erreicht werden.

Der signifikante Einfluss der WEA 31 - 34 auf die WEA 29 kann in der geplanten Windparkkonfiguration durch Ausschluss des Betriebes der WEA 29 in der Nachlaufströmung der WEA 31 - 34 unterbunden werden. Dies kann durch das Abschalten der WEA 31 - 34 bei Auftreten der entsprechenden Nachlaufsituation erreicht werden.

Alternativ kann ein signifikanter Einfluss durch eine Blattwinkelverstellung der entsprechenden benachbarten WEA bei Auftreten der jeweiligen Nachlaufsituation ausgeschlossen werden.

Die Standorteignung der betroffenen WEA 30 - 34 kann hinsichtlich der Auslegungswerte der Turbulenzintensität in der geplanten Windparkkonfiguration durch eine Betriebsbeschränkung benachbarter WEA gewährleistet werden. Dies kann durch das Abschalten oder eine Blattwinkelverstellung der entsprechenden benachbarten WEA bei Auftreten der jeweiligen Nachlaufsituation erreicht werden.

Die notwendigen Betriebsbeschränkungen sind in Tabelle A.2.6.2.2 dargestellt. Zu den implizit mit abgedeckten alternativen Betriebsbeschränkungen siehe Kapitel 2.6.2.

In Kapitel A.3.3 in Tabelle A.3.3.1 sind die Ergebnisse unter Berücksichtigung der Betriebsbeschränkungen dargestellt. Die Überschreitungen bei der effektiven Turbulenzintensität an den WEA 32 - 34 liegen außerhalb des zu betrachtenden Windgeschwindigkeitsbereiches (siehe Kapitel 2.1) und werden als vernachlässigbar bewertet.

5.2.3 Einschränkungen

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

5.3 Nachweis der Standorteignung durch einen Vergleich der Lasten

Die in den Tabellen A.3.2.1 - A.3.2.3 des Anhangs dargestellten Werte oder diese bezüglich der Lasten abdeckende Werte können als Eingangsparameter für standortspezifische Berechnungen der Betriebs- und Extremlasten durch den Hersteller verwendet werden, um die Standorteignung der zu betrachtenden WEA durch einen Vergleich mit den Auslegungslasten zu überprüfen.

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

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

Entsprechende Berechnungsberichte liegen für die WEA 24, 26, 27 und 29 - 34 nicht vor.

6 Zusammenfassung

Am Standort Georgshof III (Niedersachsen) planen der Auftraggeber und ein weiterer Bauherr die Errichtung von 5 Windenergieanlagen (WEA). Am Standort befinden sich 29 weitere benachbarte WEA.

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

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

Die berücksichtigte Entwurfslebensdauer der geplanten WEA ist in Tabelle A.2.3.1 dargestellt.

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

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

Alternativen zu den in Tabelle 6.1 aufgeführten Betriebsbeschränkungen sind im Anhang in Kapitel A.2.6.2 dargestellt.

***Tabelle 6.1**: Ergebnisübersicht für alle zu betrachtenden WEA.*

Getroffene Aussagen zu den WEA	WEA lfd. Nr.	Einschränkungen	
		BBS	Sonstige
Standorteignung der geplanten WEA:			
Die Standorteignung folgender WEA ist durch einen Vergleich mit den Windbedingungen der Auslegung nachgewiesen.	30	Nr. 7 Tabelle A.2.6.2.2*	---
	31	Nr. 8 Tabelle A.2.6.2.2*	
	32	Nr. 9 Tabelle A.2.6.2.2*	
	33	Nr. 10 Tabelle A.2.6.2.2*	
	34	Nr. 11 Tabelle A.2.6.2.2*	
Standorteignung der weiteren zu betrachtenden WEA:			
Die Standorteignung folgender WEA ist hinsichtlich des Einflusses benachbarter WEA durch einen Vergleich mit den Windbedingungen der Auslegung nachgewiesen.	2, 4, 5, 7, 11, 12, 15, 16, 22	---	---
	23	Nr. 1 Tabelle A.2.6.2.2	
	25	Nr. 3 Tabelle A.2.6.2.2	
Die Standorteignung folgender WEA lässt sich durch einen Vergleich mit den Windbedingungen der Auslegung nicht nachweisen. Ein weiterer signifikanter Einfluss wird durch die definierten Betriebsbeschränkungen unterbunden.	24	Nr. 2 Tabelle A.2.6.2.2*	---
	26	Nr. 4 Tabelle A.2.6.2.2*	
	27	Nr. 5 Tabelle A.2.6.2.2*	
	29	Nr. 6 Tabelle A.2.6.2.2*	
Die Standorteignung folgender WEA wird durch den Zubau der geplanten WEA nicht gefährdet. Ein abschließender Nachweis der Standorteignung der WEA ist daher im Rahmen des Zubaus der geplanten WEA nicht erforderlich und wurde nicht erbracht.	19, 25	---	---

*: Die Betriebsbeschränkung kann entfallen, wenn auf Basis der hier ermittelten Windbedingungen ein Nachweis der Standorteignung durch einen Vergleich der Lasten erbracht wird (siehe Kapitel 5.3).

7 Literaturangaben

Allgemein

/1.1/ Verein Deutscher Ingenieure; VDI 3783 Blatt 12; Umweltmeteorologie - Physikalische Modellierung von Strömungs- und Ausbreitungsvorgängen in der atmosphärischen Grenzschicht; Dezember 2000; Düsseldorf, Deutschland.

/1.2/ ECN Solar & Wind Energy; Dekker, J.W.M.; Pierik, J.T.G. (Eds.); European Wind Turbine Standards II; 1998; Petten, Netherlands.

/1.3/ Risø National Laboratory; European Wind Atlas; 1989; Risø, Denmark.

/1.4/ Risø National Laboratory; Frandsen, St. T.; Turbulence and turbulence-generated structural loading in windturbine clusters; Wind Energy Department; Januar 2007; Roskilde, Risø-R-1188(EN), Denmark.

/1.5/ Kunte A.; Landesamt für Landwirtschaft; Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein; Turbulenz-Immissionsprognosen vereinheitlicht; WIND-KRAFT Journal; Verlag Natürliche Energien, Ausgabe 4/2009, Seite 28-30; Seevetal, Deutschland.

/1.6/ OpenStreetMap und Mitwirkende; siehe Internet: http://www.openstreetmap.org, http://opendatacommons.org, http://creativecommons.org.

/1.7/ European Environment Agency; CORINE Land Cover (CLC) 2018, Version 20.0; Juni 2019; Copenhagen, Denmark.

/1.8/ U.S. Geological Survey (USGS); EROS Archive - Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global.

/1.9/ Deutscher Wetterdienst; DWD Climate Data Center (CDC), Vieljährige mittlere Raster der Lufttemperatur (2m) für Deutschland 1981-2010, Version v1.0; Offenbach, Deutschland.

Normen

/2.1/ International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 61400-1, Wind turbines - Part 1: Design requirements; Edition 2, 1999-02; Geneva, Switzerland (Deutsche Fassung: Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN 61400-1 (VDE 0127-1); Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:1999); August 2004; Berlin, Deutschland).

/2.2/ International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 61400-1, Wind turbines - Part 1: Design requirements; Edition 3, 2005-08; Geneva, Switzerland (Deutsche Fassung: Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN 61400-1 (VDE 0127-1); Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2005); Juli 2006; Berlin, Deutschland).

/2.3/ International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 61400-1, Amendment 1, Wind turbines - Part 1: Design requirements; Edition 3, 2010-10; Geneva, Switzerland (Deutsche Fassung: Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN 61400-1 (VDE 0127-1):2011-08; Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2005 + A1:2010); August 2011; Berlin, Deutschland).

/2.4/ International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 61400-1, Wind energy generation systems - Part 1: Design requirements; Edition 4, 2019-12; Geneva, Switzerland (Deutsche Fassung: Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN IEC 61400-1 (VDE 0127-1); Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2019); Dezember 2019; Berlin, Deutschland).

/2.5/ Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH; Guidelines for the Certification of Wind Turbines; 2010; Hamburg, Deutschland.

/2.6/ Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt); Richtlinie für Windkraftanlagen - Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung; Fassung Juni 1993; 2. Aufl., 1995; Berlin, Deutschland.

/2.7/ Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt); Richtlinie für Windkraftanlagen - Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung; Fassung März 2004; Berlin, Deutschland.

/2.8/ Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt); Richtlinie für Windkraftanlagen - Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung; Fassung Oktober 2012 sowie korrigierte Fassung März 2015; Berlin, Deutschland.

/2.9/ Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN 1991-1-4 und DIN EN 1991-1-4/NA (Nationaler Anhang); Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten; Dezember 2010; Berlin, Deutschland.

/2.10/ Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt); Zuordnung der Windzonen nach Verwaltungsgrenzen, 'Windzonen_Formular_nach_Verwaltungsgrenzen.xlsx'; Fassung April 2019.

/2.11/ DIN Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN 4131; Antennentragwerke aus Stahl; November 1991; Berlin, Deutschland.

/2.12/ Deutsches Institut für Normung e.V; DIN ISO 2533; Normatmosphäre; Dezember 1979; Berlin, Deutschland.

Projektspezifisch

/3.1/ ENERCON GmbH Aurich; WindPRO Ergebnisausdruck, PARK - Analyse der Windverhältnisse, Projekt: Dornum-Georgshof E_2012_287a; 10.12.2012; Aurich, Deutschland.

/3.2/ Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG; Dokumentation der Standortbesichtigung im Rahmen der Bewertung der Standorteignung von WEA am Standort Georgshof III; Referenz-Nr.: 2023-D-062-P1; Juni 2023; Hamburg, Deutschland.

/3.3/ anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH; Extremwindabschätzung auf Basis des anemos Windatlas für Deutschland am Standort Georgshof; Berichts-Nr.: 23-454-7230992-Rev.00-EX-MS; 23.08.2023; Reppenstedt, Deutschland.

A.1 Allgemeine Daten

A.1.1 Einstellungen

Benutzername	Andres Flügel, F2E
Kunde	Windpark Georgshof GmbH & Co KG
Projektname	Georgshof III
Referenznummer	2023-D-061-P3-R1
Software	Wake2e 3.11.3.1
	WEA-Bibliothek Version 7.415.0
Koordinatensystem	Gauß-Krüger (Deutschland), Bessel (3°-Streifen)
Abstand der relevanten WEA	8.0D

A.1.2 Filter-Einstellungen

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

A.1.3 Standortbesichtigung

Datum der Besichtigung	04.06.2023
Durchgeführt von	Dietmar Hahm für F2E
Ermittelte Geländekategorie	II
Orografisch relevante Struktur	Nein

Copyright © 2023 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

A.2 Eingabedaten

A.2.1 Umgebungsturbulenzintensitäten

Methode Rauigkeitsdaten für jeden WEA-Standort aus den Landnutzungsdaten
Datensatz European Environment Agency; CORINE Land Cover (CLC) 2018, Version 20; June 2019; Copenhagen, Denmark.
Höhendaten "USGS EROS Archive - Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global" by Earth Resources Observation and Science (EROS) Center - July 30, 2018

A.2.2 Windparkkonfiguration

Tabelle A.2.2.1: Windparkkonfiguration

WEA							Koordinaten		Datensatz-Nr.	
	Nr.	Bezeichnung	WEA-Typ	P_N [MW]	z_{hub} [m]	D [m]	Ost	Nord	Wind	Turbulenz
	1	425	ENERCON E-70 E4 2.3MW	2.3	64	71	2595853	5945316	4	—
	2	516	ENERCON E-70 E4 2.3MW	2.3	64	71	2595173	5945132	4	—
	3	517	ENERCON E-70 E4 2.3MW	2.3	64	71	2595132	5944724	4	—
	4	612	ENERCON E-70 E4 2.3MW	2.3	64	71	2594720	5945289	4	—
	5	613	ENERCON E-70 E4 2.3MW	2.3	64	71	2594718	5944706	4	—
	6	615	ENERCON E-70 E4 2.3MW	2.3	64	71	2594842	5944477	4	—
	7	708	ENERCON E-70 E4 2.3MW	2.3	64	71	2593535	5944595	4	—
	8	EA049	ENERCON E-66 15.66	1.5	67	66	2593982	5943921	4	—
	9	EA052	ENERCON E-66 15.66	1.5	67	66	2593768	5943971	4	—
	10	EA116	ENERCON E-40 5.40 500kW	0.5	50	40.3	2593770	5946147	2	—
	11	EA098	ENERCON E-70 E4 2.3MW	2.3	64	71	2592741	5945447	2	—
	12	EA108	ENERCON E-70 E4 2.3MW	2.3	64	71	2592622	5945809	1	—
	13	410	ENERCON E-101 3.05MW	3.05	135	101	2596156	5945332	4	—
	14	520	ENERCON E-70 E4 2.3MW	2.3	113	71	2595100	5944514	4	—
	15	630	ENERCON E-92 2.35MW	2.35	138	92	2594925	5944907	4	—

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Copyright © 2023 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Tabelle A.2.2.1: Windparkkonfiguration

WEA							Koordinaten		Datensatz-Nr.	
	Nr.	Bezeichnung	WEA-Typ	P_N [MW]	z_{hub} [m]	D [m]	Ost	Nord	Wind	Turbulenz
	16	706	ENERCON E-70 E4 2.3MW	2.3	85	71	2593520	5944845	4	—
	17	420	ENERCON E-101 3.05MW	3.05	135	101	2596060	5945016	4	—
	18	M03	ENERCON E-101 3.05MW	3.05	135	101	2593780	5944296	4	—
	19	M04	ENERCON E-70 E4 2.3MW	2.3	64	71	2593972	5944555	4	—
	20	M02	ENERCON E-82 E2 2.3MW	2.3	108	82	2593226	5944185	4	—
	21	M06	ENERCON E-82 E2 2.3MW	2.3	108	82	2593503	5943972	4	—
	22	703	ENERCON E-70 E4 2.3MW	2.3	64	71	2593037	5945339	2	—
	23	Georgshof I. WEA 401	ENERCON E-40 5.40 500kW	0.5	50	40.3	2593640	5945697	2	—
	24	Georgshof I. WEA 401	ENERCON E-40 5.40 500kW	0.5	50	40.3	2593698	5945492	2	—
	25	Georgshof I. WEA 401	ENERCON E-40 5.40 500kW	0.5	50	40.3	2593814	5945072	4	—
	26	Georgshof II. WEA 10	ENERCON E-101 3.05MW	3.05	135	101	2593961	5945561	4	—
	27	Georgshof II. WEA 10	ENERCON E-101 3.05MW	3.05	135	101	2593904	5945261	4	—
	28	Georgshof II. WEA 10	ENERCON E-101 3.05MW	3.05	135	101	2593914	5944959	4	—
	29	Georgshof II. WEA 10	ENERCON E-101 3.05MW	3.05	135	101	2594242	5945123	4	—
	30	Georgshof III. WEA 0	ENERCON E-138 EP3 E3 4.26MW OM0s	4.26	111	138.25	2593479	5946172	1	—
	31	Georgshof III. WEA 0	ENERCON E-138 EP3 E3 4.26MW OM0s	4.26	111	138.25	2593615	5945915	2	—
	32	Georgshof III. WEA 0	ENERCON E-138 EP3 E3 4.26MW OM0s	4.26	111	138.25	2594114	5945851	3	—
	33	Georgshof III. WEA 0	ENERCON E-138 EP3 E3 4.26MW OM0s	4.26	111	138.25	2594240	5945431	4	—
	34	WEA Verweyen	ENERCON E-138 EP3 E3 4.26MW OM0s	4.26	111	138.25	2593933	5946136	3	—

A.2.3 Auslegungswerte

Copyright © 2023 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Tabelle A.2.3.1: WEA-Auslegung

	Nr.	Richtlinie	WZ	I_{amb}	I_{des}	τ_{design}	v_{ave}	k	α_{min}	α_{max}	φ	ρ	v_{50}	Quellen
	2	—	—	Charakteristisch	2	—	—	—	—	—	—	—	—	
	4	—	—	Charakteristisch	2	—	—	—	—	—	—	—	—	
	5	—	—	Charakteristisch	2	—	—	—	—	—	—	—	—	
	7	—	—	Charakteristisch	2	—	—	—	—	—	—	—	—	
	11	—	—	Charakteristisch	2	—	—	—	—	—	—	—	—	
	12	—	—	Charakteristisch	2	—	—	—	—	—	—	—	—	
	15	—	—	Charakteristisch	2	—	—	—	—	—	—	—	—	
	16	—	—	Charakteristisch	2	—	—	—	—	—	—	—	—	
	19	—	—	Charakteristisch	2	—	—	—	—	—	—	—	—	
	22	—	—	Charakteristisch	2	—	—	—	—	—	—	—	—	
	23	—	—	Charakteristisch	1	—	—	—	—	—	—	—	—	
	24	—	—	Charakteristisch	1	—	—	—	—	—	—	—	—	
	25	—	—	Charakteristisch	1	—	—	—	—	—	—	—	—	
	26	—	—	Charakteristisch	2	—	—	—	—	—	—	—	—	
	27	—	—	Charakteristisch	2	—	—	—	—	—	—	—	—	
	28	—	—	Charakteristisch	2	—	—	—	—	—	—	—	—	
	29	—	—	Charakteristisch	2	—	—	—	—	—	—	—	—	
	30	DIBt 2012	WZ S	Repräsentativ	5	25	7.8	2	0.05	0.2	8	1.225	37.5	/A.1/
	31	DIBt 2012	WZ S	Repräsentativ	5	25	7.8	2	0.05	0.2	8	1.225	37.5	/A.1/
	32	DIBt 2012	WZ S	Repräsentativ	5	25	7.8	2	0.05	0.2	8	1.225	37.5	/A.1/
	33	DIBt 2012	WZ S	Repräsentativ	5	25	7.8	2	0.05	0.2	8	1.225	37.5	/A.1/
	34	DIBt 2012	WZ S	Repräsentativ	5	25	7.8	2	0.05	0.2	8	1.225	37.5	/A.1/

Copyright © 2023 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

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

WEA		Auslegungswerte für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																										
Id	Turbulenzkategorie	Alle	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
1	DIBt 1993	20.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	DIBt 2004	—	42.0	34.5	30.0	27.0	24.9	23.3	22.0	21.0	20.2	19.5	18.9	18.4	18.0	17.6	17.3	17.0	16.7	16.5	16.3	16.1	15.9	15.8	15.6	15.5	15.3	15.2	15.1
5	IEC Ed.3/4 A	—	41.9	34.4	29.9	26.9	24.8	23.2	22.0	21.0	20.1	19.5	18.9	18.4	18.0	17.6	17.3	17.0	16.7	16.5	16.3	16.1	15.9	15.7	15.6	15.4	15.3	15.2	15.1

A.2.4 Winddaten

Quelle Externe Datei
Dateiname info_se_verweyen_rev0_hma.csv

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

	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Mittelwerte über alle Richtungen			Koordinaten des Referenzpunkts	
A [m/s]	7.16	6.89	7.71	8.19	8.21	7.85	8.55	9.27	9.09	8.67	8.33	7.98	A [m/s]	8.40	Aus der Eingabedatei	Höhe über Grund [m]	110.2
k [-]	2.092	2.244	2.6	2.908	3.057	2.779	2.814	3.143	2.725	2.193	2.201	2.111	k [-]	2.510	Aus der Eingabedatei	Rechts	3395080
Häufigkeit (100%=1)	0.05	0.047	0.056	0.07	0.075	0.062	0.081	0.148	0.129	0.106	0.096	0.08	v_{ave} [m/s]	7.46	Aus der Eingabedatei	Hoch	5946415

Tabelle A.2.4.2: Wind-Datensatz "Wind 2"

	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Mittelwerte über alle Richtungen			Koordinaten des Referenzpunkts	
A [m/s]	7.11	6.84	7.71	8.21	8.24	7.84	8.55	9.28	9.08	8.67	8.34	7.94	A [m/s]	8.40	Aus der Eingabedatei	Höhe über Grund [m]	110.2
k [-]	2.092	2.244	2.6	2.908	3.057	2.779	2.814	3.143	2.725	2.193	2.201	2.111	k [-]	2.510	Aus der Eingabedatei	Rechts	3395209
Häufigkeit (100%=1)	0.05	0.047	0.056	0.07	0.075	0.062	0.081	0.148	0.129	0.106	0.096	0.08	v_{ave} [m/s]	7.45	Aus der Eingabedatei	Hoch	5946149

Tabelle A.2.4.3: Wind-Datensatz "Wind 3"

	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Mittelwerte über alle Richtungen			Koordinaten des Referenzpunkts	
A [m/s]	7.08	6.79	7.75	8.2	8.23	7.85	8.55	9.28	9.05	8.65	8.3	7.94	A [m/s]	8.39	Aus der Eingabedatei	Höhe über Grund [m]	110.2
k [-]	2.096	2.248	2.604	2.912	3.057	2.779	2.814	3.143	2.725	2.193	2.201	2.115	k [-]	2.511	Aus der Eingabedatei	Rechts	3395701
Häufigkeit (100%=1)	0.05	0.047	0.056	0.07	0.075	0.062	0.081	0.148	0.129	0.106	0.096	0.08	v_{ave} [m/s]	7.44	Aus der Eingabedatei	Hoch	5946054

Copyright © 2023 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Tabelle A.2.4.4: Wind-Datensatz "Wind 4"

	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW
A [m/s]	7.02	6.8	7.74	8.24	8.24	7.84	8.57	9.33	9.03	8.63	8.3	7.89
k [-]	2.096	2.248	2.604	2.912	3.057	2.779	2.814	3.143	2.725	2.189	2.201	2.115
Häufigkeit (100%=1)	0.05	0.047	0.056	0.07	0.075	0.062	0.081	0.148	0.129	0.106	0.096	0.08

Mittelwerte über alle Richtungen		
A [m/s]	8.39	Aus der Eingabedatei
k [-]	2.510	Aus der Eingabedatei
v_{ave} [m/s]	7.44	Aus der Eingabedatei

Koordinaten des Referenzpunkts	
Höhe über Grund [m]	110.2
Rechts	3395813
Hoch	5945639

A.2.5 Berechnungsvarianten

Tabelle A.2.5.1: Berechnungsvarianten

Id	Beschriftung	BBS-Gruppe	Wöhlerlinien-Koeffizient	Einfluss der Orografie ignorieren	Ergebnisse im Abschnitt
1	Situation vor dem Zubau	1	Projekt-Vorgabewert	Nein	A.3.1
2	Situation nach dem Zubau	1	Projekt-Vorgabewert	Nein	A.3.2
3	Betriebsbeschraenkungen	2	Projekt-Vorgabewert	Nein	A.3.3

A.2.6 Betriebsbeschränkungen (BBS)

Für die einzelnen definierten BBS zwischen jeweils zwei WEA sind Alternativen möglich: Für einen reduzierten Betrieb kann alternativ auch eine Abschaltung vorgesehen werden. Eine Abschaltung kann alternativ auch auf die andere beteiligte WEA übertragen werden (wenn die Abschaltung für die windaufwärts gelegene WEA definiert wurde, kann alternativ die windabwärts gelegene WEA abgeschaltet werden und umgekehrt). Die entsprechenden Alternativen sind in weiteren Tabellen nachfolgend dargestellt. Es ist dabei nicht erforderlich alle alternativen BBS einer Tabelle zu wählen. Für jede definierte BBS zwischen zwei WEA muss aber eine der aufgeführten Alternativen umgesetzt werden.

A.2.6.1 BBS-Gruppe 1

Tabelle A.2.6.1.1: Betriebsbeschränkungen der BBS-Gruppe 1 - Übersicht (A=Abschaltung, R=Eingeschränkter Betrieb)

	Windaufwärts gelegene WEA		Zu schützende WEA		Windgeschwindigkeitsbereiche [m/s]																										
Nr.	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Lfd. Nr.	Bezeichnung	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
1	31	Georgshof III. WEA 0	23	Georgshof I. WEA 401															A												
2	28	Georgshof II. WEA 10	25																A												

Copyright © 2023 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Tabelle A.2.6.1.2: Betriebsbeschränkungen der BBS-Gruppe 1 - Details

	Beschränkte WEA		Zu schützende WEA		Beschränkungen						
Nr.	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Abschaltung	Betriebsmodus	β [°]	γ_{start} [°]	γ_{stop} [°]	v_{start} [m/s]	v_{stop} [m/s]
1	31	Georgshof III. WEA 0	23	Georgshof I. WEA 401	X	-	-	324.3	24.9	v-in	v-out
2	28	Georgshof II. WEA 10	25		X	-	-	118.4	160.8	v-in	v-out

Tabelle A.2.6.1.3: Betriebsbeschränkungen der BBS-Gruppe 1 - Alternative A - Details

	Beschränkte WEA		Zu schützende WEA		Beschränkungen						
Nr.	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Abschaltung	Betriebsmodus	β [°]	γ_{start} [°]	γ_{stop} [°]	v_{start} [m/s]	v_{stop} [m/s]
1	23	Georgshof I. WEA 401	23	Georgshof I. WEA 401	X	-	-	324.3	24.9	v-in	v-out
2	25	Georgshof I. WEA 401	25		X	-	-	118.4	160.8	v-in	v-out

A.2.6.2 BBS-Gruppe 2

Tabelle A.2.6.2.1: Betriebsbeschränkungen der BBS-Gruppe 2 - Übersicht (A=Abschaltung, R=Eingeschränkter Betrieb)

	Windaufwärts gelegene WEA		Zu schützende WEA		Windgeschwindigkeitsbereiche [m/s]																										
Nr.	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Lfd. Nr.	Bezeichnung	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
1	31	Georgshof III. WEA 0	23	Georgshof I. WEA 401	A																										
2	30	Georgshof III. WEA 0	24		R									A				R													
	31	Georgshof III. WEA 0			R									A					R												
	32	Georgshof III. WEA 0			R								R	A		R															
	33	Georgshof III. WEA 0				R																									
	34	WEA Verweyen			R											R															

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Copyright © 2023 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Tabelle A.2.6.2.1: Betriebsbeschränkungen der BBS-Gruppe 2 - Übersicht (A=Abschaltung, R=Eingeschränkter Betrieb)

	Windaufwärts gelegene WEA		Zu schützende WEA		Windgeschwindigkeitsbereiche [m/s]																									
Nr.	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Lfd. Nr.	Bezeichnung	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
3	28	Georgshof II. WEA 10	25		A																										
4	31	Georgshof III. WEA 0	26	Georgshof II. WEA 10	R									R				A													
	32	Georgshof III. WEA 0							R						A																
	33	Georgshof III. WEA 0			R		A		R		A		R				A			R											
	34	WEA Verweyen			R																										
5	31	Georgshof III. WEA 0	27																	R		A									
	32	Georgshof III. WEA 0				R													R	A											
	33	Georgshof III. WEA 0			A				R					R									A								
6	31	Georgshof III. WEA 0	29																												
	32	Georgshof III. WEA 0																		R		A		A		A					
	33	Georgshof III. WEA 0												R									A								
	34	WEA Verweyen																					R		A						
7	31	Georgshof III. WEA 0	30	Georgshof III. WEA 0		R																									
8	30	Georgshof III. WEA 0	31			R																									
	34	WEA Verweyen					R																								
9	26	Georgshof II. WEA 10	32							A																					
10	26	Georgshof II. WEA 10	33							A																					
	27	Georgshof II. WEA 10								A																					

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Copyright © 2023 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Tabelle A.2.6.2.1: Betriebsbeschränkungen der BBS-Gruppe 2 - Übersicht (A=Abschaltung, R=Eingeschränkter Betrieb)

	Windaufwärts gelegene WEA		Zu schützende WEA		Windgeschwindigkeitsbereiche [m/s]																										
Nr.	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Lfd. Nr.	Bezeichnung	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	29	Georgshof II. WEA 10								A																					
11	32	Georgshof III. WEA 0	34	WEA Verweyen						R																					

Tabelle A.2.6.2.2: Betriebsbeschränkungen der BBS-Gruppe 2 - Details

	Beschränkte WEA		Zu schützende WEA		Beschränkungen						
Nr.	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Abschaltung	Betriebsmodus	β [°]	γ_{start} [°]	γ_{stop} [°]	v_{start} [m/s]	v_{stop} [m/s]
1	31	Georgshof III. WEA 0	23	Georgshof I. WEA 401	X	-	-	324.3	24.9	v-in	v-out
2	30	Georgshof III. WEA 0	24		-	4.26MW OML 20s	-	334.4	352.2	v-in	3.9
	30	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 25s	-	334.4	352.2	3.9	5
	30	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 10s	-	334.4	352.2	5	6.1
	30	Georgshof III. WEA 0			X	-	-	334.4	352.2	12.7	17.2
	30	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 35s (v-in 4m/s)	-	334.4	352.2	17.2	18.3
	30	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 30s (v-in 4m/s)	-	334.4	352.2	18.3	19.4
	30	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 41s (v-in 5m/s)	-	334.4	352.2	19.4	20.5
	30	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 40s (v-in 5m/s)	-	334.4	352.2	20.5	21.6
	30	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 34s (v-in 4m/s)	-	334.4	352.2	21.6	22.7
	31	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 27s (v-in 4m/s)	-	335.1	4.9	v-in	3.9
	31	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 38s (v-in 5m/s)	-	335.1	4.9	3.9	5

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Copyright © 2023 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Tabelle A.2.6.2.2: Betriebsbeschränkungen der BBS-Gruppe 2 - Details

	Beschränkte WEA		Zu schützende WEA		Beschränkungen						
Nr.	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Abschaltung	Betriebsmodus	β [°]	γ_{start} [°]	γ_{stop} [°]	v_{start} [m/s]	v_{stop} [m/s]
	31	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 43s (v-in 5m/s)	-	335.1	4.9	5	6.1
	31	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 8s	-	335.1	4.9	6.1	7.2
	31	Georgshof III. WEA 0			X	-	-	335.1	4.9	12.7	19.4
	31	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 43s (v-in 5m/s)	-	335.1	4.9	19.4	22.7
	32	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 18s	-	38.7	61.9	v-in	3.9
	32	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 19s	-	38.7	61.9	3.9	5
	32	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 9s	-	38.7	61.9	5	6.1
	32	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 1s	-	38.7	61.9	6.1	7.2
	32	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 32s (v-in 4m/s)	-	38.7	61.9	12.7	13.8
	32	Georgshof III. WEA 0			X	-	-	38.7	61.9	13.8	16
	32	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 26s	-	38.7	61.9	16	17.2
	33	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 2s	-	85.9	109.3	3.9	5
	33	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 1s	-	85.9	109.3	5	6.1
	34	WEA Verweyen			-	4.26MW OML 5s	-	11.9	30.5	v-in	3.9
	34	WEA Verweyen			-	4.26MW OML 4s	-	11.9	30.5	3.9	5
	34	WEA Verweyen			-	4.26MW OML 36s (v-in 5m/s)	-	11.9	30.5	13.8	14.9
	34	WEA Verweyen			-	4.26MW OML 22s	-	11.9	30.5	14.9	16
3	28	Georgshof II. WEA 10	25		X	-	-	118.4	160.8	v-in	v-out
4	31	Georgshof III. WEA 0	26	Georgshof II. WEA 10	-	4.26MW OML 13s	-	299.4	334.2	v-in	3.4

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Copyright © 2023 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Tabelle A.2.6.2.2: Betriebsbeschränkungen der BBS-Gruppe 2 - Details

	Beschränkte WEA		Zu schützende WEA		Beschränkungen						
Nr.	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Abschaltung	Betriebsmodus	β [°]	γ_{start} [°]	γ_{stop} [°]	v_{start} [m/s]	v_{stop} [m/s]
	31	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 9s	-	299.4	334.2	3.4	4.4
	31	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 5s	-	299.4	334.2	4.4	5.4
	31	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 2s	-	299.4	334.2	5.4	6.3
	31	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 11s	-	299.4	334.2	11.2	12.2
	31	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 23s	-	299.4	334.2	12.2	13.2
	31	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 31s (v-in 4m/s)	-	299.4	334.2	13.2	14.2
	31	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 40s (v-in 5m/s)	-	299.4	334.2	14.2	15.1
	31	Georgshof III. WEA 0			X	-	-	299.4	334.2	15.1	24.9
	32	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 27s (v-in 4m/s)	-	2.1	55.9	v-in	3.4
	32	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 32s (v-in 4m/s)	-	2.1	55.9	3.4	4.4
	32	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 30s (v-in 4m/s)	-	2.1	55.9	4.4	5.4
	32	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 20s	-	2.1	55.9	5.4	6.3
	32	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 13s	-	2.1	55.9	6.3	7.3
	32	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 8s	-	2.1	55.9	7.3	8.3
	32	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 10s	-	2.1	55.9	8.3	10.3
	32	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 8s	-	2.1	55.9	10.3	11.2
	32	Georgshof III. WEA 0			X	-	-	2.1	55.9	11.2	19

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Copyright © 2023 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Tabelle A.2.6.2.2: Betriebsbeschränkungen der BBS-Gruppe 2 - Details

	Beschränkte WEA		Zu schützende WEA		Beschränkungen						
Nr.	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Abschaltung	Betriebsmodus	β [°]	γ_{start} [°]	γ_{stop} [°]	v_{start} [m/s]	v_{stop} [m/s]
	33	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 27s (v-in 4m/s)	-	87.3	144.9	v-in	3.4
	33	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 36s (v-in 5m/s)	-	87.3	144.9	3.4	4.4
	33	Georgshof III. WEA 0			X	-	-	87.3	144.9	4.4	6.3
	33	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 34s (v-in 4m/s)	-	87.3	144.9	6.3	7.3
	33	Georgshof III. WEA 0			X	-	-	87.3	144.9	7.3	8.3
	33	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 26s	-	87.3	144.9	8.3	9.3
	33	Georgshof III. WEA 0			X	-	-	87.3	144.9	9.3	17.1
	33	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 40s (v-in 5m/s)	-	87.3	144.9	17.1	18.1
	34	WEA Verweyen			-	4.26MW OML 4s	-	343.5	13.3	v-in	3.4
	34	WEA Verweyen			-	4.26MW OML 3s	-	343.5	13.3	3.4	4.4
	34	WEA Verweyen			-	4.26MW OML 1s	-	343.5	13.3	4.4	5.4
5	31	Georgshof III. WEA 0	27		-	4.26MW OML 38s (v-in 5m/s)	-	325.3	349.3	17.1	18.1
	31	Georgshof III. WEA 0			X	-	-	325.3	349.3	18.1	24.9
	32	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 2s	-	7	34.4	3.4	4.4
	32	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 43s (v-in 5m/s)	-	7	34.4	16.1	17.1
	32	Georgshof III. WEA 0			X	-	-	7	34.4	17.1	18.1
	33	Georgshof III. WEA 0			X	-	-	41.1	87.5	v-in	5.4
	33	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 6s	-	41.1	87.5	5.4	6.3

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Copyright © 2023 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Tabelle A.2.6.2.2: Betriebsbeschränkungen der BBS-Gruppe 2 - Details

	Beschränkte WEA		Zu schützende WEA		Beschränkungen						
Nr.	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Abschaltung	Betriebsmodus	β [°]	γ_{start} [°]	γ_{stop} [°]	v_{start} [m/s]	v_{stop} [m/s]
	33	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 4s	-	41.1	87.5	6.3	7.3
	33	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 1s	-	41.1	87.5	7.3	9.3
	33	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 21s	-	41.1	87.5	11.2	12.2
	33	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 28s (v-in 4m/s)	-	41.1	87.5	12.2	13.2
	33	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 35s (v-in 4m/s)	-	41.1	87.5	13.2	14.2
	33	Georgshof III. WEA 0			X	-	-	41.1	87.5	14.2	24.9
6	31	Georgshof III. WEA 0	29		X	-	-	314.3	331.3	18.1	24.9
	32	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 30s (v-in 4m/s)	-	339.6	2.8	17.1	18.1
	32	Georgshof III. WEA 0			X	-	-	339.6	2.8	20	21
	32	Georgshof III. WEA 0			X	-	-	339.6	2.8	23	23.9
	33	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 20s	-	332	29.6	v-in	3.4
	33	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 36s (v-in 5m/s)	-	332	29.6	3.4	4.4
	33	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 21s	-	332	29.6	4.4	5.4
	33	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 15s	-	332	29.6	5.4	6.3
	33	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 12s	-	332	29.6	6.3	7.3
	33	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 10s	-	332	29.6	7.3	8.3
	33	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 12s	-	332	29.6	8.3	9.3

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Copyright © 2023 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Tabelle A.2.6.2.2: Betriebsbeschränkungen der BBS-Gruppe 2 - Details

	Beschränkte WEA		Zu schützende WEA		Beschränkungen						
Nr.	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Abschaltung	Betriebsmodus	β [°]	γ_{start} [°]	γ_{stop} [°]	v_{start} [m/s]	v_{stop} [m/s]
	33	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 13s	-	332	29.6	9.3	10.3
	33	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 12s	-	332	29.6	10.3	11.2
	33	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 27s (v-in 4m/s)	-	332	29.6	11.2	12.2
	33	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 33s (v-in 4m/s)	-	332	29.6	12.2	13.2
	33	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 39s (v-in 5m/s)	-	332	29.6	13.2	14.2
	33	Georgshof III. WEA 0			X	-	-	332	29.6	14.2	23
	34	WEA Verweyen			-	4.26MW OML 32s (v-in 4m/s)	-	336.1	352.3	20	21
	34	WEA Verweyen			X	-	-	336.1	352.3	21	24.9
7	31	Georgshof III. WEA 0	30	Georgshof III. WEA 0	-	4.26MW OML 5s	-	118.5	188.1	3.5	5.5
	31	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 6s	-	118.5	188.1	5.5	7.5
	31	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 5s	-	118.5	188.1	7.5	8.5
	31	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 4s	-	118.5	188.1	8.5	9.5
8	30	Georgshof III. WEA 0	31		-	4.26MW OML 12s	-	298.5	8.1	3.5	4.5
	30	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 4s	-	298.5	8.1	4.5	6.5
	30	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 7s	-	298.5	8.1	6.5	7.5
	30	Georgshof III. WEA 0			-	4.26MW OML 4s	-	298.5	8.1	7.5	8.5
	34	WEA Verweyen			-	4.26MW OML 3s	-	30.9	81.7	4.5	6.5
9	32	Georgshof III. WEA 0	32		X	-	-	183.7	234.3	7.5	11.5

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Copyright © 2023 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Tabelle A.2.6.2.2: Betriebsbeschränkungen der BBS-Gruppe 2 - Details

	Beschränkte WEA		Zu schützende WEA		Beschränkungen						
Nr.	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Abschaltung	Betriebsmodus	β [°]	γ_{start} [°]	γ_{stop} [°]	v_{start} [m/s]	v_{stop} [m/s]
10	33	Georgshof III. WEA 0	33		X	-	-	153.8	207.8	7.5	11.5
	33	Georgshof III. WEA 0			X	-	-	222.5	266.1	7.5	11.5
	33	Georgshof III. WEA 0			X	-	-	269.1	323.1	7.5	11.5
11	32	Georgshof III. WEA 0	34	WEA Verweyen	-	4.26MW OML 3s	-	119.2	178.2	7.5	8.5

Tabelle A.2.6.2.3: Betriebsbeschränkungen der BBS-Gruppe 2 - Alternative A - Details

	Beschränkte WEA		Zu schützende WEA		Beschränkungen						
Nr.	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Abschaltung	Betriebsmodus	β [°]	γ_{start} [°]	γ_{stop} [°]	v_{start} [m/s]	v_{stop} [m/s]
1	31	Georgshof III. WEA 0	23	Georgshof I. WEA 401	X	-	-	324.3	24.9	v-in	v-out
2	30	Georgshof III. WEA 0	24		X	-	-	334.4	352.2	v-in	6.1
	30	Georgshof III. WEA 0			X	-	-	334.4	352.2	12.7	22.7
	31	Georgshof III. WEA 0			X	-	-	335.1	4.9	v-in	7.2
	31	Georgshof III. WEA 0			X	-	-	335.1	4.9	12.7	22.7
	32	Georgshof III. WEA 0			X	-	-	38.7	61.9	v-in	7.2
	32	Georgshof III. WEA 0			X	-	-	38.7	61.9	12.7	17.2
	33	Georgshof III. WEA 0			X	-	-	85.9	109.3	3.9	6.1
	34	WEA Verweyen			X	-	-	11.9	30.5	v-in	5
	34	WEA Verweyen			X	-	-	11.9	30.5	13.8	16
3	28	Georgshof II. WEA 10	25		X	-	-	118.4	160.8	v-in	v-out

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Copyright © 2023 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Tabelle A.2.6.2.3: Betriebsbeschränkungen der BBS-Gruppe 2 - Alternative A - Details

	Beschränkte WEA		Zu schützende WEA		Beschränkungen						
Nr.	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Abschaltung	Betriebsmodus	β [°]	γ_{start} [°]	γ_{stop} [°]	v_{start} [m/s]	v_{stop} [m/s]
4	31	Georgshof III. WEA 0	26	Georgshof II. WEA 10	X	-	-	299.4	334.2	v-in	6.3
	31	Georgshof III. WEA 0			X	-	-	299.4	334.2	11.2	24.9
	32	Georgshof III. WEA 0			X	-	-	2.1	55.9	v-in	19
	33	Georgshof III. WEA 0			X	-	-	87.3	144.9	v-in	18.1
	34	WEA Verweyen			X	-	-	343.5	13.3	v-in	5.4
5	31	Georgshof III. WEA 0	27		X	-	-	325.3	349.3	17.1	24.9
	32	Georgshof III. WEA 0			X	-	-	7	34.4	3.4	4.4
	32	Georgshof III. WEA 0			X	-	-	7	34.4	16.1	18.1
	33	Georgshof III. WEA 0			X	-	-	41.1	87.5	v-in	9.3
	33	Georgshof III. WEA 0			X	-	-	41.1	87.5	11.2	24.9
6	31	Georgshof III. WEA 0	29		X	-	-	314.3	331.3	18.1	24.9
	32	Georgshof III. WEA 0			X	-	-	339.6	2.8	17.1	18.1
	32	Georgshof III. WEA 0			X	-	-	339.6	2.8	20	21
	32	Georgshof III. WEA 0			X	-	-	339.6	2.8	23	23.9
	33	Georgshof III. WEA 0			X	-	-	332	29.6	v-in	23
	34	WEA Verweyen			X	-	-	336.1	352.3	20	24.9
7	31	Georgshof III. WEA 0	30	Georgshof III. WEA 0	X	-	-	118.5	188.1	3.5	9.5
8	30	Georgshof III. WEA 0	31		X	-	-	298.5	8.1	3.5	8.5

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Copyright © 2023 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Tabelle A.2.6.2.3: Betriebsbeschränkungen der BBS-Gruppe 2 - Alternative A - Details

	Beschränkte WEA		Zu schützende WEA		Beschränkungen						
Nr.	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Abschaltung	Betriebsmodus	β [°]	γ_{start} [°]	γ_{stop} [°]	v_{start} [m/s]	v_{stop} [m/s]
	34	WEA Verweyen			X	-	-	30.9	81.7	4.5	6.5
9	32	Georgshof III. WEA 0	32		X	-	-	183.7	234.3	7.5	11.5
10	33	Georgshof III. WEA 0	33		X	-	-	153.8	207.8	7.5	11.5
	33	Georgshof III. WEA 0			X	-	-	222.5	266.1	7.5	11.5
	33	Georgshof III. WEA 0			X	-	-	269.1	323.1	7.5	11.5
11	32	Georgshof III. WEA 0	34	WEA Verweyen	X	-	-	119.2	178.2	7.5	8.5

Tabelle A.2.6.2.4: Betriebsbeschränkungen der BBS-Gruppe 2 - Alternative B - Details

	Beschränkte WEA		Zu schützende WEA		Beschränkungen						
Nr.	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Abschaltung	Betriebsmodus	β [°]	γ_{start} [°]	γ_{stop} [°]	v_{start} [m/s]	v_{stop} [m/s]
1	23	Georgshof I. WEA 401	23	Georgshof I. WEA 401	X	-	-	324.3	24.9	v-in	v-out
2	24	Georgshof I. WEA 401	24		X	-	-	334.4	352.2	v-in	5.5
	24	Georgshof I. WEA 401			X	-	-	334.4	352.2	11.5	20.5
	24	Georgshof I. WEA 401			X	-	-	335.1	4.9	v-in	6.5
	24	Georgshof I. WEA 401			X	-	-	335.1	4.9	11.5	20.5
	24	Georgshof I. WEA 401			X	-	-	38.7	61.9	v-in	6.5
	24	Georgshof I. WEA 401			X	-	-	38.7	61.9	11.5	15.5
	24	Georgshof I. WEA 401			X	-	-	85.9	109.3	3.5	5.5

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Copyright © 2023 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Tabelle A.2.6.2.4: Betriebsbeschränkungen der BBS-Gruppe 2 - Alternative B - Details

	Beschränkte WEA		Zu schützende WEA		Beschränkungen						
Nr.	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Abschaltung	Betriebsmodus	β [°]	γ_{start} [°]	γ_{stop} [°]	v_{start} [m/s]	v_{stop} [m/s]
	24	Georgshof I. WEA 401			X	-	-	11.9	30.5	v-in	4.5
	24	Georgshof I. WEA 401			X	-	-	11.9	30.5	12.5	14.5
3	25	Georgshof I. WEA 401	25		X	-	-	118.4	160.8	v-in	v-out
4	26	Georgshof II. WEA 10	26	Georgshof II. WEA 10	X	-	-	299.4	334.2	v-in	6.5
	26	Georgshof II. WEA 10			X	-	-	299.4	334.2	11.5	25.5
	26	Georgshof II. WEA 10			X	-	-	2.1	55.9	v-in	19.5
	26	Georgshof II. WEA 10			X	-	-	87.3	144.9	v-in	18.5
	26	Georgshof II. WEA 10			X	-	-	343.5	13.3	v-in	5.5
5	27	Georgshof II. WEA 10	27		X	-	-	325.3	349.3	17.5	25.5
	27	Georgshof II. WEA 10			X	-	-	7	34.4	3.5	4.5
	27	Georgshof II. WEA 10			X	-	-	7	34.4	16.5	18.5
	27	Georgshof II. WEA 10			X	-	-	41.1	87.5	v-in	9.5
	27	Georgshof II. WEA 10			X	-	-	41.1	87.5	11.5	25.5
6	29	Georgshof II. WEA 10	29		X	-	-	314.3	331.3	18.5	25.5
	29	Georgshof II. WEA 10			X	-	-	339.6	2.8	17.5	18.5
	29	Georgshof II. WEA 10			X	-	-	339.6	2.8	20.5	21.5
	29	Georgshof II. WEA 10			X	-	-	339.6	2.8	23.5	24.5

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

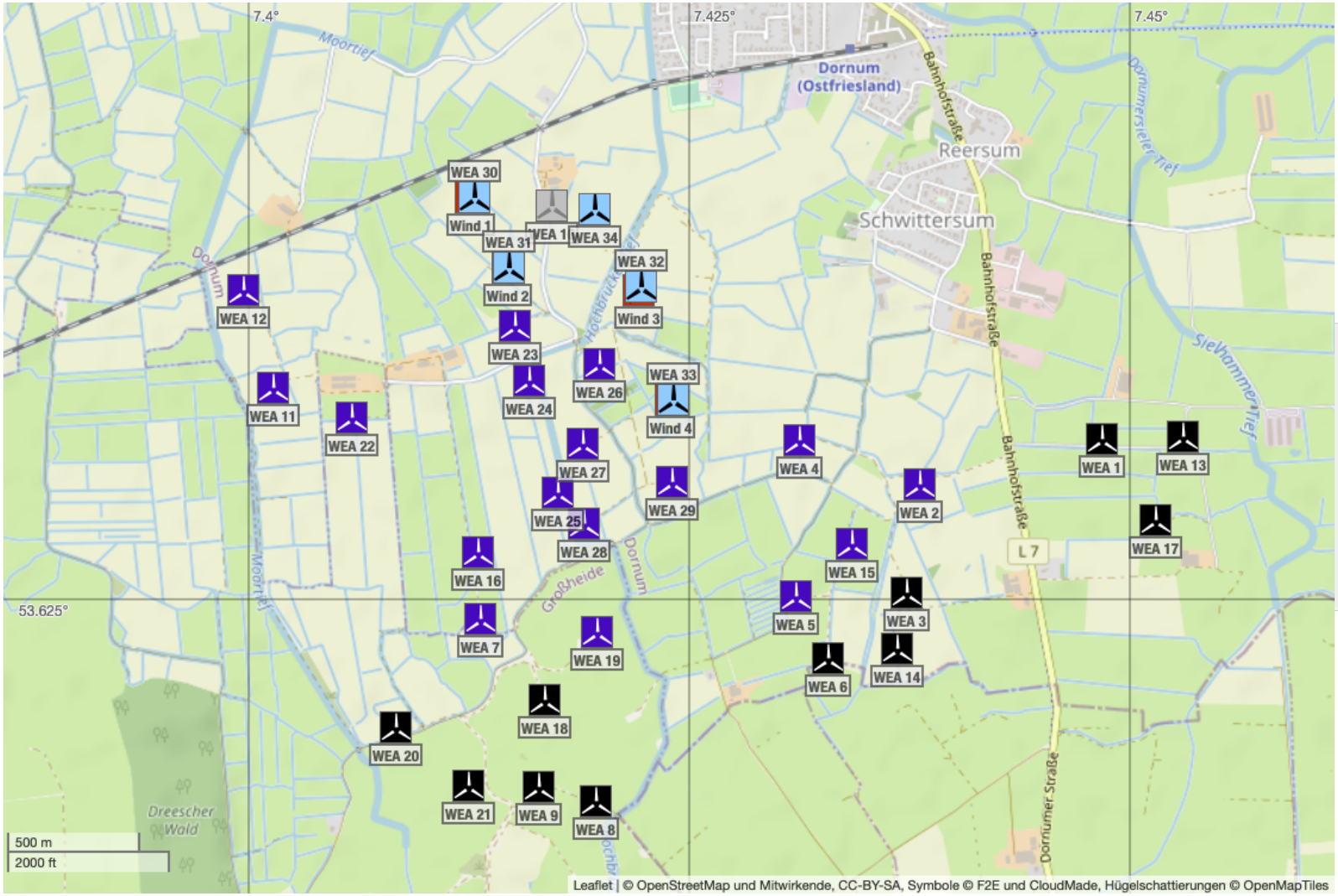
Copyright © 2023 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Tabelle A.2.6.2.4: Betriebsbeschränkungen der BBS-Gruppe 2 - Alternative B - Details

	Beschränkte WEA		Zu schützende WEA		Beschränkungen						
Nr.	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Abschaltung	Betriebsmodus	β [°]	γ_{start} [°]	γ_{stop} [°]	v_{start} [m/s]	v_{stop} [m/s]
	29	Georgshof II. WEA 10			X	-	-	332	29.6	v-in	23.5
	29	Georgshof II. WEA 10			X	-	-	336.1	352.3	20.5	25.5
7	30	Georgshof III. WEA 0	30	Georgshof III. WEA 0	X	-	-	118.5	188.1	3.5	9.5
8	31	Georgshof III. WEA 0	31		X	-	-	298.5	8.1	3.5	8.5
	31	Georgshof III. WEA 0			X	-	-	30.9	81.7	4.5	6.5
9	26	Georgshof II. WEA 10	32		X	-	-	183.7	234.3	7.7	11.8
10	29	Georgshof II. WEA 10	33		X	-	-	153.8	207.8	7.7	11.8
	27	Georgshof II. WEA 10			X	-	-	222.5	266.1	7.7	11.8
	26	Georgshof II. WEA 10			X	-	-	269.1	323.1	7.7	11.8
11	34	WEA Verweyen	34	WEA Verweyen	X	-	-	119.2	178.2	7.5	8.5

Copyright © 2023 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

A.2.7 Karte des Windparks



Copyright © 2023 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

A.2.8 Abstände zwischen aktiven Windenergieanlagen

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

WEA			Nachbar 1		Nachbar 2		Nachbar 3		Nachbar 4		Nachbar 5	
	Nr.	Bezeichnung	Nr.	Entfernung	Nr.	Entfernung	Nr.	Entfernung	Nr.	Entfernung	Nr.	Entfernung
	2	516	15	3.64	3	5.78	4	6.75	33	7.09	14	8.76
	4	612	33	3.62	15	4.71	29	5.01	32	5.98	2	6.75
	5	613	15	3.14	6	3.67	3	5.84	14	6.02	29	6.27
	7	708	16	3.53	18	3.83	28	5.20	19	6.18	20	6.26
	11	EA098	22	4.44	12	5.37	31	7.17	30	7.48	34	9.96
	12	EA108	11	5.37	30	6.73	31	7.22	22	8.83	34	9.77
	15	630	3	3.89	5	4.06	2	4.72	14	6.06	4	6.11
	16	706	7	3.53	28	4.06	27	5.61	18	6.01	33	6.71
	19	M04	18	3.19	28	4.04	7	6.18	29	6.23	33	6.63
	22	703	11	4.44	31	5.90	30	6.82	27	8.62	32	8.63
	23	Georgshof I. WEA 401	31	1.59	26	3.45	32	3.60	30	3.63	34	3.82
	24	Georgshof I. WEA 401	26	2.69	27	3.06	31	3.12	33	3.95	32	3.97
	25	Georgshof I. WEA 401	28	1.49	27	2.07	33	4.03	29	4.27	26	5.06
	26	Georgshof II. WEA 10	33	2.23	32	2.37	27	3.02	31	3.58	34	4.16
	27	Georgshof II. WEA 10	33	2.72	28	2.99	26	3.02	29	3.61	32	4.53
	28	Georgshof II. WEA 10	27	2.99	29	3.63	25	3.74	33	4.15	19	5.75
	29	Georgshof II. WEA 10	33	2.23	27	3.61	28	3.63	26	5.15	32	5.35
	30	Georgshof III. WEA 0	31	2.10	34	3.29	32	5.15	10	7.25	33	7.68
	31	Georgshof III. WEA 0	30	2.10	34	2.80	32	3.64	26	4.90	23	5.44
	32	Georgshof III. WEA 0	34	2.44	33	3.17	26	3.25	31	3.64	30	5.15
	33	Georgshof III. WEA 0	26	3.05	29	3.05	32	3.17	27	3.73	34	5.56
	34	WEA Verweyen	32	2.44	31	2.80	30	3.29	10	4.05	33	5.56

Copyright © 2023 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

A.3 Ergebnisse

A.3.1 Situation vor dem Zubau

BBS definiert Ja
Einfluss der Orografie bewerten Ja
Ist Vorherfall Ja

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

WEA				Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																										
	Nr.	Bezeichnung	m	Alle	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	2	516	10	—	32.1	27.4	24.5	22.8	21.4	20.0	18.9	18.1	17.6	15.9	14.6	13.3	12.6	12.0	11.5	11.0	10.6	10.4	10.3	10.2	10.2	10.2	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
	4	612	10	—	31.2	26.6	23.8	22.3	21.2	20.2	18.5	17.6	17.0	14.3	13.3	12.5	11.9	11.5	11.1	10.7	10.4	10.2	10.1	10.1	10.1	10.1	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
	5	613	10	—	34.8	30.1	27.0	25.0	23.5	22.1	20.9	19.9	19.0	17.9	15.7	13.0	12.0	11.4	11.0	10.7	10.5	10.3	10.3	10.3	10.3	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
	7	708	10	—	35.2	30.3	27.2	25.6	24.3	22.9	20.8	19.6	18.7	16.9	15.2	13.0	12.1	11.5	11.0	10.6	10.3	10.1	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
	11	EA098	10	—	30.0	25.7	23.1	21.4	20.1	19.0	18.1	17.3	16.6	15.8	14.1	12.4	11.7	11.2	10.8	10.5	10.2	10.0	10.0	10.0	10.0	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9
	12	EA108	10	—	28.2	23.7	21.0	19.2	17.9	16.8	15.9	15.1	14.4	13.8	12.7	11.7	11.2	10.9	10.5	10.3	10.1	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9
	15	630	10	—	32.1	27.9	25.3	23.6	22.3	21.3	20.5	19.8	19.2	18.7	16.8	13.9	12.7	11.8	11.1	10.6	10.1	9.8	9.6	9.4	9.3	9.3	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2
	16	706	10	—	34.1	29.7	27.0	25.3	24.0	22.9	21.6	20.8	20.1	19.2	17.0	13.9	12.5	11.6	10.9	10.4	10.0	9.8	9.7	9.7	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.7
	19	M04	10	—	38.2	33.7	31.1	30.0	29.3	28.2	25.4	24.1	23.2	16.8	15.1	13.7	12.8	12.1	11.5	11.1	10.7	10.5	10.4	10.4	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3
	22	703	10	—	29.8	25.2	22.3	20.5	19.1	18.1	17.3	16.8	16.4	16.1	14.8	12.9	12.2	11.6	11.2	10.8	10.5	10.2	10.1	10.1	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	9.9	9.9
	23	Georgshof I. WEA 401	10	18.6	34.2	29.9	27.3	26.1	25.0	23.7	21.1	19.6	18.4	14.1	13.0	12.2	11.7	11.2	10.9	10.6	10.4	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	—	—	—	—
	24	Georgshof I. WEA 401	10	23.4	42.2	37.1	34.0	32.6	31.4	29.8	26.4	24.6	23.2	16.0	14.0	12.7	11.9	11.3	10.9	10.7	10.4	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	—	—	—	—
	25	Georgshof I. WEA 401	10	28.2	52.7	45.5	41.0	38.9	37.0	34.7	30.4	28.3	26.8	18.4	16.1	14.2	13.0	12.1	11.4	10.9	10.6	10.3	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	—	—	—	—
	26	Georgshof II. WEA 10	10	—	36.5	32.1	29.4	28.3	27.4	26.1	23.4	22.1	21.2	14.9	13.2	12.1	11.4	10.8	10.3	9.9	9.6	9.3	9.2	9.1	9.1	9.1	9.1	—	—	—	—

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Copyright © 2023 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

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

WEA				Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																									
	Nr.	Bezeichnung	m	Alle	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	27	Georgshof II. WEA 10	10	—	39.4	34.3	31.2	29.9	28.8	27.4	24.5	23.0	22.1	15.6	13.8	12.6	11.7	11.0	10.5	10.1	9.7	9.4	9.3	9.2	9.1	9.1	9.1	—	—	—	—
	28	Georgshof II. WEA 10	10	—	37.2	31.9	28.7	27.0	25.7	24.2	21.5	20.1	19.2	15.0	13.7	12.2	11.5	11.0	10.6	10.3	10.0	9.7	9.6	9.5	9.4	9.4	9.3	—	—	—	—
	29	Georgshof II. WEA 10	10	—	35.7	30.9	28.0	26.7	25.7	24.5	22.1	21.0	20.3	15.0	13.6	12.6	11.9	11.4	10.9	10.5	10.2	9.8	9.7	9.5	9.4	9.4	9.3	—	—	—	—

A.3.2 Situation nach dem Zubau

BBS definiert Ja
Einfluss der Orografie bewerten Ja
Ist Vorherfall Nein

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

WEA				Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																									
	Nr.	Bezeichnung	m	Alle	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	2	516	10	—	32.2	27.5	24.5	22.8	21.4	20.0	18.9	18.1	17.6	15.9	14.6	13.4	12.6	12.1	11.6	11.1	10.8	10.5	10.4	10.3	10.3	10.3	10.3	10.2	10.2	10.2	10.1
	4	612	10	—	32.2	28.6	25.4	23.2	21.7	20.4	18.7	17.8	17.1	14.5	13.6	12.8	12.3	11.8	11.5	11.1	10.8	10.6	10.5	10.4	10.3	10.3	10.3	10.2	10.2	10.2	10.0
	5	613	10	—	34.8	30.1	27.1	25.1	23.5	22.1	20.9	19.9	19.0	17.9	15.7	13.1	12.0	11.5	11.1	10.8	10.6	10.4	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.2	10.2	10.2	10.2
	7	708	10	—	35.2	30.3	27.3	25.6	24.3	22.9	20.8	19.6	18.7	16.9	15.2	13.0	12.1	11.5	11.0	10.6	10.3	10.1	10.1	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
	11	EA098	10	—	30.2	26.0	23.3	21.5	20.1	19.1	18.1	17.3	16.6	15.8	14.2	12.4	11.7	11.2	10.8	10.5	10.3	10.0	10.0	10.0	10.0	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9
	12	EA108	10	—	28.5	24.2	21.4	19.5	18.1	16.9	16.0	15.2	14.5	13.8	12.7	11.8	11.3	10.9	10.6	10.3	10.1	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9
	15	630	10	—	32.1	28.0	25.3	23.6	22.3	21.3	20.5	19.8	19.2	18.7	16.8	13.9	12.7	11.8	11.2	10.7	10.2	9.9	9.7	9.5	9.5	9.4	9.4	9.3	9.3	9.3	9.2
	16	706	10	—	34.2	29.7	27.0	25.3	24.0	22.9	21.6	20.8	20.1	19.2	17.0	13.9	12.5	11.6	10.9	10.4	10.0	9.8	9.7	9.7	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.7
	19	M04	10	—	38.2	33.7	31.1	30.0	29.3	28.2	25.4	24.1	23.2	16.8	15.1	13.7	12.8	12.1	11.5	11.1	10.7	10.5	10.4	10.4	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3
	22	703	10	—	30.1	25.7	22.7	20.7	19.3	18.2	17.4	16.8	16.4	16.1	14.8	13.0	12.2	11.6	11.2	10.8	10.5	10.2	10.1	10.1	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	9.9	9.9

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Copyright © 2023 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

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

WEA				Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																										
	Nr.	Bezeichnung	m	Alle	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	23	Georgshof I. WEA 401	10	18.7	35.3	31.9	28.6	26.7	25.3	23.8	21.2	19.7	18.5	14.5	13.3	12.5	11.9	11.4	11.0	10.7	10.5	10.3	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	—	—	—	—
	24	Georgshof I. WEA 401	10	23.4	42.4	37.5	34.2	32.7	31.5	29.8	26.4	24.6	23.2	16.1	14.2	12.9	12.1	11.5	11.1	10.7	10.5	10.3	10.3	10.2	10.2	10.2	10.2	—	—	—	—
	25	Georgshof I. WEA 401	10	28.2	52.7	45.5	41.0	38.9	37.0	34.7	30.4	28.3	26.8	18.4	16.2	14.2	13.0	12.1	11.4	10.9	10.6	10.3	10.3	10.2	10.2	10.2	10.2	—	—	—	—
	26	Georgshof II. WEA 10	10	—	40.5	40.5	36.0	32.4	29.6	27.0	24.1	22.6	21.5	16.3	14.5	13.1	12.1	11.2	10.6	10.1	9.8	9.5	9.4	9.3	9.2	9.2	9.2	—	—	—	—
	27	Georgshof II. WEA 10	10	—	39.7	35.5	32.1	30.3	29.0	27.5	24.5	23.1	22.1	15.7	14.0	12.7	11.8	11.2	10.6	10.2	9.8	9.5	9.3	9.3	9.2	9.2	9.2	—	—	—	—
	28	Georgshof II. WEA 10	10	—	37.3	32.1	28.8	27.1	25.8	24.2	21.5	20.1	19.2	15.0	13.7	12.3	11.6	11.1	10.7	10.3	10.0	9.7	9.6	9.5	9.5	9.4	9.4	—	—	—	—
	29	Georgshof II. WEA 10	10	—	39.1	38.2	33.5	29.8	27.2	25.0	22.5	21.2	20.4	15.5	14.1	13.0	12.3	11.7	11.2	10.7	10.3	10.0	9.8	9.7	9.6	9.5	9.4	—	—	—	—
	30	Georgshof III. WEA 0	10	—	41.1	42.9	38.2	33.8	30.0	25.6	22.7	20.6	18.6	16.6	14.9	13.5	12.3	11.5	10.9	10.5	10.1	9.9	9.9	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	—
	31	Georgshof III. WEA 0	10	—	41.2	42.0	36.8	32.3	28.5	24.4	21.8	20.0	18.3	16.5	15.1	14.0	13.2	12.5	11.9	11.5	11.1	10.7	10.6	10.4	10.2	10.1	10.0	10.0	9.9	9.9	—
	32	Georgshof III. WEA 0	10	—	40.4	38.4	34.3	31.7	30.2	28.8	26.0	24.7	23.8	17.5	15.7	14.5	13.5	12.8	12.1	11.6	11.2	10.8	10.6	10.5	10.4	10.2	10.1	10.1	10.0	10.0	—
	33	Georgshof III. WEA 0	10	—	43.0	37.6	34.2	32.6	31.4	29.9	26.8	25.3	24.4	17.5	15.7	14.5	13.6	12.9	12.3	11.9	11.4	11.1	10.9	10.7	10.6	10.5	10.4	10.2	10.2	10.2	—
	34	WEA Verweyen	10	—	38.6	39.2	34.9	31.0	27.6	23.8	21.4	19.7	18.1	16.5	15.2	14.1	13.3	12.6	12.0	11.5	11.1	10.7	10.5	10.4	10.3	10.2	10.1	10.0	10.0	10.0	—

Tabelle A.3.2.2: Extremwerte der Turbulenzintensität auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]

WEA				Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																										
	Nr.	Bezeichnung	m	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	2	516	10	39.1	33.3	29.6	27.5	25.8	23.8	22.4	21.3	20.6	18.7	17.2	14.9	14.0	13.4	12.9	12.4	12.0	11.8	11.7	11.6	11.5	11.4	11.3	11.3	11.2	11.1	11.1

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Copyright © 2023 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Tabelle A.3.2.2: Extremwerte der Turbulenzintensität auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]

WEA				Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																										
	Nr.	Bezeichnung	m	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	4	612	10	38.3	34.3	30.2	27.7	26.4	25.0	22.7	21.5	20.6	17.1	15.7	14.0	13.3	12.8	12.4	12.0	11.8	11.5	11.4	11.4	11.3	11.3	11.3	11.0	11.0	11.0	11.0
	5	613	10	43.0	37.3	33.7	31.3	29.4	28.1	27.0	26.1	25.4	24.8	22.2	18.2	16.4	15.2	14.3	13.5	13.0	12.5	12.3	12.1	11.9	11.8	11.7	11.6	11.5	11.4	11.4
	7	708	10	43.9	37.9	34.3	32.6	31.2	29.7	26.7	25.3	24.3	23.3	20.7	16.8	15.1	13.9	13.0	12.5	12.1	11.8	11.7	11.6	11.5	11.5	11.4	11.3	11.3	11.3	11.3
	11	EA098	10	37.7	32.5	29.2	27.0	25.3	24.1	23.1	22.4	21.7	21.2	19.1	16.0	14.6	13.7	13.0	12.4	11.9	11.6	11.4	11.2	11.1	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
	12	EA108	10	35.3	30.1	26.9	24.8	23.2	22.0	21.1	20.3	19.7	19.2	17.5	15.1	14.0	13.2	12.6	12.1	11.8	11.4	11.3	11.2	11.1	11.1	11.1	11.1	11.1	11.1	11.1
	15	630	10	38.0	32.9	29.7	27.5	25.9	24.7	23.8	23.0	22.3	21.8	19.5	16.1	14.6	13.5	12.7	12.1	11.6	11.2	11.0	10.9	10.8	10.6	10.6	10.5	10.4	10.4	10.3
	16	706	10	42.0	36.5	33.0	30.6	28.9	27.5	26.5	25.7	24.9	24.4	21.7	17.7	15.9	14.6	13.7	13.0	12.4	11.9	11.7	11.4	11.3	11.1	11.0	10.9	10.8	10.8	10.7
	19	M04	10	48.0	41.6	37.9	36.2	34.9	33.2	29.7	28.1	27.0	19.1	17.0	15.6	14.5	13.7	13.1	12.6	12.1	11.8	11.6	11.5	11.4	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3
	22	703	10	35.8	30.8	27.7	25.6	24.1	22.9	22.0	21.3	20.6	20.1	18.1	15.1	13.8	12.9	12.2	11.7	11.5	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3
	23	Georgshof I. WEA 401	10	46.2	40.0	36.3	34.6	33.3	31.7	28.4	26.8	25.8	18.6	16.6	15.3	14.4	13.6	13.0	12.6	12.2	11.8	11.7	11.6	11.5	11.4	11.4	—	—	—	—
	24	Georgshof I. WEA 401	10	54.8	47.8	43.7	41.9	40.5	38.6	34.4	32.5	31.2	21.5	18.9	17.1	15.8	14.8	14.1	13.4	12.9	12.5	12.3	12.1	12.0	11.8	11.7	—	—	—	—
	25	Georgshof I. WEA 401	10	68.2	59.8	54.9	53.0	51.4	49.0	43.6	41.1	39.5	26.2	22.6	20.2	18.4	17.1	16.0	15.1	14.4	13.9	13.5	13.3	13.0	12.8	12.6	—	—	—	—
	26	Georgshof II. WEA 10	10	46.6	47.4	42.0	37.1	34.1	32.4	29.0	27.3	26.3	19.0	17.3	15.8	14.7	13.8	13.0	12.5	12.0	11.5	11.3	11.0	10.8	10.6	10.3	—	—	—	—
	27	Georgshof II. WEA 10	10	47.0	40.9	37.3	35.7	34.4	32.8	29.3	27.6	26.5	18.5	16.2	14.8	13.7	12.9	12.2	11.7	11.3	11.0	10.8	10.6	10.5	10.4	10.3	—	—	—	—
	28	Georgshof II. WEA 10	10	45.1	39.3	35.7	34.2	33.0	31.4	28.0	26.5	25.4	17.6	15.6	14.1	13.0	12.2	11.6	11.1	10.8	10.5	10.5	10.4	10.4	10.3	10.3	—	—	—	—
	29	Georgshof II. WEA 10	10	45.3	46.9	41.5	36.6	32.5	29.0	26.0	24.6	23.6	18.8	17.0	15.6	14.4	13.5	12.8	12.1	11.6	11.2	10.9	10.7	10.6	10.6	10.5	—	—	—	—
	30	Georgshof III. WEA 0	10	50.4	52.4	46.5	41.1	36.5	31.2	27.9	25.5	23.2	21.1	19.1	17.5	16.2	15.1	14.3	13.6	13.0	12.5	12.2	11.9	11.6	11.3	11.0	11.0	11.0	11.0	—
	31	Georgshof III. WEA 0	10	47.2	49.2	43.5	38.5	34.1	29.1	26.0	23.7	21.6	19.5	17.7	16.1	14.9	13.9	13.1	12.6	12.2	11.8	11.6	11.4	11.3	11.1	10.9	10.9	10.9	10.9	—

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Copyright © 2023 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Tabelle A.3.2.2: Extremwerte der Turbulenzintensität auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]

WEA				Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																										
	Nr.	Bezeichnung	m	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	32	Georgshof III. WEA 0	10	47.8	43.7	38.7	36.0	34.6	33.0	29.5	27.9	26.8	19.1	17.0	15.6	14.5	13.8	13.1	12.6	12.2	11.9	11.7	11.6	11.5	11.4	11.3	10.7	10.7	10.7	—
	33	Georgshof III. WEA 0	10	49.1	42.6	38.8	37.1	35.8	34.1	30.5	28.8	27.7	19.4	17.2	15.7	14.6	13.8	13.1	12.6	12.1	11.8	11.6	11.5	11.4	11.3	11.2	10.8	10.8	10.8	—
	34	WEA Verweyen	10	45.7	46.7	41.3	36.6	32.6	28.0	25.1	23.1	21.1	19.3	17.6	16.2	15.1	14.2	13.5	12.9	12.4	12.0	11.8	11.5	11.3	11.1	10.9	10.8	10.8	10.8	—

Tabelle A.3.2.3: Eigenschaften und Windbedingungen der jeweiligen WEA

WEA-Eigenschaften						Nächste WEA		Ergebnisse														
	Nr.	WEA-Typ	z_{hub} [m]	D [m]	BBS	Abstand in D	Nr.	Geschützt durch BBS	m [-]	Komplex	α_n [-]	φ [°]	ρ [kg/m³]	WZ	v_{50} GK2 [m/s]	v_{50} GK1 [m/s]	A [m/s]	A ρkorr [m/s]	k [-]	v_{ave} [m/s]	v_{ave} ρkorr [m/s]
	2	ENERCON E-70 E4 2.3MW	64	71	Nein	3.639	15	Nein	10	Nein	0.13	0.1	1.250	4 / III	40.4	44.2	7.84	7.92	2.418	6.95	7.02
	4	ENERCON E-70 E4 2.3MW	64	71	Nein	3.62	33	Nein	10	Nein	0.13	0.1	1.250	4 / III	40.4	44.2	7.84	7.92	2.418	6.95	7.02
	5	ENERCON E-70 E4 2.3MW	64	71	Nein	3.136	15	Nein	10	Nein	0.13	0.1	1.251	4 / III	40.4	44.2	7.84	7.92	2.418	6.95	7.02
	7	ENERCON E-70 E4 2.3MW	64	71	Nein	3.527	16	Nein	10	Nein	0.13	0.1	1.251	4 / III	40.4	44.2	7.84	7.92	2.418	6.95	7.02
	11	ENERCON E-70 E4 2.3MW	64	71	Nein	4.437	22	Nein	10	Nein	0.13	0.1	1.250	4 / III	40.4	44.2	7.85	7.93	2.418	6.96	7.03
	12	ENERCON E-70 E4 2.3MW	64	71	Nein	5.367	11	Nein	10	Nein	0.13	0.1	1.250	4 / III	40.4	44.2	7.86	7.94	2.418	6.97	7.04
	15	ENERCON E-92 2.35MW	138	92	Nein	3.891	3	Nein	10	Nein	0.12	0.0	1.241	4 / III	45.7	48.5	8.61	8.67	2.51	7.64	7.69
	16	ENERCON E-70 E4 2.3MW	85	71	Nein	3.527	7	Nein	10	Nein	0.13	0.1	1.248	4 / III	42.3	45.8	8.12	8.2	2.46	7.21	7.27
	19	ENERCON E-70 E4 2.3MW	64	71	Nein	3.192	18	Nein	10	Nein	0.13	0.1	1.251	4 / III	40.4	44.2	7.84	7.92	2.418	6.95	7.02
	22	ENERCON E-70 E4 2.3MW	64	71	Nein	4.437	11	Nein	10	Nein	0.13	0.1	1.250	4 / III	40.4	44.2	7.85	7.93	2.418	6.96	7.03
	23	ENERCON E-40 5.40 500kW	50	40.3	Nein	1.587	31	Ja	10	Nein	0.14	0.2	1.252	4 / III	38.8	42.9	7.6	7.61	2.39	6.74	6.74
	24	ENERCON E-40 5.40 500kW	50	40.3	Nein	2.692	26	Nein	10	Nein	0.14	0.1	1.252	4 / III	38.8	42.9	7.6	7.61	2.39	6.74	6.74
	25	ENERCON E-40 5.40 500kW	50	40.3	Nein	1.494	28	Ja	10	Nein	0.14	0.1	1.252	4 / III	38.8	42.9	7.59	7.59	2.39	6.73	6.73
	26	ENERCON E-101 3.05MW	135	101	Nein	2.226	33	Nein	10	Nein	0.12	0.0	1.242	4 / III	45.5	48.4	8.59	8.65	2.51	7.62	7.67

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Copyright © 2023 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Tabelle A.3.2.3: Eigenschaften und Windbedingungen der jeweiligen WEA

WEA-Eigenschaften						Nächste WEA		Ergebnisse															
	Nr.	WEA-Typ	z_{hub} [m]	D [m]	BBS	Abstand in D	Nr.	Geschützt durch BBS	m [-]	Komplex	α_n [-]	φ [°]	ρ [kg/m³]	WZ	v_{50} GK2 [m/s]	v_{50} GK1 [m/s]	A [m/s]	A ρkorr. [m/s]	k [-]	v_{ave} [m/s]	v_{ave} ρkorr. [m/s]
	27	ENERCON E-101 3.05MW	135	101	Nein	2.723	33	Nein	10	Nein	0.12	0.1	1.242	4 / III	45.5	48.4	8.59	8.65	2.51	7.62	7.67
	28	ENERCON E-101 3.05MW	135	101	Ja	2.991	27	Nein	10	Nein	0.12	0.0	1.242	4 / III	45.5	48.4	8.59	8.65	2.51	7.62	7.67
	29	ENERCON E-101 3.05MW	135	101	Nein	2.227	33	Nein	10	Nein	0.12	0.1	1.241	4 / III	45.5	48.4	8.59	8.65	2.51	7.62	7.67
	30	ENERCON E-138 EP3 E3 4.26MW OM0s	111	138.25	Nein	2.103	31	Nein	10	Nein	0.12	0.0	1.244	4 / III	44.1	47.3	8.4	8.47	2.51	7.46	7.52
	31	ENERCON E-138 EP3 E3 4.26MW OM0s	111	138.25	Ja	2.103	30	Nein	10	Nein	0.12	0.1	1.245	4 / III	44.1	47.3	8.4	8.46	2.51	7.45	7.51
	32	ENERCON E-138 EP3 E3 4.26MW OM0s	111	138.25	Nein	2.442	34	Nein	10	Nein	0.12	0.1	1.244	4 / III	44.1	47.3	8.39	8.45	2.511	7.44	7.5
	33	ENERCON E-138 EP3 E3 4.26MW OM0s	111	138.25	Nein	3.047	26	Nein	10	Nein	0.12	0.0	1.244	4 / III	44.1	47.3	8.39	8.45	2.51	7.44	7.5
	34	ENERCON E-138 EP3 E3 4.26MW OM0s	111	138.25	Nein	2.442	32	Nein	10	Nein	0.12	0.0	1.245	4 / III	44.1	47.3	8.39	8.45	2.511	7.44	7.5

A.3.3 Berechnungsvariante “Betriebsbeschraenkungen”

BBS definiert Ja
Einfluss der Orografie bewerten Ja
Ist Vorherfall Nein

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

WEA				Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																										
	Nr.	Bezeichnung	m	Alle	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	2	516	10	—	32.2	27.5	24.5	22.8	21.4	20.0	18.9	18.1	17.6	15.9	14.6	13.4	12.6	12.1	11.6	11.1	10.8	10.5	10.4	10.3	10.3	10.3	10.3	10.2	10.2	10.2	10.1
	4	612	10	—	32.2	28.6	25.4	23.2	21.7	20.4	18.7	17.8	17.1	14.5	13.6	12.8	12.3	11.8	11.5	11.1	10.8	10.6	10.5	10.4	10.3	10.3	10.3	10.2	10.2	10.2	10.0
	5	613	10	—	34.8	30.1	27.1	25.1	23.5	22.1	20.9	19.9	19.0	17.9	15.7	13.1	12.0	11.5	11.1	10.8	10.6	10.4	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.2	10.2	10.2	10.2

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Copyright © 2023 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

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

WEA				Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																										
	Nr.	Bezeichnung	m	Alle	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	7	708	10	—	35.2	30.3	27.3	25.6	24.3	22.9	20.8	19.6	18.7	16.9	15.2	13.0	12.1	11.5	11.0	10.6	10.3	10.1	10.1	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
	11	EA098	10	—	30.2	26.0	23.3	21.5	20.1	19.1	18.1	17.3	16.6	15.8	14.2	12.4	11.7	11.2	10.8	10.5	10.3	10.0	10.0	10.0	10.0	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9
	12	EA108	10	—	28.5	24.2	21.4	19.5	18.1	16.9	16.0	15.2	14.5	13.8	12.7	11.8	11.3	10.9	10.6	10.3	10.1	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9
	15	630	10	—	32.1	28.0	25.3	23.6	22.3	21.3	20.5	19.8	19.2	18.7	16.8	13.9	12.7	11.8	11.2	10.7	10.2	9.9	9.7	9.5	9.5	9.4	9.4	9.3	9.3	9.3	9.2
	16	706	10	—	34.2	29.7	27.0	25.3	24.0	22.9	21.6	20.8	20.1	19.2	17.0	13.9	12.5	11.6	10.9	10.4	10.0	9.8	9.7	9.7	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.7
	19	M04	10	—	38.2	33.7	31.1	30.0	29.3	28.2	25.4	24.1	23.2	16.8	15.1	13.7	12.8	12.1	11.5	11.1	10.7	10.5	10.4	10.4	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3
	22	703	10	—	30.1	25.7	22.7	20.7	19.3	18.2	17.4	16.8	16.4	16.1	14.8	13.0	12.2	11.6	11.2	10.8	10.5	10.2	10.1	10.1	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	9.9	9.9
	23	Georgshof I. WEA 401	10	18.7	35.3	31.9	28.6	26.7	25.3	23.8	21.2	19.7	18.5	14.5	13.3	12.5	11.9	11.4	11.0	10.7	10.5	10.3	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	—	—	—	—
	24	Georgshof I. WEA 401	10	—	42.2	37.1	34.0	32.7	31.5	29.8	26.4	24.6	23.2	16.0	14.1	12.8	11.9	11.4	11.0	10.7	10.5	10.3	10.3	10.2	10.2	10.2	10.2	—	—	—	—
	25	Georgshof I. WEA 401	10	28.2	52.7	45.5	41.0	38.9	37.0	34.7	30.4	28.3	26.8	18.4	16.2	14.2	13.0	12.1	11.4	10.9	10.6	10.3	10.3	10.2	10.2	10.2	10.2	—	—	—	—
	26	Georgshof II. WEA 10	10	—	36.6	32.1	29.4	28.3	27.4	26.2	23.4	22.1	21.2	14.9	13.2	12.2	11.4	10.8	10.3	9.9	9.6	9.3	9.2	9.2	9.1	9.1	9.1	—	—	—	—
	27	Georgshof II. WEA 10	10	—	39.4	34.3	31.2	29.9	28.8	27.5	24.5	23.1	22.1	15.6	13.9	12.6	11.7	11.1	10.5	10.1	9.7	9.4	9.3	9.2	9.2	9.1	9.1	—	—	—	—
	28	Georgshof II. WEA 10	10	—	37.3	32.1	28.8	27.1	25.8	24.2	21.5	20.1	19.2	15.0	13.7	12.3	11.6	11.1	10.7	10.3	10.0	9.7	9.6	9.5	9.5	9.4	9.4	—	—	—	—
	29	Georgshof II. WEA 10	10	—	35.8	31.0	28.1	26.8	25.8	24.6	22.1	21.0	20.3	15.0	13.6	12.7	12.0	11.4	11.0	10.6	10.2	9.9	9.7	9.6	9.5	9.4	9.3	—	—	—	—
	30	Georgshof III. WEA 0	10	—	41.1	33.6	29.9	26.6	24.4	22.9	21.8	20.6	18.6	16.6	14.9	13.5	12.3	11.5	10.9	10.5	10.1	9.9	9.9	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	—
	31	Georgshof III. WEA 0	10	—	41.2	34.4	29.7	26.9	24.8	22.9	21.8	20.0	18.3	16.5	15.1	14.0	13.2	12.5	11.9	11.5	11.1	10.7	10.6	10.4	10.2	10.1	10.0	10.0	9.9	9.9	—
	32	Georgshof III. WEA 0	10	—	40.4	38.4	34.3	31.7	30.2	22.0	19.8	18.3	17.1	17.5	15.7	14.5	13.5	12.8	12.1	11.6	11.2	10.8	10.6	10.5	10.4	10.2	10.1	10.1	10.0	10.0	—

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Copyright © 2023 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

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

WEA				Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																										
	Nr.	Bezeichnung	m	Alle	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	33	Georgshof III. WEA 0	10	—	43.0	37.6	34.2	32.6	31.4	19.5	17.9	17.0	16.3	17.5	15.7	14.5	13.6	12.9	12.3	11.9	11.4	11.1	10.9	10.7	10.6	10.5	10.4	10.2	10.2	10.2	—
	34	WEA Verweyen	10	—	38.6	39.2	34.9	31.0	27.6	23.1	21.4	19.7	18.1	16.5	15.2	14.1	13.3	12.6	12.0	11.5	11.1	10.7	10.5	10.4	10.3	10.2	10.1	10.0	10.0	10.0	—

Copyright © 2023 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

A.4 Legende

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

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

Copyright © 2023 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

A.5 Literaturangaben

/A.1/ ENERCON GmbH; Technisches Datenblatt General Design Conditions ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 E3 / 4260 kW; Dokument-ID: D1018674/6.0-de; 17.04.2023; Aurich, Deutschland.

Copyright © 2023 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

A.6 Abkürzungen und Formelzeichen

WEA	Windenergieanlage
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
IEC	Internationale Elektrotechnische Kommission
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
NTM	Normales Windturbulenzmodell
DLC	Auslegungslastfall
PD	Potsdam-Datum
ETRS89	Europäisches Terrestrisches Referenzsystem 1989
UTM	Universale Transversale Mercator Projektion
WGS84	World Geodetic System 1984
WZ	Windzone
BBS	Betriebsbeschränkung
LR	Lastrechnung
GK	Geländekategorie
üNN	über Normal-Null

D	Rotordurchmesser	[m]
z_{hub}	Nabenhöhe der WEA	[m]
P_N	Nennleistung der WEA	[MW]
c_T	Schubbeiwert des Rotors	[-]
C_{ct}	Turbulenzstrukturparameter	[-]
I_{eff}	Effektive Turbulenzintensität	[-]
A	Skalierungsparameter der Weibull-Verteilung	[m/s]
k	Formparameter der Weibull-Verteilung	[-]
h	Höhe über Grund	[m]
m	Wöhlerlinienkoeffizient	[-]
v	Windgeschwindigkeit	[m/s]
v_{ave}	Jahresmittel der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe	[m/s]
v_{ref}	Referenz-Windgeschwindigkeit (Auslegungswert für v_{50})	[m/s]
v_{50}	10-min-Mittel der extremen Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren	[m/s]
v_r	Nennwindgeschwindigkeit der WEA	[m/s]
v_{in}	Einschaltwingeschwindigkeit der WEA	[m/s]
v_{out}	Abschaltwingeschwindigkeit der WEA	[m/s]
Σ	Summe	[-]
α	Höhenexponent des vertikalen Windgeschwindigkeitsprofils	[-]
α_n	Höhenexponent des vertikalen Windgeschwindigkeitsprofils für neutrale Schichtung	[-]
φ	Neigung der Anströmung	[°]
β	Blattwinkelverstellung	[°]
γ_{start}	Startwinkel der BBS	[°]
γ_{stop}	Endwinkel der BBS	[°]
v_{start}	Startwindgeschwindigkeit der BBS	[m/s]
v_{stop}	Endwindgeschwindigkeit der BBS	[m/s]
ρ	Mittlere Luftdichte	[kg/m^3]
τ_{design}	Entwurfslebensdauer in Jahren	[a]
	Altgrad (Vollkreis = 360°)	[°]

Copyright © 2023 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH

Extremwindabschätzung
auf Basis des anemos Windatlas für Deutschland
am Standort Georgshof

Auftraggeber:	F2E Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG Borsteler Chaussee 178 22453 Hamburg Deutschland
Standort:	Georgshof, Niedersachsen
Berichts-Nr.:	23-454-7230992-Rev.00-EX-MS
Art des Berichtes:	Extremwindabschätzung auf Basis des anemos Windatlas
Datum:	23. August 2023

anemos
Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH
Böhmsholzer Weg 3, D-21391 Reppenstedt
Tel.: 04131-8308-100
www.anemos.de | kontakt@anemos.de

ilac-MRA DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-17580-01-00

Extremwindabschätzung
auf Basis des anemos Windatlas für Deutschland
am Standort Georgshof

-Prüfbericht-

Für dieses Projekt ausgestellte Dokumente:

Berichtsnummer	Datum	Titel	Inhaltliche Änderungen
23-454-7230992-Rev.00-EX-MS	23. August 2023	Extremwindabschätzung auf Basis des anemos Windatlas für Deutschland am Standort Georgshof	Erstbericht

Die anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH ist nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018 für die Bereiche "Bestimmung von Windpotenzial und Energieerträgen von Windenergieanlagen; Durchführung, Auswertung und Analyse von Windmessungen mittels Anemometer, SoDAR und LiDAR; Bestimmung der Standortgüte zur Inbetriebnahme; Bestimmung der Standortgüte nach Inbetriebnahme; Berechnung der Turbulenzintensität; Schattenwurfberechnung von Windenergieanlagen; Schallimmissionsprognosen von Windenergieanlagen; Erstellung von Windatlanten sowie Bestimmung der Wind- und Ertragsindizes; Erstellung von Erlösgutachten; Berechnung von Marktwertatlanten" akkreditiert.

Reppenstedt, den 23. August 2023

verantwortlicher Bearbeiter	geprüft	freigegeben
Martin Schneider M.Sc. Physik der Erde und Atmosphäre Senior Consultant	Philine Podein M.Sc. Meteorologie Senior Consultant	André Glücksmann Geschäftsführer

Rechtliche Hinweise

Dieser Bericht wurde nach bestem Wissen und Gewissen sowie unter Berücksichtigung der Normen DIN EN ISO/IEC 17025:2018, DIN EN 1991-1-4/NA sowie der DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen erstellt. Das Ergebnis dieses Berichtes ist die 50-Jahreswindgeschwindigkeit (50-Jahresextremwert), die gemäß DIBt §16.2a (Punkt vi) über eine Gumbel-Verteilung berechnet wird. Die Datengrundlage ist in Kap. 3 beschrieben.

Die Möglichkeit eines Überschreitens des hier ausgewiesenen Extremwertes ist nicht auszuschließen, da Extremwinde nicht vorhersagbaren klimatologischen Einflüssen unterworfen sind und somit Extremwinde eines längeren Bezugszeitraumes auch in einem kürzeren Zeitraum auftreten können.

Diese Stellungnahme bleibt bis zur Abnahme und Bezahlung unter Ausschluss jeglicher Nutzung alleiniges Eigentum der anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH. Die anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH verfügt über eine Berufshaftpflichtversicherung, die auf Verlangen nachgewiesen werden kann. Eine Haftung wird nur im Rahmen des Deckungsschutzes dieser Versicherung übernommen. Eine weitergehende Haftung wird ausdrücklich ausgeschlossen. Ein Gewährleistungsanspruch von Seiten Dritter entfällt. Die anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH ist neutral und unabhängig. Verflechtungen geschäftlicher oder privater Art mit dem Auftraggeber oder anderen Firmen bestehen nicht.

Eine auszugsweise Veröffentlichung ist nicht erlaubt.

Das vorliegende Dokument darf zum Einholen von erforderlichen Genehmigungen, für die Prospektierung, für die Projektfinanzierung sowie im Rahmen einer Due Diligence an Dritte weitergegeben werden. Die Veröffentlichung und Vervielfältigung des Berichtes ist nur mit schriftlicher Erlaubnis der anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH gestattet.

Dieser Bericht umfasst 16 Seiten.

Inhaltsverzeichnis ..... **Seite**

1 Vorbemerkungen **5**
2 Standort **6**
3 Berechnungsmethode der 50-jährigen Extremwerte **7**
4 Ergebnisse **8**
5 Quellenverzeichnis **10**
Anhang A Deutschland 3 km Windatlas **11**
Anhang B Abkürzungsverzeichnis **16**

1 Vorbemerkungen

Die anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH wurde am 16. August 2023 von der Firma F2E Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG beauftragt, eine Abschätzung der Extremwindverhältnisse am Standort Georgshof durchzuführen. Angaben über die geplanten WEA (siehe Tab. 1) wurden vom Kunden zur Verfügung gestellt.

Das Ergebnis dieses Berichtes ist die 50-Jahreswindgeschwindigkeit (50-Jahresextremwert), die gemäß DIBt §16.2a (Punkt vi) über eine Gumbel-Verteilung mittels Bootstrap-Verfahren berechnet wird. Sie gilt als belastbare Bemessungsgrundlage zur Berechnung der Standsicherheit.

Die Datengrundlage zur Abschätzung der zu erwartenden Extremwindereignisse am betreffenden Standort bilden hier die Daten des anemos Windatlas für Deutschland mit einer räumlichen Auflösung von 3 km und einer zeitlichen Auflösung (Instantan-Werte) von 10 Minuten (D-3km.M2). Der Referenzzeitraum deckt 26 Jahre von 1997 – 2022 ab.

Beim Windatlas für Deutschland 3 km wurde ein hausintern entwickeltes „Remodelling“-Verfahren angewandt. Hierbei erfolgt eine komplexe Korrektur des Windatlas anhand von qualitativ hochwertigen Windmessungen. Das „Remodelling“-Verfahren wurde anschließend anhand weiterer unabhängiger Winddaten überprüft. Die Windgeschwindigkeitszeitreihe wird mittels Remodelling und Höhenkorrektur standortspezifisch für die geplante WEA am Standort Georgshof berechnet.

Die hier angewandte Vorgehensweise beinhaltet die Analyse der Extremwertereignisse am Standort Georgshof, berechnet mit Hilfe des anemos Windatlas für Deutschland. Sie ist als Abschätzung der Extremwindverhältnisse zu verstehen, die auf Modellsimulationen basiert. Der Windatlas wurde allerdings anhand einer Vielzahl von Windmessungen verifiziert. Diese Vorgehensweise unterliegt, nicht zuletzt durch die Methodik der Extremwertbestimmung, einer Unsicherheit. Die Gültigkeit der Ergebnisse bezieht sich auf die zeitliche Auflösung der 10 Minuten Instantan-Werte. Extremböen (Gust) im Sekundenbereich sind nicht vollständig durch das Modell abgedeckt. Dies sollte bei der Interpretation der hier aufgezeigten Ergebnisse unbedingt berücksichtigt werden.

2 Standort

Das zu beurteilende Windparkareal am Standort Georgshof in Niedersachsen besteht aus fünf geplanten WEA, welche sich in der Zelle 62x239 des anemos Windatlas für Deutschland befinden. Aufgrund der Nähe der WEA 03 – WEA 04 & WEA Verweyen zur östlich sowie der WEA 01 – WEA 02 & WEA Verweyen zur nördlich gelegenen Nachbarzelle, werden die Windverhältnisse dieser Zellen mit den jeweiligen Standortbedingungen von WEA 03 – WEA 04 & WEA Verweyen bzw. WEA 01 – WEA 02 & WEA Verweyen ebenfalls untersucht, wobei sich eine niedrigere Windgeschwindigkeit für die östlich gelegene Nachbarzelle bzw. eine höhere Windgeschwindigkeit für die nördlich gelegene Nachbarzelle ergibt. Für die Extremwertberechnung wird daher die konservativste Gitterzelle (62x240, siehe Abb. 1) ausgewählt. Die Extremwertberechnung wird mit den Standortbedingungen von WEA 01 durchgeführt, da diese WEA im Gelände mit am höchsten liegt und somit die höchsten Windgeschwindigkeiten aufweist. Zusammenfassend wählen wir einen konservativen Ansatz für die Extremwertberechnung. Informationen über die Konfiguration sind der Tab. 1 zu entnehmen.

Tab. 1: Koordinaten der geplanten Anlagen

WEA	GK PD Bessel		Nabenhöhe	Bestand / geplant
	Rechtswert	Hochwert		
WEA 01	**2593479**	**5946172**	111 m	geplant
WEA 02	2593615	5945915		
WEA 03	2594114	5945851		
WEA 04	2594240	5945431		
WEA Verweyen	2593933	5946136		

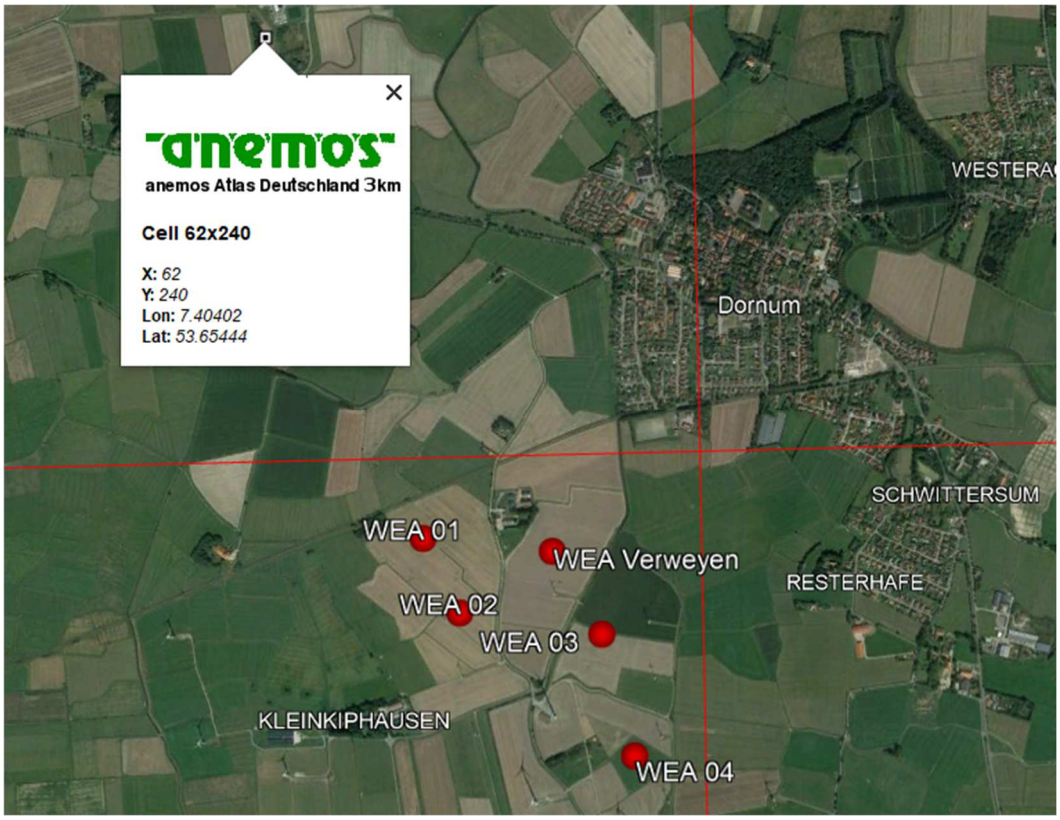


Abb. 1: Lageplan des Standortes und des entsprechenden D-3 km.M2 - Atlas-Knotenpunktes (Google-Earth Pro)

3 Berechnungsmethode der 50-jährigen Extremwerte

Das Berechnungsverfahren beinhaltet folgende Schritte:

- Mit 40 Onshore Messungen wurde ein Skalierungsfaktor für extreme Windgeschwindigkeiten berechnet und auf die Windgeschwindigkeitszeitreihen angewendet. Der Skalierungsfaktor wurde durch eine mittlere QQ-Verteilung entwickelt.
- Bei der Extremwertberechnung für die konservativste WEA werden alle geplanten WEA aus Tab. 1 berücksichtigt. Für die konservativste WEA, d. h. die WEA die den höchsten Extremwert aufweist, wird der Extremwert ausgewiesen.
- Die Berechnung der standortspezifischen Windgeschwindigkeitszeitreihe auf der gewünschten Nabenhöhe wird für die WEA 01 (111 m) durchgeführt.
- Es werden insgesamt 40 Extremereignisse der Windgeschwindigkeit gespeichert. Die Auswahl der Extremereignisse ist in Kap. 4 dargestellt.
- Mit einer Gumbel-Verteilung werden der Extremwert und die Standardabweichung für 50 Jahre mithilfe eines Bootstrap-Verfahrens berechnet. Die dabei verwendete Gumbel-Anpassung basiert auf der Methode der kleinsten Quadrate (Regressionsverfahren). Die Ergebnisse haben dabei eine Gültigkeit für die gleiche zeitliche Auflösung wie die Eingangsdaten (10 min. Instantan-Werte).

4 Ergebnisse

Die folgenden Ergebnisse sind ausschließlich für die in diesem Bericht ausgewiesene Windparkkonfiguration des Standortes Georgshof gültig. Der 50-Jahresextremwert der Windgeschwindigkeit ist zu verstehen als wahrscheinliches einmaliges Ereignis innerhalb einer Zeitspanne von 50 Jahren. Die Überschreitungswahrscheinlichkeit beträgt folglich 2 % (2 Ereignisse innerhalb 100 Jahren), wie es die Norm vorgibt (DIBt §2, 2.1: Wert, der statistisch einmal in 50 Jahren erreicht oder überschritten wird. Jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit von 0.02).

Tab. 2: Extremwerte (111 m Höhe) – D-3km.M2-Atlas

Windatlas: D-3km.M2	**V_{ref} (50 Jahre)**	**V_{ref} (50 Jahre) + 1x StdAbw**	**V_{ref} (50 Jahre) + 2x StdAbw**
Georgshof (standortspezifisch für WEA 01)	35.01 m/s	**36.49 m/s**	37.97 m/s

Der erwartete 50-Jahres Extremwind auf Basis des Windatlas D-3km.M2 am Standort Georgshof beträgt **36.49 m/s** in 111 m Höhe über Grund, unter Berücksichtigung der einfachen Standardabweichung. Dieser Wert gilt als Bemessungsgrundlage zur Berechnung der Standsicherheit.

Tab. 3: Auswahl der Extremereignisse und angepasste Gumbel-Verteilungsparameter

Auswahl der Extremereignisse		**Angepasste Gumbel-Verteilungsparameter**	
Unabhängigkeits-Kriterium	4 Tage	Alpha	0.4698
Werte Extremereignisse	40	Beta	25.7645
Mittlere Windgeschwindigkeit der Extremereignisse	26.92 m/s	Mittel	26.9931 m/s
Standardabweichung der Extremereignisse	2.40 m/s	Standardabweichung	2.7299 m/s
		Lambda [Ereignisse pro Jahr]	1.5385

Tab. 4: Extremwindgeschwindigkeit in unterschiedlichen Bezugszeiträumen

EWS-Schätzung	**Statistische Unsicherheitsabschätzung**			
Bezugszeitraum Jahre	**Wind [m/s]**	**VarK [%]**	**EWS+1xStdAbw [m/s]**	**EWS+2xStdAbw [m/s]**
1	26.68	1.30	27.03	27.38
5	30.11	2.58	30.88	31.66
25	33.53	3.78	34.80	36.07
50	**35.01**	**4.24**	**36.49**	**37.97**

Tab. 5: Stichprobe mit 40 Werten aus dem Deutschland 3 km Windatlas

Datum [UTC]	Extremwert [m/s]	Datum [UTC]	Extremwert [m/s]
18.01.2007 14:10	34.71	29.10.2017 03:10	26.14
05.12.2013 14:50	31.93	29.11.2015 18:50	26.14
03.12.1999 15:30	31.18	08.01.2005 15:20	26.01
10.01.2015 12:50	30.62	11.01.2007 21:10	25.90
29.01.2000 17:20	30.29	20.01.2005 04:50	25.78
20.03.2004 20:40	29.81	27.11.2011 11:50	25.67
27.10.2002 20:40	29.69	29.01.2022 15:00	25.35
16.02.2022 21:20	29.38	05.01.1998 05:40	25.19
26.02.2002 15:10	29.29	08.06.2003 15:50	25.16
12.02.2005 16:20	27.51	01.12.2021 17:30	25.05
01.03.2008 01:50	27.49	08.01.2016 07:10	24.98
31.03.2015 04:40	27.38	21.12.2003 13:30	24.97
07.03.2002 02:30	27.33	16.10.2009 09:40	24.93
01.11.2006 03:10	26.96	22.02.2020 12:40	24.80
05.02.1999 04:00	26.83	25.02.1997 04:40	24.71
28.01.2002 21:50	26.80	26.12.1998 02:00	24.63
28.10.1998 06:30	26.58	20.02.2002 23:50	24.62
13.09.2017 14:00	26.54	28.10.2013 11:30	24.61
05.01.2012 04:10	26.51	16.12.2005 06:30	24.54
09.02.2020 22:40	26.46	09.11.2007 10:00	24.41

5 Quellenverzeichnis

Christoffer, J. und M. Ulbricht-Eissing, 1989: Die bodennahen Windverhältnisse in der Bundesrepublik Deutschland, Bericht des DWD, Nr. 147

DIBt, 2015: Richtlinie für Windenergieanlagen, Mitteilungen des DIBt – Deutsches Institut für Bautechnik

DIN EN 1991-1-4/NA, 2010: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten

Farr, T. G., et al., 2007: The Shuttle Radar Topography Mission, Rev. Geophys., 45, RG2004, doi:10.1029/2005RG000183; http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/srtmBibliography.html

Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, Collins W, Deaven D, Gandin L, Iredell M, Saha S, White G, Woollen J, Zhu Y, Chelliah MW, Ebisuzaki W, Higgins J Janowiak KC, Mo C, Ropelewski A, Leetmaa R, Reynolds, Jenne R (1996) The NCEP/NCAR reanalysis project. Bull. Am. Meteorol. Soc., 77:437–471

Keil, M., M. Bock, T. Esch, A. Metz, S. Nieland, A. Pfitzner, 2010: CORINE Land Cover Aktualisierung 2006 für Deutschland. Abschlussbericht zu den F+E Vorhaben UBA FKZ 3707 12 200 und FKZ 3708 12 200, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum Oberpfaffenhofen, Januar 2010

Mengelkamp, H.-T., 2015: Wind-, Ertrags- und Erlösgutachten für Windenergieanlagen, promet – meteorologische Fortbildung, Hrsg. Deutscher Wetterdienst, Jahrg. 39, Nr. 3/4, 193-202

Mengelkamp, H.-T., 1988: On the energy output estimation of wind turbines, Int. Journal of Energy Research, 12, 113-123

Mengelkamp, H.-T., 1999: Wind Climate Simulation over Complex Terrain and Wind Turbine Energy Output Estimation, Theor. Appl. Climatol, 63, 129-139

Mengelkamp, H.-T., H. Kapitza und U. Pflüger, 1997: Statistical-dynamical downscaling of wind climatologies, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 67&68, 449-457

Mengelkamp, H.-T., T. Sperling, 2005: Windindizes werden von Produktionsdaten unabhängig, Erneuerbare Energien, 2, 25-27

Rienecker, M.M., M.J. Suarez, R. Gelaro, R. Todling, J. Bacmeister, E. Liu, M.G. Bosilovich, S.D. Schubert, L. Takacs, G.-K. Kim, S. Bloom, J. Chen, D. Collins, A. Conaty, A. da Silva, et al., 2011: MERRA: NASA's Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications. J. Climate, 24, 3624-3648, doi:10.1175/JCLI-D-11-00015.1

Schneider, M., A. Glücksmann, Anselm Grötzner und H.-T. Mengelkamp (2022): A wind atlas for Germany and the effect of remodeling, Meteorol. Z., 31, 2, 117-130, doi: 10.1127/metz/2022/1102

Traup, S. und B. Kruse, 1996: Winddaten für Windenergienutzer, Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes

Troen, I. und E.L. Petersen, 1989: European Wind Atlas. Risø National Laboratory, Roskilde. 656 pp. ISBN 87-550-1482-8

Weiter, A., M. Schneider, D. Peltret und H.-T. Mengelkamp (2019): Electricity production by wind turbines as a means for the verification of wind simulations. Meteorol. Z. doi: 10.1127/metz/2019/0924

Anhang A Deutschland 3 km Windatlas

Eingangsdaten

Der anemos Windatlas für Deutschland 3 km wird mithilfe des meteorologischen Mesoskalen-Modells WRF-ARW[1] erstellt. Er nutzt dabei die weltweit verbreiteten MERRA-2-Reanalysedaten[2] als Eingangs- bzw. Antriebsdaten. Somit können die Vorteile des MERRA-2-Reanalysedatensatzes – Konsistenz, Homogenität, Länge der Zeitreihe, ständige Aktualisierung, Verfügbarkeit über Land und Meer – erhalten bzw. verstärkt werden. Auf der anderen Seite werden mit dem anemos Windatlas für Deutschland 3 km die Nachteile der MERRA-2-Reanalysedaten – relativ geringe räumliche (0.5° Breite, 0.625° Länge) und zeitliche Auflösung (3 h) – überwunden.

Das WRF-Modell erlaubt durch seine sogenannte Multi-Nesting-Fähigkeit (Abb. 2) hochaufgelöste Simulationen und Prognosen der atmosphärischen Zirkulation. Dadurch können detaillierte Bodeninformationen verwendet werden, welche den Einfluss von Vegetation, Rauigkeit und Topographie berücksichtigen. Die atmosphärischen Zustandsvariablen werden alle 10 min auf einem Gitter von 3 x 3 km² ausgegeben. Die Simulation umfasst den Zeitraum von 1997 bis heute und wird kontinuierlich erweitert. Die vertikale Struktur der Atmosphäre wird in 25 Höhen-Schichten sehr hoch aufgelöst. Dazwischenliegende Höhen werden durch Interpolation berechnet.

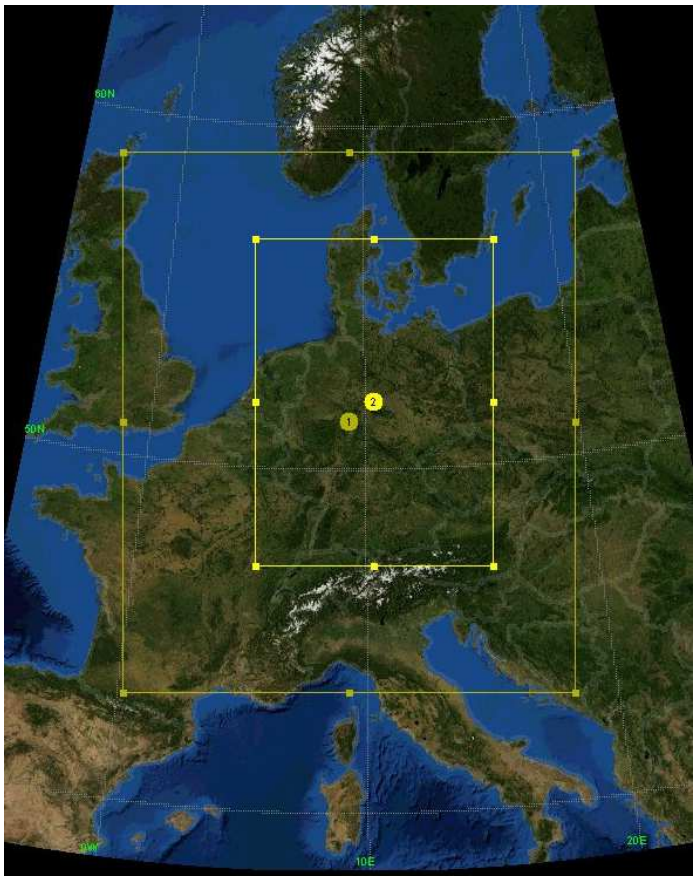


Abb. 2: Verschachtelte Domains der WRF Simulationen

[1] *http://www.wrf-model.org*
[2] *Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Application, Version 2 (MERRA-2) Reanalysis data zur Verfügung gestellt durch die US National Aeronautics and Space Administration (NASA) Webseite auf http://www.nasa.gov/*

Die Geländehöhen sind dem SRTM Datensatz (*Shuttle Radar Topography Mission, USGS EROS Data Center*) entnommen und dem Modellgitter entsprechend interpoliert. Die Daten wurden im Jahre 2000 erhoben und stehen in einer räumlichen Auflösung von ca. 90 m zur Verfügung. Die vertikale Auflösung beträgt hier 1 m.

Alle Informationen über die Vegetation und Rauigkeiten innerhalb des Simulationsgebietes liefert der CORINE Datensatz der Europäischen Umweltagentur (European Environment Agency, EEA). Diese Informationen basieren auf den Daten des Landsat-7-Satelliten im Maßstab 1:100.000. Die Daten stehen auf einem Modellgitter in räumlicher Auflösung von 100 m zur Verfügung. Deren letzte Überarbeitung fand im Jahre 2018 statt. Aufgrund der Repräsentativität über die letzten 25 Jahre, sowie aus Konsistenzgründen, wird für die Modellsimulation der CORINE Datensatz von 2006 verwendet.

Die Daten des anemos Windatlas für Deutschland 3 km dürfen nicht als absolute Wahrheit des vorherrschenden Atmosphärenzustands an einem Standort oder als Ersatz für eine langzeitliche Messreihe angesehen werden. Durch Modellsimulationen wird versucht die natürlichen Vorgänge innerhalb der Atmosphäre möglichst repräsentativ nachzubilden. Die simulierten Größen sind daher als erste Schätzung der Windverhältnisse auf dem vorhandenen Modellgitter mit der räumlichen Auflösung von 3 x 3 km² zu bewerten und sollten ohne ein entsprechendes „Remodelling“ nicht als Absolutwerte verstanden werden. Die Anwendung der Windatlas-Daten beruht in erster Linie auf der Langzeiteinordnung erhobener Kurzzeit-Windmessungen durch Korrelationsanalysen in einen klimatologisch repräsentativ anzusehenden Zeitraum. Durch das folgende beschriebene „Remodelling“ wird der Einsatzbereich des Windatlas erweitert, da eine Annäherung an die Absolutwerte erfolgt.

Für die folgenden Anwendungsbereiche ist der Windatlas inkl. Remodelling geeignet:

- ✓ **Windpotential (Windgeschwindigkeit, Weibull A & k, Leistungsdichte)**
- ✓ **Langzeitbezug mit Windmessungen bzw. Ertragsdaten**
- ✓ **Ertragsberechnungen ohne / mit Verlusten auf 10-min. Basis**
- ✓ **Ertragsindex**
- ✓ **Extremwindberechnungen**
- ✓ **Marktwertanalysen**
- ✓ **Erlösprognosen**
- ✓ **Risiko- / Portfolioanalysen**
- ✓ **SCADA-Daten Analysen**
- ✓ **Rückrechnung nach TR10 (10-min. Reanalysedaten)**

Optimierung der Modelleinstellungen

Vor der eigentlichen Hauptsimulation wurden die Modelleinstellungen und Parametrisierungen (wie zum Beispiel Grenzschichtschema, Bodenschema, Strahlungsschema, etc.) getestet und für die relevanten atmosphärischen Parameter (Windgeschwindigkeit und Windrichtung) optimiert. Hierfür wurden mehr als 30 verschiedene Modelleinstellungen für ausgesuchte Monate aus Frühling, Sommer, Herbst und Winter über das Jahr verteilt getestet und mit Windmessungen (Messmasten und LiDAR) verifiziert. Durch diese Testphase zeigt sich, wie das bodennahe Windfeld auf unterschiedliche Parametrisierungen und Schemata reagiert (Sensitivitätstests). Die den Beobachtungen am nächsten kommende Einstellung wird im letzten Test über ein Jahr simuliert und anschließend ebenfalls verifiziert. Bei guter Prognosegüte wird anschließend die Hauptsimulation kontinuierlich fortlaufend (> 20 Jahre) gestartet.

Statistische Verifikation mit Windmessungen als Vorbereitung für das Remodelling

Die wichtigste Aufgabe nach der Durchführung der Hauptsimulation ist die intensive Verifikation anhand zahlreicher Windmessungen. Für die Verifikation des Deutschland 3km Atlas wurden 45 Messungen verwendet. Zum einen erhält man aus der Verifikation die Prognosegüte und Qualität der Hauptsimulation und zum anderen werden systematische Fehler im letzten Schritt, dem *Remodelling*, behoben und die Qualität des Atlas wird verbessert. Verifiziert werden statistische Kenngrößen wie Mittelwert, Bestimmtheitsmaß (R^2) bzw. Korrelation (R), Bias, RMSE und Extremwerte (QQ-Verteilung). Außerdem werden Vertikalprofile, Tagesgänge, Windrosen, Häufigkeitsverteilungen mit Weibull-Parametern überprüft.

Remodelling Verfahren

Nach der vollständigen Verifikation der Hauptsimulation mit allen verfügbaren Windmessungen wird der Windatlas im vorletzten Schritt der Prozesskette durch das Remodelling optimiert. Es wird anhand der Abweichungen und deren Abhängigkeiten bei der Verifikation mit 28 Windmessungen ein sektorielles Training durchgeführt. Die verbleibenden Windmessungen werden für die anschließende unabhängige Verifikation des Remodelling Verfahrens benötigt. Durch das Training werden Skalierungsparameter mithilfe einer multiplen linearen Regressionsanalyse entwickelt, welche anschließend auf die Windatlas-Zeitreihen angewendet werden. Es wird nach Abhängigkeiten der Skalierungsparameter von der Subgrid-Topographie gesucht und bei ausreichender Signifikanz verwendet. Infolgedessen können durch die im Training entwickelten Skalierungsparameter alle Gitterzellen mithilfe der Subgrid-Informationen (Orographie, Rauigkeit, etc.) korrigiert werden. Letztendlich verbessert das Remodelling die statistischen Kenngrößen sowie auch die Häufigkeitsverteilung mit Weibull-Parametern und das Vertikalprofil.

Verifikation nach dem Remodelling

Im Anschluss an das Remodelling werden die Windatlas-Zeitreihen mit 45 internen und zusätzlich 56 externen Windmessungen verifiziert. Die Ergebnisse der internen Verifikation werden in Abb. 3 exemplarisch für die Messhöhe 100 Meter gezeigt. Hierfür wird der Bias der Windgeschwindigkeit an den vier Offshore und 41 Onshore Stationen gebildet und graphisch dargestellt.

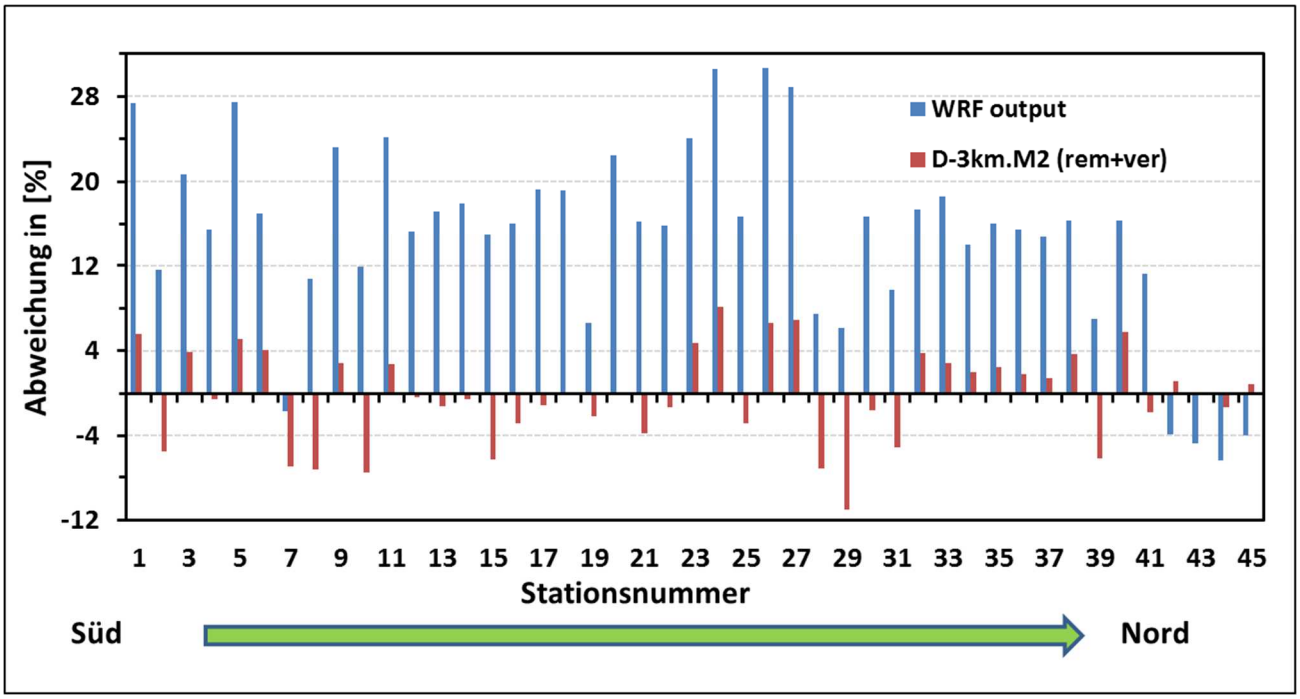


Abb. 3: Bias der mittleren Windgeschwindigkeit zwischen den 45 internen Messungen und WRF Output (blau) bzw. D-3km.M2 (rot). Die Messungen sind von Süd (links) nach Nord (rechts) sortiert. Die Messhöhe beträgt 100 Meter ü. G. und das Messintervall 1 Jahr.

Abb. 3 zeigt die Abweichung in Prozent der Windgeschwindigkeit jeder Messung, einmal für den Windatlas vor dem Remodelling (WRF Output, blau) und für das Endprodukt mit Remodelling (D-3km.M2, rot). Zum einen können der deutliche positive Bias der Onshore Messungen und die leicht negativen Abweichungen der Offshore Stationen durch das Remodelling behoben werden. Zum anderen liegen die meisten Stationen nach dem Remodelling im Bereich von ± 5 % (71% der Messungen), was eine signifikante Verbesserung darstellt. Auf Stundenbasis ergibt sich für die mittlere Korrelation (R) ein Wert von 84.2% und der mittlere Bias liegt bei -0.2%. Der RMSE der Abweichung liegt mit 4.4% unter der 5%-Marke.

Außerdem wurde eine externe Verifikation von Dr. Anselm Grötzner von CUBE Engineering GmbH – Part of Ramboll durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Verifikation werden in Abb. 4 dargestellt. Bei dieser Verifikation wurden vor allem die für die Windkraftanlagen relevanten Höhen zwischen 80 m und 140 m ü. G. untersucht.

In Abb. 4 wird der Bias der Windgeschwindigkeit und zusätzlich der Bias der Energiedichte für 56 externe Windmessungen dargestellt. Die Abweichungen der Windgeschwindigkeit zwischen Messung und dem D-3km.M2 liegen bei den meisten Stationen (88% der Messungen) im Bereich von ± 7%. Auf Stundenbasis ergibt sich für die mittlere Korrelation (R) ein Wert von 84.8% und der mittlere Bias liegt bei 0.9%. Der RMSE der Abweichung liegt mit 5.3% nur knapp oberhalb der 5%-Marke. Die Abweichungen der Energiedichte sind ebenfalls sehr gering (Bias 0.7% und RMSE 6.8%). Dies ist vor allem für die Berechnung von Erträgen und Marktwerten relevant. Im Zuge des „Remodelling"-Verfahrens werden insbesondere die Weibull-Verteilung und das Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit deutlich besser getroffen, sodass der Bias der Energiedichte bei 93% der Messungen im Bereich von ± 10% liegt.

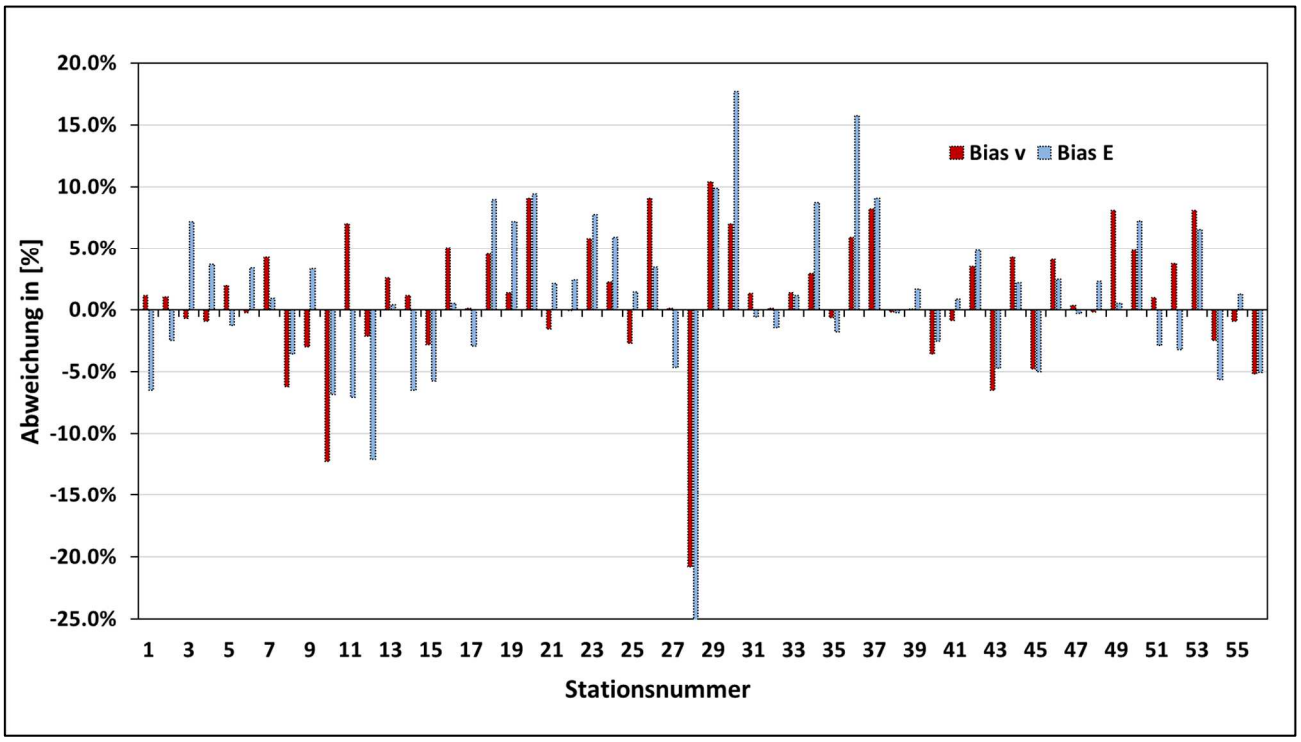


Abb. 4: Bias der mittleren Windgeschwindigkeit (rot) und der mittleren Energiedichte (blau) zwischen den 56 externen Messungen und dem D-3km.M2. Die Messhöhen liegen zwischen 80 m und 140 m ü. G. und das Messintervall beträgt 1 Jahr. Die Verifikation wurde durchgeführt von Dr. Anselm Grötzner von CUBE Engineering GmbH – Part of Ramboll

Standortspezifische Zeitreihen der Windgeschwindigkeit

Im Rahmen des Remodelling-Verfahrens wurde eine standortspezifische Höhenkorrektur mithilfe von CFD Simulationen an verschiedenen, komplexen Messstandorten entwickelt. Mit dem CFD Modell Meteodyn werden die 3 x 3 km² Atlaszeitreihen der Teststandorte hochaufgelöst modelliert. Die orographischen Informationen sind dem SRTM-Datensatz (3 arcsec ~ 90 m) entnommen.

Da die Höhenkorrektur ein Teil des Remodelling Prozesses ist, um den Höhenunterschied zwischen Atlaszelle und Messung zu berücksichtigen, stellt die standortspezifische Höhenkorrektur vor allem in komplexen Regionen eine deutliche Verbesserung der mittleren Windgeschwindigkeit dar. Im flachen Gelände hat die Höhenkorrektur keinen signifikanten Einfluss aufgrund der geringen Höhenunterschiede. Die Höhenkorrekturfunktion wird beim Auslesen von Zeitreihen der Windgeschwindigkeit auf jeden Zeitschritt angewendet.

Anhang B Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Referenz
CFD	Computational Fluid Dynamics
D-3km.M2	anemos Windatlas für Deutschland 3km, Basis: MERRA-2 Daten
DIN	Deutsches Institut für Normung
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
EWS	Extreme Wind Speed
ISO	Internationale Organisation für Normung
MERRA-2	Reanalysedatensatz, “The Modern Era Retrospective-analysis for Research and Applications 2 ”
QQ-Verteilung	Quantile-Quantile-Verteilung
R / R^2	Korrelationskoeffizient / Bestimmtheitsmaß
RMSE	Root mean squared error
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
StdAbw	Standardabweichung
UTM	Universale Transversale Mercatorprojektion
VarK	Variationskoeffizient
Vref	Extremwindgeschwindigkeit für den Bezugszeitraum
WEA	Windenergieanlage
WRF	The Weather Research and Forecasting Model

Schmitz+Beilke Ingenieure GmbH * Cloppenburger Straße 4a * 26135 Oldenburg

SCHMITZ + BEILKE INGENIEURE GMBH
Cloppenburger Str. 4a · 26135 Oldenburg

Telefon 0441 / 999051-10
info@baugrund-ol.de
www.gruppe-ingenieurbau.de

Gerichtsstand Oldenburg
RG Oldenburg · HRB 201602
USt-IdNr. DE255308841

Geschäftsführer:
Dipl.-Ing. Ralf Schmitz
Florian Geesen, M.Eng.
Martin Schierholt, M.Eng.

Projekt:	**Repowering Windpark Georgshof / Verweyen**
Art:	**Geotechnisches Gutachten - 1. Revision**
Auftraggeber:	**Vulhop + Becker GmbH & Co. KG, Rastede**
Projektnummer:	**23.1098**
Datum:	**24.10.2023**

Inhaltsverzeichnis

1 Bauvorhaben ... 4
2 Bearbeitungsunterlagen ... 4
3 Baugrund ... 5
3.1 Art und Umfang der Untersuchungen ... 5
3.2 Ergebnisse der Trockenbohrungen und Kleinbohrungen ... 7
3.3 Ergebnisse der Drucksondierungen ... 8
3.4 Vereinfachter Baugrundaufbau ... 9
3.5 Hydrogeologische Angaben ... 13
3.5.1 Angetroffene Grundwasserverhältnisse ... 13
3.5.2 Schwankungsbereich der Grundwasserstände, Bemessungswasserstand ... 14
3.5.3 Betonaggressivität des Grundwassers ... 15
3.6 Ergebnisse der Laboruntersuchungen ... 16
3.6.1 Korngrößenverteilung ... 16
3.6.2 Wassergehalt und Glühverlust ... 16
3.6.3 Laborflügelsondierungen (undränierte Kohäsion) ... 17
3.6.4 Zustandsgrenzen (Konsistenzgrenzen) ... 18
3.7 Bautechnische Eigenschaften der angetroffenen Bodenarten ... 18
3.8 Bodenmechanische Kennziffern ... 19
4 Gründung der Windenergieanlagen ... 25
5 Tiefgründung der Windenergieanlagen auf Pfählen ... 25
5.1 Stahlbetonrammpfähle ... 26
5.2 Ortbetonrammpfahl mit Außenrammung (System Vibrex oder Simplex) ... 28
5.3 Ortbetonrammpfahl mit Innenrammung (System Franki) ... 30
5.4 Bohrpfahl (DIN EN 1536) ... 32
5.5 Begrenzung der Pfahlwiderstände ... 35
5.6 Hinweise zur Pfahlgründung ... 35
5.7 Standsicherheit der Tiefgründung - Aufnahme von Zugkräften ... 36
6 Aufnahme des Frischbetoneigengewichtes ... 38
7 Seitendruck auf Pfähle und negative Mantelreibung ... 39
8 Hinweis zum Erdbau ... 40
9 Wasserhaltung ... 40
10 Baugrubensicherung ... 41
11 Standsicherheit der Pfahlherstellungsgeräte und der Kräne ... 41
12 Schlussbemerkung ... 41

Anlagenverzeichnis

Anl. 1 Lagepläne und Koordinaten der Baugrunderkundungen

Anl. 2 Bohrprofile der Trockenbohrungen und Kleinbohrungen und Diagramme der Drucksondierungen

Anl. 3 Schichtenverzeichnisse der Kleinbohrungen und Trockenbohrungen (inkl. Protokolle von Vulhop + Becker)

Anl. 4 Diagramme der Drucksondierungen

Anl. 5 Ergebnisse der Siebanalysen

Anl. 6 Ergebnisse der Laborflügelsondierungen

Anl. 7 Ergebnisse der Zustandsgrenzen

Anl. 8 Ergebnisse der Grundwasseranalyse

Anl. 9 Nachweise der äußeren Pfahltragfähigkeit

Anl. 10 Nachweise der Standsicherheit (Zug)

Anl. 11 Exemplarische Berechnung - vereinfachter Geländebruchnachweis

1 Bauvorhaben

In der Nähe von Dornum ist im Zuge des Windparks Georgshof und der WEA Verweyen der Rückbau von bestehenden Windenergieanlagen sowie der Neubau weiterer Windenergieanlagen geplant. Bei den neu zu errichtenden Energieeinheiten handelt es sich um den Typ ENERCON E-138 EP3 E3 (mit 111 m Nabenhöhe).

Die Standorte der geplanten Windenergieanlagen sind bauseits als WEA 01, WEA 02, WEA 03, WEA 04 und WEA 01 Verweyen bezeichnet. In diesem Geotechnischen Gutachten werden die Windenergieanlagen als WEA 1, WEA 2, WEA 3, WEA 4 und WEA 5 Verweyen benannt. Die Lage der einzelnen Anlagenstandorte sowie deren Bezeichnung kann den Lageplänen in der Anlage 1 entnommen werden.

Für einen anderen Anlagentyp wurde zunächst die Ausarbeitung vom 15.09.2023 erstellt, die nunmehr durch das vorliegende Gutachten und einen neuen Anlagentyp ENERCON E-138 EP3 E3 (mit 111 m Nabenhöhe) ersetzt wird.

2 Bearbeitungsunterlagen

Zur Bearbeitung haben neben allgemeinen Unterlagen wie Normen, Merkblättern und Richtlinien zunächst folgende Unterlagen zur Verfügung gestanden:

U1 Technische Beschreibung - Fundamente E-115 EP3 E3-HAST-122-FB-C-01; Datum: 21.03. 2023; bereitgestellt: Vulhop + Becker GmbH & Co. KG, Rastede

U2 Technische Spezifikation - Zuwegung und Baustellenflächen, ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3, 122 m Hybrid-Stahlturm; Datum: 21.03.2023; bereitgestellt: Vulhop + Becker GmbH & Co. KG, Rastede

U3 Koordinaten Windenergieanlagen - Windpark Georgshof; Datum: 21.03.2023; bereitgestellt: Vulhop + Becker GmbH & Co. KG, Rastede

U4 Theodor Verweyen, WEA 01; Datum: 23.06.2023; bereitgestellt: Vulhop + Becker GmbH & Co. KG, Rastede

U5 Spezifikation Anforderungskatalog für die Durchführung von geotechnischen Untersuchungen und die Erstellung eines Geotechnischen Entwurfsberichts für ENERCON Windenergieanlagen; Datum: 02.08.2017; erstellt: ENERCON

U6 Übersichtsplan Eigentümer - Standort WEA 01; Maßstab 1 : 1.250; Datum: 21.03.2023; bereitgestellt: Vulhop + Becker GmbH & Co. KG, Rastede

U7 WEA Verweyen Enercon Transporte von der K210 - 1 WEA Enercon E-115EP3/E4; Maßstab 1 : 2.000; Datum: 21.03.2023; bereitgestellt: Vulhop + Becker GmbH & Co. KG, Rastede

U8 WEA Mustermann Enercon Transporte von der K210 - 2 WEA Enercon E82/E4; Maßstab 1 : 5.000; Datum: 21.03.2023; bereitgestellt: Vulhop + Becker GmbH & Co. KG, Rastede

U9 WEA Mustermann Enercon Transporte von der K210 - 4 WEA Enercon E-115/EP3E3; Maßstab 1 : 2.500; Datum: 21.03.2023; bereitgestellt: Vulhop + Becker GmbH & Co. KG, Rastede

Ergänzend wurden am 22.09.2023 nachfolgend aufgeführte Unterlagen übermittelt, die der vorliegenden Ausarbeitung zugrunde liegen.

U10 Lageplan - WP Georgshof E-138EP3/E3 Erschließung von K210; Maßstab 1 : 1.2000; Datum: 05.06.2023; bereitgestellt: Rasteder Projektierung

U11 Lageplan - WEA Verweyen - E-138EP3/E3 Erschließung von K210; Maßstab 1 : 1.2000; Datum: 05.06.2023; bereitgestellt: Rasteder Projektierung

U12 Lageplan - WEA 01 - E-138EP3/E3 Detailplan - ohne ET A3; Maßstab 1 : 1.250; Datum: 05.06.2023; bereitgestellt: Rasteder Projektierung

U13 Lageplan - WEA 02 - E-138EP3/E3 Detailplan - ohne ET A3; Maßstab 1 : 1.1000; Datum: 05.06.2023; bereitgestellt: Rasteder Projektierung

U14 Lageplan - WEA 03 - E-138EP3/E3 Detailplan - ohne ET A3; Maßstab 1 : 1.1000; Datum: 05.06.2023; bereitgestellt: Rasteder Projektierung

U15 Lageplan - WEA 04 - E-138EP3/E3 Detailplan - ohne ET A3; Maßstab 1 : 1.1000; Datum: 05.06.2023; bereitgestellt: Rasteder Projektierung

U16 Lageplan - WEA Verweyen - E-138EP3/E3 Detailplan - ohne ET A3; Maßstab 1 : 1.1250; Datum: 05.06.2023; bereitgestellt: Rasteder Projektierung

U17 Technisches Datenblatt E-138 EP3 E3-HST-111-FB-C-01 - Tiefgründung (11 Seiten); Datum: 10.02. 2022; erstellt: ENERCON

U18 Technische Spezifikation - Zuwegung und Baustellenflächen - E-138 EP3 E3 - 131 m-Hybrid-Stahlturm (32 Seiten); Datum: 23.06. 2021; erstellt: ENERCON

Hinweis: Die Technische Spezifikation (U18) bezieht sich auf einen 131-m-Hybrid-Stahlturm (statt 111 m). Eine andere Spezifikation liegt nicht vor, so dass zunächst die genannte Ausarbeitung berücksichtigt werden soll.

Weitere Unterlagen und Informationen zum geplanten Bauvorhaben stehen uns derzeit nicht zur Verfügung.

3 Baugrund

3.1 Art und Umfang der Untersuchungen

Zur Erkundung der Baugrundverhältnisse wurden durch unser Büro Kleinbohrungen (BS) und ergänzend durch die Firma Vulhop + Becker GmbH & Co. KG, Rastede, Trockenbohrungen (B) sowie Drucksondierungen (CPT) ausgeführt. Nähere Angaben zur Tiefe und zum Ausführungsdatum sind in der Tabelle 1 und 2 enthalten. Die Lage der Ansatzpunkte kann den Lageplänen der Anlage 1 entnommen werden.

Tabelle 1 Baugrundaufschlüsse - WEA 1

Aufschluss				Datum
Standort	**Art**	**Bezeichnung (Anordnung)**	**Endteufe**	
WEA 1 (Anlage 1.1.1)	Trockenbohrung	B WEA 1 Anlage	30,0 m	08.08.2023
	Kleinbohrung	BS WEA 1 Anlage	10,0 m	22.05.2023
		BS WEA 1 Kran 1	6,0 m	17.05.2023
		BS WEA 1 Kran 2	6,0 m	17.05.2023
		BS WEA 1 Kran 3	6,0 m	17.05.2023
		BS WEA 1 Kran 4	6,0 m	17.05.2023
	Drucksondierung	CPT WEA 1 Nord	29,1 m	12.04.2023
		CPT WEA 1 Ost	29,4 m	12.04.2023
		CPT WEA 1 Süd	29,4 m	12.04.2023
		CPT WEA 1 West	29,1 m	12.04.2023
		CPT WEA 1 KSF 1	30,2 m	12.04.2023
		CPT WEA 1 KSF 2	28,3 m	12.04.2023

Tabelle 2 Baugrundaufschlüsse - WEA 2 bis WEA 4 und WEA Verweyen >Fortsetzung<

Aufschluss				Datum
Standort	**Art**	**Bezeichnung (Anordnung)**	**Endteufe**	
WEA 2 (Anlage 1.1.2)	Trockenbohrung	B WEA 2 Anlage	30,0 m	08.08.2023
	Kleinbohrung	BS WEA 2 Anlage	10,0 m	16.05.2023
		BS WEA 2 Kran 1	6,0 m	15.05.2023
		BS WEA 2 Kran 2	6,0 m	15.05.2023
		BS WEA 2 Kran 3	6,0 m	16.05.2023
		BS WEA 2 Kran 4	6,0 m	16.05.2023
	Drucksondierung	CPT WEA 2 Nord	35,1 m	13.04.2023
		CPT WEA 2 Ost	35,1 m	13.04.2023
		CPT WEA 2 Süd	30,1 m	13.04.2023
		CPT WEA 2 West	34,1 m	13.04.2023
		CPT WEA 2 KSF 1	30,2 m	13.04.2023
		CPT WEA 2 KSF 2	30,2 m	13.04.2023
WEA 3 (Anlage 1.1.3)	Trockenbohrung	B WEA 3 Anlage	30,0 m	10.07.2023
	Kleinbohrung	BS WEA 3 Anlage	10,0 m	01.06.2023
		BS WEA 3 Kran 1	6,0 m	09.05.2023
		BS WEA 3 Kran 2	6,0 m	09.05.2023
		BS WEA 3 Kran 3	6,0 m	09.05.2023
		BS WEA 3 Kran 4	6,0 m	09.05.2023
	Drucksondierung	CPT WEA 3 Nord	30,2 m	24.04.2023
		CPT WEA 3 Ost	30,1 m	24.04.2023
		CPT WEA 3 Süd	25,5 m	24.04.2023
		CPT WEA 3 West	30,1 m	24.04.2023
		CPT WEA 3 KSF 1	22,8 m	24.04.2023
		CPT WEA 3 KSF 2	30,1 m	24.04.2023
WEA 4 (Anlage 1.1.4)	Trockenbohrung	B WEA 4 Anlage	30,0 m	06.07.2023
	Kleinbohrung	BS WEA 4 Anlage	10,0 m	10.05.2023
		BS WEA 4 Kran 1	6,0 m	10.05.2023
		BS WEA 4 Kran 2	6,0 m	10.05.2023
		BS WEA 4 Kran 3	6,0 m	10.05.2023
		BS WEA 4 Kran 4	6,0 m	10.05.2023
	Drucksondierung	CPT WEA 4 Nord	29,2 m	27.04.2023
		CPT WEA 4 Ost	28,9 m	27.04.2023
		CPT WEA 4 Süd	29,8 m	27.04.2023
		CPT WEA 4 West	29,4 m	27.04.2023
		CPT WEA 4 KSF 1	28,6 m	27.04.2023
		CPT WEA 4 KSF 2	30,1 m	27.04.2023
WEA 5 (Anlage 1.1.5)	Trockenbohrung	B WEA 5 Verw. Anlage	30,0 m	16.08.2023
	Kleinbohrung	BS WEA 5 Verw. Anlage	10,0 m	05.07.2023
		BS WEA 5 Verw. Kran 1	6,0 m	06.07.2023
		BS WEA 5 Verw. Kran 2	6,0 m	06.07.2023
		BS WEA 5 Verw. Kran 3	6,0 m	06.07.2023
		BS WEA 5 Verw. Kran 4	6,0 m	05.07.2023
	Drucksondierung	CPT WEA 5 Verw. Nord	28,8 m	12.07.2023
		CPT WEA 5 Verw. Ost	29,6 m	12.07.2023
		CPT WEA 5 Verw. Süd	24,8 m	12.07.2023
		CPT WEA 5 Verw. West	28,3 m	12.07.2023
		CPT WEA 5 Verw. KSF 1	24,7 m	13.07.2023
		CPT WEA 5 Verw. KSF 2	27,5 m	13.07.2023

Die Ergebnisse der *direkten* Bohrungen sind in Form von Bohrprofilen nach DIN 4023 in der Anlage 2 dargestellt. Weitere Angaben können den Schichtenverzeichnissen (Anlage 3) entnommen werden.

Aus den Bohrungen aller Anlagenstandorte wurden insgesamt 386 gestörte sowie 14 ungestörte Bodenproben der Probengüte 1 (Stahlstutzen) und 15 teilgestörte Proben der Probengüte 2 (Kunststoffliner) gewonnen und im bodenmechanischen Labor vom Gutachter visuell beurteilt. Die Benennung und Beschreibung der angetroffenen Bodenarten erfolgte anhand der in situ bzw. in unserem Labor vom Gutachter vorgenommenen Bodenansprache. Dabei wurde das bodenmechanische Verhalten der jeweiligen Bodenarten berücksichtigt.

Während der Kleinbohrungen wurde stellenweise ein Kernverlust beim Ziehen des Bohrgestänges verzeichnet. Dieser tritt in der Regel auf, wenn im Erkundungsbereich gröbere Sande und Kiese oder breiige bzw. sehr weiche bindige Böden anstehen, die sich aufgrund ihrer geringen Haftreibung nicht ausreichend innerhalb des Sondiergestänges verspannen.

Zur *indirekten* Erkundung sowie zur Feststellung der Lagerungsdichte der anstehenden Sande wurden zusätzlich 30 Drucksondierungen (6 Drucksondierungen je Anlagenstandort) ausgeführt. Die Sondierdiagramme, in denen die Verläufe von Spitzendruck, lokaler Mantelreibung und Bodenindex aufgetragen sind, wurden in der Anlage 2 und 4 aufgetragen.

3.2 Ergebnisse der Trockenbohrungen und Kleinbohrungen

Zur *indirekten* Erkundung des Baugrundes wurde durch die Firma Vulhop + Becker GmbH & Co. KG, Rastede, je Anlagenstandort eine Trockenbohrung niedergebracht. Ergänzend wurden durch unser Büro je Anlagenstandort eine Kleinbohrung im Bereich der Windenergieanlage und jeweils vier weitere Kleinbohrungen im Bereich der vorgesehenen Kranstellfläche ausgeführt. Die Ergebnisse sind in Form von Bohrprofilen und Schichtenverzeichnissen in den Anlagen 2 und 3 aufgeführt. Zusammengefasst muss anhand der Bohrergebnisse bei allen Anlagenstandorten von einem sehr wechselhaften und inhomogenen Baugrundaufbau ausgegangen werden.

Nach den Aufschlussergebnissen liegt im Bereich der WEA 1 bis zur Endtiefe der Bohrungen stark vereinfacht eine dreigeteilte Schichtenfolge aus

- **Auffüllungen** (künstlich umgelagerte Kleischichtungen)
- **Weichschichten/Sanden** (Wechsellagerungen)
- **Schluffen** (tonige / sandige / humose Schluffe)

vor. Am Anlagenstandort der Windenergieanlage WEA 2 wurde bis zur Endtiefe der Bohrungen ein stark vereinfachter, dreigeteilter Schichtenaufbau aus

- **Auffüllungen** (künstlich umgelagerte Kleischichtungen)
- **Weichschichten/Sanden** (Wechsellagerungen)
- **Sanden/Schluffen** (Wechsellagerungen / lokal schluffige Sande)

festgestellt. Nach den Erkundungsergebnissen liegt im Bereich der WEA 3 bis zur Endtiefe der Bohrungen stark vereinfacht eine viergeteilte Schichtenfolge aus

- **Auffüllungen** (künstlich umgelagerte Kleischichtungen)
- **Weichschichten/Sanden** (Wechsellagerungen)
- **Lauenburger Tone/Geschiebemergel** (Wechsellagerungen)
- **Sanden**

vor. Am Anlagenstandort der Windenergieanlage WEA 4 wurde bis zur Endtiefe der Bohrungen ein stark vereinfachter, fünfgeteilter Schichtenaufbau aus

- **Auffüllungen** (künstlich umgelagerte Kleischichtungen)
- **Weichschichten/Sanden** (Wechsellagerungen)
- **oberen Sanden** (lokal auch schluffige Sande)
- **Torf**
- **unteren Sanden**

angetroffen. Nach den Aufschlussergebnissen im Bereich der WEA 5 Verweyen handelt es sich bis zur Endtiefe der Bohrungen um eine stark vereinfachte, dreigeteilte Schichtenfolge aus

- **Auffüllungen** (künstlich umgelagerte Kleischichtungen)
- **Weichschichten/Sanden** (Wechsellagerungen)
- **Sanden** (lokal Gemisch aus Sanden und Schluffen)

Eine vereinfachte Zusammenfassung der angetroffenen Böden kann dem Kapitel 3.4 entnommen werden. Weitere Angaben sind den Bohrprofilen (Anlage 2) und Schichtenverzeichnissen (Anlage 3) zu entnehmen.

3.3 Ergebnisse der Drucksondierungen

Zur *indirekten* Erkundung des Baugrundes wurden durch die Firma Vulhop + Becker GmbH & Co. KG, Rastede, am Standort der jeweiligen Windenergieanlage sechs Drucksondierungen niedergebracht. Davon befinden sich jeweils vier Drucksondierungen im Bereich der Windenergieanlage und jeweils zwei im Bereich der vorgesehenen Kranstellfläche.

Die Sondierkurven für den Spitzendruck, die örtliche Mantelreibung sowie den Bodenindex sind in der Anlage 2 und 4 aufgetragen.

Aus dem Kurvenverlauf für den Spitzenwiderstand ist zu ersehen, dass die unter Kapitel 3.2 beschriebene Zusammensetzung des Baugrundes der jeweiligen Anlagenstandorte weitgehend bestätigt wird.

Am Standort der Windenergieanlage WEA 1 wurden innerhalb der Drucksondierungen CPT WEA 1 KSF 1 und CPT WEA 1 KSF 2 (im Bereich der vorgesehenen Kranstellfläche) unterhalb der *direkt* erkundeten Schluffe voraussichtlich hoch tragfähige **Sande** in größeren Tiefen erkundet. Der Bodenindex fällt hier auf etwa 1 % und die Spitzenwiderstände steigen deutlich an.

Grundsätzlich lassen die Bodenindexwerte eine indirekte Beurteilung der Bodenart zu. Kleine Werte von ca. 1 % weisen auf nichtbindige Böden (Sande oder Kiese) hin. Bei größeren Werten ist von bindigen bzw. gemischtkörnigen oder humosen Böden auszugehen.

Anhand der festgestellten Spitzendrücke ist eine Beurteilung der Lagerungsdichte der nichtbindigen Böden möglich. Spitzendrücke von q_c < 2,5 MN/m² weisen auf eine *sehr lockere* Lagerung und Spitzendrücke von q_c < 7,5 MN/m² auf eine *lockere* Lagerung hin. Böden mit Spitzendrücken von q_c ≥ 7,5 bis 15 MN/m² sind *mitteldicht* gelagert. Bei Spitzendrücken q_c ≥ 15 MN/m² kann von einer *dichten* Lagerung ausgegangen werden. Werte von q_c ≥ 25 MN/m² lassen hingegen auf eine *sehr dichte* Lagerung schließen.

Anhand der Ergebnisse der Drucksondierungen können die Größenordnung der Steifemoduln und der Reibungswinkel der anstehenden Sande in Anlehnung an die frühere DIN 4094 und das Grundbautaschenbuch (Teil 1) zugeordnet werden.

Tabelle 3 Zuordnung - Drucksondierergebnisse, Reibungswinkel und Steifeziffer

Spitzenwiderstand	Reibungswinkel φ'_k	Steifemodul $E_{s,k}$	Lagerungsdichte
0 bis 2,5 MN/m²	< 30°	< 20 MN/m²	sehr locker
> 2,5 bis 7,5 MN/m²	30,0 bis 32,5°	20 bis 30 MN/m²	locker
> 7,5 bis 15,0 MN/m²	32,5 bis 35,0°	30 bis 50 MN/m²	mitteldicht
> 15,0 bis 25,0 MN/m²	35,0 bis 37,5°	50 bis 70 MN/m²	dicht
> 25,0 MN/m²	37,5 bis 40,0°	70 bis 100 MN/m²	sehr dicht

Für organische, schluffige oder für bindige bzw. gemischtkörnige Böden ist die Auswertung nach oben angegebener Zuordnung auf der Grundlage der *indirekten* Erkundungen nicht möglich. Diese Böden zeichnen sich durch erhöhte Bodenindexwerte von > 1 % ab. Erfahrungsgemäß lassen Spitzenwiderstände von q_c < 1 MN/m² auf eine lediglich *weiche* oder *weich bis steife* Zustandsform bindiger Böden schließen. Werte von q_c > 1 bis 2 MN/m² deuten auf eine *steife* und Werte von q_c > 2 bis 4 MN/m² auf eine überwiegend *halbfeste* Konsistenz hin.

3.4 Vereinfachter Baugrundaufbau

Anhand der durchgeführten Baugrunderkundungen können auf Grundlage der ungünstigeren Drucksondier- bzw. Bohrbereiche nachfolgende Baugrundaufbauten für die jeweiligen Anlagenstandorte der Windenergieanlagen sowie teilweise gesondert für die Kranstellflächen angegeben werden (vgl. Tabelle 4 bis 10).

Tabelle 4 Vereinfachter Baugrundaufbau - WEA 1

bis Tiefe unter GOK	Bodenart	Lagerungsdichte / Konsistenz / Zersetzungsgrad	Bemerkungen
Standort WEA 1			
rd. 0,6 m	Auffüllungen	halbfest	künstlich umgelagerte Kleischichtungen
rd. 6,0 m	Weichschichten	weich bis steif / stark bis sehr stark zersetzt	Klei, Mischwatt, Torf
rd. 7,5 m	Sande	locker bis mitteldicht	-
rd. 9,5 m	Weichschichten	weich bis steif / stark bis sehr stark zersetzt	Mischwatt, Klei, Schluffe
rd. 12,0 m	Sande	mitteldicht bis dicht	lokal auch dicht gelagerte Sande
rd. 30,0 m	Schluffe	halbfest	tonige Schluffe, in größeren Tiefen auch steife Konsistenz (sandige, humose Schluffe)
Hinweis: bis in t = 10,0 m bis 30,0 m direkt erkundet			

Tabelle 5 Vereinfachter Baugrundaufbau - WEA 1 >Fortsetzung<

bis Tiefe unter GOK	Bodenart	Lagerungsdichte / Konsistenz / Zersetzungsgrad	Bemerkungen
Kranstandort WEA 1			
rd. 0,6 m	Auffüllungen	halbfest	künstlich umgelagerte Kleischichtungen
rd. 5,5 m	Weichschichten	weich bis steif / stark bis sehr stark zersetzt	Klei, Mischwatt, Torf, Wattsande
rd. 8,0 m	Sande	locker	tw. mitteldicht (CPT WEA 1 KSF 1)
rd. 9,5 m	Weichschichten	weich bis steif / stark bis sehr stark zersetzt	Mischwatt, Klei, Schluffe, Wattsande
rd. 11,5 m	Sande	mitteldicht bis dicht	-
rd. 25,5 m	Schluffe	halbfest	tonige Schluffe, in größeren Tiefen auch steife Konsistenz (sandige, humose Schluffe)
rd. 30,0 m	Sande / Schluffe	dicht bis sehr dicht	Sand-Schluff-Gemische
Hinweis: bis in t = 6,0 m direkt erkundet			

Tabelle 6 Vereinfachter Baugrundaufbau - WEA 2

bis Tiefe unter GOK	Bodenart	Lagerungsdichte / Konsistenz / Zersetzungsgrad	Bemerkungen
Standort WEA 2 und Kranstandort WEA 2 (vereinfacht zusammengefasst)			
rd. 0,6 m	Auffüllungen	steif	künstlich umgelagerte Kleischichtungen
rd. 5,0 m	Weichschichten	weich / stark zersetzt bis sehr stark zersetzt	Mischwatt, Klei, Torf, Schluffe
rd. 8,5 m	Sande	locker bis mitteldicht	lokal auch dicht gelagerte Sande
rd. 12,0 m	Weichschichten	steif / stark zersetzt	Torf, Schluffe, Wattsande, Mischwatt, Ton, Klei
rd. 15,0 m	Sande	locker bis mitteldicht	lokal auch dicht gelagerte Sande
rd. 17,0 m	Weichschichten	steif / stark zersetzt	Torf, Schluffe, Wattsande, Mischwatt, Ton, Klei
rd. 22,0 m	schluffige Sande	locker bis mitteldicht	lokal auch dicht gelagerte Sande
rd. 26,0 m	schluffige Sande	locker bis mitteldicht	-
rd. 30,0 m	Schluffe	weich bis steif	-
rd. 35,0 m	Sande / Schluffe	locker bis mitteldicht / steif	lokal auch dicht gelagerte Sande
Hinweis: bis in t = 6,0 bzw. 10,0 m bis 30,0 m direkt erkundet			

Tabelle 7 Vereinfachter Baugrundaufbau - WEA 3

bis Tiefe unter GOK	Bodenart	Lagerungsdichte / Konsistenz / Zersetzungsgrad	Bemerkungen
Standort WEA 3 und Kranstandort WEA 3 (vereinfacht zusammengefasst)			
rd. 0,6 m	Auffüllungen	halbfest	künstlich umgelagerte Kleischichtungen
rd. 4,0 m	Weichschichten	weich / stark zersetzt	Mischwatt, Torf, Klei
rd. 6,0 m	Sande	locker bis mitteldicht	-
rd. 17,0 m	Lauenburger Ton / Geschiebemergel	steif	Wechsellagerungen aus Lauenburger Ton und Geschiebemergel, bereichsweise Sande bis in t = 7,5 m
rd. 21,0 m		halbfest	Wechsellagerungen aus Lauenburger Ton und Geschiebemergel, bereichsweise höher beginnende Sande
rd. 27,0 m	Sande	dicht bis sehr dicht	-
rd. 30,0 m		dicht bis sehr dicht	bereichsweise nur dicht
Hinweis: bis in t = 6,0 bzw. 10,0 m bis 30,0 m direkt erkundet			

Tabelle 8 Vereinfachter Baugrundaufbau - WEA 4

bis Tiefe unter GOK	Bodenart	Lagerungsdichte / Konsistenz / Zersetzungsgrad	Bemerkungen
Standort WEA 4			
rd. 0,2 m	Auffüllungen	halbfest	künstlich umgelagerte Kleischichtungen
rd. 2,5 m	Weichschichten	steif / stark zersetzt	Klei, Torf, Mischwatt,
rd. 4,5 m	Sande	locker	schluffig
rd. 6,0 m	Sande	locker bis mitteldicht	-
rd. 8,0 m	Weichschichten	steif / stark zersetzt	Schluffe, Klei, Torf, Mischwatt
rd. 15,0 m	oberen Sande	mitteldicht bis sehr dicht	-
rd. 19,5 m		locker bis mitteldicht	schluffige obere Sande
rd. 26,0 m		dicht bis sehr dicht	tw. inkl. Übergangsbereich zum Torf
rd. 28,5 m	Torf	sehr stark zersetzt	tw. Sande
rd. 30,0 m	unteren Sande	sehr dicht	-
Hinweis: bis in t = 10,0 m bis 30,0 m direkt erkundet			
Kranstandort WEA 4			
rd. 0,6 m	Auffüllungen	halbfest	künstlich umgelagerte Kleischichtungen
rd. 3,5 m	Weichschichten	steif / stark zersetzt	Klei, Torf, Mischwatt,
rd. 7,5 m	Sande	locker	-
rd. 9,5 m	Weichschichten	steif / stark zersetzt	Schluffe, Klei, Torf, Mischwatt,
rd. 14,0 m	oberen Sande	mitteldicht bis sehr dicht	-
rd. 15,5 m		locker	schluffige obere Sande
rd. 18,0 m		dicht bis sehr dicht	-
rd. 20,0 m		locker bis mitteldicht	-
rd. 28,0 m	Torf (Sand)	sehr stark zersetzt	Torf-Sand-Gemisch (Grundlage B WEA 4 Anlage); ggf. Schluff-Ton-Gemisch; vorsorglich ungünstig angesetzt, da keine tiefere Bohrung vorliegt
rd. 30,0 m	unteren Sande	sehr dicht	-
Hinweis: bis in t = 6,0 m direkt erkundet			

Tabelle 9 Vereinfachter Baugrundaufbau - WEA 5 Verweyen

bis Tiefe unter GOK	Bodenart	Lagerungsdichte / Konsistenz / Zersetzungsgrad	Bemerkungen
Standort WEA 5 Verweyen			
rd. 2,1 m	Auffüllungen	steif	künstlich umgelagerte Kleischichtungen
rd. 5,0 m	Weichschichten	weich / mäßig zersetzt bis stark zersetzt	Torf, Schluffe, Klei, Mischwatt
rd. 6,5 m	Sande	locker bis mitteldicht	-
rd. 8,0 m	Weichschichten	steif / mäßig zersetzt bis stark zersetzt	Schluffe, Torf, Schluffe, Klei, Mischwatt
rd. 8,5 m	Sande	mitteldicht	-
rd. 14,0 m	Schluffschichten	steif bis halbfest	*Bodenindex nur 2 %*
rd. 17,5 m	Sande	mitteldicht bis dicht	-
rd. 27,0 m		dicht bis sehr dicht	-
rd. 30,0 m		mitteldicht bis dicht	-
Hinweis: bis in t = 10,0 m bis 30,0 m direkt erkundet			

Tabelle 10 Vereinfachter Baugrundaufbau - WEA 1 Verweyen >Fortsetzung<

bis Tiefe unter GOK	Bodenart	Lagerungsdichte / Konsistenz / Zersetzungsgrad	Bemerkungen
Kranstandort WEA 5 Verweyen			
rd. 0,8 m	Auffüllungen	steif	künstlich umgelagerte Kleischichtungen
rd. 4,5 m	Weichschichten	weich / mäßig zersetzt bis stark zersetzt	Torf, Schluffe, Klei, Mischwatt
rd. 7,5 m	Sande	locker bis mitteldicht	-
rd. 8,5 m	Weichschichten	steif / mäßig zersetzt bis stark zersetzt	Schluffe, Torf, Schluffe, Klei, Mischwatt
rd. 9,5 m	Sande	mitteldicht	-
rd. 19,0 m	Schluffschichten	steif bis halbfest	*Bodenindex nur 2 %,* bereichsweise mitteldicht gelagerte Sande
rd. 25,5 m	Sande	mitteldicht bis dicht	tw. sehr dicht
rd. 27,5 m		sehr dicht	-
Hinweis: bis in t = 6,0 m direkt erkundet			

In den oben aufgeführten Tabellen wurden die Angaben für die WEA-Standort und den Kranstandort bei eher geringen Abweichungen zusammengefasst und sehr großen Abweichungen getrennt betrachtet.

3.5 Hydrogeologische Angaben

3.5.1 Angetroffene Grundwasserverhältnisse

Während der Bohrarbeiten im April bis August 2023 wurden im Bereich der Anlagenstandorte der geplanten Windenergieanlagen Wasserstände von rd. 0,1 bis 2,3 m unter Ansatzpunkt gemessen (vgl. Tabellen 11 und 12).

Tabelle 11 Während der Bohrarbeiten festgestellte Wasserstände

Standort	Aufschluss	Ansatzhöhe	Wasserstand		Datum
			u. Ansatz-punkt	bez. auf NHN	
WEA 1	B WEA 1 Anlage	NHN + 0,90 m	2,00 m	NHN - 1,10 m	08.08.2023
	BS WEA 1 Anlage	NHN + 0,92 m	1,60 m	NHN - 0,68 m	22.05.2023
	BS WEA 1 Kran 1	NHN + 0,88 m	0,80 m	NHN + 0,08 m	17.05.2023
	BS WEA 1 Kran 2	NHN + 0,79 m	1,10 m	NHN - 0,31 m	17.05.2023
	BS WEA 1 Kran 3	NHN + 0,74 m	0,40 m	NHN + 0,34 m	17.05.2023
	BS WEA 1 Kran 4	NHN + 0,82 m	1,20 m	NHN - 0,38 m	17.05.2023
WEA 2	B WEA 2 Anlage	NHN + 0,81 m	2,20 m	NHN - 1,39 m	08.08.2023
	BS WEA 2 Anlage	NHN + 0,85 m	0,55 m	NHN + 0,30 m	16.05.2023
	BS WEA 2 Kran 1	NHN + 0,84 m	1,40 m	NHN - 0,56 m	15.05.2023
	BS WEA 2 Kran 2	NHN + 0,85 m	1,20 m	NHN - 0,35 m	15.05.2023
	BS WEA 2 Kran 3	NHN + 0,88 m	0,85 m	NHN + 0,03 m	16.05.2023
	BS WEA 2 Kran 4	NHN + 0,73 m	0,55 m	NHN + 0,18 m	16.05.2023

Tabelle 12 Während der Bohrarbeiten festgestellte Wasserstände >Fortsetzung<

Standort	Aufschluss	Ansatzhöhe	Wasserstand		Datum
			u. Ansatzpunkt	bez. auf NHN	
WEA 3	B WEA 3 Anlage	NHN + 0,75 m	1,50 m	NHN - 0,75 m	10.07.2023
	BS WEA 3 Anlage	NHN + 0,69 m	0,80 m	NHN - 0,11 m	01.06.2023
	BS WEA 3 Kran 1	NHN + 0,75 m	1,50 m	NHN - 0,75 m	09.05.2023
	BS WEA 3 Kran 2	NHN + 0,78 m	1,10 m	NHN - 0,32 m	09.05.2023
	BS WEA 3 Kran 3	NHN + 0,86 m	nicht messbar		09.05.2023
	BS WEA 3 Kran 4	NHN + 0,84 m	0,95 m	NHN - 0,11 m	09.05.2023
WEA 4	B WEA 4 Anlage	NHN + 0,73 m	2,20 m	NHN - 1,47 m	06.07.2023
	BS WEA 4 Anlage	NHN + 0,76 m	0,80 m	NHN - 0,04 m	10.05.2023
	BS WEA 4 Kran 1	NHN + 0,53 m	0,10 m	NHN + 0,43 m	10.05.2023
	BS WEA 4 Kran 2	NHN + 0,73 m	0,70 m	NHN + 0,03 m	10.05.2023
	BS WEA 4 Kran 3	NHN + 0,66 m	0,80 m	NHN - 0,14 m	10.05.2023
	BS WEA 4 Kran 4	NHN + 0,74 m	0,70 m	NHN + 0,04 m	10.05.2023
WEA 5 Verweyen	B WEA 5 Verw. Anlage	NHN + 0,61 m	2,30 m	NHN - 1,69 m	16.08.2023
	BS WEA 5 Verw. Anlage	NHN + 0,60 m	1,70 m	NHN - 1,10 m	05.07.2023
	BS WEA 5 Verw. Kran 1	NHN + 0,61 m	1,60 m	NHN - 0,99 m	06.07.2023
	BS WEA 5 Verw. Kran 2	NHN + 0,60 m	1,80 m	NHN - 1,20 m	06.07.2023
	BS WEA 5 Verw. Kran 3	NHN + 0,88 m	1,95 m	NHN - 1,07 m	06.07.2023
	BS WEA 5 Verw. Kran 4	NHN + 0,72 m	1,50 m	NHN - 0,78 m	05.07.2023

3.5.2 Schwankungsbereich der Grundwasserstände, Bemessungswasserstand

Nach den *hydrogeologischen Übersichtskarten* des *Niedersächsischen Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie* (LBEG) ist der mittlere Grundwasserstand im Bereich des Bauvorhabens auf einer Höhenkote von rd. NHN ± 0,0 m bis NHN + 1,0 m zu erwarten. Bei einer gemittelten Geländehöhe im Bereich der Baugrunderkundungen bzw. im Bereich des umgebenden Geländeniveaus von ungefähr NHN + 0,8 m entspricht dies einem Grundwasserflurabstand von rd. 0,0 m bis 0,8 m.

Bei diesen Werten ist zu berücksichtigen, dass es sich in den Bereichen der tonigen Schluff und den Tonschichtungen (vgl. WEA 1 und WEA 5) und den Wechsellagerungen aus Lauenburger Ton und Geschiebemergel (vgl. WEA 3) nicht um den möglichen, oberflächennahen Stauwasserhorizont, sondern vielmehr um die Grundwasserdruckhöhe des Grundwasserleiters unterhalb der wassersperrend wirkenden Schichten aus tonigen Schluffen und Ton, Lauenburger Ton und Geschiebemergel handeln dürfte. Sollten die tonigen Schluffe und Tone sowie die Wechsellagerungen aus Lauenburger Ton und Geschiebemergel jedoch nur lokal vorhanden sein und keine durchgängigen Horizonte ausbilden, muss in Teilbereichen mit einem sogenannten „schwebenden Grundwasserstockwerk“ gerechnet werden. Das Grundprinzip von „schwebendem Grundwasser“ wird in der nachfolgenden Darstellung nochmal verdeutlicht:

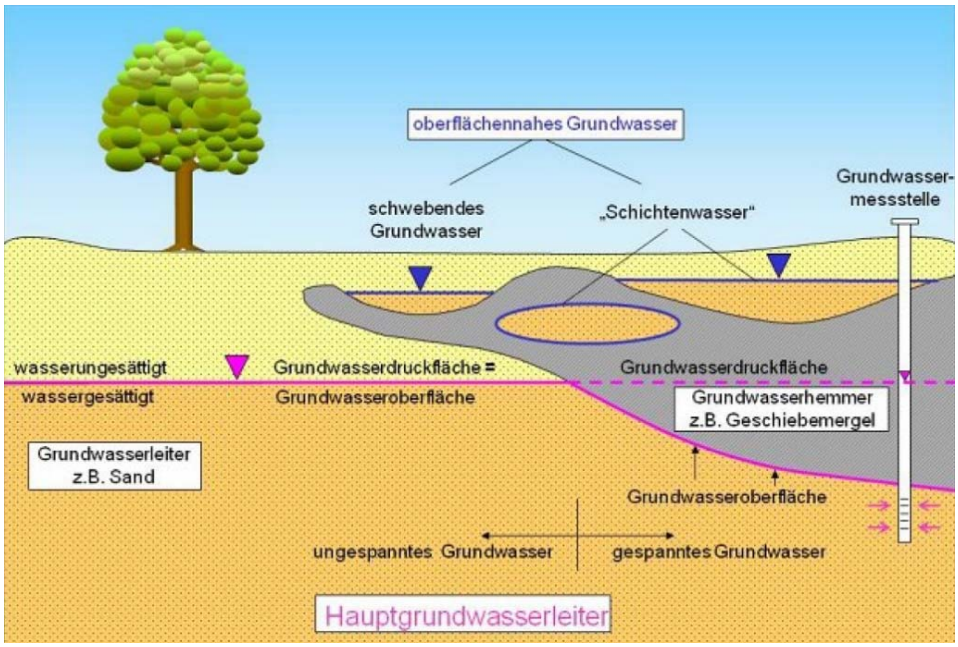


Abb. 1: Hydrogeologische Begriffe (Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit)

In und nach niederschlagsreichen Perioden muss mit einem Anstieg der Wasserstände gerechnet werden. Das Maß dieses Anstiegs ist im Wesentlichen von den lokalen hydrogeologischen und hydrologischen Randbedingungen abhängig und lässt sich anhand der stichprobenartigen Wasserstandmessungen in den Bohrlöchern ohnehin nicht abschließend beurteilen. Gleichwohl ist davon auszugehen, dass sich das Wasser in niederschlagsreichen Zeiten zumindest vorübergehend innerhalb und auf den praktisch wasserundurchlässigen bindigen bzw. gemischtkörnigen und humosen Bodenschichtungen aufstaut.

Auf Basis der bisher vorliegenden Erkenntnisse aus den Baugrunderkundungen und den im Übrigen vorliegenden Messwerten des LBEG, empfehlen wir im Bereich aller Anlagenstandorte der geplanten Windenergieanlagen einen vorläufigen Bemessungswasserstand (temporäres Stauwasser) bei etwa NHN + 0,8 m bzw. bei der jeweiligen Geländeoberkante anzusetzen. Die Windenergieanlagen sind somit für den vollen Auftrieb zu bemessen.

Für Bauzustände sind gegebenenfalls auch geringere Bemessungswasserstände denkbar, sofern diese über eine Wasserhaltung (redundantes System) sichergestellt werden können und deren Auswirkungen auf das Umfeld vertretbar sind bzw. hingenommen werden können.

Hinsichtlich der erforderlichen Erd- und Gründungsarbeiten - insbesondere bei tief reichenden Baugruben - wird darauf hingewiesen, dass das Grundwasser unterhalb der bindigen bzw. gemischtkörnigen und humosen Böden gespannt anstehen kann.

3.5.3 Betonaggressivität des Grundwassers

Eine Bestimmung des Betonangriffsgrades des Grundwassers nach DIN 4030 (vgl. Anlage 8) durch ein chemisches Labor ergab für alle Anlagenstandorte (WEA 1, WEA 2, WEA 3, WEA 4 und WEA 5 Verweyen), dass das Wasser als schwach betonangreifend eingestuft werden kann. Dies entspricht der Expositionsklasse XA1.

3.6 Ergebnisse der Laboruntersuchungen

Aus den Bohrungen wurden insgesamt 393 gestörte Bodenproben gewonnen und im bodenmechanischen Labor vom Gutachter visuell begutachtet. Anhand der Bodenansprache wurde die bautechnische Klassifizierung im bodenmechanischen Labor überprüft und bei der Erstellung der Bohrprofile berücksichtigt.

3.6.1 Korngrößenverteilung

An einzelnen Bodenprobenwurde die Korngrößenverteilung mit Hilfe von Nasssiebungen bestimmt (vgl. Anlage 5). Die Ergebnisse der ermittelten Korngrößenverteilungen sind in Tabelle 13 enthalten.

Tabelle 13 Ergebnisse der Siebanalysen

Ansatzpunkt / Probe	Tiefe u. GOK	Bodenart	Feinkorn-anteil	Boden-gruppe	Durchlässig-keit (n. Hazen oder Kaubisch)
B WEA 5 Verw. Anlage / K 3	16,00 bis 17,00 m	Sand	10,0 %	SU	4,8 x 10^{-5} m/s
B WEA 2 Anlage / K 3	27,00 bis 28,00 m	Sand + Schluff	48,4 %	SU* / UL	5,9 x 10^{-9} m/s
B WEA 3 Anlage / B 5	5,00 bis 6,00 m	schluffiger Sande	12,4 %	SU	1,0 x 10^{-5} m/s
B WEA 3 Anlage / B 20	23,00 bis 24,00 m	Sand	11,2 %	SU	1,4 x 10^{-5} m/s
B WEA 4 Anlage / B 23	23,00 bis 24,00 m	schluffiger Sand	35,5 %	SU*	6,0 x 10^{-8} m/s

3.6.2 Wassergehalt und Glühverlust

An ausgewählten Proben wurden zudem der Wassergehalt und der Glühverlust bestimmt (vgl. Tabellen 14 und 15). Die ermittelten Wassergehalte und Glühverluste sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 14 Ergebnisse der Wassergehalt- und Glühverlustanalysen

Ansatzpunkt / Probe	Tiefe u. GOK	Bodenart	zugeordnete Konsistenz	Wasser-gehalt [%]	Glüh-verlust [%]
BS WEA 1 Anlage / GP 12	7,65 bis 8,25 m	Schluff	weich	30,9	-
BS WEA 1 Kran 2 / GP 2	0,50 bis 1,60 m	Klei	weich bis steif	30,6	-
BS WEA 1 Kran 3 / GP 4	2,00 bis 2,60 m	Klei	weich	78,4	-
BS WEA 1 Kran 3 / GP 7	4,00 bis 5,10 m	Klei	weich	56,5	-
B WEA 1 Anlage / B 28	29,00 bis 30,00 m	humoser Schluff	steif	42,1	12,9
B WEA 1 Anlage / K 1	4,00 bis 5,00 m	Mischwatt	weich bis steif	38,5	-
BS WEA 2 Anlage / GP 14	9,50 bis 10,00 m	Ton	steif bis halbfest	47,9	-
BS WEA 2 Kran 2 / GP 8	4,25 bis 4,70 m	Torf	-	244,0	48,2
BS WEA 2 Kran 4 / GP 5	2,75 bis 3,65 m	Mischwatt	weich bis steif	41,4	-
B WEA 2 Anlage / K 3	27,00 bis 28,00 m	Sand + Schluff	-	25,6	-
BS WEA 3 Kran 1 / GP 5	2,90 bis 3,50 m	Torf	-	287,2	47,6
BS WEA 3 Kran 2 / GP 4	1,60 bis 2,30 m	Mischwatt	weich bis steif	37,0	-

Tabelle 15 Ergebnisse der Wassergehalt- und Glühverlustanalysen >Fortsetzung<

Ansatzpunkt / Probe	Tiefe u. GOK	Bodenart	zugeordnete Konsistenz	Wasser-gehalt [%]	Glüh-verlust [%]
B WEA 3 Anlage / B 5	5,00 bis 6,00 m	schluffiger Sand	-	27,1	-
B WEA 3 Anlage / B 8	8,00 bis 9,00 m	Geschiebemergel	steif	17,1	-
B WEA 3 Anlage / B 17	19,30 bis 20,80 m	Geschiebemergel	halbfest	14,8	-
B WEA 3 Anlage / B 20	23,00 bis 24,00 m	Sand	-	17,2	-
BS WEA 3 Kran 2 / GP 6	2,80 bis 3,20 m	Torf	-	298,7	50,8
BS WEA 4 Kran 1 / GP 1	0,00 bis 0,20 m	Auffüllung (Klei)	weich bis steif	68,9	-
BS WEA 4 Kran 1 / GP 4	2,00 bis 2,80 m	Torf	-	401,2	54,4
BS WEA 4 Kran 4 / GP 5	2,30 bis 3,05 m	Torf	-	107,8	23,6
B WEA 4 Anlage / B 23	23,00 bis 24,00 m	schluffiger Sand	-	22,0	-
B WEA 4 Anlage / RK 3	27,00 bis 27,50 m	Torf	-	197,9	68,6
B WEA 4 Anlage / RK 3	27,00 bis 27,50 m	Torf	-	175,4	-
B WEA 4 Anlage / B 27/28	28,00 bis 29,00 m	Torf	-	101,4	39,2
BS WEA 5 V Kran 1 / GP 4	2,00 bis 3,00 m	Mischwatt	weich	40,6	-
BS WEA 5 V Kran 1 / GP 6	3,70 bis 4,15 m	Torf	-	418,9	75,6
BS WEA 5 V Kran 3 / GP 3	0,80 bis 1,90 m	Klei	steif bis halbfest	38,0	-
B WEA 5 V Anlage / K 2	11,00 bis 12,00 m	toniger Schluff	steif	22,4	-
B WEA 5 V Anlage / K 3	16,00 bis 17,00 m	Sand	-	15,6	-
B WEA 5 V Anlage / B 11	12,00 bis 12,75 m	humoser Schluff	steif	20,0	6,7
B WEA 5 V Anlage / B 25	28,00 bis 28,80 m	humoser Sand	-	59,9	27,7

Die Probe B WEA 4 Anlage RK 3 wurde einer Wiederholungsprüfung unterzogen. Hintergrund: Der zunächst festgestellte Wassergehalt schien aufgrund der Tiefenlage und der damit verbundenen, geologischen Auflast relativ hoch zu sein. Das Ergebnis der Wiederholungsuntersuchung bestätigt allerdings in der Größenordnung die vorangegangene Auswertung.

3.6.3 Laborflügelsondierungen (undränierte Kohäsion)

An fünf exemplarischen Bodenproben wurden die undränierten Scherparameter mittels Laborflügelsondierung bestimmt (vgl. Tabelle 16). Die Ergebnisse der Auswertungen können der Anlage 6 entnommen werden.

Tabelle 16 Bestimmung der Scherversuche (Laborflügelsondierung)

Ansatzpunkt	Tiefe u. GOK [m]	Benennung nach EAK	Wassergehalt	undrain. Kohäsion
			w in %	c_u [kN/m²]
B WEA 1 Anlage / UP 2	19,75 bis 20,00 m	toniger Schluff	16,0	338,36 *(1,23)*
B WEA 2 Anlage / UP 1	3,75 bis 4,00 m	Mischwatt	59,4	4,90 *(1,01)*
B WEA 2 Anlage / UP 2	9,75 bis 10,00 m	toniger Schluff	37,3	37,44 *(0,97)*
B WEA 3 Anlage / UP 3	17,75 bis 18,00 m	Geschiebemergel	12,9	510,76 *(1,21)*
B WEA 5 V Anlage / UP 2	9,75 bis 10,00 m	toniger Schluff	25,0	56,98 *(1,09)*
Klammerwert: Korrekturbeiwert				

3.6.4 Zustandsgrenzen (Konsistenzgrenzen)

An fünf exemplarischen Bodenproben wurden die Konsistenzgrenzen sowie die Fließgrenzen bestimmt (vgl. Anlage 7). Die Ergebnisse wurden in der Tabelle 17 zusammengefasst.

Tabelle 17 Bestimmung der Konsistenzgrenzen

Ansatzpunkt / Probe	Tiefe u. GOK [m]	Benennung nach EAK	Wassergehalt			Plastizitäts-zahl	Konsistenz-zahl
			w_n in %	w_l in %	w_p in %	I_p in %	I_c in 1
B WEA 1 Anlage / UP 2	19,75 bis 20,00 m	toniger Schluff	16,0	27,2	15,1	12,1	0,93
B WEA 2 Anlage / UP 1	3,75 bis 4,00 m	Mischwatt	59,4	42,1	19,5	22,6	- 0,76
B WEA 2 Anlage / UP 2	9,75 bis 10,00 m	toniger Schluff	37,3	45,9	20,0	25,9	0,33
B WEA 3 Anlage / UP 3	17,75 bis 18,00 m	Geschiebe-mergel	12,9	28,4	14,3	14,1	1,10
B WEA 5 V Anlage / UP 2	9,75 bis 10,00 m	Mischwatt	25,0	35,7	17,2	18,5	0,58

Bei der Bestimmung der Zustandsgrenzen ergaben sich gemäß Handansprache abweichende Konsistenzen an den tonigen Schluff- und Mischwattproben. Teilweise (z.B. Probe B WEA 2 Anlage UP 1) ergeben sich unrealistisch große Abweichungen. Erfahrungsgemäß ist der Unterschied auf erhöhte organische Bestandteile und die Bodenstruktur der vorliegenden Bodenarten zurückzuführen, die einen starken Einfluss auf die Plastizität haben. Die endgültige Zuordnung der Konsistenzen erfolgte daher nach einer erneuten Begutachtung der Bodenprobe im Labor.

3.7 Bautechnische Eigenschaften der angetroffenen Bodenarten

Zur bautechnischen Klassifizierung und zur Beurteilung der angetroffenen Bodenarten hinsichtlich der erforderlichen Erdarbeiten sind in den Tabellen 18 und 19 die Bodengruppen und Bodenklassen angegeben.

Tabelle 18 Bodengruppen und Bodenklassen

Bodenart	Bodengruppe nach DIN 18196	Bodenklasse nach DIN 18300:2012
Auffüllungen (Klei)	A / [TA] / [UL]	4 [1) 2) 3)]
Weichschichten (Klei)	OT / TA / UL	4 [1) 2) 3)]
Weichschichten (Mischwatt)	TA / UL / UM	4 [1) 2) 3)]
Weichschichten (Wattsande)	SU / SU*	3, 4 [1)]
Weichschichten (Torf)	HN / HZ	2
Weichschichten (Schluffe)	OU / TA / UA / UL	4 [1) 2) 3)]
Schluff-Ton-Gemisch	UA / TA / UM / TM	4 [1) 2) 3)]
Sande (Wechsellagerungen)	SE / SU / SU* / OH	3, 4 [1)]
Schluffe	UA / UL / OU	4 [1) 2) 3)]
Sande	SE / SU / SU* / OH	3, 4

Tabelle 19 Bodengruppen und Bodenklassen >Fortsetzung<

Bodenart	Bodengruppe nach DIN 18196	Bodenklasse nach DIN 18300:2012
Lauenburger Ton	TA	4 [1) 2) 3)]
Geschiebemergel	SU*	4 [1) 2) 3)]
Torf	HN / HZ	2

1) bei Wasserzutritt und dynamischer Beanspruchung auch Bodenklasse 2
2) bei den Bohrungen können Steinanteile nicht ermittelt werden, mit mehr als 30 % Steinen auch Bodenklasse 5
3) bei annähernd halbfester Konsistenz auch Bodenklasse 5 und bei annähernd fester Konsistenz auch Bodenklasse 6

3.8 Bodenmechanische Kennziffern

Die aufgeführten bodenmechanischen Kennziffern wurden auf der Grundlage der Ergebnisse der Aufschlussbohrungen und der Drucksondierungen unter Berücksichtigung unserer Erfahrungen mit vergleichbaren Bodenarten sowie der Laborversuche festgelegt.

Tabelle 20 Bodenmechanische Kennziffern (charakteristisch)

Bodenart	Konsistenz / Lagerungsdichte (Sonstiges)	Wichte		Scherparameter		Steifemodul
		γ	γ'	φ'	c'	E_s
		[kN/m³]		[°]	[kN/m²]	[MN/m²]
Auffüllungen (Klei)	-	17 - 19	7 - 9	keine bautechnische Verwendung		
Klei	weich	15	5	17,5	10	1
	steif	15,5	5,5	20	15	2 bis 3
	halbfest	16	6	20	20	3 bis 5
Mischwatt	weich	16	6	22,5	2,5	2 bis 4
	steif	17	7	25	5	4 bis 6
	halbfest	18	8	25	7,5	6 bis 8
Wattsande	(sehr) locker	17	9	27,5	-	5 bis 10
Torf	-	11 - 13	1 - 3	15	5	0,3 bis 1,0
Schluffe	weich	18	8	25	2,5	4 bis 6
	steif	19	9	25	5	6 bis 9
	halbfest	20	10	25	7,5	9 bis 12
humose Schluffe	weich	16	6	25	5	1 bis 2
	steif	17	7	25	7,5	2 bis 4
	halbfest	18	8	25	10	4 bis 6
sandige Schluffe	weich	18	8	27,5	2,5	4 bis 6
	steif	19	9	27,5	5	8 bis 10
	halbfest	20	10	27,5	10	10 bis 15
tonige Schluffe	weich	18	8	25	5	2 bis 4
	steif	19	9	25	7,5	4 bis 8
	halbfest	20	10	25	10	10 bis 20
Tone	steif	18	8	22,5	15	5 bis 10
	halbfest	19	9	22,5	20	10 bis 12

Tabelle 21 Bodenmechanische Kennziffern (charakteristisch) >Fortsetzung<

Bodenart	**Konsistenz / Lagerungsdichte** (Sonstiges)	**Wichte**		**Scherparameter**		**Steifemodul**
		γ	γ'	φ'	c'	E_s
		[kN/m³]		[°]	[kN/m²]	[MN/m²]
Sande	locker	18	10	30	-	20 bis 30
	mitteldicht	18,5	10,5	32,5	-	30 bis 50
	dicht	19	11	35	-	50 bis 70
	sehr dicht	19	11	37,5	-	70 bis 100
humose Sande	locker	18	10	27,5	-	5 bis 20
	mitteldicht	18,5	10,5	30	-	20 bis 35
	dicht	19	11	32,5	-	35 bis 50
schluffige Sande	locker	18	10	27,5	-	10 bis 20
	mitteldicht	18,5	10,5	30	-	20 bis 40
	dicht	19	11	32,5	-	40 bis 60
Lauenburger Ton	steif	18	8	22,5	15	5 bis 10
	halbfest	19	9	22,5	20	10 bis 12
Geschiebemergel	steif	21	11	27,5	7,5	10 bis 15
	halbfest	22	12	27,5	10	15 bis 20
Füllsand (SE / SW)	mitteldicht (verdichtet)	19	11	32,5	-	40 bis 60

Die Steifemoduln sind in Abhängigkeit vom jeweiligen Belastungsbereich anzusetzen. Anhand von zusätzlichen Erkenntnissen können sich Änderungen bei den Kennziffern ergeben.

Die Querdehnungszahl für die anstehenden Sande kann mit ν = 0,30 bis 0,35 angesetzt werden. Für die bindigen bzw. gemischtkörnigen und humosen Böden ist die Größenordnung von ν = 0,40 bis 0,50 zu berücksichtigen. Gemäß Grundbautaschenbuch (Teil 1, 4. Auflage, Seite 242) ermittelt sich der statische Steifemodul aus dem Spitzenwiederstand einer Drucksondierung wie folgt:

$$\mathbf{E_s = ß \times q_C}$$

Darin sind:

E_s	Steifemodul statisch in kN/m²
ß	Faktor für bindige Böden und für nichtbindige Böden
q_C	Spitzenwiderstand der Drucksondierung in kN/m²

Aus der oben angegebenen Beziehung sowie einem Abgleich mit unseren Erfahrungswerten ergeben sich für die Bodenschichten auf der Grundlage der jeweils ungünstigeren Bohr- bzw. Drucksondierbereiche vereinfacht die in den nachfolgenden Tabellen aufgeführten Steifemoduln.

Tabelle 22 Steifemoduln - WEA 1

bis Tiefe unter GOK	Bodenart		Spitzenwider-stand q_c	Steifemodul [kN/m²]	Steifemodul [kN/m²]
				E_s^{Stat}	E_s^{Dyn}
Standort WEA 1					
rd. 0,6 m	Auffüllungen	halbfest	rd. < 1 bis 3 MN/m²	-	-
rd. 6,0 m	Weichschichten	weich bis steif / stark bis sehr stark zersetzt	rd. < 1 bis 4 MN/m²	300	1500
rd. 7,5 m	Sande	locker bis mitteldicht	rd. 3 bis 16 MN/m²	20.000	60.000
rd. 9,5 m	Weichschichten	weich bis steif / stark bis sehr stark zersetzt	rd. < 1 MN/m²	2.000	10.000
rd. 12,0 m	Sande	mitteldicht bis dicht	rd. 8 bis 22 MN/m²	50.000	150.000
rd. 30,0 m	Schluffe	halbfest	rd. 1 bis 30 MN/m²	12.000	60.000
Kranstandort WEA 1					
rd. 0,6 m	Auffüllungen	halbfest	rd. < 1 bis 2 MN/m²	-	-
rd. 5,5 m	Weichschichten	weich bis steif / stark bis sehr stark zersetzt	rd. < 1 bis 3 MN/m²	300	1500
rd. 8,0 m	Sande	locker	rd. 1 bis 17 MN/m²	20.000	60.000
rd. 9,5 m	Weichschichten	weich bis steif / stark bis sehr stark zersetzt	rd. < 1 MN/m²	2.000	10.000
rd. 11,5 m	Sande	mitteldicht bis dicht	rd. 12 bis 24 MN/m²	50.000	150.000
rd. 25,5 m	Schluffe	halbfest	rd. 1 bis 10 MN/m²	12.000	60.000
rd. 30,0 m	Sande / Schluffe	dicht bis sehr dicht	rd. 5 bis 37 MN/m²	70.000	210.000

Tabelle 23 Steifemoduln - WEA 2

bis Tiefe unter GOK	Bodenart		Spitzenwider-stand q_c	Steifemodul [kN/m²]	Steifemodul [kN/m²]
				E_s^{Stat}	E_s^{Dyn}
Standort WEA 2 und Kranstandort WEA 2 (vereinfacht zusammengefasst)					
rd. 0,6 m	Auffüllungen	steif	rd. < 1 bis 2 MN/m²	-	-
rd. 5,0 m	Weichschichten	weich / stark bis sehr stark zersetzt	rd. < 1 bis 3 MN/m²	300	1500
rd. 8,5 m	Sande	locker bis mitteldicht	rd. 1 bis 22 MN/m²	25.000	75.000
rd. 12,0 m	Weichschichten	steif / stark zersetzt	rd. < 1 bis 4 MN/m²	300	1500
rd. 15,0 m	Sande	locker bis mitteldicht	rd. 1 bis 22 MN/m²	30.000	90.000
rd. 17,0 m	Weichschichten	steif / stark zersetzt	rd. < 1 bis 7 MN/m²	2.000	10.000
rd. 22,0 m	schluffige Sande	locker bis mitteldicht	rd. 2 bis 28 MN/m²	20.000	60.000
rd. 26,0 m	schluffige Sande	locker bis mitteldicht	rd. 3 bis 16 MN/m²	30.000	90.000
rd. 30,0 m	Schluffe	weich bis steif	rd. 2 bis 15 MN/m²	6.000	30.000
rd. 35,0 m	Sande / Schluffe	locker bis mitteldicht / steif	rd. 2 bis 16 MN/m²	30.000 [1)] 9.000 [2)]	90.000 [1)] 45.000 [2)]
				[1)] Ansatz für WEA [2)] Ansatz für Kranstellfläche	

Tabelle 24 Steifemoduln - WEA 3

bis Tiefe unter GOK	Bodenart		Spitzenwider-stand q_c	Steifemodul [kN/m²]	Steifemodul [kN/m²]
				E_s^{Stat}	E_s^{Dyn}
Standort WEA 3 und Kranstandort WEA 3 (vereinfacht zusammengefasst)					
rd. 0,6 m	Auffüllungen	halbfest	rd. < 1 MN/m²	-	-
rd. 4,0 m	Weichschichten	weich / stark zersetzt	rd. < 1 bis 2 MN/m²	300	1500
rd. 6,0 m	Sande	locker bis mitteldicht	rd. 1 bis 22 MN/m²	20.000	60.000
rd. 17,0 m	Lauenburger Ton / Geschiebemergel	steif	rd. 1 bis 10 MN/m²	10.000	50.000
rd. 21,0 m		halbfest	rd. 4 bis 19 MN/m²	12.000	60.000
rd. 27,0 m	Sande	dicht bis sehr dicht	rd. 23 bis 45 MN/m²	100.000	300.000
rd. 30,0 m	Sande	dicht bis sehr dicht	rd. 13 bis 40 MN/m²	70.000	210.000

Tabelle 25 Steifemoduln - WEA 4

bis Tiefe unter GOK	Bodenart		Spitzenwider-stand q_c	Steifemodul [kN/m²]	Steifemodul [kN/m²]
				E_s^{Stat}	E_s^{Dyn}
Standort WEA 4					
rd. 0,2 m	Auffüllungen	halbfest	rd. < 1 MN/m²	-	-
rd. 2,5 m	Weichschichten	steif / stark zersetzt	rd. < 1 bis 2 MN/m²	300	1500
rd. 4,5 m	Sande	locker	rd. 1 bis 7 MN/m²	15.000	45.000
rd. 6,0 m	Sande	locker bis mitteldicht	rd. 1 bis 18 MN/m²	30.000	90.000
rd. 8,0 m	Weichschichten	steif / stark zersetzt	rd. < 1 bis 6 MN/m²	2.000	10.000
rd. 15,0 m	oberen Sande	mitteldicht bis sehr dicht	rd. 5 bis 31 MN/m²	65.000	195.000
rd. 19,5 m		locker bis mitteldicht	rd. 1 bis 8 MN/m²	30.000	90.000
rd. 26,0 m		dicht bis sehr dicht	rd. 13 bis 56 MN/m²	70.000	210.000
rd. 28,5 m	Torf	sehr stark zersetzt	rd. 3 bis 10 MN/m²	800	4.000
rd. 30,0 m	unteren Sande	sehr dicht	rd. 37 bis 50 MN/m²	100.000	300.000
Kranstandort WEA 4					
rd. 0,6 m	Auffüllungen	halbfest	rd. < 1 MN/m²	-	-
rd. 3,5 m	Weichschichten	steif / stark zersetzt	rd. < 1 bis 2 MN/m²	300	1500
rd. 7,5 m	Sande	locker	rd. 1 bis 12 MN/m²	20.000	60.000
rd. 9,5 m	Weichschichten	steif / stark zersetzt	rd. < 1 bis 10 MN/m²	2.000	10.000
rd. 14,0 m	oberen Sande	mitteldicht bis sehr dicht	rd. 12 bis 28 MN/m²	65.000	195.000
rd. 15,5 m		locker	rd. 3 bis 7 MN/m²	30.000	90.000
rd. 18,0 m		dicht bis sehr dicht	rd. 17 bis 33 MN/m²	70.000	210.000
rd. 20,0 m		locker bis mitteldicht	rd. 3 bis 12 MN/m²	30.000	90.000
rd. 28,0 m	Torf [1)]	sehr stark zersetzt	rd. 3 bis 8 MN/m²	1.000	5.000
rd. 30,0 m	unteren Sande	sehr dicht	rd. 28 bis 42 MN/m²	90.000	270.000

[1)] Bei der tief reichenden Bohrung B WEA 4 Anlage wurde zwischen t = 26,0 und 28,5 m eine Torfschichtung festgestellt, die sich auch anhand der Drucksondierwiderstände durch einen deutlich erhöhten Bodenindex und eher moderate Spitzenwiderstände abzeichnet. Hierbei handelt es sich um eine stark vorbelastete, humose Schichtung. Beim Kranstandort zeichnet sich ein vergleichbarer bzw. ähnlicher Drucksondierverlauf von t = 20,0 m bis 28,5 m Tiefe ab. Wenngleich es nach den bisherigen Erfahrungen relativ unwahrscheinlich ist, dass eine derart mächtige Torfschicht tatsächlich ansteht, wurde diese für den Kranbereich vorsorglich angesetzt.

Wenn Pfähle für den Kran nicht mit ausreichendem Abstand oberhalb oder nicht mit ausreichender Einbindung unterhalb der „Torfschichtung“ abgesetzt werden können, sollte eine ergänzende Trockenbohrung im Kranstellbereich erfolgen, um die genaue Zusammensetzung der Schichtungen zwischen t = 20,0 bis 28,5 m Tiefe zu erkunden.

Tabelle 26 Steifemoduln - WEA 5 Verweyen

bis Tiefe unter GOK	Bodenart		Spitzenwider-stand q_c	Steifemodul [kN/m²]	Steifemodul [kN/m²]
				E_s^{Stat}	E_s^{Dyn}
Standort WEA 5 Verweyen					
rd. 2,1 m	Auffüllungen	steif	rd. < 1 bis 3 MN/m²	-	-
rd. 5,0 m	Weichschichten	weich / mäßig bis stark zersetzt	rd. < 1 bis 2 MN/m²	300	1500
rd. 6,5 m	Sande	locker bis mitteldicht	rd. 1 bis 14 MN/m²	20.000	60.000
rd. 8,0 m	Weichschichten	steif / mäßig bis stark zersetzt	rd. < 1 MN/m²	2.000	10.000
rd. 8,5 m	Sande	mitteldicht	rd. 2 bis 20 MN/m²	50.000	150.000
rd. 14,0 m	Schluffschichten	steif bis halbfest	rd. 1 bis 13 MN/m²	9.000	45.000
rd. 17,5 m	Sande	mitteldicht bis dicht	rd. 5 bis 22 MN/m²	50.000	150.000
rd. 27,0 m		dicht bis sehr dicht	rd. 23 bis 45 MN/m²	80.000	240.000
rd. 30,0 m		mitteldicht bis dicht	rd. 7 bis 39 MN/m²	60.000	180.000
Kranstandort WEA 5 Verweyen					
rd. 0,8 m	Auffüllungen	steif	rd. < 1 bis 3 MN/m²	-	-
rd. 4,5 m	Weichschichten	weich / mäßig bis stark zersetzt	rd. < 1 bis 2 MN/m²	300	1500
rd. 7,5 m	Sande	locker bis mitteldicht	rd. 4 bis 15 MN/m²	30.000	90.000
rd. 8,5 m	Weichschichten	steif / mäßig bis stark zersetzt	rd. < 1 bis 2 MN/m²	2.000	10.000
rd. 9,5 m	Sande	mitteldicht	rd. 14 bis 19 MN/m²	50.000	150.000
rd. 19,0 m	Schluffschichten	steif bis halbfest	rd. 1 bis 5 MN/m²	9.000	45.000
rd. 25,5m	Sande	mitteldicht bis dicht	rd. 4 bis 44 MN/m²	60.000	180.000
rd. 27,5 m		sehr dicht	rd. 24 bis 44 MN/m²	100.000	300.000

Als dynamischer Steifemodul wurden der ungefähr 3-fache statische Steifemodul für nichtbindige und der bis zu 5-fache für bindige bzw. gemischtkörnige Schichten angesetzt. Die humosen Schichten sollten nicht in Ansatz gebracht werden. Für einen nachverdichteten Austauschboden können Werte von E_s^{Stat} = 50 MN/m² mindestens *mitteldicht* gelagerten, groben Sand oder E_s^{Stat} = 70 bis 100 MN/m² für ein intensiv verdichtetes Mineralgemisch (mindestens *dicht* bis *sehr dicht* gelagert) angesetzt werden.

4 Gründung der Windenergieanlagen

Bei Windenergieanlagen sind üblicherweise hohe Belastungen (Momente, Vertikallasten, Horizontalkräfte) und starke dynamische Beanspruchungen zu erwarten. Erhöhte Setzungen und Setzungsdifferenzen können daher nicht hingenommen werden oder müssen zumindest auf ein Minimum reduziert werden.

Unterhalb der Gründungsebene der Windenergieanlagen, das heißt bei dem vorliegenden Anlagentyp ab etwa Geländeoberkante, wurden zunächst an allen Anlagenstandorten stark kompressible Auffüllungen und Wechsellagerungen aus Weichschichten in größeren Mächtigkeiten angetroffen. Diese Schichtungen stellen aufgrund ihres erheblichen Setzungspotenzials keinen geeigneten Baugrund für eine Flachgründung der Windenergieanalgen dar. Die gebotene Gründungsart ist daher eine Tiefgründung auf Pfählen.

Auf der Grundlage des vorliegenden Technischen Datenblattes (vgl. Unterlage U17) und den darin enthaltenden Angaben, soll nachfolgend die empfohlene Tiefgründung auf Pfählen näher betrachtet werden.

Hinweis: Das Fundament wird gemäß dem Fundament-Datenblatt mit einer seitlichen Anschüttung sowie einer Aufschüttung versehen. Diese Bodenandeckungen müssen dauerhaft verbleiben.

5 Tiefgründung der Windenergieanlagen auf Pfählen

Nach den vorliegenden Fundament-Datenblatt sind bei einer Tiefgründung auf Pfählen (mit Auftriebswirkung) folgende Varianten zu berücksichtigen:

<u>ENERCON E-138 EP3 E3-HST-111-FB-C-01 mit 111 m NH</u>

Variante A →	30 x Fertigteilrammpfähle aus Stahlbeton □ 45/45 cm
Variante A →	30 x Ortbetonrammpfähle aus Stahlbeton Ø 51 cm
Variante B →	24 x Ortbetonrammpfähle aus Stahlbeton Ø 56 cm
Variante C →	14 x Bohrpfähle aus Stahlbeton Ø 100 cm

Hinweis: Es wird davon ausgegangen, dass es sich bei den Ortbetonrammpfählen der Version A um ein System mit Außenrammung und einem Fußdurchmesser von d = 62 cm und bei dem Schaftdurchmesser von Ø 56 cm (Version B) um einem Ortbetonrammpfahl mit Innenrammung handelt.

Folgende, <u>charakteristische Einwirkungen</u> sind zu berücksichtigen.

- Variante A (30 x Fertigteilrammpfahl □ 45 / 45 cm): $F_{c,k} \approx$ 1.812 kN (Druck) / $F_{t,k} \approx$ 419 kN (Zug)
- Variante A (30 x Ortbetonrammpfahl Ø 51 / 62 cm): $F_{c,k} \approx$ 1.812 kN (Druck) / $F_{t,k} \approx$ 419 kN (Zug)
- Variante B (24 x Ortbetonrammpfahl Ø 56 cm): $F_{c,k} \approx$ 2.246 kN (Druck) / $F_{t,k} \approx$ 480 kN (Zug)
- Variante C (14 x Bohrpfahl Ø 100 cm): $F_{c,k} \approx$ 3.702 kN (Druck) / $F_{t,k} \approx$ 770 kN (Zug)

Folgende Bemessungswerte sind ebenfalls zu berücksichtigen.

- Variante A (30 x Fertigteilrammpfahl ☐ 45 / 45 cm): $F_{c,d} \approx$ 2.167 kN (Druck) / $F_{t,d} \approx$ 646 kN (Zug)
- Variante A (30 x Ortbetonrammpfahl Ø 51 / 62 cm): $F_{c,d} \approx$ 2.167 kN (Druck) / $F_{t,d} \approx$ 646 kN (Zug)
- Variante B (24 x Ortbetonrammpfahl Ø 56 cm): $F_{c,d} \approx$ 2.689 kN (Druck) / $F_{t,d} \approx$ 754 kN (Zug)
- Variante C (14 x Bohrpfahl Ø 100 cm): $F_{c,d} \approx$ 4.427 kN (Druck) / $F_{t,d} \approx$ 1.219 kN (Zug)

5.1 Stahlbetonrammpfähle

Bei Stahlbetonrammpfählen handelt es sich um Fertigteilrammpfähle mit quadratischem Querschnitt, die mit einem Diesel- oder Hydraulikrammbären in den Baugrund eingerammt werden. Die Pfähle werden als Fertigteile auf die Baustelle geliefert und können über eine Kupplung verlängert werden. Bei diesem Pfahltyp sind folgende Punkte besonders zu beachten:

- Das Durchdringen von dicht bzw. sehr dicht gelagerten Sanden oder Böden mit eingelagerten Hindernissen (größere Steine, etc.) ist nicht oder nur eingeschränkt möglich.
- Die Anpassung an wechselnde Baugrundverhältnisse (unterschiedliche Horizonte und Lagerungsdichten) ist nur über die gewählte Pfahllänge oder die Pfahlanzahl möglich.

Der Nachweis der äußeren Tragfähigkeit der Rammpfähle erfolgt in der Anlage 9. Es ergeben sich folgende charakteristische Grenztragfähigkeiten **R_k** (Designwert: $R_d \approx R_k$ / 1,6):

Tabelle 27 Äußere Tragfähigkeit der Stahlbetonrammpfähle ☐ 45/45 cm

Ansatzpunkt		Anlage	Tiefe u. OK CPT	Druck	Zug [1]
				$R_{c,k}$ in kN	$R_{t,k}$ in kN
				$R_{c,k,max} \approx$ 3.500 kN [2]	
WEA 1	30 x Stahlbetonrammpfähle 45/45 cm für WEA (Variante A)				
	CPT WEA 1 Nord	Anlage 9.1.1	29,0 m	3,404	2,767
			29,5 m	**3,485**	**2,848**
			30,0 m	3,566	2,929
	CPT WEA 1 Ost	Anlage 9.2.1	29,0 m	3,826	2,763
			29,5 m	**3,961**	**2,898**
			30,0 m	4,096	3,033
	CPT WEA 1 Süd	Anlage 9.3.1	29,0 m	4,192	3,058
			29,5 m	**4,327**	**3,193**
			30,0 m	4,462	3,328
	CPT WEA 1 West	Anlage 9.4.1	29,0 m	3,746	2,895
			29,5 m	**3,854**	**3,003**
			30,0 m	3,962	3,111

Tabelle 28 Äußere Tragfähigkeit der Stahlbetonrammpfähle □ 45/45 cm

Ansatzpunkt		Anlage	Tiefe u. OK CPT	Druck $R_{c,k}$ in kN ($R_{c,k,max} \approx$ 3.500 kN [2])	Zug [1] $R_{t,k}$ in kN
WEA 2	30 x Stahlbetonrammpfähle 45/45 cm für WEA (Variante A)				
	CPT WEA 2 Nord	Anlage 9.5.1	27,5 m	3,488	2,921
			28,0 m	**3,560**	**2,993**
			28,5 m	3,632	3,065
	CPT WEA 2 Ost	Anlage 9.6.1	27,5 m	3,440	2,732
			28,0 m	**3,530**	**2,822**
			28,5 m	3,620	2,912
	CPT WEA 2 Süd	Anlage 9.7.1	27,5 m	3,717	3,150
			28,0 m	**3,789**	**3,222**
			28,5 m	3,861	3,294
	CPT WEA 2 West	Anlage 9.8.1	27,5 m	3,653	3,086
			28,0 m	**3,725**	**3,158**
			28,5 m	3,797	3,230
WEA 3	30 x Stahlbetonrammpfähle 45/45 cm für WEA (Variante A)				
	CPT WEA 3 Nord	Anlage 9.9.1	20,5 m	1,963	1,660
			21,0 m	**3,485**	**1,714**
			21,5 m	3,620	1,849
	CPT WEA 3 Ost	Anlage 9.10.1	20,5 m	3,973	2,201
			21,0 m	**4,108**	**2,336**
			21,5 m	4,243	2,471
	CPT WEA 3 Süd	Anlage 9.11.1	20,5 m	4,027	2,255
			21,0 m	**4,162**	**2,390**
			21,5 m	4,297	2,525
	CPT WEA 3 West	Anlage 9.12.1	20,5 m	4,069	2,297
			21,0 m	**4,204**	**2,432**
			21,5 m	4,339	2,567
WEA 4	30 x Stahlbetonrammpfähle 45/45 cm für WEA (Variante A)				
	CPT WEA 4 Nord	Anlage 9.13.1	17,0 m	3,900	2,979
			17,5 m	**4,017**	**3,096**
			18,0 m	4,134	3,213
	CPT WEA 4 Ost	Anlage 9.14.1	17,0 m	4,958	3,186
			17,5 m	**5,093**	**3,321**
			18,0 m	5,228	3,456
	CPT WEA 4 Süd	Anlage 9.15.1	17,0 m	3,452	2,743
			17,5 m	**3,587**	**2,878**
			18,0 m	3,722	3,013
	CPT WEA 4 West	Anlage 9.16.1	17,0 m	4,057	2,781
			17,5 m	**4,192**	**2,916**
			18,0 m	4,327	3,051

Tabelle 29 Äußere Tragfähigkeit der Stahlbetonrammpfähle □ 45/45 cm

Ansatzpunkt		Anlage	Tiefe u. OK CPT	Druck $R_{c,k}$ in kN ($R_{c,k,max} \approx$ 3.500 kN [2])	Zug [1] $R_{t,k}$ in kN
WEA 5 Verweyen	30 x Stahlbetonrammpfähle 45/45 cm für WEA (Variante A)				
	CPT WEA 5 Verw. Nord	Anlage 9.17.1	17,5 m	3,449	1,678
			18,0 m	**3,584**	**1,813**
			18,5 m	3,719	1,948
	CPT WEA 5 Verw. Ost	Anlage 9.18.1	17,5 m	3,451	1,679
			18,0 m	**3,586**	**1,814**
			18,5 m	3,721	1,949
	CPT WEA 5 Verw. Süd	Anlage 9.19.1	17,5 m	3,595	1,823
			18,0 m	**3,730**	**1,958**
			18,5 m	3,865	2,093
	CPT WEA 5 Verw. West	Anlage 9.20.1	17,5 m	3,412	1,427
			18,0 m	**3,547**	**1,562**
			18,5 m	3,682	1,697

[1] gemeint ist die allein durch die Mantelreibung aufnehmbare Zugkraft, hinsichtlich der Standsicherheit verweisen wir auf Kapitel 5.7

[2] Begrenzung des charakteristischen Pfahlwiderstandes siehe hierzu Kapitel 5.5

5.2 Ortbetonrammpfahl mit Außenrammung (System Vibrex oder Simplex)

Bei der Herstellung des *Vibrex*-Pfahlsystems bzw. des *Simplex*-Pfahlsystems wird ein Stahlrohr durch Außenrammung in den Boden eingetrieben. Am Pfahlfuß ist das Vortriebrohr mit einer Platte - die leicht übersteht - verschlossen. Der Boden wird beim Einrammen vollständig verdrängt. Nach dem Einstellen des Bewehrungskorbes wird Beton eingefüllt und das Rohr mit einem Gürtelrüttler (*Vibrex*) schrittweise in Abschnitte von ca. 3 m gezogen. Dadurch kann der umgebene Boden sowie der eingefüllte Beton nachverdichtet und eine höhere Mantelreibung aktiviert werden. Die Fußplatte verbleibt im Boden. Das System *Simplex* ist weitgehend mit dem System *Vibrex* vergleichbar und unterscheidet sich vornehmlich durch die Art des Ziehvorgangs. Bei diesem System wird das Stahlrohr in der Regel per Seilzug gezogen. Bei diesem Pfahltyp sind folgende Punkte besonders zu beachten:

- Das Durchdringen von dicht bzw. sehr dicht gelagerten Sanden oder Böden mit eingelagerten Hindernissen (größere Steine, etc.) ist nicht oder nur eingeschränkt möglich.
- Eine Anpassung an wechselnde Baugrundverhältnisse kann grundsätzlich über die Pfahllänge erfolgen.
- An Standorten mit größeren Absetztiefen ist eine leistungsfähige Zugeinrichtung zum Herausziehen des Pfahlrohres erforderlich.

Der Nachweis der äußeren Tragfähigkeit der Rammpfähle erfolgt in der Anlage 9. Es ergeben sich folgende charakteristische Grenztragfähigkeiten $\mathbf{R_k}$ (Designwert: $R_d \approx R_k / 1{,}6$):

Tabelle 30 Äußere Tragfähigkeit der Ortbetonrammpfähle mit Außenrammung Ø 51/62 cm

Ansatzpunkt		Anlage	Tiefe u. OK CPT	Druck $R_{c,k}$ in kN ($R_{c,k,max} \approx$ 3.500 kN [2])	Zug [1] $R_{t,k}$ in kN
WEA 1	30 x Ortbetonrammpfähle Ø 51/62 cm für WEA (Variante A)				
	CPT WEA 1 Nord	Anlage 9.1.2	29,0 m	3,414	2,463
			29,5 m	**3,486**	**2,535**
			30,0 m	3,558	2,607
	CPT WEA 1 Ost	Anlage 9.2.2	29,0 m	4,044	2,459
			29,5 m	**4,165**	**2,580**
			30,0 m	4,285	2,700
	CPT WEA 1 Süd	Anlage 9.3.2	29,0 m	4,413	2,722
			29,5 m	**4,533**	**2,842**
			30,0 m	4,653	2,962
	CPT WEA 1 West	Anlage 9.4.2	29,0 m	3,845	2,577
			29,5 m	**3,941**	**2,673**
			30,0 m	4,037	2,769
WEA 2	30 x Ortbetonrammpfähle Ø 51/62 cm für WEA (Variante A)				
	CPT WEA 2 Nord	Anlage 9.5.2	27,5 m	3,445	2,600
			28,0 m	**3,509**	**2,664**
			28,5 m	3,573	2,728
	CPT WEA 2 Ost	Anlage 9.6.2	27,5 m	3,488	2,431
			28,0 m	**3,568**	**2,511**
			28,5 m	3,648	2,592
	CPT WEA 2 Süd	Anlage 9.7.2	27,5 m	3,649	2,804
			28,0 m	**3,713**	**2,868**
			28,5 m	3,777	2,932
	CPT WEA 2 West	Anlage 9.8.2	27,5 m	3,592	2,747
			28,0 m	3,656	2,811
			28,5 m	3,721	2,875
WEA 3	30 x Ortbetonrammpfähle Ø 51/62 cm für WEA (Variante A)				
	CPT WEA 3 Nord	Anlage 9.9.2	20,5 m	1,930	1,477
			21,0 m	**4,167**	**1,525**
			21,5 m	4,287	1,645
	CPT WEA 3 Ost	Anlage 9.10.2	20,5 m	4,601	1,960
			21,0 m	**4,721**	**2,080**
			21,5 m	4,842	2,200
	CPT WEA 3 Süd	Anlage 9.11.2	20,5 m	4,649	2,008
			21,0 m	**4,769**	**2,128**
			21,5 m	4,890	2,248
	CPT WEA 3 West	Anlage 9.12.2	20,5 m	4,686	2,044
			21,0 m	**4,806**	**2,165**
			21,5 m	4,926	2,285

Tabelle 31 Äußere Tragfähigkeit der Ortbetonrammpfähle mit Außenrammung Ø 51/62 cm

Ansatzpunkt		Anlage	Tiefe u. OK CPT	Druck $R_{c,k}$ in kN ($R_{c,k,max} \approx$ 3.500 kN [2])	Zug [1] $R_{t,k}$ in kN
WEA 4	30 x Ortbetonrammpfähle Ø 51/62 cm für WEA (Variante A)				
	CPT WEA 4 Nord	Anlage 9.13.2	17,0 m	4,025	2,652
			17,5 m	**4,129**	**2,756**
			18,0 m	4,234	2,860
	CPT WEA 4 Ost	Anlage 9.14.2	17,0 m	5,478	2,836
			17,5 m	**5,598**	**2,956**
			18,0 m	5,718	3,076
	CPT WEA 4 Süd	Anlage 9.15.2	17,0 m	3,498	2,442
			17,5 m	**3,619**	**2,562**
			18,0 m	3,739	2,682
	CPT WEA 4 West	Anlage 9.16.2	17,0 m	4,377	2,475
			17,5 m	**4,498**	**2,596**
			18,0 m	4,618	2,716
WEA 5 Verweyen	30 x Ortbetonrammpfähle Ø 51/62 cm für WEA (Variante A)				
	CPT WEA 5 Verw. Nord	Anlage 9.17.2	17,5 m	4,135	1,493
			18,0 m	**4,255**	**1,613**
			18,5 m	4,375	1,734
	CPT WEA 5 Verw. Ost	Anlage 9.18.2	17,5 m	4,137	1,495
			18,0 m	**4,257**	**1,615**
			18,5 m	4,377	1,735
	CPT WEA 5 Verw. Süd	Anlage 9.19.2	17,5 m	4,265	1,623
			18,0 m	**4,385**	**1,743**
			18,5 m	4,505	1,863
	CPT WEA 5 Verw. West	Anlage 9.20.2	17,5 m	4,229	1,271
			18,0 m	**4,349**	**1,391**
			18,5 m	4,470	1,511

[1] gemeint ist die allein durch die Mantelreibung aufnehmbare Zugkraft, hinsichtlich der Standsicherheit verweisen wir auf Kapitel 5.7

[2] Begrenzung des charakteristischen Pfahlwiderstandes siehe hierzu Kapitel 5.5

5.3 Ortbetonrammpfahl mit Innenrammung (System Franki)

Bei einem Ortbetonrammpfahl mit Innenrammung System *Franki* wird ein dickwandiges Stahlrohr (Vortriebrohr Durchmesser d = 42 cm bis 61 cm) dadurch in den Boden getrieben, dass sich ein erdfeucht eingefüllter, etwa 0,8 bis 1,0 m hoher Betonpfropfen unter den Schlägen eines freifallenden Rammbären verdichtet und dabei im Rohr verspannt. Diese Verspannung führt gleichzeitig dazu, dass das Rohr mit jedem Rammschlag hinuntergezogen wird. Der Boden unter dem Rohr wird seitlich verdrängt und verdichtet. Anschließend wird ein Pfahlfuß durch Nachfüllen und Einstampfen von Beton ausgebildet. Bei wechselhaften Baugrundverhältnissen in der Absetzebene vor Ort kann eine Anpassung der Pfahltragfähigkeit anhand der Rammkriterien erfolgen. In bindigen Böden oder im Bereich von Lockerzonen ist die Aus-führung einer so genannten *Kiesfußvorverdichtung* erforderlich. Die hohe Tragfähigkeit wird

hierbei durch die Ausbildung des Pfahlfußes sichergestellt. Bei diesem Pfahltyp sind folgende Punkte besonders zu beachten:

- Das Durchdringen von dicht oder sehr dicht gelagerten Böden/Sande ist üblicherweise aufgrund der verwendeten hohen Rammenergie möglich. Eine Anpassung an wechselnde Baugrundverhältnisse ist über die Pfahlfußausbildung, die Pfahllänge sowie mit einer Kiesvorverdichtung möglich.
- An Standorten mit größeren Absetztiefen ist für das Herausziehen des Pfahlrohres ein tragfähiger Aufbau des Rammplanums erforderlich.

Auf der Grundlage von Erfahrungswerten anhand exemplarischer Probebelastungen aus früheren Bauvorhaben werden folgende Absetztiefen (Ø 56 cm) festgelegt:

Tabelle 32 Äußere Tragfähigkeit der Ortbetonrammpfähle mit Innenrammung Ø 56 cm

Ansatzpunkt		**Tiefe u. OK CPT**	**Druck** $R_{c,k}$ **in kN**	**Zug** [1] $R_{t,k}$ **in kN**	**Bemerkung** $R_{c,k,max} \approx$ 5.500 kN [2]
WEA 1	24 x Ortbetonrammpfähle Ø 56 cm für WEA (Variante B)				
	CPT WEA 1 Nord	**10,0 m**	5.500	450	KVV von t = 7,0 bis 9,5 m
	CPT WEA 1 Ost		5.500	450	KVV von t = 7,0 bis 9,5 m
	CPT WEA 1 Süd		5.500	450	KVV von t = 7,0 bis 9,5 m
	CPT WEA 1 West		5.500	450	KVV von t = 7,0 bis 9,5 m
	Hinweis: bei einer Absetztiefe von t = 10,0 m lassen sich die Zugkräfte rechnerisch nicht mehr nachweisen				
	CPT WEA 1 Nord	**15,0 m**	4.500	1.100	KVV von t = 13,0 bis 17,0 m
	CPT WEA 1 Ost		4.500	1.100	KVV von t = 13,0 bis 17,0 m
	CPT WEA 1 Süd		4.500	1.100	KVV von t = 13,0 bis 17,0 m
	CPT WEA 1 West		4.500	1.100	KVV von t = 13,0 bis 17,0 m
WEA 2	24 x Ortbetonrammpfähle Ø 56 cm für WEA (Variante B)				
	CPT WEA 2 Nord	**13,0 m**	5.500	1.100	KVV von t = 9,0 bis 11,0 m
	CPT WEA 2 Ost		5.500	1.100	KVV von t = 9,0 bis 11,0 m
	CPT WEA 2 Süd		5.500	1.100	KVV von t = 9,0 bis 11,0 m
	CPT WEA 2 West		5.500	1.100	KVV von t = 9,0 bis 11,0 m
WEA 3	24 x Ortbetonrammpfähle Ø 56 cm für WEA (Variante B)				
	CPT WEA 3 Nord	**21,0 m**	5.500	1.100	ggf. alternativ t = 18,0 m mit KVV ab t = 16,0 m
	CPT WEA 3 Ost		5.500	1.100	
	CPT WEA 3 Süd		5.500	1.100	
	CPT WEA 3 West		5.500	1.100	
WEA 4	24 x Ortbetonrammpfähle Ø 56 cm für WEA (Variante B)				
	CPT WEA 4 Nord	**10,0 m**	5.500	450	-
	CPT WEA 4 Ost		5.500	450	-
	CPT WEA 4 Süd		5.500	450	-
	CPT WEA 4 West		5.500	450	-
	Hinweis: bei einer Absetztiefe von t = 10,0 m lassen sich die Zugkräfte rechnerisch nicht mehr nachweisen				
	CPT WEA 4 Nord	**13,0 m**	5.500	1.100	sehr schwere Rammung
	CPT WEA 4 Ost		5.500	1.100	
	CPT WEA 4 Süd		5.500	1.100	
	CPT WEA 4 West		5.500	1.100	
KVV = Kiesvorverdichtung					

Tabelle 33 Äußere Tragfähigkeit der Ortbetonrammpfähle mit Innenrammung Ø 56 cm

Ansatzpunkt		Tiefe u. OK CPT	Druck $R_{c,k}$ in kN	Zug [1] $R_{t,k}$ in kN	Bemerkung $R_{c,k,max} \approx$ 5.500 kN [2]
WEA 5 Verweyen	24 x Ortbetonrammpfähle Ø 56 cm für WEA (Variante B)				
	CPT WEA 5 Verw. Nord	**15,5 m**	5.500	1.100	ggf. KVV
	CPT WEA 5 Verw. Ost		5.500	1.100	
	CPT WEA 5 Verw. Süd		5.500	1.100	
	CPT WEA 5 Verw. West		5.500	1.100	
KVV = Kiesvorverdichtung					

[1] gemeint ist die allein durch die Mantelreibung aufnehmbare Zugkraft, hinsichtlich der Standsicherheit verweisen wir auf Kapitel 5.7

[2] Begrenzung des charakteristischen Pfahlwiderstandes siehe hierzu Kapitel 5.5

Hinweis: Bei den Standorten WEA 1 und WEA 4 bietet sich im Hinblick auf die Abtragung von Druckkräften eine Pfahlabsetztiefe von t = 10 m unter GOK an. Bei dieser Tiefe lassen sich allerdings die angegebenen Zugkräfte rechnerisch nicht mehr nachweisen. Somit bestehen folgende Optionen:

A) Anpassung der Statischen Berechnung zur Reduzierung der Zugkräfte

B) Verlängerung der Pfahlabsetztiefe auf t ≥ 13,0 m (siehe Kapitel 5.7)

C) Ausführung von statischen Probebelastungen an einer Pfahlgruppe

Bei wechselhaften Baugrundverhältnissen in der Absetztiefe des Pfahlfußes kann eine Anpassung anhand der Rammkriterien vor Ort erfolgen. In Abhängigkeit von den Rammergebnissen oder bei kürzerer Absetztiefe (in gering tragfähigen Böden) kann auch in weiteren Bereichen eine Kiesvorverdichtung (KVV) erforderlich werden. Die erforderliche Tragfähigkeit ergibt sich nach den Kriterien von *Jörß* (vgl. Grundbautaschenbuch, Teil 2, 3. Auflage, Seite 488) anhand des Fußvolumens und der dabei benötigten Schlagzahlen beim letzten Meter. Nach der Erfahrung wird ein Fußvolumen von etwa 0,5 bis 1,0 m³ erforderlich.

5.4 Bohrpfahl (DIN EN 1536)

Klassische Bohrpfähle werden in der DIN EN 1536 beschrieben. Der anstehende Boden wird nicht verdrängt, sondern durch Greifer, Bohreimer oder Schnecken vollständig gefördert. Die Stützung der Bohrlochwand erfolgt in der Regel durch eine Verrohrung.

Nach dem Erreichen der vorgesehenen Endtiefe erfolgen das Einstellen des Bewehrungskorbes und das Betonieren. Bei diesem Pfahltyp sind folgende Punkte besonders zu beachten:

- Das Durchdringen von dicht oder sehr dicht gelagerten Sanden oder Böden mit eingelagerten Hindernissen ist gerätetechnisch in der Regel möglich.
- Eine Anpassung an wechselnde Baugrundverhältnisse kann praktisch nur über die Pfahllänge erfolgen.
- Die Herstellung geneigter Pfähle ist nur sehr eingeschränkt möglich. Daher müssen nennenswerte Horizontalkräfte weitgehend über die seitliche Bettung aufgenommen werden.

- Bei gespannt anstehendem Grundwasser müssen Maßnahmen zur Vermeidung eines Aufbruchs der Bohrlochsohle (z. B. Arbeiten mit Wasserauflast) vorgesehen werden.

Der Nachweis der äußeren Tragfähigkeit der Bohrpfähle erfolgt in der Anlage 9. Es ergeben sich folgende charakteristische Grenztragfähigkeiten **R_k** (Designwert: $R_d \approx R_k / 1{,}6$):

Tabelle 34 Äußere Tragfähigkeit der Großbohrpfähle Ø 100 cm

Ansatzpunkt		Anlage	Tiefe u. OK CPT	Druck $R_{c,k}$ in kN ($R_{c,k,max} \approx$ 7.500 kN [2])	Zug [1] $R_{t,k}$ in kN
WEA 1	14 x Bohrpfähle Ø 100 cm für WEA (Variante C)				
	CPT WEA 1 Nord	Anlage 9.1.3	34,0 m	6,982	5,568
			34,5 m	**7,095**	**5,681**
			35,0 m	7,208	5,794
	CPT WEA 1 Ost	Anlage 9.2.3	34,0 m	8,688	6,332
			34,5 m	**8,876**	**6,520**
			35,0 m	9,065	6,709
	CPT WEA 1 Süd	Anlage 9.3.3	34,0 m	9,204	6,770
			34,5 m	**9,393**	**6,958**
			35,0 m	9,581	7,146
	CPT WEA 1 West	Anlage 9.4.3	34,0 m	8,038	6,153
			34,5 m	**8,189**	**6,304**
			35,0 m	8,339	6,454
WEA 2	14 x Bohrpfähle Ø 100 cm für WEA (Variante C)				
	CPT WEA 2 Nord	Anlage 9.5.3	34,0 m	7,440	5,712
			34,5 m	**7,578**	**5,850**
			35,0 m	7,716	5,988
	CPT WEA 2 Ost	Anlage 9.6.3	34,0 m	7,233	5,662
			34,5 m	**7,359**	**5,788**
			35,0 m	7,484	5,913
	CPT WEA 2 Süd	Anlage 9.7.3	34,0 m	7,076	5,820
			34,5 m	**7,177**	**5,920**
			35,0 m	7,277	6,021
	CPT WEA 2 West	Anlage 9.8.3	34,0 m	7,900	6,172
			34,5 m	**8,038**	**6,310**
			35,0 m	8,176	6,448

Tabelle 35 Äußere Tragfähigkeit der Großbohrpfähle Ø 100 cm

Ansatzpunkt		Anlage	Tiefe u. OK CPT	Druck $R_{c,k}$ in kN ($R_{c,k,max} \approx$ 7.500 kN [2])	Zug [1] $R_{t,k}$ in kN
WEA 3	14 x Bohrpfähle Ø 100 cm für WEA (Variante C)				
	CPT WEA 3 Nord	Anlage 9.9.3	24,0 m	7,072	3,931
			24,5 m	**7,261**	**4,119**
			25,0 m	7,449	4,308
	CPT WEA 3 Ost	Anlage 9.10.3	24,0 m	7,190	4,755
			24,5 m	**7,143**	**4,944**
			25,0 m	7,331	5,132
	CPT WEA 3 Süd	Anlage 9.11.3	24,0 m	8,005	4,863
			24,5 m	**8,193**	**5,052**
			25,0 m	8,382	5,240
	CPT WEA 3 West	Anlage 9.12.3	24,0 m	8,006	4,864
			24,5 m	**8,195**	**5,053**
			25,0 m	8,383	5,241
WEA 4	14 x Bohrpfähle Ø 100 cm für WEA (Variante C)				
	CPT WEA 4 Nord	Anlage 9.13.3	20,0 m	7,731	5,218
			20,5 m	**7,919**	**5,406**
			21,0 m	8,108	5,595
	CPT WEA 4 Ost	Anlage 9.14.3	20,0 m	8,721	5,579
			20,5 m	**8,910**	**5,768**
			21,0 m	9,098	5,956
	CPT WEA 4 Süd	Anlage 9.15.3	20,0 m	6,344	4,773
			20,5 m	**8,040**	**4,898**
			21,0 m	8,228	5,087
	CPT WEA 4 West	Anlage 9.16.3	20,0 m	7,667	5,076
			20,5 m	**7,856**	**5,264**
			21,0 m	8,044	5,453
WEA 5 Verweyen	14 x Bohrpfähle Ø 100 cm für WEA (Variante C)				
	CPT WEA 5 Verw. Nord	Anlage 9.17.3	22,5 m	7,424	4,283
			23,0 m	**7,613**	**4,471**
			23,5 m	7,251	4,660
	CPT WEA 5 Verw. Ost	Anlage 9.18.3	22,5 m	7,029	4,280
			23,0 m	**7,217**	**4,469**
			23,5 m	7,406	4,657
	CPT WEA 5 Verw. Süd	Anlage 9.19.3	22,5 m	7,605	4,464
			23,0 m	**7,794**	**4,652**
			23,5 m	7,982	4,841
	CPT WEA 5 Verw. West	Anlage 9.20.3	22,5 m	7,085	3,943
			23,0 m	**7,273**	**4,132**
			23,5 m	7,462	4,320

[1] gemeint ist die allein durch die Mantelreibung aufnehmbare Zugkraft, hinsichtlich der Standsicherheit verweisen wir auf Kapitel 5.7

[2] Begrenzung des charakteristischen Pfahlwiderstandes siehe hierzu Kapitel 5.5

5.5 Begrenzung der Pfahlwiderstände

Unter Berücksichtigung der geotechnischen und herstellungstechnischen Randbedingungen, sowie der inneren Tragfähigkeit, sollten die jeweiligen, charakteristischen Widerstände $R_{c,k}$ der verschiedenen Pfahltypen und Querschnitte begrenzt werden. Nach unserem Dafürhalten sollte der charakteristische Widerstand $R_{c,k}$ folgende Größenordnungen nicht - ohne vorherige, erfolgreiche Ausführung statischer Probebelastungen - nennenswert überschreiten:

- Stahlbetonrammpfahl (45 / 45 cm): $R_{c,k,max} \approx$ 3.500 kN
- Ortbetonrammpfahl (Ø 51 / 62 cm): $R_{c,k,max} \approx$ 3.500 kN
- Ortbetonrammpfahl (Ø 56 cm): $R_{c,k,max} \approx$ 5.500 kN
- Bohrpfahl (Ø 100 cm): $R_{c,k,max} \approx$ 7.500 kN

5.6 Hinweise zur Pfahlgründung

Da die Pfähle einer Wechselbelastung ausgesetzt sind, muss der nach dem *Teilsicherheitskonzept* anzusetzende Teilsicherheitsbeiwert für den Pfahlwiderstand (Druck- und Zug anhand von Erfahrungswerten) von $\gamma_{s,t}$ = 1,4 auf $\gamma_{s,t}$ = 1,6 erhöht werden.

Beim Einbringen der Rammpfähle sind der “Kleine Rammbericht“ je Pfahl sowie mindestens zwei “Große Rammberichte“ zu führen. Aus diesen Werten ergibt sich eine gewisse Kontrolle über die erreichte Einbindetiefe in den tragfähigen Boden.

Die Rammpfähle werden in der Regel unter einer Neigung eingebracht. Dies wurde bei den Ermittlungen für die äußere Tragfähigkeit und die erforderlichen Pfahllängen nicht berück-sichtigt. Alle aufgeführten Längen beziehen sich auf Geländeoberkante. Die sich daraus ergebende Tiefe sollte die lotrechte Tiefe der Pfahlfußebene ab OK Drucksondierung (= GOK) sein.

Bei den Nachweisen der äußeren Pfahltragfähigkeit wurden alle Drucksondierungen des jeweiligen Standortes ausgewertet. Dabei ergeben sich Unterschiede bei der Pfahllänge. Die kürzere Pfahllänge dient dabei lediglich als Orientierung. Anzustreben ist die maximale Pfahllänge. Eine Anpassung an die Verhältnisse vor Ort und der daraus resultierende Aufwand sowie Verzögerungen sollten aufgrund der nur punktuellen Untersuchungen von vornherein eingeplant werden.

Sollten kürzere Absetztiefen der Pfähle als angegeben ausgeführt werden und/oder die Rammergebnisse keine gesicherten Erkenntnisse über die Tragfähigkeit der Pfähle ergeben, dann sind aussagefähige Probebelastungen durchzuführen. Bei unzureichender Tragfähigkeit muss bei den Pfählen, die nicht nachträglich aufgestockt bzw. verlängert werden können, mit zusätzlichen Pfählen gerechnet werden. Dies gilt insbesondere wegen der nur punktuellen Baugrunduntersuchungen, aber auch hinsichtlich unvorhersehbarer Bodenanomalien.

Das Einbringen der Rammpfähle muss mit einem Bären erfolgen, der ein günstiges Verhältnis zwischen Schlaggewicht und Pfahlgewicht besitzt, damit die erforderlichen Einbindetiefen bzw. Pfahlabsetztiefen erreicht werden können.

Wegen der zu erwartenden harten Rammung im Bereich der bereichsweisen anstehenden dicht gelagerten und sehr dicht gelagerten Sande, können Beschädigungen der Pfähle oder das Nicht-Erreichen der geplanten Endtiefe nicht ausgeschlossen werden. Bei den Ortbetonrammpfählen wären zudem Einschnürungen des Betonquerschnittes möglich. Daher sollten bauseits zur Qualitätssicherung Integritätsmessungen an den Pfählen durchgeführt werden.

Entspannungsbohrungen, mit denen die Pfähle durch Zonen erhöhter Bodenfestigkeiten hindurch gebracht werden sollen oder anderweitige Erkundungsbohrungen (z. B. für Kampfmitteluntersuchungen), sind im Vorfeld mit dem Baugrundgutachter abzustimmen.

Es ist zu beachten, dass die sehr großen Rammtiefen bei diesem Pfahlsystem eine besonders leistungsstarke Zugeinrichtung notwendig machen, um das Pfahlrohr ziehen zu können. Dies setzt auch einen tragfähigen Aufbau der Rammebene voraus.

Wenn Horizontalkräfte über die Pfahlbettung bzw. die Biegung der Pfähle in den Baugrund eingeleitet werden, oder aus sonstigen Gründen eine Zusatzbewehrung erforderlich wird, muss diese bei Fertigpfählen ausreichend lang angeordnet werden. Ansonsten würde sie beim Kappen der Fertigpfähle entfallen, falls diese - eine ausreichende Tragfähigkeit vorausgesetzt - nicht auf die geplante Absetztiefe gerammt werden können.

5.7 Standsicherheit der Tiefgründung - Aufnahme von Zugkräften

Wirkt auf die Gründung das volle Moment aus Winddruck, werden die Pfähle (in Abhängigkeit von der gewählten Systemvariante) mit einer maximalen, charakteristischen Zugkraft von $F_{t,k}$ = 419 bis 770 kN belastet.

Für die Standsicherheit der Windenergieanlage muss gewährleistet sein, dass die Gewichtskraft des am Pfahl anhaftenden Bodens größer als die auftretende Zugkraft ist. Anhand von überschlägigen und exemplarischen Ermittlungen, wurde die zulässige Zugbelastung als charakteristischer Wert veränderlicher, destabilisierender Einwirkungen $Q_{dst,rep}$ im Grenzzustand UPL (alt: GZ1A) nach dem Teilsicherheitskonzept bestimmt (vgl. Anlage 10.1.1 bis 10.3.1). Die Kubaturbreiten in radialer Richtung wurden für den Einzelpfahl gesondert ausgewertet (vgl. Anlage 10.4.1 bis 10.4.16)

Auf Basis der Ergebnisse ergeben sich für die unterschiedlichen Pfahlsystemvarianten die in den Tabellen 36 bis 38 aufgeführten Ausnutzungsgrade. Bei den Berechnungen wurde der Standort WEA 4 gewählt, da hier aufgrund der Baugrundverhältnisse die kürzesten Pfahllängen zu erwarten sind. Anhand des Pfahlkreisdurchmessers (gemäß Fundamentdatenblatt) wurde der Pfahlabstand für die verschiedenen Varianten ermittelt:

Tabelle 36 Nachweis gegen Abheben des Bodenblockes für Zugpfahlgruppen (Variante A)

Tiefe unter OK DS / CPT	Pfahllänge ab UK Fundament	Pfahlsystem	Pfahlabstand *)	Ausnutzungsgrad $\mu = F_{t,k} / Q_{dst,k,Einzel}$
17,5 m	17,5 m	Variante A 30 x Fertigteilrammpfahl 45 cm / 45 cm oder Ortbetonrammpfahl Ø 51 cm	1,6 m x 6,6 m	419 / 746 = 0,56 < 1,0
*) vereinfachte Annahme				

Tabelle 37 Nachweis gegen Abheben des Bodenblockes für Zugpfahlgruppen (Variante B)

Tiefe unter OK DS / CPT	Pfahllänge ab UK Fundament	Pfahlsystem	Pfahlabstand *)	Ausnutzungsgrad $\mu = F_{t,k} / Q_{dst,k,Einzel}$
10,0 m	10,0 m	Variante B 24 x Ortbeton-rammpfahl Ø 56 cm	2,1 m x 2,3 m	480 / 186 = 2,58 > 1,0
13,0 m	13,0 m		2,1 m x 4,6 m	480 / 473 = 1,02 ≥ 1,0 [1)]
13,5 m	13,5 m		2,1 m x 5,0 m	480 / 528 = 0,91 < 1,1
*) vereinfachte Annahme [1)] unten stehenden Hinweis beachten				

Tabelle 38 Nachweis gegen Abheben des Bodenblockes für Zugpfahlgruppen (Variante C)

Tiefe unter OK DS / CPT	Pfahllänge ab UK Fundament	Pfahlsystem	Pfahlabstand *)	Ausnutzungsgrad $\mu = F_{t,k} / Q_{dst,k,Einzel}$
20,5 m	20,5 m	Variante C 14 x Bohrpfahl Ø 100 cm	3,4 m x 9,0 m	770 / 2370 = 0,33 < 1,0
*) vereinfachte Annahme				

Nach dem Teilsicherheitskonzept ist ein Ausnutzungsgrad von $\mu \leq 1,0$ nachzuweisen. Wie aus den Ergebnissen ersichtlich, wird der Nachweis bei den Pfahlsystemen A und C (Fertigteilrammpfähle, Ortbetonrammpfähle mit Außenrammung sowie den Großbohrpfählen) aufgrund der großen Pfahllängen eingehalten. Bei den deutlich kürzeren und nur gering in den Baugrund einbindenden Ortbetonrammpfählen mit Innenrammung kann bei der für die Abtragung der Druckkräfte zunächst angedachten Absetztiefe von t = 10,0 m keine ausreichende Standsicherheit nachgewiesen werden. Hier ist somit eine Anpassung der Pfahlabsetztiefe notwendig.

[1)] Hinweis: Bei einer Absetztiefe von t = 13,0 m wird die zulässige Auslastung am Standort WEA 4 für die Ortbetonrammpfähle mit Innenrammung minimal überschritten. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass nicht alle Pfähle mit der gleichen Zugkraft belastet werden. Bereits die angrenzenden Pfähle des maximal belasteten Zuggliedes erhalten eine immer geringer werdende Einwirkung (solange, bis sich die Zuglast auf dem Niveau 0 bewegt und mit jedem weiteren, angrenzenden Pfahl zur Druckbelastung wird). Eine Verlängerung der Ortbetonrammpfähle auf t = 13,5 m unter GOK ist im Hinblick auf den Verlauf der Drucksondierungen (Stichworte:

Große Einbindetiefe in hoch tragfähige Sande sowie die Polsterstärke unter dem Pfahlfuß) nicht zu empfehlen. Die Absetztiefe von t = 13,0 m am Standort WEA 4 sollte daher zusammenfassend für dieses Pfahlsystem beibehalten werden. Sollen hingegen kürzere Pfahlabsetztiefen aufgeführt werden, so sind statische Probepfähle an einer Pfahlgruppe (3 Pfähle) auszuführen oder die Pfahlbemessung ist so anzupassen, dass die Zugkräfte deutlich reduziert werden.

6 Aufnahme des Frischbetoneigengewichtes

Nach den Ergebnissen der Drucksondierungen und der Aufschlussbohrungen handelt es sich bei den unterhalb der Gründungsebene des Fundamentes bei GOK anstehenden Schichten zunächst um Auffüllungen und Wechsellagerungen aus Weichschichten und Sanden, die einen für die Aufnahme des Frischbetoneigengewichtes unzureichend tragfähigen Baugrund darstellen. Nach den Ergebnissen der Trockenbohrungen muss mit folgenden Mindesttiefen der oberflächennah anstehenden, kompressiblen Weichschichten gerechnet werden:

WEA 1	→	t = 5,8 m unter GOK
WEA 2	→	t = 5,0 m unter GOK
WEA 3	→	t = 3,6 m unter GOK
WEA 4	→	t = 2,5 m unter GOK
WEA 5 Verweyen	→	t = 4,0 m unter GOK

Ein vollständiger und weiträumiger Aushub der oberflächennahen Weichschichtungen ist aus wirtschaftlicher Sicht wahrscheinlich nicht vertretbar. Gleichwohl sollte ein Teilaushub und eine Begrenzung des Frischbetoneigengewichtes aus dem ersten Betonierabschnitt erfolgen. Der erste Abschnitt bildet hierbei die Tragkonstruktion für den folgenden Abschnitt. Hierbei ist die maximale Pressung aus dem Betoneigengewicht beim ersten Betonierabschnitt des Fundamentes auf etwa σ_{zul} **= 25 kN/m²** zu begrenzen. Zuvor ist ein Füllsandpolster (SE, SW, GE oder GW) an den Standorten WEA 1 und WEA 2 in einer Stärke von **d = 1 m** unter GOK anzuordnen. Bei den Standorten WEA 3 bis WEA 5 sollte der unterlagernde und bis in t = 2,8 m bis 3,5 m Tiefe anstehende, stark kompressible Torf vorsorglich komplett ausgehoben und durch Füllsand der Bodengruppen SE/SW ersetzt werden. Nach einem vollständigen Aushub des Torfes an den Standorten WEA 3 bis WEA 5 ist eine Begrenzung des Frischbetoneigengewichtes nicht mehr zwingend notwendig. Soll ein höheres Frischbetoneigengewicht an den Standorten WEA 1 und WEA 2 aufgebracht werden, so kann eine Festlegung nach Inaugenscheinnahme der Aushubebene und ggf. ergänzender Untersuchungen durch den Baugrundgutachter getroffen werden.

Alternativ ist die Anwendung des sogenannten Überschüttverfahrens zu prüfen, bei dem mittels Vertikaldränagen (Rastermaße: ca. 0,8 bis 1,0 m) eine Beschleunigung des Setzungsverhaltens erzielt wird. Ziel der Maßnahmen ist eine Verbesserung der Tragfähigkeit der anstehenden Weichschichten, eine Reduzierung möglicher Einwirkungen aus dem Seitendruck auf Pfähle sowie eine Minimierung der weiter zu erwartenden Setzungen.

Beim Überschüttverfahren mit Vertikaldrains ist ein Vorlauf für die Aktivierung nennenswerter Setzungsanteile von mindestens 3 bis 4 Monaten einzuplanen.

7 Seitendruck auf Pfähle und negative Mantelreibung

Nach den Angaben zur Fundamentgeometrie ist eine seitliche An- und Aufschüttung mit einer maximalen Höhe von h = 2,8 m geplant. Diese nicht unerhebliche Bodenauflast wirkt auf die unterlagernden, minder tragfähigen Schichtungen setzungserzeugend. Hieraus können zudem Einwirkungen aus *negativer Mantelreibung* und ggf. auch aus dem sogenannten *Seitendruck* (oder Fließdruck) auf Pfähle resultieren.

Die Pfähle müssen für derartige Einwirkungen bemessen werden. Ist dies nicht möglich, müssen die Einwirkungen von den Pfählen abgeschirmt werden (z.B. mittels Spundwand) oder durch eine Vorbelastung der Weichschichten (z.B. mittels Überschüttverfahren inkl. Vertikaldränagen). Werden die minder tragfähigen Schichtungen unter dem Fundament und unter der Aufschüttfläche unter Beachtung einer Lastausbreitung von 45° ausgetauscht (Tiefenlagen gemäß Kapitel 6), sind ein Ansatz von *negativer Mantelreibung* und eine Berücksichtigung einer Biegebeanspruchung aus dem Seitendruck nicht notwendig. Üblicherweise sind Aushubtiefen von t > 3 m wirtschaftlich nicht mehr sinnvoll darstellbar.

Ob Seitendruck angesetzt werden muss, wird üblicherweise anhand einer Geländebruchauswertung nach DIN 4084 (*entkleidetes System*) ermittelt. Ein wichtiger Parameter für die Nachweisführung des Seitendrucks ist die Kohäsion im undränierten Zustand. Dieser Wert muss vor Ort oder im Labor anhand ungestörter Bodenproben nachgewiesen werden.

Bei Ausnutzungen von μ > 0,75 innerhalb der Böschungsbruchberechnungen ist bei organischen Böden ein Seitendruck bei der Bemessung der Pfähle zu berücksichtigen.

Randbedingungen:

- Fundament bei GOK
- Teilbodenaustausch zur Aufnahme des Frischbetoneigengewichtes (Annahme: t = 1 m)
- Flächenlast von max. 53 kN/m² (für die Fundamentanschüttung)

Zum Nachweis der erforderlichen Scherfestigkeiten wurden überschlägige Auswertungen vorgenommen (vgl. Anlage 11). Die Ergebnisse sind nachfolgend aufgeführt.

Tabelle 39 Ergebnisse - exemplarische Böschungs- und Geländebruchauswertung

Schichtmächtigkeit Auffüllung	**Anfangsscherfestigkeit** c_u in [kN/m²]	Ausnutzung μ	**Anlage**	**Bemerkung**
1,0 m	15	1,04	11.1	
	20	0,85	11.2	
	25	0,72	11.3	
	24	0,74	11.4	Optimierung

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in der Anlage 11 aufgeführt.

Es ergibt sich eine rechnerische Ausnutzung von $\mu = 0{,}74$, wenn die Kohäsion im undränierten Zustand $c_U \geq 24$ kN/m² beträgt. Bei diesem Eingangswert (≥) kann auf einen Ansatz des Seitendrucks verzichtet werden. Liegen die Werte darunter, dann muss mit Seitendruck auf die Pfähle gerechnet werden. Aus geotechnischer Sicht bietet sich die Ausführung des Überschüttverfahrens inkl. Anordnung von Vertikaldränagen an (siehe auch Kapitel 6).

Die Lasten der eingesetzten Geräte sind dementsprechend zu prüfen und es ist der Einsatz von ausreichenden Baggermatten zur Reduzierung der Flächenlasten vorzusehen. Auch die übrigen geometrischen Randbedingungen sowie die Bodenverhältnisse sind zu kontrollieren.

Wegen der inhomogenen Schichtungen sollten die Scherwiderstände vor Ort mittels Flügelscherversuchen im Schüttbereich an mehreren Stellen vor einer Lastaufbringung (Bagger und Fundamentandeckung) gesondert nachgewiesen werden. In Abhängigkeit von der Plastizitätszahl oder der Bodenart sind hierbei Korrekturfaktoren zu berücksichtigen.

8 Hinweis zum Erdbau

Die Baggerarbeiten sind nur vor Kopf mit einer glattkantigen Baggerschaufel ohne Reißzähne auszuführen, da anderenfalls unnötige Auflockerungen erzeugt werden. Dennoch aufgeweichte Bereiche sind gegen Füllsand oder Magerbeton zu ersetzen. Wir empfehlen die Abnahme der Baugrubensohle durch den Baugrundgutachter oder einen fachkundigen Vertreter des Bauherrn.

9 Wasserhaltung

Bei den Bohrarbeiten wurde Grund- bzw. Schichtenwasser in t = 0,1 m bis 2,3 m Tiefe eingemessen. Für die Erd- und Gründungsarbeiten wird somit eine Wasserhaltung erforderlich. Diese sollte bei den anstehenden Baugrundverhältnissen möglichst mittels Horizontaldrainage erfolgen. Tiefbrunnen oder Spülfilter können in den Weichschichten nur eingeschränkt wirksam betrieben werden. Die Drainagegräben sollten mit abgestuftem Filtermaterial (zum Beispiel Granulat oder Kiessand) verfüllt werden. Die Stränge sind ausreichend tief zu verlegen. Wir empfehlen, eine Überdeckung der Drainagerohre von mindestens 0,8 m (unter Berücksichtigung eines ggf. erforderlichen Mehraushubes) sicherzustellen. Die Abstände der Drainagestränge untereinander sollten - prinzipiell bzw. vereinfacht - nicht nennenswert über 4 m liegen.

Das Grundwasser kann unterhalb wassersperrender Weichschichten gespannt anstehen. Somit können in Abhängigkeit von der Druckhöhe und der Aushubtiefe gesonderte Entspannungsmaßnahmen erforderlich werden. Im Hinblick auf die derzeit vorgesehenen Fundamentanordnung ab Geländeoberkante und der damit verbundenen, geringen Aushubtiefe wären Entspannungsmaßnahmen nicht notwendig. Da jedoch bei den Standorten WEA 1 und WEA 2 die Anordnung eines Lastverteilungspolsters und bei den Standorten WEA 3 bis WEA 5 ggf. sogar ein vollständiger Bodenaustausch (Aushub des stark kompressiblen Torfes) notwendig werden kann, ist eine fachgerechte Dimensionierung, Planung und Begleitung einer Wasserhaltung in Abhängigkeit von der tatsächlichen Aushubtiefe durch einen Fachbetrieb erforderlich.

10 Baugrubensicherung

Bei den anstehenden Baugrundverhältnissen ist eine Abböschung unbelasteter Böschungen unter 45° grundsätzlich vertretbar (vgl. hierzu *Merkblatt BG Bau*). Bis zu einer Tiefenlage von maximal 1,2 m unter GOK ist auch eine senkrechte Baugrubenböschung zulässig. Letztere Option ist allerdings aus baupraktischen Gründen für die Baugrube der Windenergieanlage nur eingeschränkt zu empfehlen, da Abbrüche der Böschungskanten kaum zu vermeiden sind.

Eine geordnete Abfuhr von Oberflächenwasser ist zur Vermeidung von Ausspülungen im Böschungsbereich sicherzustellen. Werden Elemente der Wasserhaltung auch außerhalb der eigentlichen Baugrube angeordnet, kann eine Reduzierung des Wasserdrucks im Böschungsbereich erzielt und damit eine zusätzliche Stabilisierung der Böschung (insbesondere bei den Weichschichten) erreicht werden.

11 Standsicherheit der Pfahlherstellungsgeräte und der Kräne

Die Ausführung der Arbeitsebene für das Ramm- oder Bohrgerät soll gemäß Spezifikation vom Baugrundgutachter vorgegeben werden. Aufgrund des derzeitigen Planungs- und Beauftragungsstandes liegen noch keine Lastangaben vor. Nach Vorlage der Angaben zur Spannungsverteilung unter den Kettenfahrwerken und der Einwirkungen auf die Abstützungen können gesonderte Nachweise geführt werden. Die Bewertung muss daher nach Vorlage der noch ausstehenden Belastungen nachgereicht werden.

Für die weitere Planung kann zunächst folgender, exemplarischer Mindestaufbau zugrunde gelegt werden, der später mit den tatsächlichen Lasten abzugleichen ist:

- ⇨ Schottertragschicht
  - o 0/32 oder 0/45
  - o d = 0,2 bis 0,3 m
- ⇨ Füllsand
  - o SE/SW
  - o d = 0,7 bis 1,2 m
- ⇨ Geokunststoff / Vlies
  - o min. GRK 3
  - o Übergreifungslänge (unter Beachtung der Rammeinflüsse)
- ⇨ Dränageanordnung
  - o zur Abfuhr von Stauwasser und zur Vermeidung von Aufweicherscheinungen

12 Schlussbemerkung

Unterhalb der Gründungsebene der Windenergieanlagen, das heißt ab GOK, wurden Auffüllungen und Wechsellagerungen aus kompressiblen Weichschichten und Sanden angetroffen. Die Weichschichtungen stellen aufgrund ihres erheblichen Setzungspotenzials keinen geeigneten Baugrund für eine Flachgründung von Windenergieanlagen dar. Die gebotene Gründungsart ist daher eine Tiefgründung auf Pfählen.

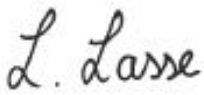
Zur Sicherstellung der Aufnahme des Frischbetoneigengewichtes sowie zur Vermeidung eines Ansatzes von *negativer Mantelreibung* und ggf. auch von *Seitendruck* auf Pfähle bietet sich ein Austausch der oberflächennahen Auffüllungen und Weichschichten, wie unter Kapitel 6 und 7 beschrieben, an. Aufgrund der Tiefenlage der Weichschichten (insbesondere des Torfes) dürfte ein tief reichender Bodenaustausch wirtschaftlich allerdings schwer darstellbar sein. Alternativ bietet sich eine frühzeitige Vorbelastung der Weichschichten im Überschüttverfahren in Kombination mit einer Vertikaldränage (Rastermaß ca. 0,8 bis 1,0 m) an.

Beim Standort WEA 4 lassen die Drucksondierergebnisse in größerer Tiefe auf eine nennenswerte Schichtung aus einem Torf-Sand-Gemisch oder einem Schluff-Ton-Gemisch schließen. Während diese in der Bohrung nur eine Schichtdicke von d = 2,5 m aufweist, lassen die vergleichbaren Sondierwiderstände auf eine Schichtdicke von d = 8,0 m schließen. Diese Schichtdicke ist ungewöhnlich hoch und liegt außerhalb bisheriger Erfahrungen. Vorsorglich wurde diese Schichtung ungünstig angesetzt, da eine tiefere Bohrung im Bereich der Drucksondierung nicht vorliegt. Es liegt nahe, dass es sich vorwiegend um ein Schluff-Ton-Gemisch handelt, in dem nur bereichsweise Torf eingelagert ist.

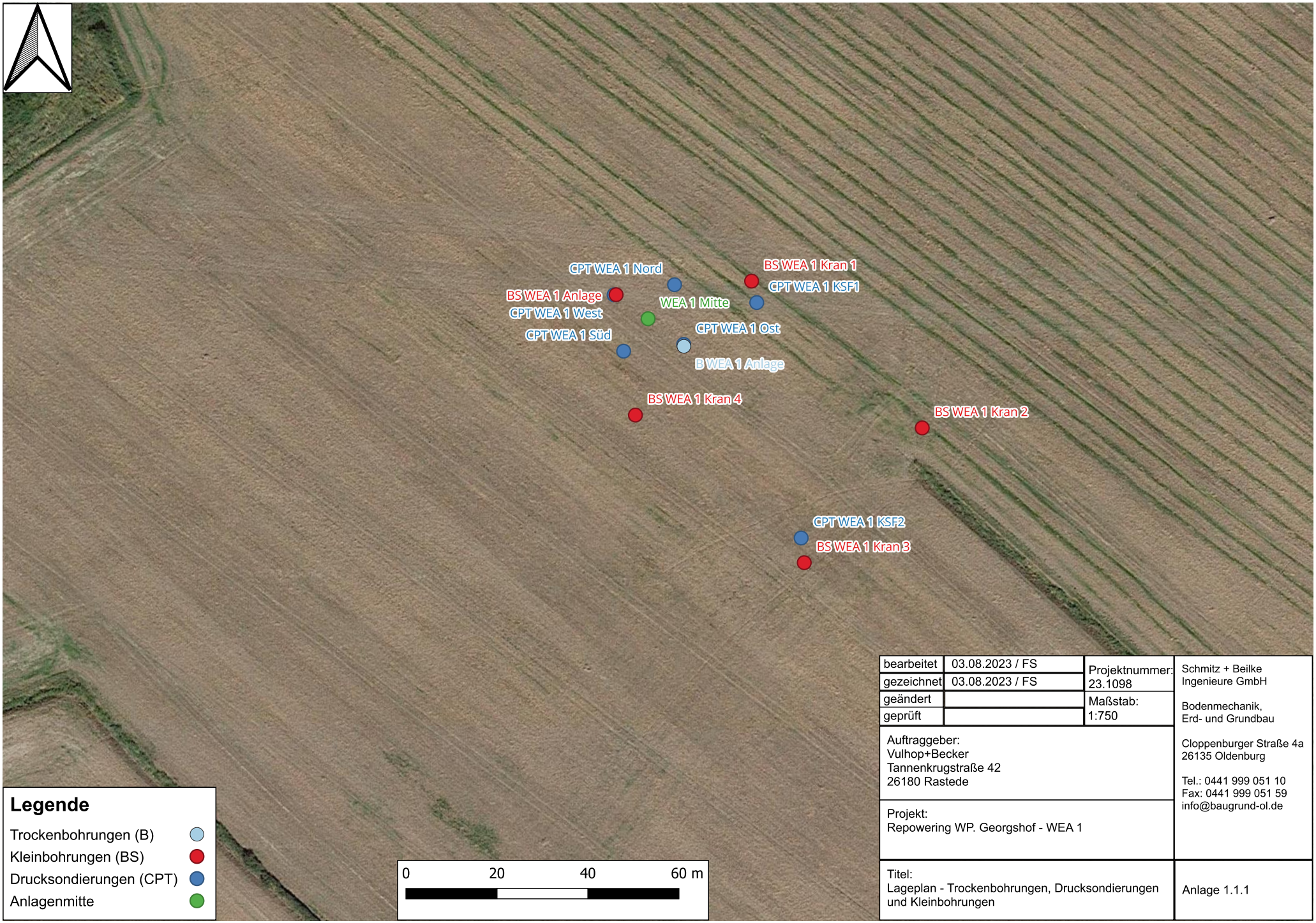
Die Errichtung der Kran- und Montagefläche ist nicht Gegenstand der vorliegenden Ausarbeitung. Wir weisen darauf hin, dass für eine sichere Gründung des Montagekranes zusätzliche Maßnahmen erforderlich werden (z. B. Bodenaustausch, Lastverteilungsplatten, etc.).

Oldenburg, 24.10.2023

Dipl.-Ing. Ralf Schmitz



Leonie Lasse, B. Eng.



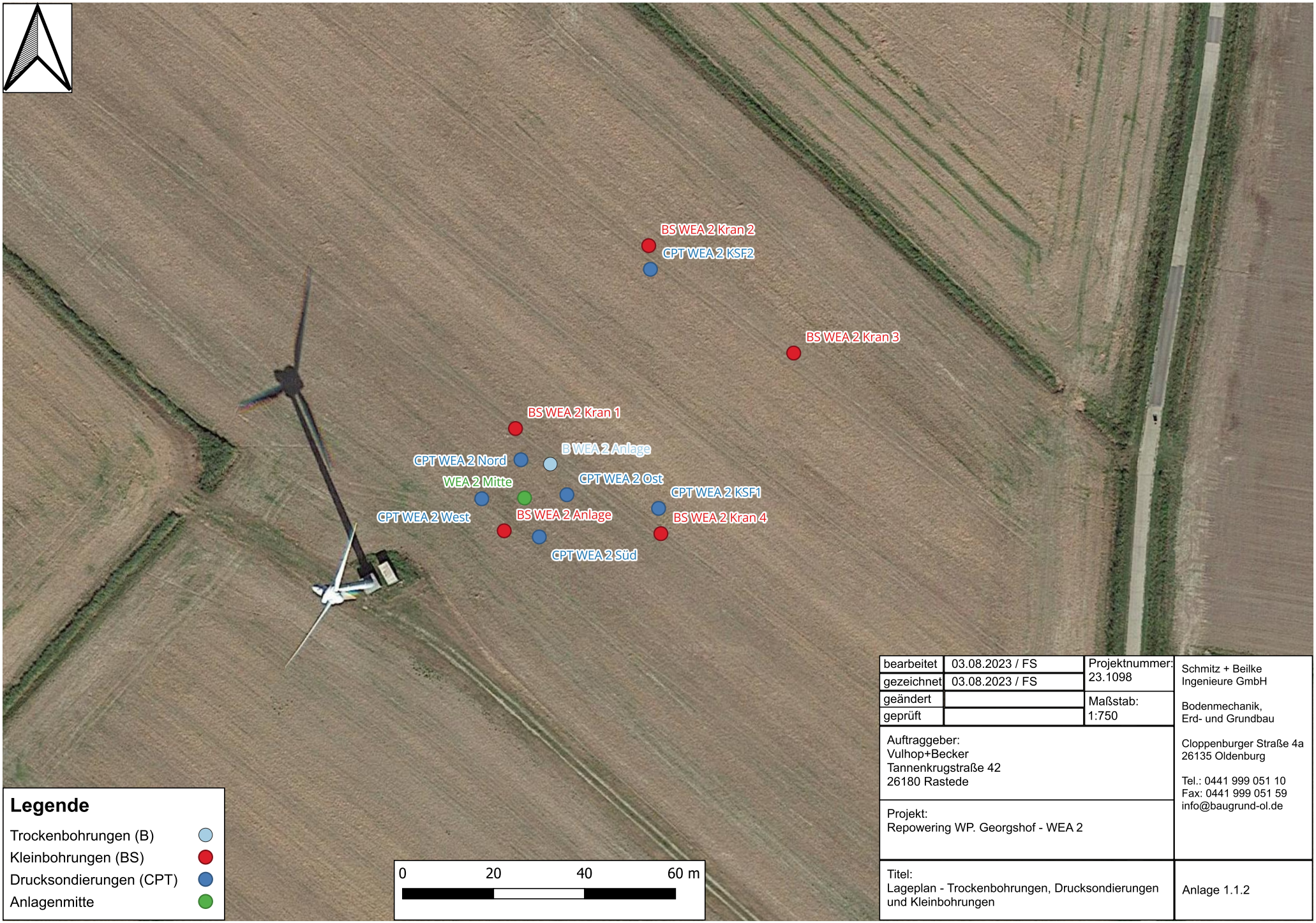
bearbeitet	03.08.2023 / FS	Projektnummer: 23.1098	Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Bodenmechanik, Erd- und Grundbau Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg Tel.: 0441 999 051 10 Fax: 0441 999 051 59 info@baugrund-ol.de
gezeichnet	03.08.2023 / FS		
geändert		Maßstab: 1:750	
geprüft			

Auftraggeber:
Vulhop+Becker
Tannenkrugstraße 42
26180 Rastede

Projekt:
Repowering WP. Georgshof - WEA 1

Titel:
Lageplan - Trockenbohrungen, Drucksondierungen und Kleinbohrungen

Anlage 1.1.1



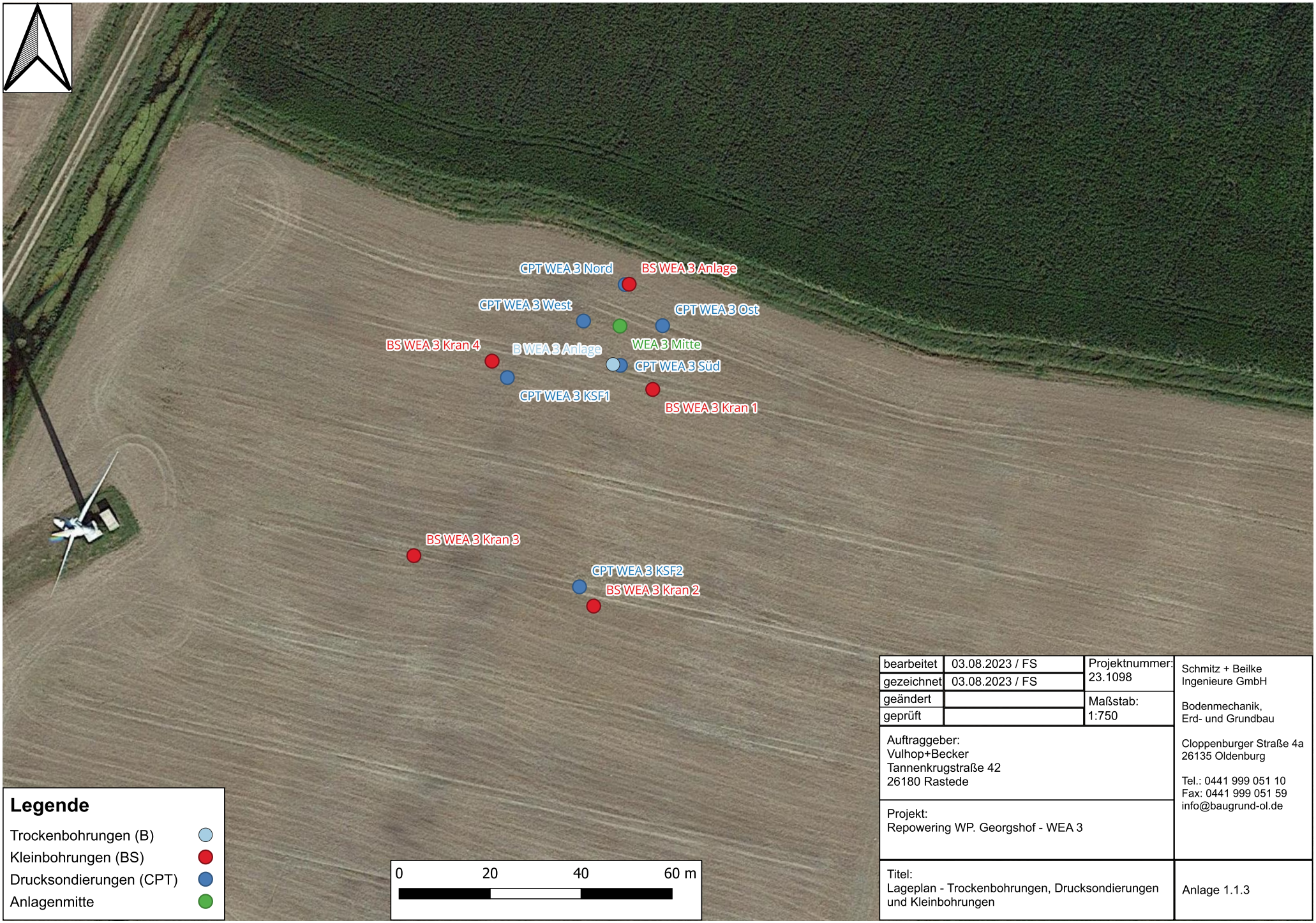
bearbeitet	03.08.2023 / FS	Projektnummer: 23.1098	Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Bodenmechanik, Erd- und Grundbau Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg Tel.: 0441 999 051 10 Fax: 0441 999 051 59 info@baugrund-ol.de
gezeichnet	03.08.2023 / FS		
geändert		Maßstab: 1:750	
geprüft			

Auftraggeber:
Vulhop+Becker
Tannenkrugstraße 42
26180 Rastede

Projekt:
Repowering WP. Georgshof - WEA 2

Titel:
Lageplan - Trockenbohrungen, Drucksondierungen und Kleinbohrungen

Anlage 1.1.2



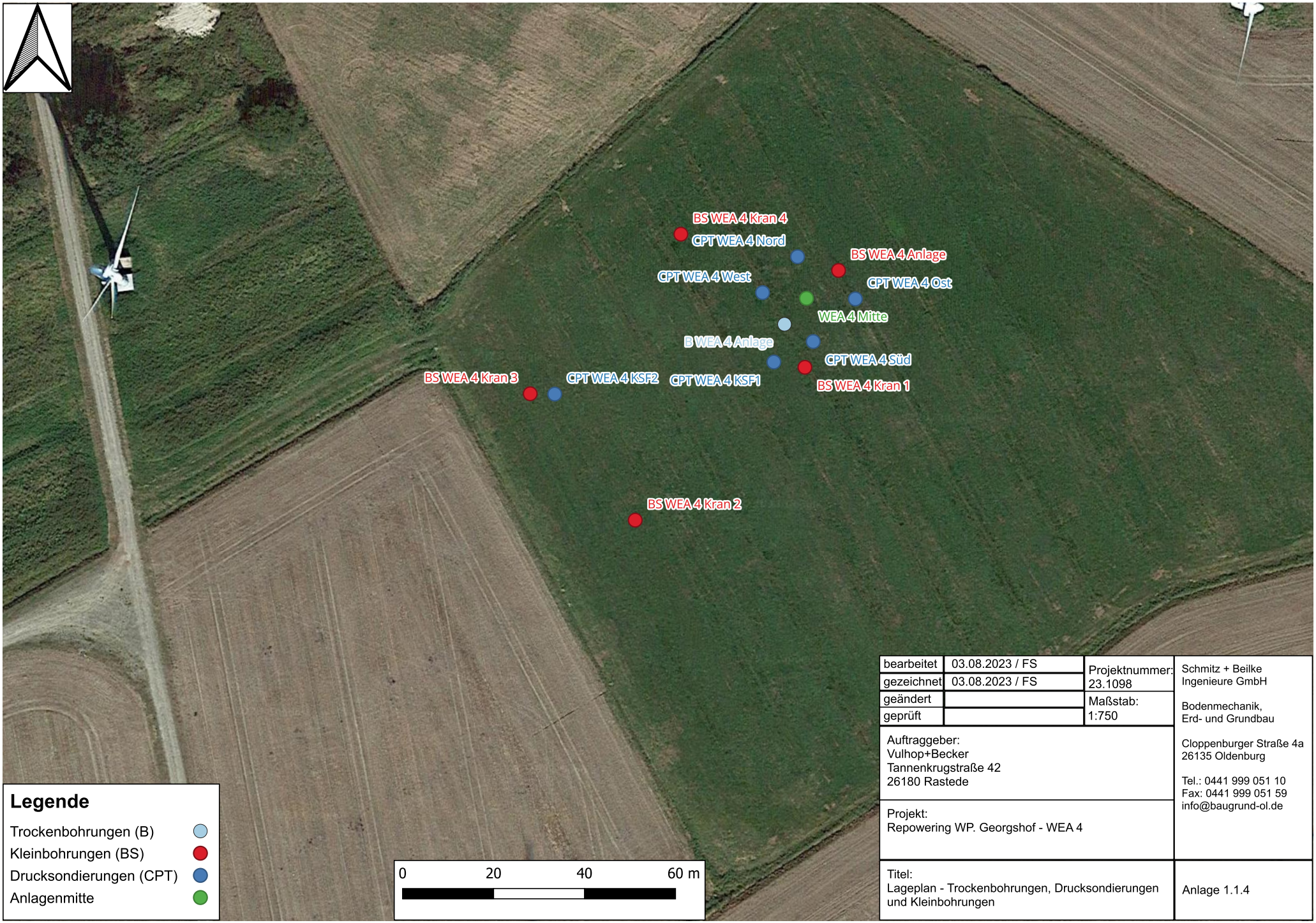
bearbeitet	03.08.2023 / FS	Projektnummer: 23.1098	Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Bodenmechanik, Erd- und Grundbau Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg Tel.: 0441 999 051 10 Fax: 0441 999 051 59 info@baugrund-ol.de
gezeichnet	03.08.2023 / FS		
geändert		Maßstab: 1:750	
geprüft			

Auftraggeber:
Vulhop+Becker
Tannenkrugstraße 42
26180 Rastede

Projekt:
Repowering WP. Georgshof - WEA 3

Titel:
Lageplan - Trockenbohrungen, Drucksondierungen und Kleinbohrungen

Anlage 1.1.3



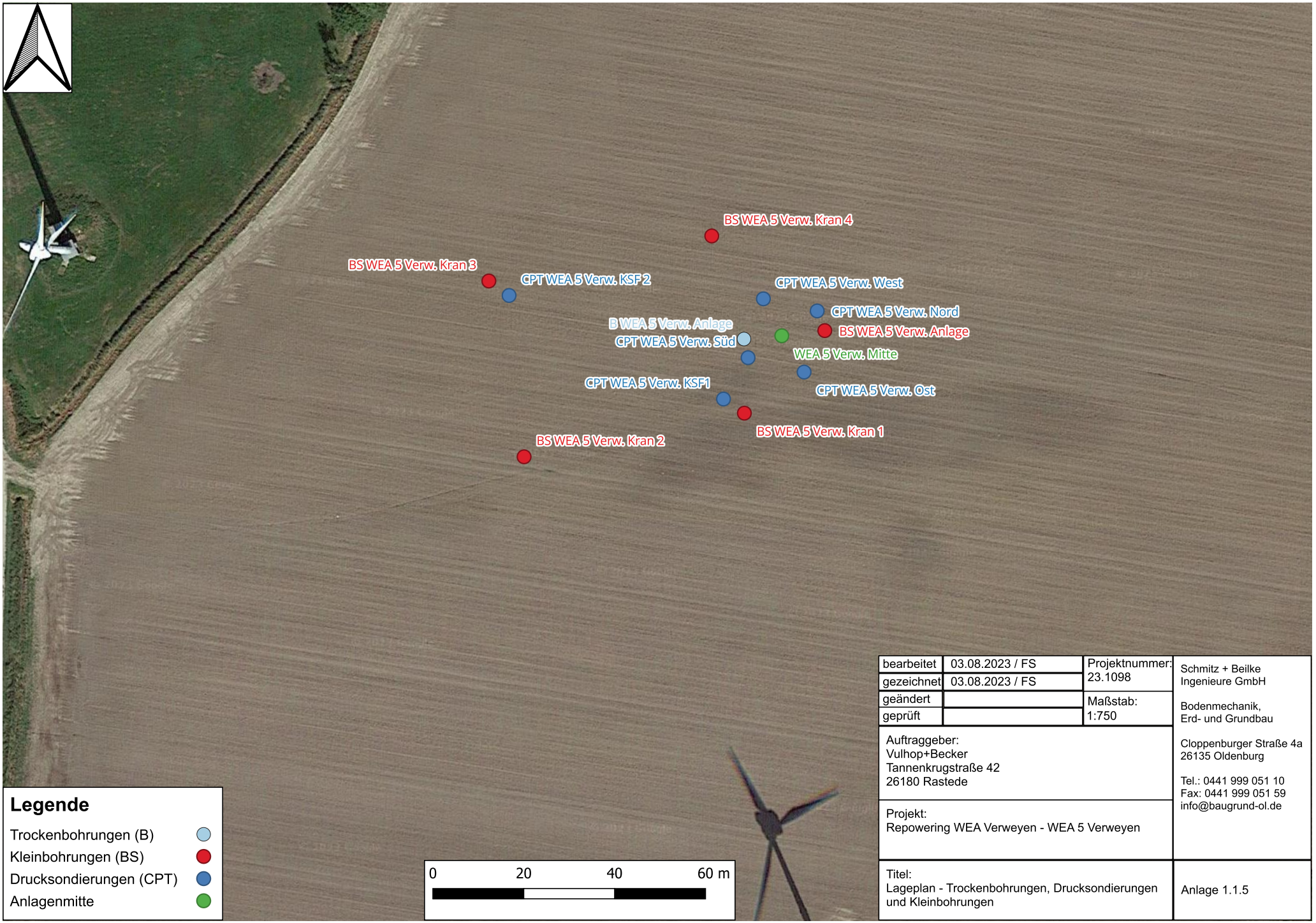
bearbeitet	03.08.2023 / FS	Projektnummer: 23.1098	Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Bodenmechanik, Erd- und Grundbau Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg Tel.: 0441 999 051 10 Fax: 0441 999 051 59 info@baugrund-ol.de
gezeichnet	03.08.2023 / FS		
geändert		Maßstab: 1:750	
geprüft			

Auftraggeber:
Vulhop+Becker
Tannenkrugstraße 42
26180 Rastede

Projekt:
Repowering WP. Georgshof - WEA 4

Titel:
Lageplan - Trockenbohrungen, Drucksondierungen und Kleinbohrungen

Anlage 1.1.4



bearbeitet	03.08.2023 / FS	Projektnummer: 23.1098	Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Bodenmechanik, Erd- und Grundbau Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg Tel.: 0441 999 051 10 Fax: 0441 999 051 59 info@baugrund-ol.de
gezeichnet	03.08.2023 / FS		
geändert		Maßstab: 1:750	
geprüft			

Auftraggeber:
Vulhop+Becker
Tannenkrugstraße 42
26180 Rastede

Projekt:
Repowering WEA Verweyen - WEA 5 Verweyen

Titel:
Lageplan - Trockenbohrungen, Drucksondierungen und Kleinbohrungen

Anlage 1.1.5

Projekt:	Auftraggeber:	Projektnummer:	SBI SCHMITZ + BEILKE INGENIEURE GMBH
Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen	**Vulhop+Becker GmbH Tannenkrugstraße 42 26180 Rastede**	**23.1098**	
Art: **Koordinatenliste der Baugrundaufschlüsse**		Datum: **03.08.2023**	**Anlage 1.2.1**

Koordinatenbezugssystem:

X	ETRS89 / UTM Zone 32
	DHDN / Gauß-Krüger Zone 3

Lage und Höhe der Aufschlusspunkte *

Aufschlusspunkt	Rechtswert	Hochwert	Höhe in m NHN
WEA 01 Mitte	32395054,853	5944476,540	0,87
B WEA 01 Anlage	32395062,714	5944470,478	0,90
BS WEA 01 Anlage	32395047,822	5944481,827	0,92
BS WEA 01 Kran1	32395077,612	5944484,813	0,88
BS WEA 01 Kran2	32395115,121	5944452,522	0,79
BS WEA 01 Kran3	32395089,181	5944422,878	0,74
BS WEA 01 Kran4	32395052,068	5944455,348	0,82
CPT WEA 01 Norden	32395060,668	5944484,019	0,83
CPT WEA 01 Osten	32395062,714	5944470,899	0,90
CPT WEA 01 Süden	32395049,475	5944469,401	0,79
CPT WEA 01 Westen	32395047,385	5944481,810	0,95
CPT WEA 01 KSF1	32395078,737	5944480,090	0,80
CPT WEA 01 KSF2	32395088,499	5944428,308	0,83
WEA 02 Mitte	32395179,953	5944212,878	0,83
B WEA 02 Anlage	32395185,383	5944220,337	0,81
BS WEA 02 Anlage	32395175,481	5944205,661	0,85
BS WEA 02 Kran1	32395177,960	5944228,162	0,84
BS WEA 02 Kran2	32395207,251	5944268,387	0,85
BS WEA 02 Kran3	32395239,121	5944244,765	0,88
BS WEA 02 Kran4	32395209,922	5944205,033	0,73
CPT WEA 02 Norden	32395179,159	5944221,288	0,83
CPT WEA 02 Osten	32395189,260	5944213,595	0,79
CPT WEA 02 Süden	32395183,188	5944204,311	0,81
CPT WEA 02 Westen	32395170,554	5944212,709	0,86
CPT WEA 02 KSF1	32395209,420	5944210,598	0,69
CPT WEA 02 KSF2	32395207,626	5944263,188	0,82
WEA 03 Mitte	32395675,892	5944127,897	0,82
B WEA 03 Anlage	32395674,362	5944119,468	0,75
BS WEA 03 Anlage	32395677,919	5944137,106	0,69
BS WEA 03 Kran1	32395683,112	5944113,965	0,78
BS WEA 03 Kran2	32395670,120	5944066,309	0,80
BS WEA 03 Kran3	32395630,593	5944077,401	0,86

* Hinweis: Die tatsächliche Lage der CTPs kann örtlich geringfügig abweichen, da nicht alle Drucksondierpunkte im Zuge der Einmessungen wiedergefunden werden konnten.

Projekt:	Auftraggeber:	Projektnummer:	SBI SCHMITZ + BEILKE INGENIEURE GMBH
Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen	**Vulhop+Becker GmbH Tannenkrugstraße 42 26180 Rastede**	**23.1098**	
Art: **Koordinatenliste der Baugrundaufschlüsse**		Datum: **03.08.2023**	**Anlage 1.2.2**

Koordinatenbezugssystem:

X	ETRS89 / UTM Zone 32
	DHDN / Gauß-Krüger Zone 3

Lage und Höhe der Aufschlusspunkte *

Aufschlusspunkt	Rechtswert	Hochwert	Höhe in m NHN
BS WEA 03 Kran4	32395647,783	5944120,189	0,84
CPT WEA 03 Norden	32395677,036	5944137,034	0,72
CPT WEA 03 Osten	32395685,270	5944127,987	0,79
CPT WEA 03 Süden	32395676,000	5944119,257	0,81
CPT WEA 03 Westen	32395667,893	5944129,011	0,82
CPT WEA 03 KSF1	32395651,142	5944116,566	0,83
CPT WEA 03 KSF2	32395667,002	5944070,540	0,80
WEA 04 Mitte	32395783,812	5943702,836	0,80
B WEA 04 Anlage	32395778,974	5943697,132	0,73
BS WEA 04 Anlage	32395790,856	5943708,969	0,76
BS WEA 04 Kran1	32395776,458	5943687,668	0,53
BS WEA 04 Kran2	32395746,152	5943654,043	0,73
BS WEA 04 Kran3	32395723,072	5943681,854	0,66
BS WEA 04 Kran4	32395756,198	5943716,951	0,74
CPT WEA 04 Norden	32395781,840	5943711,991	0,68
CPT WEA 04 Osten	32395794,550	5943702,701	0,79
CPT WEA 04 Süden	32395785,287	5943693,330	0,83
CPT WEA 04 Westen	32395774,156	5943704,091	0,46
CPT WEA 04 KSF1	32395776,629	5943688,826	0,83
CPT WEA 04 KSF2	32395728,458	5943681,780	0,81
WEA 05 Verw. Mitte	32395507,946	5944421,247	0,62
B WEA 05 Verw. Anlage	32395499,626	5944420,532	0,61
BS WEA 05 Verw. Anlage	32395517,410	5944422,381	0,60
BS WEA 05 Verw. Kran1	32395499,714	5944404,223	0,61
BS WEA 05 Verw. Kran2	32395451,240	5944394,625	0,60
BS WEA 05 Verw. Kran3	32395443,487	5944433,294	0,88
BS WEA 05 Verw. Kran4	32395492,535	5944443,205	0,72
CPT WEA 05 Verw. Norden	32395515,734	5944426,710	0,63
CPT WEA 05 Verw. Osten	32395512,853	5944413,263	0,59
CPT WEA 05 Verw. Süden	32395500,524	5944416,428	0,55
CPT WEA 05 Verw. Westen	32395503,895	5944429,370	0,63
CPT WEA 05 Verw. KSF1	32395495,120	5944407,332	0,69

* Hinweis: Die tatsächliche Lage der CTPs kann örtlich geringfügig abweichen, da nicht alle Drucksondierpunkte im Zuge der Einmessungen wiedergefunden werden konnten.

Projekt:	Auftraggeber:	Projektnummer:	SBI SCHMITZ + BEILKE INGENIEURE GMBH
Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen	**Vulhop+Becker GmbH Tannenkrugstraße 42 26180 Rastede**	**23.1098**	
Art: **Koordinatenliste der Baugrundaufschlüsse**		Datum: **03.08.2023**	**Anlage 1.2.3**

Koordinatenbezugssystem:

X	ETRS89 / UTM Zone 32
	DHDN / Gauß-Krüger Zone 3

Lage und Höhe der Aufschlusspunkte *

Aufschlusspunkt	Rechtswert	Hochwert	Höhe in m NHN
CPT WEA 05 Verw. KSF2	32395447,937	5944430,110	0,85

Zeichnerische Darstellung der Bohrergebnisse

SBI SCHMITZ + BEILKE INGENIEURE GMBH

Legende

Anlage 2

Benennung: Hauptbodenarten:	Nebenanteile:	Zeichen:
Steine	steinig	
Kies	kiesig	
Grobkies	grobkiesig	
Mittelkies	mittelkiesig	
Feinkies	feinkiesig	
Sand	sandig	
Grobsand	grobsandig	
Mittelsand	mittelsandig	
Feinsand	feinsandig	
Schluff	schluffig	
Ton	tonig	
Torf	humos, organisch	
Auffüllung		**A**
Geschiebelehm		
Geschiebemergel		
Klei		

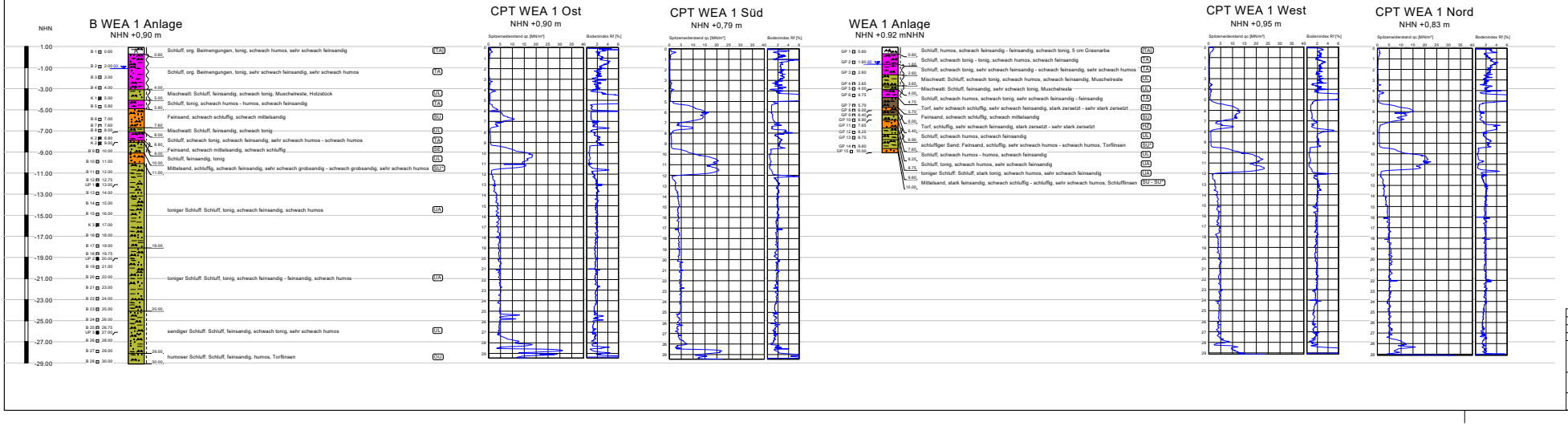
Zustandsform bindiger Bodenarten:

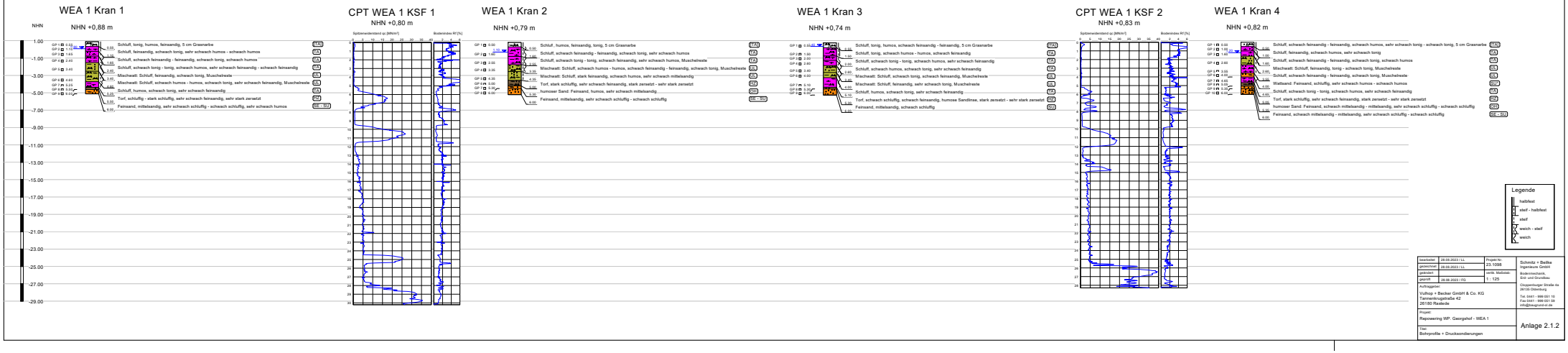
Wasserstand: ▽ Grundwasser nach Beendigung der Bohrung

Probenarten:

GP □ gestörte Probe

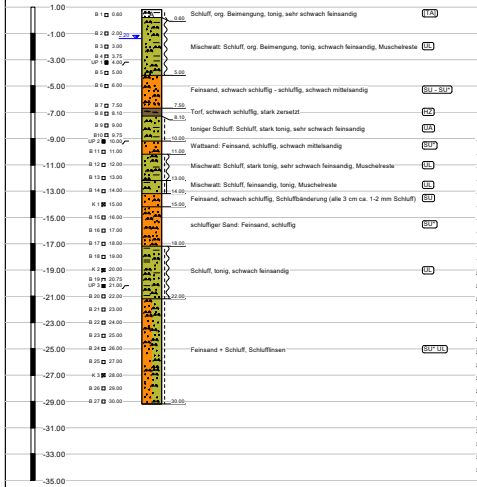
SP ■ ungestörte Probe (Sonderprobe)


B WEA 1 Anlage
NHN +0,90 m
Schluff, org. Beimengungen, tonig, schwach humos, sehr schwach feinsandig
Schluff, org. Beimengungen, tonig, sehr schwach feinsandig, sehr schwach humos
Mischwatt: Schluff, feinsandig, schwach tonig, Muschelreste, Holzstück
Schluff, tonig, schwach humos - humos, schwach feinsandig
Feinsand, schwach schluffig, schwach mittelsandig
Mischwatt: Schluff, feinsandig, schwach tonig
Schluff, schwach tonig, schwach feinsandig, sehr schwach humos - schwach humos
Feinsand, schwach mittelsandig, schwach schluffig
Schluff, feinsandig, tonig
Mittelsand, schluffig, schwach feinsandig, sehr schwach grobsandig - schwach grobsandig, sehr schwach humos
toniger Schluff: Schluff, tonig, schwach feinsandig, schwach humos
toniger Schluff: Schluff, tonig, schwach feinsandig - feinsandig, schwach humos
sandiger Schluff: Schluff, feinsandig, schwach tonig, sehr schwach humos
humoser Schluff: Schluff, feinsandig, humos, Torflinsen
CPT WEA 1 Ost
NHN +0,90 m
CPT WEA 1 Süd
NHN +0,79 m
WEA 1 Anlage
NHN +0,92 mNHN
Schluff, humos, schwach feinsandig - feinsandig, schwach tonig, 5 cm Grasnarbe
Schluff, schwach tonig - tonig, schwach humos, schwach feinsandig
Schluff, schwach tonig, sehr schwach feinsandig - schwach feinsandig, sehr schwach humos
Mischwatt: Schluff, schwach tonig, schwach humos, schwach feinsandig, Muschelreste
Mischwatt: Schluff, feinsandig, sehr schwach tonig, Muschelreste
Schluff, schwach humos, schwach tonig, sehr schwach feinsandig - feinsandig
Torf, sehr schwach schluffig, sehr schwach feinsandig, stark zersetzt - sehr stark zersetzt
Feinsand, schwach schluffig, schwach mittelsandig
Torf, schluffig, sehr schwach feinsandig, stark zersetzt - sehr stark zersetzt
Schluff, schwach humos, schwach feinsandig
schluffiger Sand: Feinsand, schluffig, sehr schwach humos - schwach humos, Torflinsen
Schluff, schwach humos - humos, schwach feinsandig
Schluff, tonig, schwach humos, sehr schwach feinsandig
toniger Schluff: Schluff, stark tonig, schwach humos, sehr schwach feinsandig
Mittelsand, stark feinsandig, schwach schluffig - schluffig, sehr schwach humos, Schlufflinsen
CPT WEA 1 West
NHN +0,95 m
CPT WEA 1 Nord
NHN +0,83 m
Legende
halbfest
steif
weich - steif
weich
bearbeitet: 28.08.2023 / LL
gezeichnet: 28.08.2023 / LL
geprüft: 28.08.2023 / FG
Projekt Nr. 23.1098
verkl. Maßstab: 1 : 125
Auftraggeber:
Vulhop + Becker GmbH & Co. KG
Tannenkrugstraße 42
26180 Rastede
Schmitz + Beilke
Ingenieure GmbH
Bodenmechanik,
Erd- und Grundbau
Cloppenburger Straße 4a
26135 Oldenburg
Tel. 0441 - 999 051 10
Fax 0441 - 999 051 59
info@beagrund-ol.de
Projekt:
Repowering WP. Georgshof - WEA 1
Titel:
Bohrprofile + Drucksondierungen
Anlage 2.1.1


WEA 1 Kran 1
NHN +0,88 m
CPT WEA 1 KSF 1
NHN +0,80 m
WEA 1 Kran 2
NHN +0,79 m
WEA 1 Kran 3
NHN +0,74 m
CPT WEA 1 KSF 2
NHN +0,83 m
WEA 1 Kran 4
NHN +0,82 m
Legende
halbfest
steif - halbfest
steif
weich - steif
weich
Projekt Nr. 23.1098
Anlage 2.1.2
Repowering WP. Georgshof - WEA 1
Bohrprofile + Druckondierungen

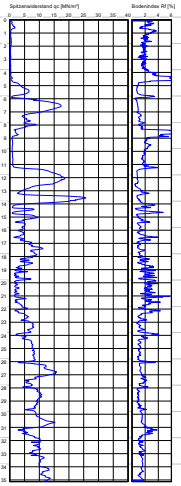
B WEA 2 Anlage

NHN +0,81 m



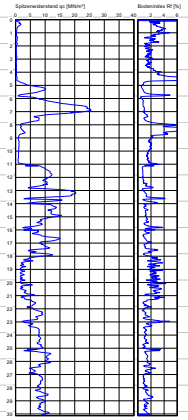
CPT WEA 2 Ost

NHN +0,79 m



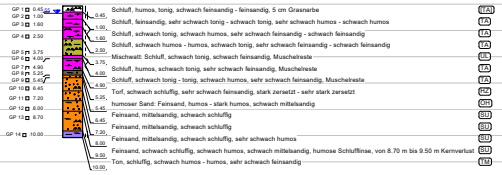
CPT WEA 2 Süd

NHN +0,81 m



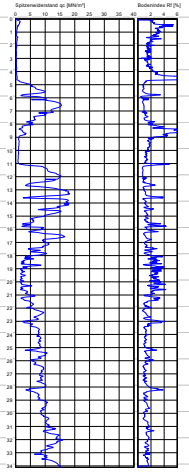
WEA 2 Anlage

NHN +0,85 m



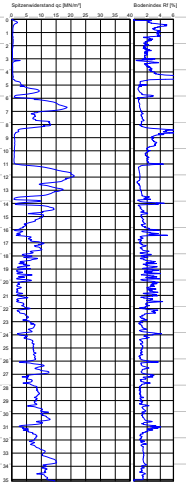
CPT WEA 2 West

NHN +0,86 m



CPT WEA 2 Nord

NHN +0,83 m



Legende

- halbfest
- steif - halbfest
- steif
- weich - steif
- weich

bearbeitet	28.08.2023 / LL	Projekt Nr. 23.1098
gezeichnet	28.08.2023 / LL	
geändert		verkl. Maßstab:
geprüft	28.08.2023 / FG	1 : 125

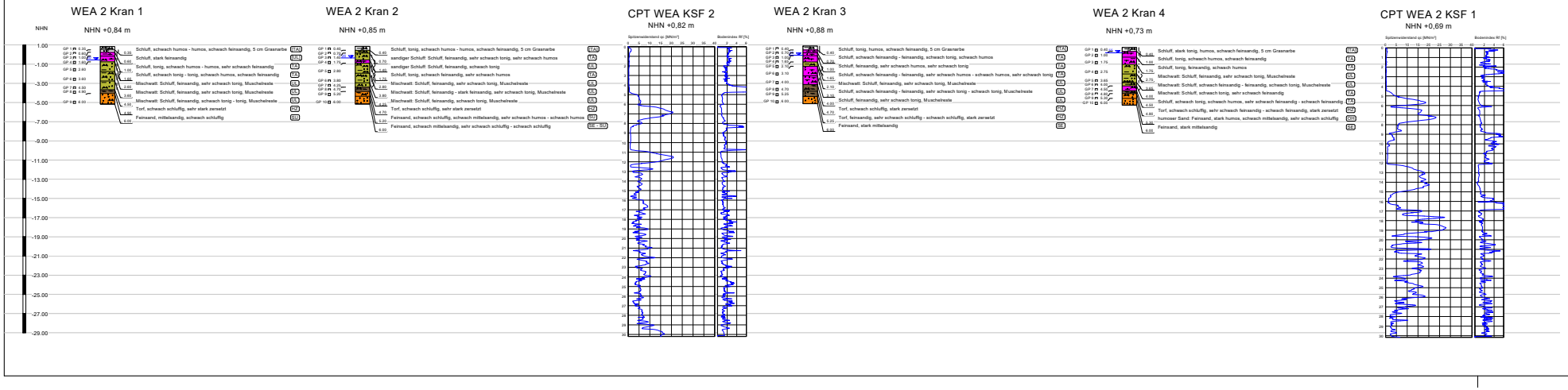
Auftraggeber:
Vulhop + Becker GmbH & Co. KG
Tannenkrugstraße 42
26180 Rastede

Projekt:
Repowering WP. Georgshof - WEA 2

Titel:
Bohrprofile + Drucksondierungen

Schmitz + Beilke
Ingenieure GmbH
Bodenmechanik,
Erd- und Grundbau
Cloppenburger Straße 4a
26135 Oldenburg
Tel. 0441 - 999 051 10
Fax 0441 - 999 051 59
info@beagrund-ol.de

Anlage 2.2.1



bearbeitet:	28.08.2023 / LL	Projekt Nr:	23.1098
gezeichnet:	28.08.2023 / LL		
geändert:		Unterl. Maßstab:	1 : 125
geprüft:	28.08.2023 / FG		

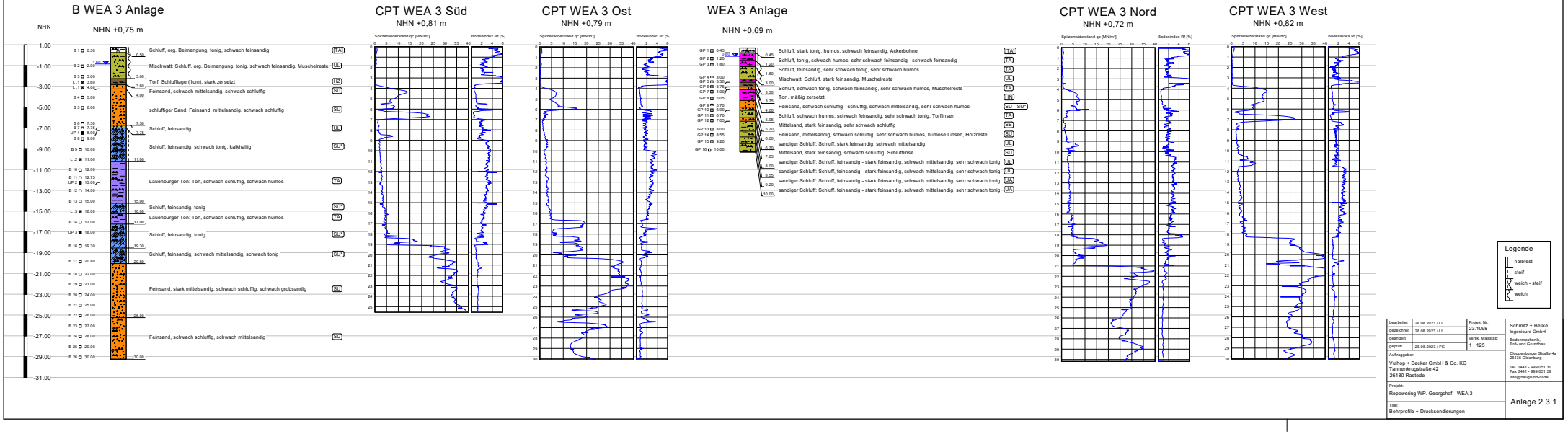
Auftraggeber:
Vollhop + Becker GmbH & Co. KG
Tannenkrugstraße 42
26180 Rastede

Projekt:
Repowering WP. Georgshof - WEA 2

Titel:
Bohrprofile + Drucksondierungen

Schmidtz + Beilke Ingenieure GmbH
Bodenmechanik, Erd- und Grundbau
Cloppenburger Straße 6a
26135 Oldenburg
Tel. 0441 - 999 051 10
Fax 0441 - 999 051 59
info@baugrund-ol.de

Anlage 2.2.2



bearbeitet:	28.08.2023 / LL	Projekt Nr.:	23.1098
gezeichnet:	28.08.2023 / LL		
geändert:		vertik. Maßstab:	1 : 125
geprüft:	28.08.2023 / FG		

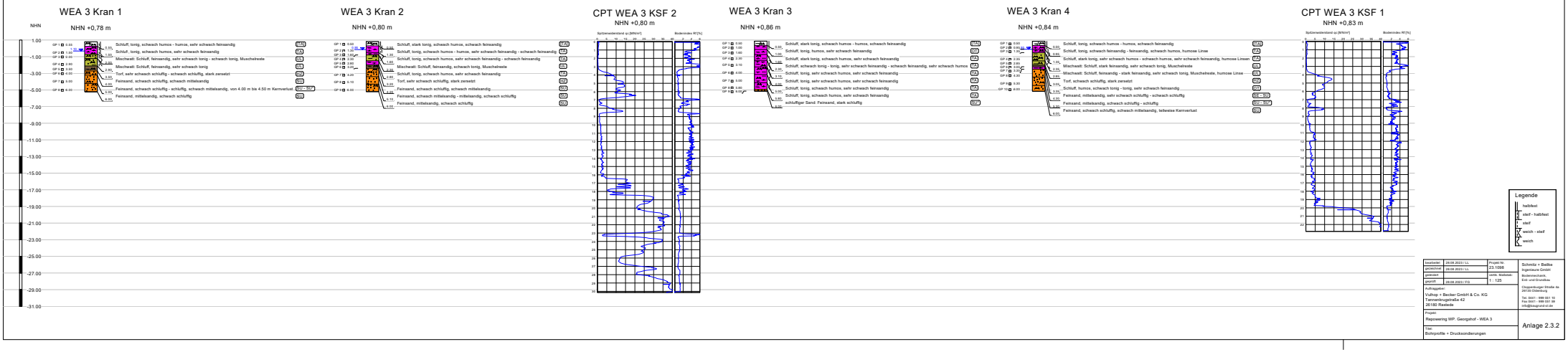
Auftraggeber:
Vulhop + Becker GmbH & Co. KG
Tannenkrugstraße 42
26180 Rastede

Projekt:
Repowering WP. Georgshof - WEA 3

Titel:
Bohrprofile + Drucksondierungen

Schmitz + Beilke
Ingenieure GmbH
Bodenmechanik,
Erd- und Grundbau
Cloppenburger Straße 4a
26135 Oldenburg
Tel. 0441 - 999 051 10
Fax 0441 - 999 051 59
info@baugrund-ol.de

Anlage 2.3.1



bearbeitet:	28.08.2023 / LL	Projekt Nr.	Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH
gezeichnet:	28.08.2023 / LL	23.1098	Bodenmechanik, Erd- und Grundbau
geändert:		Maßstab:	
geprüft:	29.08.2023 / FS	1 : 125	

Auftraggeber:
Vulhop + Becker GmbH & Co. KG
Tannenkrugstraße 42
26160 Rankede

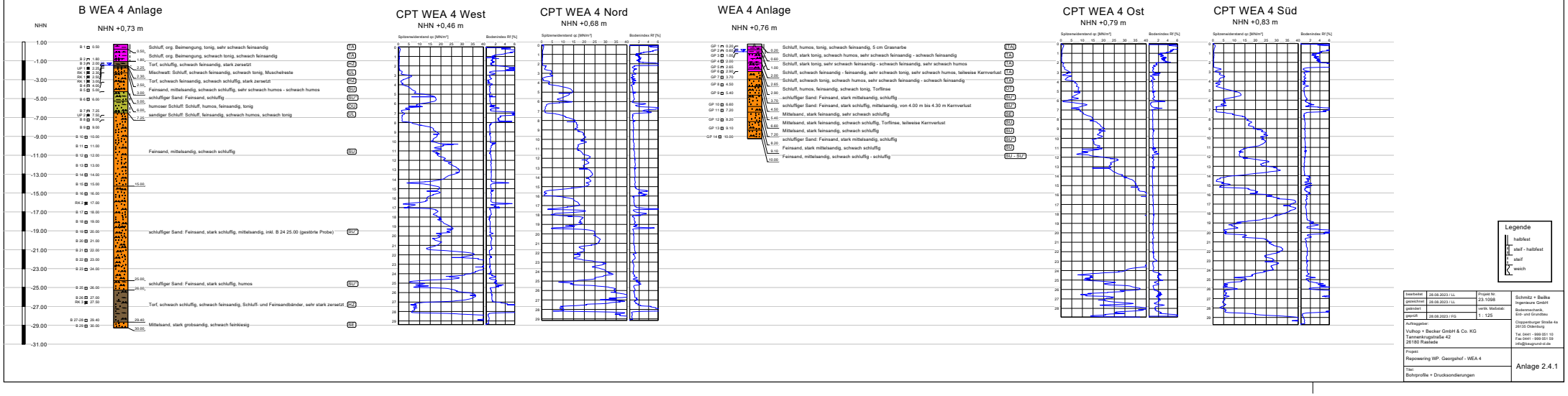
Projekt:
Repowering WP. Georgsfeld - WEA 3

Titel:
Bohrprofile + Drucksondierungen

Anlage 2.3.2

Cloppenburger Straße 4a
26133 Oldenburg

Tel. 0441 - 998 091 33
Fax 0441 - 998 091 99
info@beilkegrund.et.de



bearbeitet	28.08.2023 / LL	Projekt Nr.	23.1098
gezeichnet	28.08.2023 / LL		
geändert		vertik. Maßstab:	
geprüft	28.08.2023 / FG		1 : 125

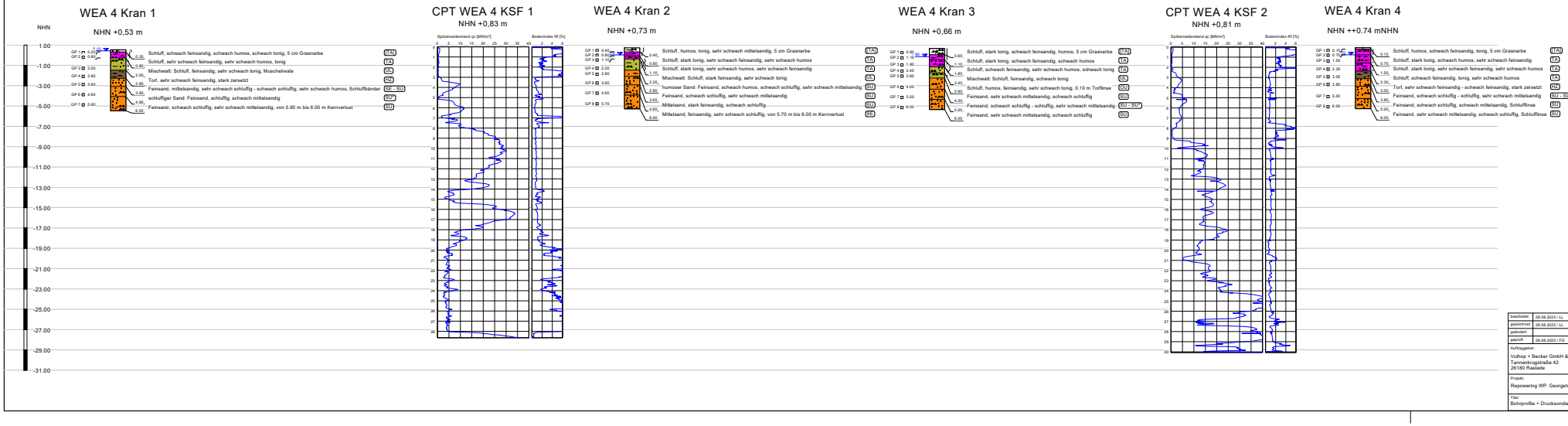
Auftraggeber:
Vulhop + Becker GmbH & Co. KG
Tannenkrugstraße 42
26180 Rastede

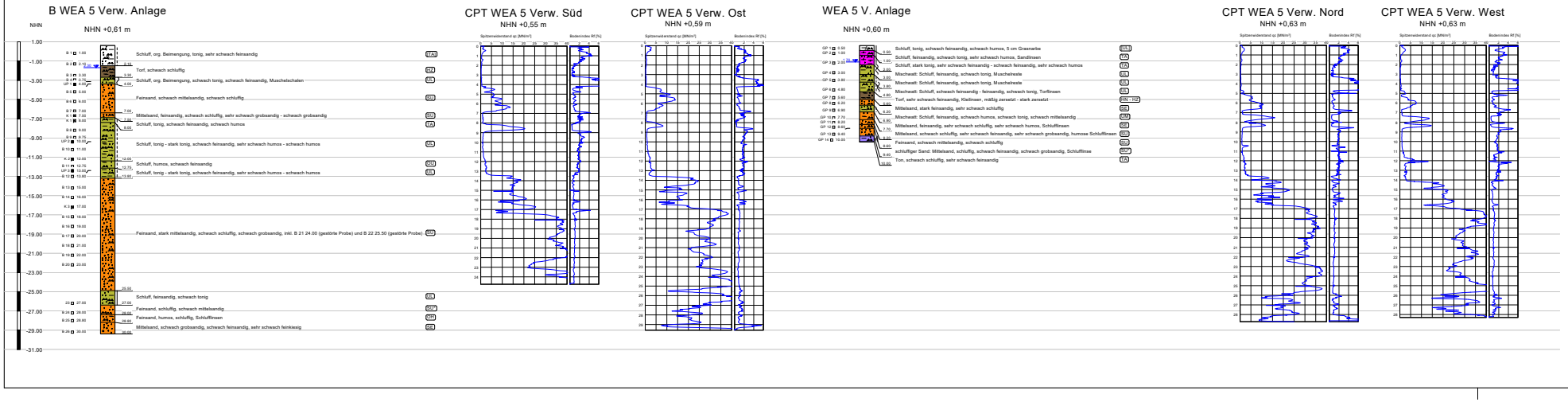
Projekt:
Repowering WP. Georgshof - WEA 4

Titel:
Bohrprofile + Drucksondierungen

Schmitz + Beilke
Ingenieure GmbH
Bodenmechanik,
Erd- und Grundbau
Cloppenburger Straße 4a
26135 Oldenburg
Tel. 0441 - 999 051 10
Fax 0441 - 999 051 59
info@beagrund-ol.de

Anlage 2.4.1


WEA 4 Kran 1
NHN +0,53 m
Schluff, schwach feinsandig, schwach humos, schwach tonig, 5 cm Grasnarbe
Schluff, sehr schwach feinsandig, sehr schwach humos, tonig
Mischwatt: Schluff, feinsandig, sehr schwach tonig, Muschelreste
Torf, sehr schwach feinsandig, stark zersetzt
Feinsand, mittelsandig, sehr schwach schluffig - schwach schluffig, sehr schwach humos, Schlufflbänder
schluffiger Sand: Feinsand, schluffig, schwach mittelsandig
Feinsand, schwach schluffig, sehr schwach mittelsandig, von 5.60 m bis 6.00 m Kernverlust
CPT WEA 4 KSF 1
NHN +0,83 m
WEA 4 Kran 2
NHN +0,73 m
Schluff, humos, tonig, sehr schwach mittelsandig, 5 cm Grasnarbe
Schluff, stark tonig, sehr schwach feinsandig, sehr schwach humos
Schluff, stark tonig, sehr schwach humos, sehr schwach feinsandig
Mischwatt: Schluff, stark feinsandig, sehr schwach tonig
humoser Sand: Feinsand, schwach humos, schwach schluffig, sehr schwach mittelsandig
Feinsand, schwach schluffig, sehr schwach mittelsandig
Mittelsand, stark feinsandig, schwach schluffig
Mittelsand, feinsandig, sehr schwach schluffig, von 5.70 m bis 6.00 m Kernverlust
WEA 4 Kran 3
NHN +0,66 m
Schluff, stark tonig, schwach feinsandig, humos, 5 cm Grasnarbe
Schluff, stark tonig, schwach feinsandig, schwach humos
Schluff, schwach feinsandig, sehr schwach humos, schwach tonig
Mischwatt: Schluff, feinsandig, schwach tonig
Schluff, humos, feinsandig, sehr schwach tonig, 0.10 m Torflinse
Feinsand, sehr schwach mittelsandig, schwach schluffig
Feinsand, schwach schluffig - schluffig, sehr schwach mittelsandig
Feinsand, sehr schwach mittelsandig, schwach schluffig
CPT WEA 4 KSF 2
NHN +0,81 m
WEA 4 Kran 4
NHN ++0.74 mNHN
Schluff, humos, schwach feinsandig, tonig, 5 cm Grasnarbe
Schluff, stark tonig, schwach humos, sehr schwach feinsandig
Schluff, stark tonig, sehr schwach feinsandig, sehr schwach humos
Schluff, schwach feinsandig, tonig, sehr schwach humos
Torf, sehr schwach feinsandig - schwach feinsandig, stark zersetzt
Feinsand, schwach schluffig - schluffig, sehr schwach mittelsandig
Feinsand, schwach schluffig, schwach mittelsandig, Schlufflinse
Feinsand, sehr schwach mittelsandig, schwach schluffig, Schlufflinse
Legende
halbfest
steif - halbfest
steif
weich - steif
bearbeitet 28.08.2023 / LL
gezeichnet 28.08.2023 / LL
geändert
geprüft 28.08.2023 / FG
Projekt Nr. 23.1098
verkl. Maßstab: 1 : 125
Auftraggeber:
Vulhop + Becker GmbH & Co. KG
Tannenkrugstraße 42
26180 Rastede
Projekt:
Repowering WP. Georgshof - WEA 4
Titel:
Bohrprofile + Drucksondierungen
Schmitz + Beilke
Ingenieure GmbH
Bodenmechanik,
Erd- und Grundbau
Cloppenburger Straße 4a
26135 Oldenburg
Tel. 0441 - 999 051 10
Fax 0441 - 999 051 59
info@beagrund-ol.de
Anlage 2.4.2



bearbeitet:	28.08.2023 / LL	Projekt Nr:	23.1098
gezeichnet:	28.08.2023 / LL	Unterlage:	Bodenmechanik, Erd- und Grundbau
geprüft:	31.08.2023 / FD	Maßstab:	1 : 125

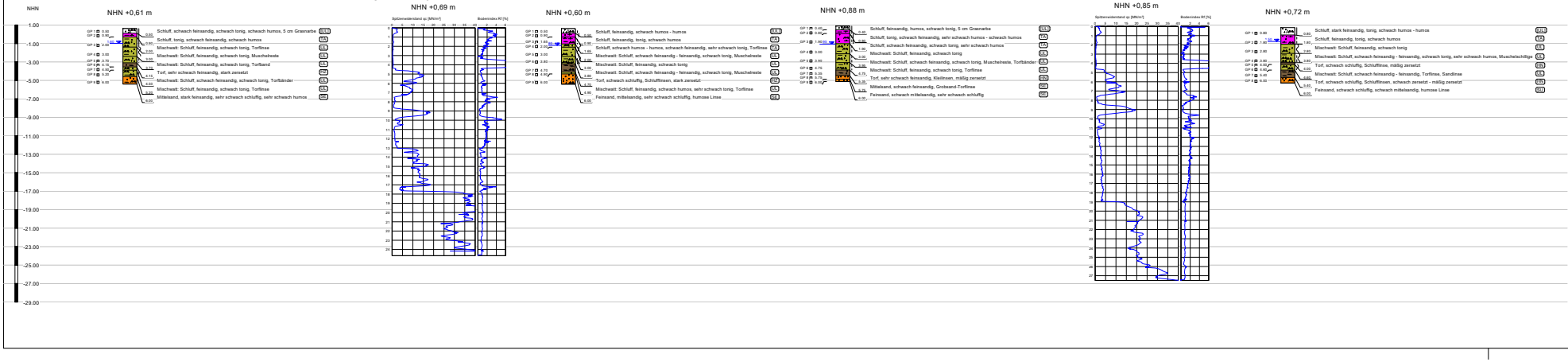
Auftraggeber:
Vollmer + Becker GmbH & Co. KG
Tannenkrugstraße 42
26180 Rastede

Projekt:
Repowering WEA Verwey - WEA 5 Verweyen

Titel:
Bohrprofile + Drucksondierungen

Schmitz + Bellke Ingenieure GmbH
Bodenmechanik, Erd- und Grundbau
Cloppenburger Straße 4a
26135 Oldenburg
Tel. 0441 - 999 051 10
Fax 0441 - 999 051 09
info@baugrund-ol.de

Anlage 2.5.1



bearbeitet:	28.08.2023 / LL	Projekt Nr.	Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH
gezeichnet:	28.08.2023 / LL	23.1098	
geändert:	31.08.2023 / LL	Bodenmechanik, Erd- und Grundbau	
geprüft:	31.08.2023 / FS	Maßstab: 1 : 125	
Auftraggeber:			Clausenburger Straße 4a 26135 Oldenburg
Tr/Rup + Becker GmbH & Co. KG Tannenkrugstraße 42 26180 Rastede			Tel. 0441 - 998 091 33 Fax 0441 - 998 091 99 info@baugrund-ol.de
Projekt:	Repowering WEA Verweyen - WEA 5 Verweyen		
Thema:	Bohrprofile + Drucksondierungen		Anlage 2.5.2

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.1

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 1 Anlage / Blatt: 1 Höhe: +0.92 mNHN — Datum: 22.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
0.60	a) Schluff, humos, schwach feinsandig - feinsandig, schwach tonig b) 5 cm Grasnarbe c) halbfest / d) / e) braun - grau f) Auffüllung / g) / h) [TA] / i)				bis 1.00 m vorgeschachtet	GP	1	0.60
1.60	a) Schluff, schwach tonig - tonig, schwach humos, schwach feinsandig b) c) steif / d) leicht bohrbar / e) grau - braun f) Klei / g) / h) TA / i)				GW (1.60)	GP	2	1.60
2.60	a) Schluff, schwach tonig, sehr schwach feinsandig - schwach feinsandig, sehr schwach humos b) c) weich - steif / d) leicht bohrbar / e) dunkelgrau f) Klei / g) / h) TA / i)					GP	3	2.60
3.65	a) Schluff, schwach tonig, schwach humos, schwach feinsandig b) Muschelreste c) weich - steif / d) mittelschwer bohrbar / e) dunkelgrau f) Mischwatt / g) / h) UL / i)					GP	4	3.65
4.00	a) Schluff, feinsandig, sehr schwach tonig b) Muschelreste c) weich - steif / d) mittelschwer bohrbar / e) dunkelgrau f) Mischwatt / g) / h) UL / i)					GP	5	4.00

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.2

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 1 Anlage / Blatt: 2 Höhe: +0.92 mNHN | Datum: 22.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
4.75	a) Schluff, schwach humos, schwach tonig, sehr schwach feinsandig - feinsandig b)					GP	6	4.75
	c) weich	d) mittelschwer bohrbar	e) dunkelgrau					
	f) Klei	g)	h) TA	i)				
5.70	a) Torf, sehr schwach schluffig, sehr schwach feinsandig b) stark zersetzt - sehr stark zersetzt					GP	7	5.70
	c)	d) schwer bohrbar	e) dunkelbraun					
	f) Torf	g)	h) HZ	i)				
6.00	a) Feinsand, schwach schluffig, schwach mittelsandig b)					GP	8	6.00
	c)	d) schwer bohrbar	e) beige					
	f) Sand	g)	h) SU	i)				
6.40	a) Torf, schluffig, sehr schwach feinsandig b) stark zersetzt - sehr stark zersetzt					GP	9	6.40
	c)	d) schwer bohrbar	e) dunkelbraun					
	f) Torf	g)	h) HZ	i)				
6.90	a) Schluff, schwach humos, schwach feinsandig b)					GP	10	6.90
	c) weich	d) schwer bohrbar	e) beige - braun					
	f) Schluff	g)	h) UL	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.3

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 1 Anlage / Blatt: 3 Höhe: +0.92 mNHN | Datum: 22.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
7.65	a) Feinsand, schluffig, sehr schwach humos - schwach humos b) Torflinsen c) f) schluffiger Sand	d) schwer bohrbar g)	e) beige - braun h) SU*	i)		GP	11	7.65
8.25	a) Schluff, schwach humos - humos, schwach feinsandig b) c) weich f) Schluff	d) schwer bohrbar g)	e) dunkelgrau - braun h) UL	i)		GP	12	8.25
8.75	a) Schluff, tonig, schwach humos, sehr schwach feinsandig b) c) weich - steif f) Schluff	d) schwer bohrbar g)	e) dunkelgrau h) UA	i)		GP	13	8.75
9.60	a) Schluff, stark tonig, schwach humos, sehr schwach feinsandig b) c) steif f) toniger Schluff	d) schwer bohrbar g)	e) dunkelgrau h) UA	i)		GP	14	9.60
10.00	a) Mittelsand, stark feinsandig, schwach schluffig - schluffig, sehr schwach humos b) Schlufflinsen c) f) Sand	d) schwer bohrbar g)	e) dunkelgrau h) SU-SU*	i)		GP	15	10.00

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.4

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 1 Kran 1 / Blatt: 1 Höhe: +0.88 mNHN | Datum: 17.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
0.55	a) Schluff, tonig, humos, feinsandig b) 5 cm Grasnarbe				bis 1.00 m vorgeschachtet	GP	1	0.55
	c) halbfest	d)	e) dunkelbraun - grau					
	f) Auffüllung	g)	h) [TA]	i)				
1.10	a) Schluff, feinsandig, schwach tonig, sehr schwach humos - schwach humos b)				GW (0.80)	GP	2	1.10
	c) halbfest	d) leicht bohrbar	e) grau					
	f) Klei	g)	h) TA	i)				
1.65	a) Schluff, schwach feinsandig - feinsandig, schwach tonig, schwach humos b)					GP	3	1.65
	c) steif	d) leicht bohrbar	e) grau					
	f) Klei	g)	h) TA	i)				
2.40	a) Schluff, schwach tonig - tonig, schwach humos, sehr schwach feinsandig - schwach feinsandig b)					GP	4	2.40
	c) weich - steif	d) leicht bohrbar	e) dunkelgrau					
	f) Klei	g)	h) TA	i)				
3.40	a) Schluff, feinsandig, schwach tonig b) Muschelreste					GP	5	3.40
	c) weich	d) mittelschwer bohrbar	e) dunkelgrau					
	f) Mischwatt	g)	h) UL	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.5

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 1 Kran 1 / Blatt: 2 Höhe: +0.88 mNHN | Datum: 17.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
4.60	a) Schluff, schwach humos - humos, schwach tonig, sehr schwach feinsandig b) Muschelreste					GP	6	4.60
	c) weich - steif	d) mittelschwer bohrbar	e) dunkelgrau					
	f) Mischwatt	g)	h) UL	i)				
5.25	a) Schluff, humos, schwach tonig, sehr schwach feinsandig b)					GP	7	5.25
	c) weich	d) schwer bohrbar	e) dunkelgrau - schwarz					
	f) Klei	g)	h) TA	i)				
5.50	a) Torf, schluffig - stark schluffig, sehr schwach feinsandig b) sehr stark zersetzt					GP	8	5.50
	c)	d) schwer bohrbar	e) dunkelbraun					
	f) Torf	g)	h) HZ	i)				
6.00	a) Feinsand, mittelsandig, sehr schwach schluffig - schwach schluffig, sehr schwach humos b)					GP	9	6.00
	c)	d) schwer bohrbar	e) beige					
	f) Sand	g)	h) SE - SU	i)				
	a) b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.6

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 1 Kran 2 / Blatt: 1 Höhe: +0.79 mNHN | Datum: 17.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
0.50	a) Schluff, humos, feinsandig, tonig b) 5 cm Grasnarbe c) halbfest / d) / e) dunkelgrau - braun f) Auffüllung / g) / h) [TA] / i)				bis 1.00 m vorgeschachtet	GP	1	0.50
1.60	a) Schluff, schwach feinsandig - feinsandig, schwach tonig, sehr schwach humos b) c) weich - steif / d) mittelschwer bohrbar / e) grau f) Klei / g) / h) TA / i)				GW (1.10)	GP	2	1.60
2.55	a) Schluff, schwach tonig - tonig, schwach feinsandig, sehr schwach humos b) Muschelreste c) weich - steif / d) mittelschwer bohrbar / e) dunkelgrau f) Klei / g) / h) TA / i)					GP	3	2.55
3.35	a) Schluff, schwach humos - humos, schwach feinsandig - feinsandig, schwach tonig b) Muschelreste c) weich - steif / d) mittelschwer bohrbar / e) dunkelgrau f) Mischwatt / g) / h) UL / i)				teilweise Kernverlust	GP	4	3.35
4.35	a) Schluff, stark feinsandig, schwach humos, sehr schwach mittelsandig b) c) steif / d) mittelschwer bohrbar / e) dunkelgrau f) Mischwatt / g) / h) UL / i)				teilweise Kernverlust	GP	5	4.35

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.7

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 1 Kran 2 / Blatt: 2 Höhe: +0.79 mNHN | Datum: 17.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
5.00	a) Torf, stark schluffig, sehr schwach feinsandig b) stark zersetzt - sehr stark zersetzt c) f) Torf	d) schwer bohrbar g)	e) dunkelbraun - schwarz h) HZ	i)		GP	6	5.00
5.30	a) Feinsand, humos, sehr schwach mittelsandig b) c) f) humoser Sand	d) schwer bohrbar g)	e) dunkelbraun h) OH	i)		GP	7	5.30
6.00	a) Feinsand, mittelsandig, sehr schwach schluffig - schwach schluffig b) c) f) Sand	d) sehr schwer bohrbar g)	e) dunkelbeige h) SE - SU	i)		GP	8	6.00
	a) b) c) f)	d) g)	e) h)	i)				
	a) b) c) f)	d) g)	e) h)	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.8

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 1 Kran 3 / Blatt: 1 Höhe: +0.74 mNHN | Datum: 17.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
0.55	a) Schluff, tonig, humos, schwach feinsandig - feinsandig b) 5 cm Grasnarbe c) halbfest / d) / e) dunkelgrau f) Auffüllung / g) / h) [TA] / i)				GW (0.40), bis 1.00 m vorgeschachtet	GP	1	0.55
1.50	a) Schluff, tonig, schwach humos - humos, schwach feinsandig b) c) steif - halbfest / d) leicht bohrbar / e) grau - braun f) Klei / g) / h) TA / i)					GP	2	1.50
2.00	a) Schluff, schwach tonig - tonig, schwach humos, sehr schwach feinsandig b) c) steif / d) leicht bohrbar / e) schwarz - dunkelgrau f) Klei / g) / h) TA / i)					GP	3	2.00
2.60	a) Schluff, schwach humos, schwach tonig, sehr schwach feinsandig b) c) weich / d) leicht bohrbar / e) dunkelgrau - schwarz f) Klei / g) / h) TA / i)					GP	4	2.60
3.40	a) Schluff, schwach tonig, schwach feinsandig b) Muschelreste c) weich - steif / d) leicht bohrbar / e) dunkelgrau - schwarz f) Mischwatt / g) / h) UL / i)					GP	5	3.40

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.9

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 1 Kran 3 / Blatt: 2 Höhe: +0.74 mNHN | Datum: 17.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
4.00	a) Schluff, feinsandig, sehr schwach tonig b) Muschelreste c) weich - steif f) Mischwatt	d) mittelschwer bohrbar g)	e) dunkelgrau h) UL	i)		GP	6	4.00
5.10	a) Schluff, humos, schwach tonig, sehr schwach feinsandig b) c) weich f) Klei	d) mittelschwer bohrbar g)	e) dunkelgrau - schwarz h) TA	i)		GP	7	5.10
5.30	a) Torf, schwach schluffig, schwach feinsandig b) humose Sandlinse stark zersetzt - sehr stark zersetzt c) f) Torf	d) mittelschwer bohrbar g)	e) dunkelbraun - schwarz h) HZ	i)		GP	8	5.30
6.00	a) Feinsand, mittelsandig, schwach schluffig b) c) f) Sand	d) schwer bohrbar g)	e) beige h) SU	i)		GP	9	6.00
	a) b) c) f)	d) g)	e) h)	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.10

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 1 Kran 4 / Blatt: 1 Höhe: +0.82 mNHN | Datum: 17.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
0.50	a) Schluff, schwach feinsandig - feinsandig, schwach humos, sehr schwach tonig - schwach tonig b) 5 cm Grasnarbe c) halbfest / d) / e) dunkelgrau - braun f) Auffüllung / g) / h) [TA] / i)				bis 1.00 m vorgeschachtet	GP	1	0.50
1.00	a) Schluff, feinsandig, schwach humos, sehr schwach tonig b) c) halbfest / d) / e) grau f) Klei / g) / h) TA / i)					GP	2	1.00
1.60	a) Schluff, schwach feinsandig - feinsandig, schwach tonig, schwach humos b) c) steif - halbfest / d) leicht bohrbar / e) grau - braun f) Klei / g) / h) TA / i)				GW (1.20)	GP	3	1.60
2.60	a) Schluff, feinsandig, tonig - schwach tonig b) Muschelreste c) weich - steif / d) leicht bohrbar / e) dunkelgrau - schwarz f) Mischwatt / g) / h) UL / i)					GP	4	2.60
3.55	a) Schluff, schwach feinsandig - feinsandig, schwach tonig b) Muschelreste c) steif / d) mittelschwer bohrbar / e) dunkelgrau - schwarz f) Klei / g) / h) UL / i)					GP	5	3.55

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.11

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 1 Kran 4 / Blatt: 2 Höhe: +0.82 mNHN | Datum: 17.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
4.00	a) Feinsand, schluffig, sehr schwach humos - schwach humos b)					GP	6	4.00
	c)	d) mittelschwer bohrbar	e) dunkelgrau					
	f) Wattsand	g)	h) SU*	i)				
4.65	a) Schluff, schwach tonig - tonig, schwach humos, sehr schwach feinsandig b)				teilweise Kernverlust	GP	7	4.65
	c) weich	d) mittelschwer bohrbar	e) dunkelgrau - schwarz					
	f) Klei	g)	h) TA	i)				
5.05	a) Torf, stark schluffig, sehr schwach feinsandig b) stark zersetzt - sehr stark zersetzt					GP	8	5.05
	c)	d) mittelschwer bohrbar	e) dunkelbraun - schwarz					
	f) Torf	g)	h) HZ	i)				
5.35	a) Feinsand, schwach mittelsandig - mittelsandig, sehr schwach schluffig - schwach schluffig b)					GP	9	5.35
	c)	d) mittelschwer bohrbar	e) dunkelbraun - schwarz					
	f) humoser Sand	g)	h) OH	i)				
6.00	a) Feinsand, schwach mittelsandig - mittelsandig, sehr schwach schluffig - schwach schluffig b)					GP	10	6.00
	c)	d) schwer bohrbar	e) dunkelbeige					
	f) Sand	g)	h) SE - SU	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.12

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 2 Anlage / Blatt: 1 Höhe: +0.85 mNHN | Datum: 16.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
0.45	a) Schluff, humos, tonig, schwach feinsandig - feinsandig b) 5 cm Grasnarbe c) halbfest / d) / e) dunkelgrau f) Auffüllung / g) / h) [TA] / i)				bis 1.00 m vorgeschachtet	GP	1	0.45
1.00	a) Schluff, feinsandig, sehr schwach tonig - schwach tonig, sehr schwach humos - schwach humos b) c) steif - halbfest / d) / e) grau f) Klei / g) / h) TA / i)				GW (0.55)	GP	2	1.00
1.60	a) Schluff, schwach tonig, schwach humos, sehr schwach feinsandig - schwach feinsandig b) c) steif / d) leicht bohrbar / e) grau f) Klei / g) / h) TA / i)					GP	3	1.60
2.50	a) Schluff, schwach humos - humos, schwach tonig, sehr schwach feinsandig - schwach feinsandig b) c) weich - steif / d) leicht bohrbar / e) dunkelgrau f) Klei / g) / h) TA / i)					GP	4	2.50
3.75	a) Schluff, schwach tonig, schwach feinsandig b) Muschelreste c) steif / d) mittelschwer bohrbar / e) dunkelgrau f) Mischwatt / g) / h) UL / i)					GP	5	3.75

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.13

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 2 Anlage / Blatt: 2 Höhe: +0.85 mNHN | Datum: 16.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
4.00	a) Schluff, humos, schwach tonig, sehr schwach feinsandig b) Muschelreste c) steif / d) mittelschwer bohrbar / e) dunkelgrau - schwarz f) Klei / g) / h) TA / i)					GP	6	4.00
4.90	a) Schluff, schwach tonig - tonig, schwach humos, sehr schwach feinsandig b) Muschelreste c) weich / d) mittelschwer bohrbar / e) dunkelgrau - schwarz f) Klei / g) / h) TA / i)					GP	7	4.90
5.25	a) Torf, schwach schluffig, sehr schwach feinsandig b) stark zersetzt - sehr stark zersetzt c) / d) mittelschwer bohrbar / e) dunkelbraun f) Torf / g) / h) HZ / i)					GP	8	5.25
5.45	a) Feinsand, humos - stark humos, schwach mittelsandig b) c) / d) mittelschwer bohrbar / e) dunkelbraun f) humoser Sand / g) / h) OH / i)					GP	9	5.45
6.45	a) Feinsand, mittelsandig, schwach schluffig b) c) / d) schwer bohrbar / e) dunkelbeige f) Sand / g) / h) SU / i)					GP	10	6.45

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.14

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 2 Anlage / Blatt: 3 Höhe: +0.85 mNHN | Datum: 16.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
7.20	a) Feinsand, mittelsandig, schwach schluffig b) c)	d) schwer bohrbar	e) beige			GP	11	7.20
	f) Sand	g)	h) SU	i)				
8.00	a) Feinsand, mittelsandig, schwach schluffig, sehr schwach humos b) c)	d) schwer bohrbar	e) dunkelbeige - hellbraun			GP	12	8.00
	f) Sand	g)	h) SU	i)				
9.50	a) Feinsand, schwach schluffig, schwach humos, schwach mittelsandig b) humose Schlufflinse c)	d) sehr schwer bohrbar	e) dunkelbeige		von 8.70 m bis 9.50 m Kernverlust	GP	13	8.70
	f) Sand	g)	h) SU	i)				
10.00	a) Ton, schluffig, schwach humos - humos, sehr schwach feinsandig b) c) steif - halbfest	d) sehr schwer bohrbar	e) dunkelgrau			GP	14	10.00
	f) Ton	g)	h) TM	i)				
	a) b) c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.15

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 2 Kran 1 / Blatt: 1 Höhe: +0.84 mNHN | Datum: 15.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
0.35	a) Schluff, schwach humos - humos, schwach feinsandig b) 5 cm Grasnarbe c) steif / d) / e) braun f) Auffüllung / g) / h) [TA] / i)				bis 1.00 m vorgeschachtet	GP	1	0.35
0.60	a) Schluff, stark feinsandig b) c) steif - halbfest / d) / e) grau f) Auffüllung / g) / h) [UL] / i)					GP	2	0.60
1.00	a) Schluff, tonig, schwach humos - humos, sehr schwach feinsandig b) c) halbfest / d) / e) hellbraun f) Klei / g) / h) TA / i)					GP	3	1.00
1.60	a) Schluff, schwach tonig - tonig, schwach humos, schwach feinsandig b) c) steif / d) mittelschwer bohrbar / e) hellbraun f) Klei / g) / h) TA / i)				GW (1.40)	GP	4	1.60
2.60	a) Schluff, feinsandig, sehr schwach tonig b) Muschelreste c) steif / d) mittelschwer bohrbar / e) grau f) Mischwatt / g) / h) UL / i)					GP	5	2.60

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.16

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 2 Kran 1 / Blatt: 2 Höhe: +0.84 mNHN | Datum: 15.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
3.60	a) Schluff, feinsandig, sehr schwach tonig b) Muschelreste c) weich - steif f) Mischwatt	d) mittelschwer bohrbar g)	e) grau h) UL	i)		GP	6	3.60
4.50	a) Schluff, feinsandig, schwach tonig - tonig b) Muschelreste c) steif f) Mischwatt	d) schwer bohrbar g)	e) grau h) UL	i)		GP	7	4.50
4.90	a) Torf, schwach schluffig b) sehr stark zersetzt c) f) Torf	d) schwer bohrbar g)	e) braun h) HZ	i)		GP	8	4.90
6.00	a) Feinsand, mittelsandig, schwach schluffig b) c) f) Sand	d) schwer bohrbar g)	e) braun h) SU	i)		GP	9	6.00
	a) b) c) f)	d) g)	e) h)	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.17

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 2 Kran 2 / Blatt: 1 Höhe: +0.85 mNHN — Datum: 15.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
0.40	a) Schluff, tonig, schwach humos - humos, schwach feinsandig b) 5 cm Grasnarbe				bis 1.00 m vorgeschachtet	GP	1	0.40
	c) steif	d)	e) braun					
	f) Auffüllung	g)	h) [TA]	i)				
0.70	a) Schluff, feinsandig, sehr schwach tonig, sehr schwach humos b)					GP	2	0.70
	c) steif	d)	e) beige - grau					
	f) sandiger Schluff	g)	h) TA	i)				
1.40	a) Schluff, feinsandig, schwach tonig b)				GW (1.20)	GP	3	1.40
	c) steif	d) mittelschwer bohrbar	e) grau					
	f) sandiger Schluff	g)	h) UL	i)				
1.75	a) Schluff, tonig, schwach feinsandig, sehr schwach humos b)					GP	4	1.75
	c) weich - steif	d) mittelschwer bohrbar	e) grau					
	f) Klei	g)	h) TA	i)				
2.80	a) Schluff, feinsandig, sehr schwach tonig b) Muschelreste					GP	5	2.80
	c) weich - steif	d) mittelschwer bohrbar	e) dunkelgrau					
	f) Mischwatt	g)	h) UL	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.18

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 2 Kran 2 / Blatt: 2 Höhe: +0.85 mNHN | Datum: 15.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
3.80	a) Schluff, feinsandig - stark feinsandig, sehr schwach tonig b) Muschelreste					GP	6	3.80
	c) weich - steif	d) mittelschwer bohrbar	e) dunkelgrau					
	f) Mischwatt	g)	h) UL	i)				
4.25	a) Schluff, feinsandig, schwach tonig b) Muschelreste					GP	7	4.25
	c) weich	d) schwer bohrbar	e) grau					
	f) Mischwatt	g)	h) UL	i)				
4.70	a) Torf, schwach schluffig b) sehr stark zersetzt					GP	8	4.70
	c)	d) schwer bohrbar	e) braun					
	f) Torf	g)	h) HZ	i)				
5.20	a) Feinsand, schwach schluffig, schwach mittelsandig, sehr schwach humos - schwach humos b)					GP	9	5.20
	c)	d) schwer bohrbar	e) braun					
	f) Sand	g)	h) SU	i)				
6.00	a) Feinsand, schwach mittelsandig, sehr schwach schluffig - schwach schluffig b)					GP	10	6.00
	c)	d) schwer bohrbar	e) grau - beige					
	f) Sand	g)	h) SE - SU	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.19

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 2 Kran 3 / Blatt: 1 Höhe: +0.88 mNHN | Datum: 16.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
0.40	a) Schluff, tonig, humos, schwach feinsandig b) 5 cm Grasnarbe c) halbfest / d) / e) dunkelgrau f) Auffüllung / g) / h) [TA] / i)				bis 1.00 m vorgeschachtet	GP	1	0.40
0.70	a) Schluff, schwach feinsandig - feinsandig, schwach tonig, schwach humos b) c) halbfest / d) / e) grau f) Klei / g) / h) TA / i)					GP	2	0.70
1.00	a) Schluff, feinsandig, sehr schwach humos, sehr schwach tonig b) c) steif / d) / e) grau f) Klei / g) / h) TA / i)				GW (0.95)	GP	3	1.00
1.65	a) Schluff, schwach feinsandig - feinsandig, sehr schwach humos - schwach humos, sehr schwach tonig b) c) steif / d) leicht bohrbar / e) grau f) Klei / g) / h) TA / i)					GP	4	1.65
2.10	a) Schluff, feinsandig, sehr schwach tonig b) Muschelreste c) steif / d) leicht bohrbar / e) dunkelgrau f) Mischwatt / g) / h) UL / i)					GP	5	2.10

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.20

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 2 Kran 3 / Blatt: 2 Höhe: +0.88 mNHN — Datum: 16.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
3.10	a) Schluff, schwach feinsandig - feinsandig, sehr schwach tonig - schwach tonig b) Muschelreste c) weich - steif f) Klei	d) mittelschwer bohrbar g)	e) dunkelgrau h) UL	i)		GP	6	3.10
4.00	a) Schluff, feinsandig, sehr schwach tonig b) Muschelreste c) steif f) Klei	d) mittelschwer bohrbar g)	e) dunkelgrau - schwarz h) UL	i)		GP	7	4.00
4.70	a) Torf, schwach schluffig b) stark zersetzt c) f) Torf	d) mittelschwer bohrbar g)	e) dunkelbraun h) HZ	i)		GP	8	4.70
5.25	a) Torf, feinsandig, sehr schwach schluffig - schwach schluffig b) stark zersetzt c) f) Torf	d) mittelschwer bohrbar g)	e) dunkelbraun h) HZ	i)		GP	9	5.25
6.00	a) Feinsand, stark mittelsandig b) c) f) Sand	d) schwer bohrbar g)	e) dunkelbeige h) SE	i)		GP	10	6.00

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.21

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 2 Kran 4 / Blatt: 1 Höhe: +0.73 mNHN | Datum: 16.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1)] c) Beschaffenheit nach Bohrgut / d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang / e) Farbe f) Übliche Benennung / g) Geologische Benennung [1)] / h) [1)] Gruppe / i) Kalkgehalt				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
0.40	a) Schluff, stark tonig, humos, schwach feinsandig b) 5 cm Grasnarbe c) halbfest / d) / e) dunkelgrau f) Auffüllung / g) / h) [TA] / i)				bis 1.00 m vorgeschachtet	GP	1	0.40
1.00	a) Schluff, tonig, schwach humos, schwach feinsandig b) c) steif - halbfest / d) / e) grau f) Klei / g) / h) TA / i)				GW (0.55)	GP	2	1.00
1.75	a) Schluff, tonig, feinsandig, schwach humos b) c) steif / d) leicht bohrbar / e) grau f) Klei / g) / h) TA / i)					GP	3	1.75
2.75	a) Schluff, feinsandig, sehr schwach tonig b) Muschelreste c) steif / d) leicht bohrbar / e) grau f) Mischwatt / g) / h) UL / i)					GP	4	2.75
3.65	a) Schluff, schwach feinsandig - feinsandig, schwach tonig b) Muschelreste c) weich - steif / d) mittelschwer bohrbar / e) dunkelgrau f) Mischwatt / g) / h) UL / i)					GP	5	3.65

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.22

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 2 Kran 4 / Blatt: 2 Höhe: +0.73 mNHN | Datum: 16.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
4.00	a) Schluff, schwach tonig, sehr schwach feinsandig b)					GP	6	4.00
	c) steif	d) mittelschwer bohrbar	e) dunkelgrau					
	f) Mischwatt	g)	h) TA	i)				
4.50	a) Schluff, schwach tonig, schwach humos, sehr schwach feinsandig - schwach feinsandig b)					GP	7	4.50
	c) weich	d) mittelschwer bohrbar	e) dunkelgrau - schwarz					
	f) Klei	g)	h) TA	i)				
4.80	a) Torf, schwach schluffig, sehr schwach feinsandig - schwach feinsandig b) stark zersetzt					GP	8	4.80
	c)	d) mittelschwer bohrbar	e) dunkelbraun					
	f) Torf	g)	h) HZ	i)				
5.30	a) Feinsand, stark humos, schwach mittelsandig, sehr schwach schluffig b)					GP	9	5.30
	c)	d) mittelschwer bohrbar	e) dunkelbraun					
	f) humoser Sand	g)	h) OH	i)				
6.00	a) Feinsand, stark mittelsandig b)					GP	10	6.00
	c)	d) schwer bohrbar	e) beige					
	f) Sand	g)	h) SE	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.23

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 3 Anlage / Blatt: 1 Höhe: +0.69 mNHN | Datum: 01.06.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
0.45	a) Schluff, stark tonig, humos, schwach feinsandig b) Ackerbohne c) halbfest	d)	e) grau - braun		bis 1.00 m vorgeschachtet	GP	1	0.45
	f) Auffüllung	g)	h) [TA]	i)				
1.20	a) Schluff, tonig, schwach humos, sehr schwach feinsandig - schwach feinsandig b) c) halbfest	d) leicht bohrbar	e) grau		GW (0.80)	GP	2	1.20
	f) Klei	g)	h) TA	i)				
1.80	a) Schluff, feinsandig, sehr schwach tonig, sehr schwach humos b) c) steif	d) leicht bohrbar	e) grau			GP	3	1.80
	f) Klei	g)	h) TA	i)				
3.00	a) Schluff, stark feinsandig b) Muschelreste c) weich - steif	d) mittelschwer bohrbar	e) grau			GP	4	3.00
	f) Mischwatt	g)	h) UL	i)				
3.30	a) Schluff, schwach tonig, schwach feinsandig, sehr schwach humos b) Muschelreste c) weich - steif	d) mittelschwer bohrbar	e) grau			GP	5	3.30
	f) Klei	g)	h) TA	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.24

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 3 Anlage / Blatt: 2 Höhe: +0.69 mNHN — Datum: 01.06.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
3.75	a) Torf b) mäßig zersetzt c) f) Torf	d) mittelschwer bohrbar g)	e) dunkelbraun h) HN	i)		GP	6	3.75
4.00	a) Feinsand, schwach schluffig - schluffig, schwach mittelsandig, sehr schwach humos b) c) f) Sand	d) mittelschwer bohrbar g)	e) dunkelbeige - hellbraun h) SU-SU*	i)		GP	7	4.00
5.05	a) Schluff, schwach humos, schwach feinsandig, sehr schwach tonig b) Torflinsen c) weich f) Klei	d) mittelschwer bohrbar g)	e) grau - braun h) TA	i)		GP	8	5.05
5.70	a) Mittelsand, stark feinsandig, sehr schwach schluffig b) c) f) Sand	d) schwer bohrbar g)	e) beige h) SE	i)		GP	9	5.70
6.00	a) Feinsand, mittelsandig, schwach schluffig, sehr schwach humos b) humose Linsen, Holzreste c) f) Sand	d) schwer bohrbar g)	e) dunkelbeige h) SU	i)		GP	10	6.00

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.25

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 3 Anlage / Blatt: 3 Höhe: +0.69 mNHN | Datum: 01.06.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
6.70	a) Schluff, stark feinsandig, schwach mittelsandig					GP	11	6.70
	b)							
	c) steif	d) schwer bohrbar	e) grau - braun					
	f) sandiger Schluff	g)	h) UL	i)				
7.05	a) Mittelsand, stark feinsandig, schwach schluffig					GP	12	7.05
	b) Schlufflinse							
	c)	d) schwer bohrbar	e) dunkelbeige					
	f) Sand	g)	h) SU	i)				
8.00	a) Schluff, feinsandig - stark feinsandig, schwach mittelsandig, sehr schwach tonig					GP	13	8.00
	b)							
	c) steif	d) sehr schwer bohrbar	e) dunkelgrau					
	f) sandiger Schluff	g)	h) UL	i)				
8.55	a) Schluff, feinsandig - stark feinsandig, schwach mittelsandig, sehr schwach tonig					GP	14	8.55
	b)							
	c) weich - steif	d) sehr schwer bohrbar	e) dunkelgrau					
	f) sandiger Schluff	g)	h) UL	i)				
9.20	a) Schluff, feinsandig - stark feinsandig, schwach mittelsandig, sehr schwach tonig					GP	15	9.20
	b)							
	c) halbfest	d) sehr schwer bohrbar	e) dunkelgrau					
	f) sandiger Schluff	g)	h) UA	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.26

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 3 Anlage / Blatt: 4 Höhe: +0.69 mNHN | Datum: 01.06.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
10.00	a) Schluff, feinsandig - stark feinsandig, schwach mittelsandig, sehr schwach tonig b)					GP	16	10.00
	c) halbfest	d) sehr schwer bohrbar	e) dunkelgrau					
	f) sandiger Schluff	g)	h) UA	i)				
	a) b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				
	a) b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				
	a) b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				
	a) b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.27

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 3 Kran 1 / Blatt: 1 Höhe: +0.78 mNHN | Datum: 09.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
0.55	a) Schluff, tonig, schwach humos - humos, sehr schwach feinsandig b) c) steif - halbfest	d)	e) hellbraun		bis 1.00 m vorgeschachtet	GP	1	0.55
	f) Auffüllung	g)	h) [TA]	i)				
1.50	a) Schluff, tonig, schwach humos, sehr schwach feinsandig b) c) steif - halbfest	d)	e) hellbraun		GW (1.10)	GP	2	1.50
	f) Klei	g)	h) TA	i)				
2.00	a) Schluff, feinsandig, sehr schwach tonig - schwach tonig b) Muschelreste c) weich - steif	d) mittelschwer bohrbar	e) grau			GP	3	2.00
	f) Mischwatt	g)	h) UL	i)				
2.90	a) Schluff, feinsandig, sehr schwach tonig b) c) weich - steif	d) mittelschwer bohrbar	e) grau			GP	4	2.90
	f) Mischwatt	g)	h) UL	i)				
3.50	a) Torf, sehr schwach schluffig - schwach schluffig b) stark zersetzt c)	d) mittelschwer bohrbar	e) dunkelbraun			GP	5	3.50
	f) Torf	g)	h) HZ	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.28

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 3 Kran 1 / Blatt: 2 Höhe: +0.78 mNHN | Datum: 09.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
4.00	a) Feinsand, schwach schluffig, schwach mittelsandig b) c) f) Sand	d) schwer bohrbar g)	e) dunkelbeige h) SU	i)		GP	6	4.00
5.00	a) Feinsand, schwach schluffig - schluffig, schwach mittelsandig b) c) f) Sand	d) schwer bohrbar g)	e) grau - beige h) SU-SU*	i)	von 4.00 m bis 4.50 m Kernverlust	GP	7	5.00
6.00	a) Feinsand, mittelsandig, schwach schluffig b) c) f) Sand	d) schwer bohrbar g)	e) grau h) SU	i)		GP	8	6.00
	a) b) c) f)	d) g)	e) h)	i)				
	a) b) c) f)	d) g)	e) h)	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.29

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 3 Kran 2 / Blatt: 1 Höhe: +0.80 mNHN | Datum: 09.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1)] c) Beschaffenheit nach Bohrgut d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang e) Farbe f) Übliche Benennung g) Geologische Benennung [1)] h) [1)] Gruppe i) Kalkgehalt				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
0.50	a) Schluff, stark tonig, schwach humos, schwach feinsandig b) c) halbfest d) e) braun - beige f) Auffüllung g) h) [TA] i)				bis 1.00 m vorgeschachtet	GP	1	0.50
1.30	a) Schluff, tonig, schwach humos - humos, sehr schwach feinsandig - schwach feinsandig b) c) steif - halbfest d) mittelschwer bohrbar e) braun - beige f) Klei g) h) TA i)				GW (0.95)	GP	2	1.30
1.60	a) Schluff, tonig, schwach humos, sehr schwach feinsandig - schwach feinsandig b) c) steif d) mittelschwer bohrbar e) hellbraun - grau f) Klei g) h) TA i)					GP	3	1.60
2.30	a) Schluff, feinsandig, schwach tonig b) Muschelreste c) weich - steif d) mittelschwer bohrbar e) grau f) Mischwatt g) h) UL i)					GP	4	2.30
2.80	a) Schluff, tonig, schwach humos, sehr schwach feinsandig b) c) d) mittelschwer bohrbar e) grau f) Klei g) h) TA i)					GP	5	2.80

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.30

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 3 Kran 2 / Blatt: 2 Höhe: +0.80 mNHN | Datum: 09.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
3.20	a) Torf, sehr schwach schluffig b) stark zersetzt c)	d) mittelschwer bohrbar	e) braun			GP	6	3.20
	f) Torf	g)	h) HZ	i)				
4.20	a) Feinsand, schwach schluffig, schwach mittelsandig b) c)	d) schwer bohrbar	e) dunkelbeige			GP	7	4.20
	f) Sand	g)	h) SU	i)				
5.10	a) Feinsand, schwach mittelsandig - mittelsandig, schwach schluffig b) c)	d) sehr schwer bohrbar	e) dunkelbeige			GP	8	5.10
	f) Sand	g)	h) SU	i)				
6.00	a) Feinsand, mittelsandig, schwach schluffig b) c)	d) sehr schwer bohrbar	e) dunkelbeige - grau			GP	9	6.00
	f) Sand	g)	h) SU	i)				
	a) b) c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.31

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 3 Kran 3 / Blatt: 1 Höhe: +0.86 mNHN | Datum: 09.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
0.50	a) Schluff, stark tonig, schwach humos - humos, schwach feinsandig b)				bis 1.00 m vorgeschachtet	GP	1	0.50
	c) halbfest	d)	e) braun					
	f) Auffüllung	g)	h) [TA]	i)				
1.00	a) Schluff, tonig, humos, sehr schwach feinsandig b)					GP	2	1.00
	c) halbfest	d)	e) braun					
	f) Klei	g)	h) OT	i)				
1.60	a) Schluff, stark tonig, schwach humos, sehr schwach feinsandig b)					GP	3	1.60
	c) steif	d) mittelschwer bohrbar	e) grau - braun					
	f) Klei	g)	h) TA	i)				
2.30	a) Schluff, schwach tonig - tonig, sehr schwach feinsandig - schwach feinsandig, sehr schwach humos b)					GP	4	2.30
	c) steif	d) mittelschwer bohrbar	e) grau - dunkelbeige					
	f) Klei	g)	h) TA	i)				
3.10	a) Schluff, tonig, sehr schwach humos, sehr schwach feinsandig b)					GP	5	3.10
	c) weich	d) mittelschwer bohrbar	e) grau					
	f) Klei	g)	h) TA	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.32

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 3 Kran 3 / Blatt: 2 Höhe: +0.86 mNHN | Datum: 09.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
4.00	a) Schluff, tonig, sehr schwach humos, sehr schwach feinsandig b)					GP	6	4.00
	c) weich	d) mittelschwer bohrbar	e) grau					
	f) Klei	g)	h) TA	i)				
5.00	a) Schluff, tonig, schwach humos, sehr schwach feinsandig b)					GP	7	5.00
	c) weich	d) mittelschwer bohrbar	e) dunkelgrau					
	f) Klei	g)	h) TA	i)				
5.80	a) Schluff, tonig, schwach humos, sehr schwach feinsandig b)					GP	8	5.80
	c) weich	d) mittelschwer bohrbar	e) schwarz					
	f) Klei	g)	h) TA	i)				
6.00	a) Feinsand, stark schluffig b)					GP	9	6.00
	c)	d) mittelschwer bohrbar	e) grau					
	f) schluffiger Sand	g)	h) SU*	i)				
	a) b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.33

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 3 Kran 4 / Blatt: 1 Höhe: +0.84 mNHN | Datum: 09.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
0.50	a) Schluff, tonig, schwach humos - humos, schwach feinsandig b)				bis 1.00 m vorgeschachtet	GP	1	0.50
	c) halbfest	d)	e) hellbraun					
	f) Auffüllung	g)	h) [TA]	i)				
0.95	a) Schluff, tonig, schwach feinsandig - feinsandig, schwach humos b) humose Linse				GW (0.95)	GP	2	0.95
	c) halbfest	d)	e) beige - hellbraun					
	f) Klei	g)	h) TA	i)				
1.35	a) Schluff, stark tonig, sehr schwach humos - schwach humos, sehr schwach feinsandig b) humose Linsen					GP	3	1.35
	c) steif - halbfest	d) mittelschwer bohrbar	e) beige					
	f) Klei	g)	h) TA	i)				
2.35	a) Schluff, stark feinsandig, sehr schwach tonig b) Muschelreste					GP	4	2.35
	c) weich - steif	d) mittelschwer bohrbar	e) grau					
	f) Mischwatt	g)	h) UL	i)				
2.85	a) Schluff, feinsandig - stark feinsandig, sehr schwach tonig b) Muschelreste, humose Linse					GP	5	2.85
	c) weich	d) mittelschwer bohrbar	e) grau					
	f) Mischwatt	g)	h) UL	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.34

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 3 Kran 4 / Blatt: 2 Höhe: +0.84 mNHN | Datum: 09.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
3.05	a) Torf, schwach schluffig b) stark zersetzt c)	d) mittelschwer bohrbar	e) dunkelbraun			GP	6	3.05
	f) Torf	g)	h) HZ	i)				
3.35	a) Schluff, humos, schwach tonig - tonig, sehr schwach feinsandig b) c) weich - steif	d) schwer bohrbar	e) braun			GP	7	3.35
	f) Klei	g)	h) OT	i)				
4.30	a) Feinsand, mittelsandig, sehr schwach schluffig - schwach schluffig b) c)	d) schwer bohrbar	e) dunkelbeige			GP	8	4.30
	f) Sand	g)	h) SE - SU	i)				
5.30	a) Feinsand, mittelsandig, schwach schluffig - schluffig b) c)	d) sehr schwer bohrbar	e) hellbraun			GP	9	5.30
	f) Sand	g)	h) SU-SU*	i)				
6.00	a) Feinsand, schwach schluffig, schwach mittelsandig b) c)	d) sehr schwer bohrbar	e) beige - grau		teilweise Kernverlust	GP	10	6.00
	f) Sand	g)	h) SU	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.35

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 4 Anlage / Blatt: 1 Höhe: +0.76 mNHN | Datum: 10.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
0.20	a) Schluff, humos, tonig, schwach feinsandig b) 5 cm Grasnarbe c) halbfest	d)	e) grau - braun		bis 1.00 m vorgeschachtet	GP	1	0.20
	f) Auffüllung	g)	h) [TA]	i)				
0.60	a) Schluff, stark tonig, schwach humos, sehr schwach feinsandig - schwach feinsandig b) c) halbfest	d)	e) grau			GP	2	0.60
	f) Klei	g)	h) TA	i)				
1.00	a) Schluff, stark tonig, sehr schwach feinsandig - schwach feinsandig, sehr schwach humos b) c) steif - halbfest	d)	e) grau		GW (0.80)	GP	3	1.00
	f) Klei	g)	h) TA	i)				
2.00	a) Schluff, schwach feinsandig - feinsandig, sehr schwach tonig, sehr schwach humos b) c) steif	d) leicht bohrbar	e) grau		teilweise Kernverlust	GP	4	2.00
	f) Klei	g)	h) TA	i)				
2.65	a) Schluff, schwach tonig, schwach humos, sehr schwach feinsandig - schwach feinsandig b) c) weich	d) leicht bohrbar	e) dunkelgrau			GP	5	2.65
	f) Klei	g)	h) TA	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.36

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 4 Anlage / Blatt: 2 Höhe: +0.76 mNHN — Datum: 10.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
2.90	a) Schluff, humos, feinsandig, schwach tonig b) Torflinse					GP	6	2.90
	c) steif	d) mittelschwer bohrbar	e) dunkelbraun					
	f) Klei	g)	h) OT	i)				
3.70	a) Feinsand, stark mittelsandig, schluffig b)					GP	7	3.70
	c)	d) mittelschwer bohrbar	e) grau - braun					
	f) schluffiger Sand	g)	h) SU*	i)				
4.50	a) Feinsand, stark schluffig, mittelsandig b)				von 4.00 m bis 4.30 m Kernverlust	GP	8	4.50
	c)	d) schwer bohrbar	e) grau					
	f) schluffiger Sand	g)	h) SU*	i)				
5.40	a) Mittelsand, stark feinsandig, sehr schwach schluffig b)					GP	9	5.40
	c)	d) schwer bohrbar	e) beige					
	f) Sand	g)	h) SE	i)				
6.60	a) Mittelsand, stark feinsandig, schwach schluffig b) Torflinse				teilweise Kernverlust	GP	10	6.60
	c)	d) schwer bohrbar	e) beige					
	f) Sand	g)	h) SU	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.37

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 4 Anlage / Blatt: 3 Höhe: +0.76 mNHN | Datum: 10.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
7.20	a) Mittelsand, stark feinsandig, schwach schluffig					GP	11	7.20
	b)							
	c)	d) schwer bohrbar	e) beige					
	f) Sand	g)	h) SU	i)				
8.20	a) Feinsand, stark mittelsandig, schluffig					GP	12	8.20
	b)							
	c)	d) schwer bohrbar	e) hellgrau					
	f) schluffiger Sand	g)	h) SU*	i)				
9.10	a) Feinsand, stark mittelsandig, schwach schluffig					GP	13	9.10
	b)							
	c)	d) sehr schwer bohrbar	e) hellgrau					
	f) Sand	g)	h) SU	i)				
10.00	a) Feinsand, mittelsandig, schwach schluffig - schluffig					GP	14	10.00
	b)							
	c)	d) sehr schwer bohrbar	e) hellgrau					
	f) Sand	g)	h) SU-SU*	i)				
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.38

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 4 Kran 1 / Blatt: 1 Höhe: +0.53 mNHN | Datum: 10.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
0.20	a) Schluff, schwach feinsandig, schwach humos, schwach tonig b) 5 cm Grasnarbe				GW (0.10), bis 1.00 m vorgeschachtet	GP	1	0.20
	c) weich - steif	d)	e) dunkelgrau					
	f) Auffüllung	g)	h) [TA]	i)				
0.80	a) Schluff, sehr schwach feinsandig, sehr schwach humos, tonig b)					GP	2	0.80
	c) steif - halbfest	d)	e) grau					
	f) Klei	g)	h) TA	i)				
2.00	a) Schluff, feinsandig, sehr schwach tonig b) Muschelreste					GP	3	2.00
	c) steif	d) leicht bohrbar	e) grau					
	f) Mischwatt	g)	h) UL	i)				
2.80	a) Torf, sehr schwach feinsandig b) stark zersetzt					GP	4	2.80
	c)	d) mittelschwer bohrbar	e) schwarz					
	f) Torf	g)	h) HZ	i)				
3.60	a) Feinsand, mittelsandig, sehr schwach schluffig - schwach schluffig, sehr schwach humos b) Schluffbänder					GP	5	3.60
	c)	d) mittelschwer bohrbar	e) dunkelbraun					
	f) Sand	g)	h) SE - SU	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.39

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 4 Kran 1 / Blatt: 2 Höhe: +0.53 mNHN | Datum: 10.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
4.60	a) Feinsand, schluffig, schwach mittelsandig					GP	6	4.60
	b)							
	c)	d) schwer bohrbar	e) beigebraun					
	f) schluffiger Sand	g)	h) SU*	i)				
6.00	a) Feinsand, schwach schluffig, sehr schwach mittelsandig				von 5.60 m bis 6.00 m Kernverlust	GP	7	5.60
	b)							
	c)	d) schwer bohrbar	e) grau					
	f) Sand	g)	h) SU	i)				
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.40

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 4 Kran 2 / Blatt: 1 Höhe: +0.73 mNHN | Datum: 10.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
0.40	a) Schluff, humos, tonig, sehr schwach mittelsandig b) 5 cm Grasnarbe c) steif - halbfest f) Auffüllung	d) g)	e) braun h) [TA]	i)	bis 1.00 m vorgeschachtet	GP	1	0.40
0.80	a) Schluff, stark tonig, sehr schwach feinsandig, sehr schwach humos b) c) halbfest f) Klei	d) g)	e) grau h) TA	i)	GW (0.70)	GP	2	0.80
1.10	a) Schluff, stark tonig, sehr schwach humos, sehr schwach feinsandig b) c) steif f) Klei	d) leicht bohrbar g)	e) grau h) TA	i)		GP	3	1.10
2.20	a) Schluff, stark feinsandig, sehr schwach tonig b) c) weich - steif f) Mischwatt	d) mittelschwer bohrbar g)	e) grau h) UL	i)		GP	4	2.20
2.80	a) Feinsand, schwach humos, schwach schluffig, sehr schwach mittelsandig b) c) f) humoser Sand	d) mittelschwer bohrbar g)	e) braun h) SU	i)		GP	5	2.80

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.41

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 4 Kran 2 / Blatt: 2 Höhe: +0.73 mNHN | Datum: 10.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
3.65	a) Feinsand, schwach schluffig, sehr schwach mittelsandig b) c)	d) schwer bohrbar	e) grau			GP	6	3.65
	f) Sand	g)	h) SU	i)				
4.65	a) Mittelsand, stark feinsandig, schwach schluffig b) c)	d) schwer bohrbar	e) grau			GP	7	4.65
	f) Sand	g)	h) SU	i)				
6.00	a) Mittelsand, feinsandig, sehr schwach schluffig b) c)	d) schwer bohrbar	e) grau		von 5.70 m bis 6.00 m Kernverlust	GP	8	5.70
	f) Sand	g)	h) SE	i)				
	a) b) c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				
	a) b) c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.42

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 4 Kran 3 / Blatt: 1 Höhe: +0.66 mNHN | Datum: 10.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
0.60	a) Schluff, stark tonig, schwach feinsandig, humos b) 5 cm Grasnarbe c) halbfest / d) / e) dunkelgrau f) Auffüllung / g) / h) [TA] / i)				bis 1.00 m vorgeschachtet	GP	1	0.60
1.10	a) Schluff, stark tonig, schwach feinsandig, schwach humos b) c) halbfest / d) / e) dunkelgrau f) Klei / g) / h) TA / i)				GW (0.80)	GP	2	1.10
1.80	a) Schluff, schwach feinsandig, sehr schwach humos, schwach tonig b) c) steif / d) leicht bohrbar / e) braun - grau f) Klei / g) / h) TA / i)					GP	3	1.80
2.40	a) Schluff, feinsandig, schwach tonig b) c) weich - steif / d) leicht bohrbar / e) hellgrau f) Mischwatt / g) / h) UL / i)					GP	4	2.40
2.90	a) Schluff, humos, feinsandig, sehr schwach tonig b) 0.10 m Torflinse c) steif / d) / e) dunkelbraun f) Schluff / g) / h) OU / i)					GP	5	2.90

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.43

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 4 Kran 3 / Blatt: 2	Höhe: +0.66 mNHN	Datum: 10.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
4.00	a) Feinsand, sehr schwach mittelsandig, schwach schluffig b)					GP	6	4.00
	c)	d) mittelschwer bohrbar	e) hellgrau					
	f) Sand	g)	h) SU	i)				
5.00	a) Feinsand, schwach schluffig - schluffig, sehr schwach mittelsandig b)					GP	7	5.00
	c)	d) schwer bohrbar	e) hellgrau					
	f) Sand	g)	h) SU-SU*	i)				
6.00	a) Feinsand, sehr schwach mittelsandig, schwach schluffig b)					GP	8	6.00
	c)	d) schwer bohrbar	e) hellgrau					
	f) Sand	g)	h) SU	i)				
	a) b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				
	a) b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.44

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 4 Kran 4 / Blatt: 1 Höhe: +0.74 mNHN | Datum: 10.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
0.15	a) Schluff, humos, schwach feinsandig, tonig b) 5 cm Grasnarbe c) steif / d) / e) schwarz f) Auffüllung / g) / h) [TA] / i)				bis 1.00 m vorgeschachtet	GP	1	0.15
0.70	a) Schluff, stark tonig, schwach humos, sehr schwach feinsandig b) c) halbfest / d) / e) grau f) Klei / g) / h) TA / i)				GW (0.70)	GP	2	0.70
1.50	a) Schluff, stark tonig, sehr schwach feinsandig, sehr schwach humos b) c) steif / d) leicht bohrbar / e) hellgrau f) Klei / g) / h) TA / i)					GP	3	1.50
2.30	a) Schluff, schwach feinsandig, tonig, sehr schwach humos b) c) steif / d) leicht bohrbar / e) grau f) Klei / g) / h) TA / i)					GP	4	2.30
3.05	a) Torf, sehr schwach feinsandig - schwach feinsandig b) stark zersetzt c) / d) mittelschwer bohrbar / e) schwarz f) Torf / g) / h) HZ / i)					GP	5	3.05

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.45

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 4 Kran 4 / Blatt: 2 Höhe: +0.74 mNHN | Datum: 10.05.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
3.80	a) Feinsand, schwach schluffig - schluffig, sehr schwach mittelsandig b)					GP	6	3.80
	c)	d) mittelschwer bohrbar	e) beigebraun					
	f) Sand	g)	h) SU-SU*	i)				
5.00	a) Feinsand, schwach schluffig, schwach mittelsandig b) Schlufflinse					GP	7	5.00
	c)	d) schwer bohrbar	e) hellgrau					
	f) Sand	g)	h) SU	i)				
6.00	a) Feinsand, sehr schwach mittelsandig, schwach schluffig b) Schlufflinse					GP	8	6.00
	c)	d) schwer bohrbar	e) hellgrau					
	f) Sand	g)	h) SU	i)				
	a) b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				
	a) b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.46

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 5 V. Anlage / Blatt: 1 Höhe: +0.60 mNHN | Datum: 05.07.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1)] c) Beschaffenheit nach Bohrgut / d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang / e) Farbe f) Übliche Benennung / g) Geologische Benennung [1)] / h) [1)] Gruppe / i) Kalkgehalt				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
0.50	a) Schluff, tonig, schwach feinsandig, schwach humos b) 5 cm Grasnarbe c) halbfest / d) / e) dunkelgrau f) Auffüllung / g) / h) [UL] / i)				bis 1.00 m vorgeschachtet	GP	1	0.50
1.00	a) Schluff, feinsandig, schwach tonig, sehr schwach humos b) Sandlinsen c) halbfest / d) / e) hellgrau f) Klei / g) / h) TA / i)					GP	2	1.00
2.00	a) Schluff, stark tonig, sehr schwach feinsandig - schwach feinsandig, sehr schwach humos b) c) halbfest / d) leicht bohrbar / e) grau f) Klei / g) / h) TA / i)				GW (1.70)	GP	3	2.00
3.00	a) Schluff, feinsandig, schwach tonig b) Muschelreste c) weich / d) leicht bohrbar / e) grau f) Mischwatt / g) / h) UL / i)					GP	4	3.00
3.80	a) Schluff, feinsandig, schwach tonig b) Muschelreste c) steif / d) mittelschwer bohrbar / e) grau f) Mischwatt / g) / h) UL / i)					GP	5	3.80

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.47

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 5 V. Anlage / Blatt: 2 Höhe: +0.60 mNHN — Datum: 05.07.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
4.80	a) Schluff, schwach feinsandig - feinsandig, schwach tonig b) Torflinsen					GP	6	4.80
	c) weich - steif	d) mittelschwer bohrbar	e) grau					
	f) Mischwatt	g)	h) UL	i)				
5.60	a) Torf, sehr schwach feinsandig b) Kleilinsen, mäßig zersetzt - stark zersetzt					GP	7	5.60
	c)	d) mittelschwer bohrbar	e) braun					
	f) Torf	g)	h) HN - HZ	i)				
6.20	a) Mittelsand, stark feinsandig, sehr schwach schluffig b)					GP	8	6.20
	c)	d) schwer bohrbar	e) beige					
	f) Sand	g)	h) SE	i)				
6.90	a) Schluff, feinsandig, schwach humos, schwach tonig, schwach mittelsandig b)					GP	9	6.90
	c) steif	d) schwer bohrbar	e) grau					
	f) Mischwatt	g)	h) UM	i)				
7.70	a) Mittelsand, feinsandig, sehr schwach schluffig, sehr schwach humos b) Schlufflinsen					GP	10	7.70
	c)	d) sehr schwer bohrbar	e) grau					
	f) Sand	g)	h) SE	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.48

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 5 V. Anlage / Blatt: 3 Höhe: +0.60 mNHN | Datum: 05.07.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
8.20	a) Mittelsand, schwach schluffig, sehr schwach feinsandig, sehr schwach grobsandig b) humose Schlufflinsen					GP	11	8.20
	c)	d) sehr schwer bohrbar	e) grau					
	f) Sand	g)	h) SU	i)				
8.60	a) Feinsand, schwach mittelsandig, schwach schluffig b)					GP	12	8.60
	c)	d) sehr schwer bohrbar	e) beigebraun					
	f) Sand	g)	h) SU	i)				
9.40	a) Mittelsand, schluffig, schwach feinsandig, schwach grobsandig b) Schlufflinse					GP	13	9.40
	c)	d) sehr schwer bohrbar	e) dunkelgrau					
	f) schluffiger Sand	g)	h) SU*	i)				
10.00	a) Ton, schwach schluffig, sehr schwach feinsandig b)					GP	14	10.00
	c) steif - halbfest	d) sehr schwer bohrbar	e) grau					
	f) Ton	g)	h) TA	i)				
	a) b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.49

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 5 V. Kran 1 / Blatt: 1 Höhe: +0.61 mNHN | Datum: 06.07.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
0.50	a) Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig, schwach humos b) 5 cm Grasnarbe				bis 1.00 m vorgeschachtet	GP	1	0.50
	c) halbfest	d)	e) graublau					
	f) Auffüllung	g)	h) [UL]	i)				
0.90	a) Schluff, tonig, schwach feinsandig, schwach humos b)					GP	2	0.90
	c) halbfest	d)	e) graubraun					
	f) Klei	g)	h) TA	i)				
2.00	a) Schluff, feinsandig, schwach tonig b) Torflinse				GW (1.60)	GP	3	2.00
	c) halbfest	d) leicht bohrbar	e) graublau					
	f) Mischwatt	g)	h) UL	i)				
3.00	a) Schluff, feinsandig, schwach tonig b) Muschelreste					GP	4	3.00
	c) weich	d) leicht bohrbar	e) grau					
	f) Mischwatt	g)	h) UL	i)				
3.70	a) Schluff, feinsandig, schwach tonig b) Torfband					GP	5	3.70
	c) steif	d) leicht bohrbar	e) graublau					
	f) Mischwatt	g)	h) UL	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.50

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 5 V. Kran 1 / Blatt: 2 Höhe: +0.61 mNHN | Datum: 06.07.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
4.15	a) Torf, sehr schwach feinsandig b) stark zersetzt c)	d) leicht bohrbar	e) dunkelbraun			GP	6	4.15
	f) Torf	g)	h) HZ	i)				
4.50	a) Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig b) Torfbänder c) steif	d) leicht bohrbar	e) grau			GP	7	4.50
	f) Mischwatt	g)	h) UL	i)				
5.20	a) Schluff, feinsandig, schwach tonig b) Torflinse c) steif	d) mittelschwer bohrbar	e) dunkelgrau			GP	8	5.20
	f) Mischwatt	g)	h) UL	i)				
6.00	a) Mittelsand, stark feinsandig, sehr schwach schluffig, sehr schwach humos b) c)	d) schwer bohrbar	e) beige			GP	9	6.00
	f) Sand	g)	h) SE	i)				
	a) b) c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.51

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 5 V. Kran 2 / Blatt: 1 Höhe: +0.60 mNHN | Datum: 06.07.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
0.50	a) Schluff, feinsandig, schwach humos - humos b)				bis 1.00 m vorgeschachtet	GP	1	0.50
	c) steif	d)	e) braun					
	f) Auffüllung	g)	h) [UL]	i)				
0.90	a) Schluff, feinsandig, tonig, schwach humos b)					GP	2	0.90
	c) steif - halbfest	d)	e) braun					
	f) Klei	g)	h) TA	i)				
1.65	a) Schluff, schwach humos - humos, schwach feinsandig, sehr schwach tonig b) Torflinse					GP	3	1.65
	c) steif	d) leicht bohrbar	e) braun					
	f) Klei	g)	h) TA	i)				
2.00	a) Schluff, schwach feinsandig - feinsandig, schwach tonig b) Muschelreste				GW (1.80)	GP	4	2.00
	c) weich - steif	d) leicht bohrbar	e) graublau					
	f) Mischwatt	g)	h) UL	i)				
3.00	a) Schluff, feinsandig, schwach tonig b)					GP	5	3.00
	c) weich	d) mittelschwer bohrbar	e) grau					
	f) Mischwatt	g)	h) UL	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.52

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 5 V. Kran 2 / Blatt: 2 Höhe: +0.60 mNHN | Datum: 06.07.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
3.80	a) Schluff, schwach feinsandig - feinsandig, schwach tonig b) Muschelreste					GP	6	3.80
	c) weich - steif	d) mittelschwer bohrbar	e) grau					
	f) Mischwatt	g)	h) UL	i)				
4.70	a) Torf, schwach schluffig b) Schlufflinsen, stark zersetzt					GP	7	4.70
	c)	d) mittelschwer bohrbar	e) dunkelbraun					
	f) Torf	g)	h) HZ	i)				
4.90	a) Schluff, feinsandig, schwach humos, sehr schwach tonig b) Torflinse					GP	8	4.90
	c) weich	d) mittelschwer bohrbar	e) graubraun					
	f) Mischwatt	g)	h) UL	i)				
6.00	a) Feinsand, mittelsandig, sehr schwach schluffig b) humose Linse					GP	9	6.00
	c)	d) schwer bohrbar	e) beigebraun					
	f) Sand	g)	h) SE	i)				
	a) b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.53

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 5 V. Kran 3 / Blatt: 1 Höhe: +0.88 mNHN | Datum: 06.07.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
0.40	a) Schluff, feinsandig, humos, schwach tonig b) 5 cm Grasnarbe				bis 1.00 m vorgeschachtet	GP	1	0.40
	c) halbfest	d)	e) graublau					
	f) Auffüllung	g)	h) [UL]	i)				
0.80	a) Schluff, tonig, schwach feinsandig, sehr schwach humos - schwach humos b)					GP	2	0.80
	c) halbfest	d)	e) hellgraubeige					
	f) Klei	g)	h) TA	i)				
1.90	a) Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig, sehr schwach humos b)					GP	3	1.90
	c) steif - halbfest	d) leicht bohrbar	e) grau					
	f) Klei	g)	h) TA	i)				
3.00	a) Schluff, feinsandig, schwach tonig b)				GW (1.95)	GP	4	3.00
	c) steif	d) leicht bohrbar	e) grau					
	f) Mischwatt	g)	h) UL	i)				
3.95	a) Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig b) Muschelreste, Torfbänder					GP	5	3.95
	c) steif	d) leicht bohrbar	e) grau					
	f) Mischwatt	g)	h) UL	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.54

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 5 V. Kran 3 / Blatt: 2 Höhe: +0.88 mNHN | Datum: 06.07.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
4.75	a) Schluff, feinsandig, schwach tonig b) Torflinse					GP	6	4.75
	c) steif	d) mittelschwer bohrbar	e) grau					
	f) Mischwatt	g)	h) UL	i)				
5.35	a) Torf, sehr schwach feinsandig b) Kleilinsen, mäßig zersetzt					GP	7	5.35
	c)	d) mittelschwer bohrbar	e) dunkelbraun					
	f) Torf	g)	h) HN	i)				
5.75	a) Mittelsand, schwach feinsandig b) Grobsand-Torflinse					GP	8	5.75
	c)	d) mittelschwer bohrbar	e) beigebraun					
	f) Sand	g)	h) SE	i)				
6.00	a) Feinsand, schwach mittelsandig, sehr schwach schluffig b)					GP	9	6.00
	c)	d) schwer bohrbar	e) beige					
	f) Sand	g)	h) SE	i)				
	a) b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.55

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 5 V. Kran 4 / Blatt: 1 Höhe: +0.72 mNHN | Datum: 05.07.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
0.80	a) Schluff, stark feinsandig, tonig, schwach humos - humos b)				bis 1.00 m vorgeschachtet	GP	1	0.80
	c) halbfest	d)	e) graubraun					
	f) Auffüllung	g)	h) [UL]	i)				
1.80	a) Schluff, feinsandig, tonig, schwach humos b)				GW (1.50)	GP	2	1.80
	c) steif	d) leicht bohrbar	e) braungrau					
	f) Klei	g)	h) TA	i)				
2.80	a) Schluff, feinsandig, schwach tonig b)					GP	3	2.80
	c) weich	d) leicht bohrbar	e) grau					
	f) Mischwatt	g)	h) UL	i)				
3.80	a) Schluff, schwach feinsandig - feinsandig, schwach tonig, sehr schwach humos b) Muschelschillige					GP	4	3.80
	c) weich - steif	d) mittelschwer bohrbar	e) grau					
	f) Mischwatt	g)	h) UL	i)				
4.00	a) Torf, schwach schluffig b) Schlufflinse, mäßig zersetzt					GP	5	4.00
	c)	d) leicht bohrbar	e) dunkelbraun					
	f) Torf	g)	h) HN	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.56

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung WEA 5 V. Kran 4 / Blatt: 2 Höhe: +0.72 mNHN | Datum: 05.07.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
4.60	a) Schluff, schwach feinsandig - feinsandig b) Torflinse, Sandlinse c) weich f) Mischwatt	d) mittelschwer bohrbar g)	e) grau h) UL	i)		GP	6	4.60
5.40	a) Torf, schwach schluffig b) Schlufflinsen, schwach zersetzt - mäßig zersetzt c) f) Torf	d) mittelschwer bohrbar g)	e) dunkelbraun h) HN	i)		GP	7	5.40
6.00	a) Feinsand, schwach schluffig, schwach mittelsandig b) humose Linse c) f) Sand	d) schwer bohrbar g)	e) beige - grau h) SU	i)		GP	8	6.00
	a) b) c) f)	d) g)	e) h)	i)				
	a) b) c) f)	d) g)	e) h)	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Vulhop + Becker GmbH & Co. KG
Tannenkrugstraße 42
26180 Rastede
Tel.: 0441 / 9990990

Kopfblatt	Name des Unternehmens	Vulhop + Becker GmbH & Co. KG	
Aufschlussart: Bohrung Repowering WP. Georgshof WEA1	Name des Auftraggebers	Rasteder Projektierungs GmbH	
Projektbezeichnung	Baugrunduntersuchungen 5xE-138	Nr des Projekts	234364
Datum	03.08. - 04.08.2023	Höhe	
Lage		Neigung der Bohrung	
32395055	5944476	Richtung der Bohrung	vertikal
Tiefe der freien Grundwasseroberfläche	2.00 m	Tiefe der Bohrung	30.00 m

Lageskizze (unmaßstäblich)

Ausführung und Typ des Entnahmegeräts	Nordmeyer Rammkerngerät 200kg
Beigefügte Protokolle	☒ Bohrprotokoll ☒ Probenentnahmeprotokoll ☒ Verfüllprotokoll ☒ Schichtenverzeichnis ☐ Ausbauprotokoll einer Grundwassermessstelle ☐ Protokoll der Grundwassermessungen ☐ Andere:
Bemerkungen (Unterbrechungen, Hindernisse, Schwierigkeiten usw.)	
Name des qualifizierten Technikers	C. Steffen
Unterschrift des qualifizierten Technikers	

Vulhop + Becker GmbH & Co. KG
Tannenkrugstraße 42
26180 Rastede
Tel.: 0441 / 9990990

Bohrprotokoll

Name des Unternehmens	Vulhop + Becker GmbH & Co. KG		
Name des Auftraggebers	Rasteder Projektierungs GmbH		
Projektbezeichnung	Baugrunduntersuchungen 5xE-138	Projektnummer	234364
Datum der Bohrung	03.08. - 04.08.2023	Bezeichnung des Bohrlochs	Repowering WP. Georgshof WEA1
Bohrgerät (Typ, Herstell-jahr)	Nordmeyer DSB 1.3/5 (Kette)	Endtiefe des Bohrlochs	30.00 m
Verfahren des Vor-bohrens		Rammen	
Bohrlochdurchmesser	219 mm	mm	mm

Tiefe		Bohren		Bohrwerkzeug				Verrohrung			Spülung		
von	bis	Verfahren	Lösens des Bodens/Fels	Typ, Bohrkrone	Durchmesser mm	Rammen	Spülung	Innenduch-messer mm	Außendurch-messer mm	Tiefe m	Druck	Spülumsatz	Bemerkungen
0.00	30.00	BP	rot	Schn	180				219	30.00			

Bemerkungen (Unterbrechungen, Hindernisse, Schwierigkeiten usw.)	
Name des qualifizierten Technikers	C. Steffen
Unterschrift des qualifizierten Technikers	

Vulhop + Becker GmbH & Co. KG
Tannenkrugstraße 42
26180 Rastede
Tel.: 0441 / 9990990

Probenentnahme-protokoll

Name des Unternehmens	Vulhop + Becker GmbH & Co. KG		
Name des Auftraggebers	Rasteder Projektierungs GmbH		
Projektbezeichnung	Baugrunduntersuchungen 5xE-138	Projektnummer	234364
Entnahmedatum	03.08. - 04.08.2023	Bezeichnung des Aufschlusses	Repowering WP. Georgshof WEA1
Bezeichnung der Probe			

Tiefe/Kernmarsch m		Probe		Felsgüte und Kerngewinn			Entnahmegerät		Bemerkungen - Kernfangring - Störung - Boden-/Felsart - Rammeinsatz
		Länge mm	Durch-messer mm	*TCR*	*RQD*	*SCR*	Aus-führung	Typ	
von	bis 0.60								B1
von	bis 2.00								B2
von	bis 3.00								B3
von	bis 4.00								B4
von 4.00	bis 5.00	1000.00							K1 SZ 1/3/5/8/8
von	bis 5.80								B5
von	bis 7.00								B6
von	bis 7.60								B7
von	bis 8.00								B8
von 8.00	bis 9.00	1000.00							K2 SZ 10/15/15/19/26
von	bis 10.00								B9
von	bis 11.00								B10
von	bis 12.00								B11
von	bis 12.75								B12
von 12.75	bis 13.00	250.00							UP1 SZ 28
von	bis								
von	bis 14.00								B13
von	bis 15.00								B14
von	bis 16.00								B15
von 16.00	bis 17.00	1000.00							K3 SZ 15/20/25/35/45
von	bis 18.00								B16
von	bis 19.00								B17
von	bis 19.75								B18

Bemerkungen	
Name des qualifizierten Technikers	C. Steffen
Unterschrift des qualifizierten Technikers	

Vulhop + Becker GmbH & Co. KG
Tannenkrugstraße 42
26180 Rastede
Tel.: 0441 / 9990990

Probenentnahme-protokoll

Name des Unternehmens	Vulhop + Becker GmbH & Co. KG		
Name des Auftraggebers	Rasteder Projektierungs GmbH		
Projektbezeichnung	Baugrunduntersuchungen 5xE-138	Projektnummer	234364
Entnahmedatum	03.08. - 04.08.2023	Bezeichnung des Aufschlusses	Repowering WP. Georgshof WEA1
Bezeichnung der Probe			

Tiefe/Kernmarsch m		Probe		Felsgüte und Kerngewinn			Entnahmegerät		Bemerkungen - Kernfangring - Störung - Boden-/Felsart - Rammeinsatz
		Länge mm	Durch-messer mm	*TCR*	*RQD*	*SCR*	Aus-führung	Typ	
von 19.75	bis 20.00	250.00							UP2 SZ 40
von	bis 21.00								B19
von	bis 22.00								B20
von	bis 23.00								B21
von	bis 24.00								B22
von	bis 25.00								B23
von	bis 26.00								B24
von	bis 26.75								B25
von 26.75	bis 27.00	250.00							UP3 SZ 38
von	bis 28.00								B26
von	bis 29.00								B27
von	bis 30.00								B28
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								

Bemerkungen	
Name des qualifizierten Technikers	C. Steffen
Unterschrift des qualifizierten Technikers	

Vulhop + Becker GmbH & Co. KG
Tannenkrugstraße 42
26180 Rastede
Tel.: 0441 / 9990990

Verfüllprotokoll

Name des Unternehmens		Vulhop + Becker GmbH & Co. KG	
Name des Auftraggebers		Rasteder Projektierungs GmbH	
Projektbezeichnung	Baugrunduntersuchungen 5xE-138	Projektnummer	234364
Datum des Verfüllens	07.08.2023	Bezeichnung des Aufschlusses	Repowering WP. Georgshof WEA1

Tiefe m		**Verfüllmaterial**		**Tiefe m**		**Verfüllmaterial**	
von 0,00	bis 30,00	Ton	FRIEBOfast	von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		

Bemerkungen	
Name des qualifizierten Technikers	C. Steffen
Unterschrift des qualifizierten Technikers	

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.57

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung B WEA 1 Anlage / Blatt: 1 Höhe: + 0,90 m NHN — Datum: 08.08.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1)] c) Beschaffenheit nach Bohrgut / d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang / e) Farbe f) Übliche Benennung / g) Geologische Benennung [1)] / h) [1)] Gruppe / i) Kalkgehalt				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
0.60	a) Schluff, org. Beimengungen, tonig, schwach humos, sehr schwach feinsandig b) c) halbfest / d) / e) braun - hellgrau f) Klei / g) / h) [TA] / i)				Handschachtung bis 1.50 m	B	1	0.60
4.00	a) Schluff, org. Beimengungen, tonig, sehr schwach feinsandig, sehr schwach humos b) c) weich / d) leicht bohrbar / e) hellgrau f) Klei / g) / h) TA / i)				Verrohrung d = 219 mm, Schnecke d = 180 mm, GW (2.00)	B B B	2 3 4	2.00 3.00 4.00
5.00	a) Schluff, feinsandig, schwach tonig b) Muschelreste, Holzstück c) weich - steif / d) leicht bohrbar / e) hellgrau f) Mischwatt / g) / h) UL / i)				Verrohrung d = 219 mm, Schnecke d = 180 mm	K	1	5.00
5.80	a) Schluff, tonig, schwach humos - humos, schwach feinsandig b) c) weich - steif / d) leicht bohrbar / e) hellgrau f) Klei / g) / h) TA / i)				Verrohrung d = 219 mm, Schnecke d = 180 mm	B	5	5.80
7.60	a) Feinsand, schwach schluffig, schwach mittelsandig b) c) / d) mittelschwer bohrbar / e) hellbraun f) Sand / g) / h) SU / i)				nass	B B	6 7	7.00 7.60

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.58

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung B WEA 1 Anlage / Blatt: 2 Höhe: + 0,90 m NHN — Datum: 08.08.2023

1	2	3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1] c) Beschaffenheit nach Bohrgut / d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang / e) Farbe f) Übliche Benennung / g) Geologische Benennung [1] / h) [1] Gruppe / i) Kalkgehalt	Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
8.00	a) Schluff, feinsandig, schwach tonig b) c) steif / d) mittelschwer bohrbar / e) grau f) Mischwatt / g) / h) UL / i)		B	8	8.00
8.80	a) Schluff, schwach tonig, schwach feinsandig, sehr schwach humos - schwach humos b) c) steif / d) mittelschwer bohrbar / e) dunkelgrau f) Klei / g) / h) TA / i)		K	2	8.80
9.00	a) Feinsand, schwach mittelsandig, schwach schluffig b) c) / d) mittelschwer bohrbar / e) dunkelgrau f) Sand / g) / h) SE / i)		K	2	9.00
10.00	a) Schluff, feinsandig, tonig b) c) weich - steif / d) mittelschwer bohrbar / e) grau f) Schluff / g) / h) UL / i)		B	9	10.00
11.00	a) Mittelsand, schluffig, schwach feinsandig, sehr schwach grobsandig - schwach grobsandig, sehr schwach b) humos c) / d) mittelschwer bohrbar / e) grau f) schluffiger Sand / g) / h) SU* / i)	nass	B	10	11.00

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.59

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung B WEA 1 Anlage / Blatt: 3 Höhe: + 0,90 m NHN — Datum: 08.08.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
19.00	a) Schluff, tonig, schwach feinsandig, schwach humos b)					B B UP B B B K B B	11 12 1 13 14 15 16 3 16 17	12.00 12.75 13.00 14.00 15.00 16.00 17.00 18.00 19.00
	c) halbfest	d) mittelschwer bohrbar	e) grau					
	f) toniger Schluff	g)	h) UA	i)				
25.00	a) Schluff, tonig, schwach feinsandig - feinsandig, schwach humos b)					B UP B B B B B	18 2 19 20 21 22 23	19.75 20.00 21.00 22.00 23.00 24.00 25.00
	c) halbfest	d) mittelschwer bohrbar	e) grau					
	f) toniger Schluff	g)	h) UA	i)				
29.00	a) Schluff, feinsandig, schwach tonig, sehr schwach humos b)					B B UP B B	24 25 3 26 27	26.00 26.75 27.00 28.00 29.00
	c) steif	d) mittelschwer bohrbar	e) grau					
	f) sandiger Schluff	g)	h) UL	i)				
30.00	a) Schluff, feinsandig, humos b) Torflinsen					B	28	30.00
	c) steif	d) mittelschwer bohrbar	e) dunkelbraun					
	f) humoser Schluff	g)	h) OU	i)				
	a) b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Vulhop + Becker GmbH & Co. KG
Tannenkrugstraße 42
26180 Rastede
Tel.: 0441 / 9990990

Kopfblatt	Name des Unternehmens	Vulhop + Becker GmbH & Co. KG	
Aufschlussart: Bohrung Repowering WP. Georgshof WEA2	Name des Auftraggebers	Rasteder Projektierungs GmbH	
Projektbezeichnung	Baugrunduntersuchungen 5xE-138	Nr des Projekts	234364
Datum	01.08. - 02.08.2023	Höhe	
Lage		Neigung der Bohrung	
32395180	5944213	Richtung der Bohrung	vertikal
Tiefe der freien Grundwasseroberfläche	2.20 m	Tiefe der Bohrung	30.00 m

Lageskizze (unmaßstäblich)

Ausführung und Typ des Entnahmegeräts	Nordmeyer Rammkerngerät 200kg
Beigefügte Protokolle	☒ Bohrprotokoll ☒ Probenentnahmeprotokoll ☒ Verfüllprotokoll ☐ Schichtenverzeichnis ☐ Ausbauprotokoll einer Grundwassermessstelle ☐ Protokoll der Grundwassermessungen ☐ Andere:
Bemerkungen (Unterbrechungen, Hindernisse, Schwierigkeiten usw.)	
Name des qualifizierten Technikers	C. Steffen
Unterschrift des qualifizierten Technikers	

Vulhop + Becker GmbH & Co. KG
Tannenkrugstraße 42
26180 Rastede
Tel.: 0441 / 9990990

Bohrprotokoll

Name des Unternehmens	Vulhop + Becker GmbH & Co. KG		
Name des Auftraggebers	Rasteder Projektierungs GmbH		
Projektbezeichnung	Baugrunduntersuchungen 5xE-138	Projektnummer	234364
Datum der Bohrung	01.08. - 02.08.2023	Bezeichnung des Bohrlochs	Repowering WP. Georgshof WEA2
Bohrgerät (Typ, Herstell-jahr)	Nordmeyer DSB 1.3/5 (Kette)	Endtiefe des Bohrlochs	30.00 m
Verfahren des Vor-bohrens		Rammen	
Bohrlochdurchmesser	219 mm	mm	mm

Tiefe		Bohren		Bohrwerkzeug				Verrohrung			Spülung		
von	bis	Verfahren	Lösens des Bodens/Fels	Typ, Bohrkrone	Durchmesser mm	Rammen	Spülung	Innenduch-messer mm	Außendurch-messer mm	Tiefe m	Druck	Spülumsatz	Bemerkungen
0.00	30.00	BP	rot	Schn	180				219	30.00			

Bemerkungen (Unterbrechungen, Hindernisse, Schwierigkeiten usw.)	
Name des qualifizierten Technikers	C. Steffen
Unterschrift des qualifizierten Technikers	

Vulhop + Becker GmbH & Co. KG
Tannenkrugstraße 42
26180 Rastede
Tel.: 0441 / 9990990

Probenentnahme-protokoll

Name des Unternehmens	Vulhop + Becker GmbH & Co. KG		
Name des Auftraggebers	Rasteder Projektierungs GmbH		
Projektbezeichnung	Baugrunduntersuchungen 5xE-138	Projektnummer	234364
Entnahmedatum	01.08. - 02.08.2023	Bezeichnung des Aufschlusses	Repowering WP. Georgshof WEA2
Bezeichnung der Probe			

Tiefe/Kernmarsch m		Probe		Felsgüte und Kerngewinn			Entnahmegerät		Bemerkungen - Kernfangring - Störung - Boden-/Felsart - Rammeinsatz
		Länge mm	Durch-messer mm	*TCR*	*RQD*	*SCR*	Aus-führung	Typ	
von	bis 0.60								B1
von	bis 2.00								B2
von	bis 3.00								B3
von	bis 3.75								B4
von 3.75	bis 4.00	250.00							UP1 SZ 9
von	bis								
von	bis 5.00								B5
von	bis 6.00								B6
von	bis 7.50								B7
von	bis 8.10								B8
von	bis 9.00								B9
von	bis 9.75								B10
von 9.75	bis 10.00	250.00							UP2 SZ 20
von	bis								
von	bis 11.00								B11
von	bis 12.00								B12
von	bis 13.00								B13
von	bis 14.00								B14
von 14.00	bis 15.00	1000.00							K 1 SZ 10/20/30/30/35
von	bis 16.00								B15
von	bis 17.00								B16
von	bis 18.00								B17
von	bis 19.00								B18

Bemerkungen	
Name des qualifizierten Technikers	C. Steffen
Unterschrift des qualifizierten Technikers	

Vulhop + Becker GmbH & Co. KG
Tannenkrugstraße 42
26180 Rastede
Tel.: 0441 / 9990990

Probenentnahme-protokoll

Name des Unternehmens	Vulhop + Becker GmbH & Co. KG		
Name des Auftraggebers	Rasteder Projektierungs GmbH		
Projektbezeichnung	Baugrunduntersuchungen 5xE-138	Projektnummer	234364
Entnahmedatum	01.08. - 02.08.2023	Bezeichnung des Aufschlusses	Repowering WP. Georgshof WEA2
Bezeichnung der Probe			

Tiefe/Kernmarsch m		Probe		Felsgüte und Kerngewinn			Entnahmegerät		Bemerkungen - Kernfangring - Störung - Boden-/Felsart - Rammeinsatz
		Länge mm	Durch-messer mm	*TCR*	*RQD*	*SCR*	Aus-führung	Typ	
von 19.00	bis 20.00	1000.00							K 2 SZ 10/15/20/22/25
von	bis 20.75								B19
von 20.75	bis 21.00	250.00							UP3 SZ 30
von	bis 22.00								B20
von	bis 23.00								B21
von	bis 24.00								B22
von	bis 25.00								B23
von	bis 26.00								B24
von	bis 27.00								B25
von 27.00	bis 28.00	1000.00							K3 SZ 20/22/26/26/25
von	bis 29.00								B26
von	bis 30.00								B27
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								

Bemerkungen	
Name des qualifizierten Technikers	C. Steffen
Unterschrift des qualifizierten Technikers	

Vulhop + Becker GmbH & Co. KG
Tannenkrugstraße 42
26180 Rastede
Tel.: 0441 / 9990990

Verfüllprotokoll

Name des Unternehmens		Vulhop + Becker GmbH & Co. KG	
Name des Auftraggebers		Rasteder Projektierungs GmbH	
Projektbezeichnung	Baugrunduntersuchungen 5x E-138	Projektnummer	234364
Datum des Verfüllens	02.08.2023	Bezeichnung des Aufschlusses	Repowering WP. Georgshof WEA2

Tiefe m		**Verfüllmaterial**		**Tiefe m**		**Verfüllmaterial**	
von 0,00	bis 5,00	Ton	FRIEBOfast	von	bis		
von 5,00	bis 7,50	Bohrgut		von	bis		
von 7,50	bis 14,00	Ton	FRIEBOfast	von	bis		
von 14,00	bis 18,00	Bohrgut		von	bis		
von 18,00	bis 30,00	Ton	FRIEBOfast	von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		

Bemerkungen	
Name des qualifizierten Technikers	C. Steffen
Unterschrift des qualifizierten Technikers	

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.60

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung B WEA 2 Anlage / Blatt: 1 Höhe: + 0,81 m NHN — Datum: 08.08.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
0.60	a) Schluff, org. Beimengung, tonig, sehr schwach feinsandig b)				Handschachtung bis 1.50 m	B	1	0.60
	c) steif	d)	e) dunkelbraun - braun					
	f) Klei	g)	h) [TA]	i)				
5.00	a) Schluff, org. Beimengung, tonig, schwach feinsandig b) Muschelreste				Verrohrung d = 219 mm, Schnecke d = 180 mm, GW (2.20)	B B B UP B	2 3 4 1 5	2.00 3.00 3.75 4.00 5.00
	c) weich	d) leicht bohrbar	e) grau - beige					
	f) Mischwatt	g)	h) UL	i)				
7.50	a) Feinsand, schwach schluffig - schluffig, schwach mittelsandig b)				nass	B B	6 7	6.00 7.50
	c)	d) mittelschwer bohrbar	e) hellbraun - hellgrau					
	f) Sand	g)	h) SU-SU*	i)				
8.10	a) Torf, schwach schluffig b) stark zersetzt					B	8	8.10
	c)	d) leicht bohrbar	e) dunkelbraun					
	f) Torf	g)	h) HZ	i)				
10.00	a) Schluff, stark tonig, sehr schwach feinsandig b)					B B UP	9 10 2	9.00 9.75 10.00
	c) steif	d) mittelschwer bohrbar	e) grau					
	f) toniger Schluff	g)	h) UA	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.61

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung B WEA 2 Anlage / Blatt: 2 Höhe: + 0,81 m NHN — Datum: 08.08.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkung [1]					Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe					
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
11.00	a) Feinsand, schluffig, schwach mittelsandig					B	11	11.00
	b)							
	c)	d) mittelschwer bohrbar	e) grau					
	f) Wattsand	g)	h) SU*	i)				
13.00	a) Schluff, stark tonig, sehr schwach feinsandig					B B	12 13	12.00 13.00
	b) Muschelreste							
	c) weich - steif	d) mittelschwer bohrbar	e) dunkelgrau					
	f) Mischwatt	g)	h) UL	i)				
14.00	a) Schluff, feinsandig, tonig					B	14	14.00
	b) Muschelreste							
	c) steif - halbfest	d) mittelschwer bohrbar	e) grau					
	f) Mischwatt	g)	h) UL	i)				
15.00	a) Feinsand, schwach schluffig				nass	K	1	15.00
	b) Schluffbänderung (alle 3 cm ca. 1-2 mm Schluff)							
	c)	d) mittelschwer bohrbar	e) hellgrau					
	f) Sand	g)	h) SU	i)				
18.00	a) Feinsand, schluffig				nass	B B B	15 16 17	16.00 17.00 18.00
	b)							
	c)	d) mittelschwer bohrbar	e) hellgrau					
	f) schluffiger Sand	g)	h) SU*	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.62

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung B WEA 2 Anlage / Blatt: 3 Höhe: + 0,81 m NHN — Datum: 08.08.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
22.00	a) Schluff, tonig, schwach feinsandig b)					B K B UP B	18 2 19 3 20	19.00 20.00 20.75 21.00 22.00
	c) weich - steif	d) mittelschwer bohrbar	e) hellgrau					
	f) Schluff	g)	h) UL	i)				
30.00	a) Feinsand + Schluff b) Schlufflinsen					B B B B B K B B	21 22 23 24 25 3 26 27	23.00 24.00 25.00 26.00 27.00 28.00 29.00 30.00
	c) steif	d) mittelschwer bohrbar	e) hellgrau					
	f) Sand + Schluff	g)	h) SU*/UL	i)				
	a) b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				
	a) b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				
	a) b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Vulhop + Becker GmbH & Co. KG
Tannenkrugstraße 42
26180 Rastede
Tel.: 0441 / 9990990

Kopfblatt	Name des Unternehmens	Vulhop + Becker GmbH & Co. KG	
Aufschlussart: Bohrung Repowering WP. Georgshof WEA 03	Name des Auftraggebers	Rasteder Projektierungs GmbH	
Projektbezeichnung	Baugrunduntersuchungen 5xE-138	Nr des Projekts	234364
Datum	30.06 - 03.07.2023	Höhe	
Lage		Neigung der Bohrung	
32395676	5944128	Richtung der Bohrung	vertikal
Tiefe der freien Grundwasseroberfläche	1.60 m	Tiefe der Bohrung	30.00 m

Lageskizze (unmaßstäblich)

Ausführung und Typ des Entnahmegeräts	Nordmeyer Rammkerngerät 200kg
Beigefügte Protokolle	☒ Bohrprotokoll ☒ Probenentnahmeprotokoll ☒ Verfüllprotokoll ☒ Schichtenverzeichnis ☐ Ausbauprotokoll einer Grundwassermessstelle ☐ Protokoll der Grundwassermessungen ☐ Andere:
Bemerkungen (Unterbrechungen, Hindernisse, Schwierigkeiten usw.)	
Name des qualifizierten Technikers	C. Steffen
Unterschrift des qualifizierten Technikers	

Vulhop + Becker GmbH & Co. KG
Tannenkrugstraße 42
26180 Rastede
Tel.: 0441 / 9990990

Bohrprotokoll

Name des Unternehmens	Vulhop + Becker GmbH & Co. KG		
Name des Auftraggebers	Rasteder Projektierungs GmbH		

Projektbezeichnung	Baugrunduntersuchungen 5xE-138	Projektnummer	234364
Datum der Bohrung	30.06 - 03.07.2023	Bezeichnung des Bohrlochs	Repowering WP. Georgshof WEA 03
Bohrgerät (Typ, Herstell-jahr)	Nordmeyer DSB 1.3/5 (Kette)	Endtiefe des Bohrlochs	30.00 m
Verfahren des Vor-bohrens		Rammen	
Bohrlochdurchmesser	219 mm	219 mm	219 mm

Tiefe		Bohren		Bohrwerkzeug				Verrohrung			Spülung		
von	bis	Verfahren	Lösens des Bodens/Fels	Typ, Bohrkrone	Durchmesser mm	Rammen	Spülung	Innenduch-messer mm	Außendurch-messer mm	Tiefe m	Druck	Spülumsatz	Bemerkungen
0	3,00	BP	rot	Schn	180				219				
3,00	7,50	BP	schlag	Ven	180				219				
7,50	20,80	BP	rot	Schn	180				219				
20,80	30,00	BP	schlag	Ven	180				219				

Bemerkungen (Unterbrechungen, Hindernisse, Schwierigkeiten usw.)	
Name des qualifizierten Technikers	C. Steffen
Unterschrift des qualifizierten Technikers	

Vulhop + Becker GmbH & Co. KG
Tannenkrugstraße 42
26180 Rastede
Tel.: 0441 / 9990990

Probenentnahme-protokoll

Name des Unternehmens	Vulhop + Becker GmbH & Co. KG		
Name des Auftraggebers	Rasteder Projektierungs GmbH		
Projektbezeichnung	Baugrunduntersuchungen 5xE-138	Projektnummer	234364
Entnahmedatum	30.06 - 03.07.2023	Bezeichnung des Aufschlusses	Repowering WP. Georgshof WEA 03
Bezeichnung der Probe			

Tiefe/Kernmarsch m		Probe		Felsgüte und Kerngewinn			Entnahmegerät		Bemerkungen - Kernfangring - Störung - Boden-/Felsart - Rammeinsatz
		Länge mm	Durch-messer mm	*TCR*	*RQD*	*SCR*	Aus-führung	Typ	
von	bis 0.50								B1
von	bis 2.00								B2
von	bis 3.00								B3
von 3.00	bis 4.00	1000.00							RK 1 SZ: 2/4/4/8/10
von	bis 5.00								B4
von	bis 6.00								B5
von	bis 7.50								B6
von	bis 7.75								B7
von 7.75	bis 8.00	250.00							UP 1 SZ: 26
von	bis 9.00								B8
von	bis 10.00								B9
von 10.00	bis 11.00	1000.00							RK 2 SZ: 14/16/34/46/65
von	bis 12.00								B10
von	bis 12.75								B11
von 12.75	bis 13.00	250.00							UP 2 SZ: 26
von	bis 14.00								B12
von	bis 15.00								B13
von 15.00	bis 16.00	1000.00							RK 3 SZ: 25/35/40/39/42
von	bis 17.00								B14
von 17.75	bis 18.00	250.00							UP 3 SZ: 46
von	bis 19.30								B15
von	bis 20.80								B16
von	bis 22.00								B17

Bemerkungen	
Name des qualifizierten Technikers	C. Steffen
Unterschrift des qualifizierten Technikers	

Vulhop + Becker GmbH & Co. KG
Tannenkrugstraße 42
26180 Rastede
Tel.: 0441 / 9990990

Probenentnahme-protokoll

Name des Unternehmens	Vulhop + Becker GmbH & Co. KG		
Name des Auftraggebers	Rasteder Projektierungs GmbH		
Projektbezeichnung	Baugrunduntersuchungen 5xE-138	Projektnummer	234364
Entnahmedatum	30.06 - 03.07.2023	Bezeichnung des Aufschlusses	Repowering WP. Georgshof WEA 03
Bezeichnung der Probe			

Tiefe/Kernmarsch m		Probe		Felsgüte und Kerngewinn			Entnahmegerät		Bemerkungen - Kernfangring - Störung - Boden-/Felsart - Rammeinsatz
		Länge mm	Durch-messer mm	*TCR*	*RQD*	*SCR*	Aus-führung	Typ	
von	bis 23.00								B18
von	bis 24.00								B19
von	bis 25.00								B20
von	bis 26.00								B21
von	bis 27.00								B22
von	bis 28.00								B23
von	bis 29.00								B24
von	bis 30.00								B25
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								

Bemerkungen	
Name des qualifizierten Technikers	C. Steffen
Unterschrift des qualifizierten Technikers	

Vulhop + Becker GmbH & Co. KG
Tannenkrugstraße 42
26180 Rastede
Tel.: 0441 / 9990990

Verfüllprotokoll

Name des Unternehmens		Vulhop + Becker GmbH & Co. KG	
Name des Auftraggebers		Rasteder Projektierungs GmbH	
Projektbezeichnung	Baugrunduntersuchungen 5xE-138	Projektnummer	234364
Datum des Verfüllens	04.07.2023	Bezeichnung des Aufschlusses	Repowering WP. Georsghof WEA 03

Tiefe m		**Verfüllmaterial**		**Tiefe m**		**Verfüllmaterial**	
von 0,0	bis 20,80	Ton	FRIEBOfast	von	bis		
von 20,80	bis 30,0	Bohrgut		von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		

Bemerkungen	
Name des qualifizierten Technikers	C. Steffen
Unterschrift des qualifizierten Technikers	

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.63

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung B WEA 3 Anlage / Blatt: 1 Höhe: + 0,75 m NHN — Datum: 10.07.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
0.50	a) Schluff, org. Beimengung, tonig, schwach feinsandig b)				1.50 m Handschachtung	B	1	0.50
	c) halbfest	d)	e) braun					
	f) Klei	g)	h) [TA]	i)				
3.00	a) Schluff, org. Beimengung, tonig, schwach feinsandig b) Muschelreste				Schnecke d = 180 mm, Verrohrung d = 219 mm GW (1.60)	B B	2 3	2.00 3.00
	c) weich	d) leicht bohrbar	e) hellgrau					
	f) Mischwatt	g)	h) UL	i)				
3.60	a) Torf b) Schlufflage (1 cm), stark zersetzt				Ventilbohrer d = 180 mm, nass	L	.1	3.60
	c)	d) mittelschwer bohrbar	e) hellbraun					
	f) Torf	g)	h) HZ	i)				
4.00	a) Feinsand, schwach mittelsandig, schwach schluffig b)				Ventilbohrer d = 180 mm, nass	L	.1	4.00
	c)	d) mittelschwer bohrbar	e) hellbraun					
	f) Sand	g)	h) SU	i)				
7.50	a) Feinsand, mittelsandig, schwach schluffig b)				Ventilbohrer d = 180 mm, nass	B B B	4 5 6	5.00 6.00 7.50
	c)	d) mittelschwer bohrbar	e) hellbraun					
	f) schluffiger Sand	g)	h) SU	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.64

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung B WEA 3 Anlage / Blatt: 2 Höhe: + 0,75 m NHN — Datum: 10.07.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
7.75	a) Schluff, feinsandig				Schnecke d = 180 mm	B	7	7.75
	b)							
	c) weich - steif	d) leicht bohrbar	e) hellgrau					
	f) Schluff	g)	h) UL	i)				
11.00	a) Schluff, feinsandig, schwach tonig					UP B B L	1 8 9 .2	8.00 9.00 10.00 11.00
	b) kalkhaltig							
	c) steif	d) mittelschwer bohrbar	e) grau					
	f) Geschiebemergel	g)	h) SU*	i)				
15.00	a) Ton, schwach schluffig, schwach humos					B B UP B B	10 11 2 12 13	12.00 12.75 13.00 14.00 15.00
	b)							
	c) halbfest	d) schwer bohrbar	e) dunkelgrau					
	f) Lauenburger Ton	g)	h) TA	i)				
16.00	a) Schluff, feinsandig, tonig					L	.3	16.00
	b)							
	c) halbfest	d) schwer bohrbar	e) dunkelgrau					
	f) Geschiebemergel	g)	h) SU*	i)				
17.00	a) Ton, schwach schluffig, schwach humos					B	14	17.00
	b)							
	c) halbfest	d) schwer bohrbar	e) dunkelgrau					
	f) Lauenburger Ton	g)	h) TA	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.65

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung B WEA 3 Anlage / Blatt: 3 Höhe: + 0,75 m NHN — Datum: 10.07.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
19.30	a) Schluff, feinsandig, tonig b)					UP B B	3 15 16	18.00 18.00 19.30
	c) halbfest	d) schwer bohrbar	e) dunkelgrau					
	f) Geschiebemergel	g)	h) SU*	i)				
20.80	a) Schluff, feinsandig, schwach mittelsandig, schwach tonig b)					B	17	20.80
	c) halbfest	d) schwer bohrbar	e) grau					
	f) Geschiebemergel	g)	h) SU*	i)				
26.00	a) Feinsand, stark mittelsandig, schwach schluffig, schwach grobsandig b)				Ventilbohrer d = 180 mm, nass	B B B B B	18 19 20 21 22	22.00 23.00 24.00 25.00 26.00
	c)	d) schwer bohrbar	e) hellgrau					
	f) Sand	g)	h) SU	i)				
30.00	a) Feinsand, schwach schluffig, schwach mittelsandig b)				Ventilbohrer d = 180 mm, nass	B B B B	23 24 25 26	27.00 28.00 29.00 30.00
	c)	d) schwer bohrbar	e) hellgrau					
	f) Sand	g)	h) SU	i)				
	a) b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Vulhop + Becker GmbH & Co. KG
Tannenkrugstraße 42
26180 Rastede
Tel.: 0441 / 9990990

Kopfblatt	Name des Unternehmens	Vulhop + Becker GmbH & Co. KG	
Aufschlussart: Bohrung Repowering WP. Georgshof WEA 4	Name des Auftraggebers	Rasteder Projektierungs GmbH	
Projektbezeichnung	Repowering WP. Georgshof 5x WEA	E-138 Nr des Projekts	234364
Datum	28.06 - 29.06.2023	Höhe	
Lage		Neigung der Bohrung	
323967840	999999999	Richtung der Bohrung	vertikal
Tiefe der freien Grundwasseroberfläche	2.20 m	Tiefe der Bohrung	30.00 m

Lageskizze (unmaßstäblich)

Ausführung und Typ des Entnahmegeräts	Nordmeyer Rammkerngerät 200kg
Beigefügte Protokolle	☒ Bohrprotokoll ☒ Probenentnahmeprotokoll ☒ Verfüllprotokoll ☒ Schichtenverzeichnis ☐ Ausbauprotokoll einer Grundwassermessstelle ☐ Protokoll der Grundwassermessungen ☐ Andere:
Bemerkungen (Unterbrechungen, Hindernisse, Schwierigkeiten usw.)	
Name des qualifizierten Technikers	C. Steffen
Unterschrift des qualifizierten Technikers	

Vulhop + Becker GmbH & Co. KG
Tannenkrugstraße 42
26180 Rastede
Tel.: 0441 / 9990990

Bohrprotokoll

Name des Unternehmens	Vulhop + Becker GmbH & Co. KG		
Name des Auftraggebers	Rasteder Projektierungs GmbH		

Projektbezeichnung	Repowering WP.Georgshof- 5x WEA	E-138 Projektnummer	234364
Datum der Bohrung	28.06 - 29.06.2023	Bezeichnung des Bohrlochs	Repowering WP. Georgshof WEA 4
Bohrgerät (Typ, Herstell-jahr)	Nordmeyer DSB 1.3/5 (Kette)	Endtiefe des Bohrlochs	30.00 m
Verfahren des Vor-bohrens		Rammen	
Bohrlochdurchmesser	219 mm	219 mm	219 mm

Tiefe		Bohren		Bohrwerkzeug				Verrohrung			Spülung		
von	bis	Verfahren	Lösens des Bodens/Fels	Typ, Bohrkrone	Durchmesser mm	Rammen	Spülung	Innenduch-messer mm	Außendurch-messer mm	Tiefe m	Druck	Spülumsatz	Bemerkungen
0,00	2,20	BP	rot	Schn	180				219	30,00			
2,20	25,00	BP	schlag	Ven	180				219	30,00			
25,00	30,00	BP	rot	Schn	180				219	30,00			

Bemerkungen (Unterbrechungen, Hindernisse, Schwierigkeiten usw.)	
Name des qualifizierten Technikers	C.Steffen
Unterschrift des qualifizierten Technikers	

Vulhop + Becker GmbH & Co. KG
Tannenkrugstraße 42
26180 Rastede
Tel.: 0441 / 9990990

Probenentnahme-protokoll

Name des Unternehmens	Vulhop + Becker GmbH & Co. KG		
Name des Auftraggebers	Rasteder Projektierungs GmbH		
Projektbezeichnung	Repowering WP. Georgshof- 5x WEA E-138	Projektnummer	234364
Entnahmedatum	28.06 - 29.06.2023	Bezeichnung des Aufschlusses	Repowering WP. Georgshof WEA 4
Bezeichnung der Probe			

Tiefe/Kernmarsch m		Probe		Felsgüte und Kerngewinn			Entnahmegerät		Bemerkungen - Kernfangring - Störung - Boden-/Felsart - Rammeinsatz
		Länge mm	Durch-messer mm	*TCR*	*RQD*	*SCR*	Aus-führung	Typ	
von	bis 0.50								B1
von	bis 1.80								B2
von	bis 2.00								B3
von 2.00	bis 2.25	250.00							UP 1 SZ:4
von 2.25	bis 3.00	750.00							RK 1 SZ: 3/4/12/20
von	bis 4.00								B4
von	bis 5.00								B5
von	bis 6.00								B6
von	bis 7.25								B7
von 7.25	bis 7.50	250.00							UP 2 SZ: 32
von	bis 8.00								B8
von	bis 9.00								B9
von	bis 10.00								B10
von	bis 11.00								B11
von	bis 12.00								B12
von	bis 13.00								B13
von	bis 14.00								B14
von	bis 15.00								B15
von	bis 16.00								B16
von 16.00	bis 17.00	1000.00							RK 2 SZ: 14/16/20/25/27
von	bis 18.00								B17
von	bis 19.00								B18
von	bis 20.00								B19

Bemerkungen	
Name des qualifizierten Technikers	C.Steffen
Unterschrift des qualifizierten Technikers	

Vulhop + Becker GmbH & Co. KG
Tannenkrugstraße 42
26180 Rastede
Tel.: 0441 / 9990990

Probenentnahme-protokoll

Name des Unternehmens	Vulhop + Becker GmbH & Co. KG		
Name des Auftraggebers	Rasteder Projektierungs GmbH		
Projektbezeichnung	Repowering WP: Georgshof- 5x WEA E-138	Projektnummer	234364
Entnahmedatum	28.06 - 29.06.2023	Bezeichnung des Aufschlusses	Repowering WP. Georgshof WEA 4
Bezeichnung der Probe			

Tiefe/Kernmarsch m		Probe		Felsgüte und Kerngewinn			Entnahmegerät		Bemerkungen - Kernfangring - Störung - Boden-/Felsart - Rammeinsatz
		Länge mm	Durch-messer mm	*TCR*	*RQD*	*SCR*	Aus-führung	Typ	
von	bis 21.00								B20
von	bis 22.00								B21
von	bis 23.00								B22
von	bis 24.00								B23
von	bis 25.00								B24
von	bis 26.00								B25
von	bis 27.00								B26
von 27.00	bis 27.50	500.00							RK 3 SZ: 30/45/62
von	bis 28.50								B27
von	bis 29.40								B28
von	bis 30.00								B29
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								

Bemerkungen	
Name des qualifizierten Technikers	C.Steffen
Unterschrift des qualifizierten Technikers	

Vulhop + Becker GmbH & Co. KG
Tannenkrugstraße 42
26180 Rastede
Tel.: 0441 / 9990990

Verfüllprotokoll

Name des Unternehmens	Vulhop + Becker GmbH & Co. KG		
Name des Auftraggebers	Rasteder Projektierungs GmbH		
Projektbezeichnung	Repowering WP. Georgshof- 5x WEA E-138	Projektnummer	234364
Datum des Verfüllens	29.06.2023	Bezeichnung des Aufschlusses	Repowering WP. Georgshof WEA 4

Tiefe m		Verfüllmaterial		Tiefe m		Verfüllmaterial	
von 0,0	bis 2,0	Ton	FRIEBOfast	von	bis		
von 2,0	bis 5,0	Bohrgut		von	bis		
von 5,0	bis 7,0	Ton	FRIEBOfast	von	bis		
von 7,0	bis 25,0	Bohrgut		von	bis		
von 25,0	bis 29,4	Ton	FRIEBOfast	von	bis		
von 29,4	bis 30,0	Bohrgut		von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		

Bemerkungen	
Name des qualifizierten Technikers	C. Steffen
Unterschrift des qualifizierten Technikers	

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.66

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung B WEA 4 Anlage / Blatt: 1 Höhe: + 0,73 m NHN — Datum: 06.07.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
0.50	a) Schluff, org. Beimengung, tonig, sehr schwach feinsandig b)				1.50 m Handschachtung	B	1	0.50
	c) halbfest	d)	e) grau - braun					
	f) Klei	g)	h) TA	i)				
1.80	a) Schluff, org. Beimengung, schwach tonig, schwach feinsandig b)				Verrohrung d = 219 mm, Schnecke d = 180 mm	B	2	1.80
	c) steif	d) leicht bohrbar	e) grau					
	f) Klei	g)	h) TA	i)				
2.25	a) Torf, schluffig, schwach feinsandig b) stark zersetzt				GW (2.20)	B UP	3 1	2.00 2.25
	c)	d) leicht bohrbar	e) dunkelbraun - schwarz					
	f) Torf	g)	h) HZ	i)				
2.30	a) Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig b) Muschelreste				Ventilbohrer d = 180 mm, nass	RK	1	2.30
	c) weich	d) mittelschwer bohrbar	e) braun - hellgrau					
	f) Mischwatt	g)	h) UL	i)				
2.50	a) Torf, schwach feinsandig, schwach schluffig b) stark zersetzt				Ventilbohrer d = 180 mm, nass	RK	1	2.50
	c)	d) mittelschwer bohrbar	e) braun - hellgrau					
	f) Torf	g)	h) HZ	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.67

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung B WEA 4 Anlage / Blatt: 2 Höhe: + 0,73 m NHN — Datum: 06.07.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
3.00	a) Feinsand, mittelsandig, schwach schluffig, sehr schwach humos - schwach humos b)				Ventilbohrer d = 180 mm, nass	RK	1	3.00
	c)	d) mittelschwer bohrbar	e) braun - hellgrau					
	f) Sand	g)	h) SU	i)				
5.00	a) Feinsand, schluffig b)				Ventilbohrer d = 180 mm, nass	B B	4 5	4.00 5.00
	c)	d) mittelschwer bohrbar	e) braun - hellgrau					
	f) schluffiger Sand	g)	h) SU*	i)				
6.00	a) Schluff, humos, feinsandig, tonig b)					B	6	6.00
	c) steif	d) mittelschwer bohrbar	e) dunkelbraun					
	f) humoser Schluff	g)	h) OU	i)				
7.25	a) Schluff, feinsandig, schwach humos, schwach tonig b)					B	7	7.25
	c) steif	d) mittelschwer bohrbar	e) dunkelbraun					
	f) sandiger Schluff	g)	h) UL	i)				
15.00	a) Feinsand, mittelsandig, schwach schluffig b)					UP B B B B B B B B	2 8 9 10 11 12 13 14 15	7.50 8.00 9.00 10.00 11.00 12.00 13.00 14.00 15.00
	c)	d) mittelschwer bohrbar	e) hellgrau					
	f) Sand	g)	h) SU	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.68

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyenl

Bohrung B WEA 4 Anlage / Blatt: 3 Höhe: + 0,73 m NHN — Datum: 06.07.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkung [1]					Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe					
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
25.00	a) Feinsand, stark schluffig, mittelsandig				B 24 25.00	B RK B B B B B B B	16 2 17 18 19 20 21 22 23	16.00 17.00 18.00 19.00 20.00 21.00 22.00 23.00 24.00
	b)							
	c)	d) mittelschwer bohrbar	e) hellgrau					
	f) schluffiger Sand	g)	h) SU*	i)				
26.00	a) Feinsand, stark schluffig, humos				Schnecke d = 180 mm	B	25	26.00
	b)							
	c)	d) mittelschwer bohrbar	e) hellgrau					
	f) schluffiger Sand	g)	h) SU*	i)				
29.40	a) Torf, schwach schluffig, schwach feinsandig,				Schnecke d = 180 mm	B RK B	26 3 27-28	27.00 27.50 28.50 - 29.40
	b) Schluff- und Feinsandbänder sehr stark zersetzt							
	c)	d) schwer bohrbar	e) dunkelbraun					
	f) Torf	g)	h) HZ	i)				
30.00	a) Mittelsand, stark grobsandig, schwach feinkiesig					B	29	30.00
	b)							
	c)	d)	e) hellgrau					
	f) Sand	g)	h) SE	i)				
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Vulhop + Becker GmbH & Co. KG
Tannenkrugstraße 42
26180 Rastede
Tel.: 0441 / 9990990

Kopfblatt	Name des Unternehmens	Vulhop + Becker GmbH & Co. KG	
Aufschlussart: Bohrung Repowering WEA Verweyen WEA 1	Name des Auftraggebers	Rasteder Projektierungs GmbH	
Projektbezeichnung	Baugrunduntersuchungen 5xE-138	Nr des Projekts	234364
Datum	08.08. - 09.08.2023	Höhe	
Lage		Neigung der Bohrung	
32395508	5944421	Richtung der Bohrung	vertikal
Tiefe der freien Grundwasseroberfläche	2.30 m	Tiefe der Bohrung	30.00 m

Lageskizze (unmaßstäblich)

Ausführung und Typ des Entnahmegeräts	Nordmeyer Rammkerngerät 200kg
Beigefügte Protokolle	☒ Bohrprotokoll ☒ Probenentnahmeprotokoll ☒ Verfüllprotokoll ☒ Schichtenverzeichnis ☐ Ausbauprotokoll einer Grundwassermessstelle ☐ Protokoll der Grundwassermessungen ☐ Andere:
Bemerkungen (Unterbrechungen, Hindernisse, Schwierigkeiten usw.)	
Name des qualifizierten Technikers	C. Steffen
Unterschrift des qualifizierten Technikers	

Vulhop + Becker GmbH & Co. KG
Tannenkrugstraße 42
26180 Rastede
Tel.: 0441 / 9990990

Bohrprotokoll

Name des Unternehmens	Vulhop + Becker GmbH & Co. KG		
Name des Auftraggebers	Rasteder Projektierungs GmbH		
Projektbezeichnung	Baugrunduntersuchungen 5xE-138	Projektnummer	234364
Datum der Bohrung	08.08. - 09.08.2023	Bezeichnung des Bohrlochs	Repowering WEA Verweyen WEA 1
Bohrgerät (Typ, Herstell-jahr)	Nordmeyer DSB 1.3/5 (Kette)	Endtiefe des Bohrlochs	30.00 m
Verfahren des Vor-bohrens		Rammen	
Bohrlochdurchmesser	219 mm	219 mm	219 mm

Tiefe		Bohren		Bohrwerkzeug				Verrohrung			Spülung		
von	bis	Verfahren	Lösens des Bodens/Fels	Typ, Bohrkrone	Durchmesser mm	Rammen	Spülung	Innenduch-messer mm	Außendurch-messer mm	Tiefe m	Druck	Spülumsatz	Bemerkungen
0.00	4.00	BP	rot	Schn	180				219	4.00			
4.00	8.00	BP	schlag	Ven	180				219	8.00			
8.00	13.80	BP	rot	Schn	180				219	13.80			
13.80	30.00	BP	schlag	Ven	180				219	30.00			

Bemerkungen (Unterbrechungen, Hindernisse, Schwierigkeiten usw.)	
Name des qualifizierten Technikers	C. Steffen
Unterschrift des qualifizierten Technikers	

Vulhop + Becker GmbH & Co. KG
Tannenkrugstraße 42
26180 Rastede
Tel.: 0441 / 9990990

Probenentnahme-protokoll

Name des Unternehmens	Vulhop + Becker GmbH & Co. KG		
Name des Auftraggebers	Rasteder Projektierungs GmbH		
Projektbezeichnung	Baugrunduntersuchungen 5xE-138	Projektnummer	234364
Entnahmedatum	08.08. - 09.08.2023	Bezeichnung des Aufschlusses	Repowering WEA Verweyen WEA 1
Bezeichnung der Probe			

Tiefe/Kernmarsch m		Probe		Felsgüte und Kerngewinn			Entnahmegerät		Bemerkungen - Kernfangring - Störung - Boden-/Felsart - Rammeinsatz
		Länge mm	Durch-messer mm	*TCR*	*RQD*	*SCR*	Aus-führung	Typ	
von	bis 1.00								B1
von	bis 2.10								B2
von	bis 3.30								B3
von	bis 3.75								B4
von 3.75	bis 4.00	250.00							UP1 SZ 5
von	bis 5.00								B5
von	bis 6.00								B6
von	bis 7.00								B7
von 7.00	bis 8.00	1000.00							K1 SZ 10/15/20/25/32
von	bis 9.00								B8
von	bis 9.75								B9
von 9.75	bis 10.00	250.00							UP2 SZ 32
von	bis 11.00								B10
von 11.00	bis 12.00	1000.00							K2 SZ 15/25/30/30/32
von	bis 12.75								B11
von 12.75	bis 13.00	250.00							UP3 SZ 40
von	bis 13.80								B12
von	bis 15.00								B13
von	bis 16.00								B14
von 16.00	bis 17.00	1000.00							K3 SZ 15/30/30/45/60
von	bis 18.00								B15
von	bis 19.00								B16
von	bis 20.00								B17

Bemerkungen	
Name des qualifizierten Technikers	C. Steffen
Unterschrift des qualifizierten Technikers	

Vulhop + Becker GmbH & Co. KG
Tannenkrugstraße 42
26180 Rastede
Tel.: 0441 / 9990990

Probenentnahme-protokoll

Name des Unternehmens	Vulhop + Becker GmbH & Co. KG		
Name des Auftraggebers	Rasteder Projektierungs GmbH		
Projektbezeichnung	Baugrunduntersuchungen 5xE-138	Projektnummer	234364
Entnahmedatum	08.08. - 09.08.2023	Bezeichnung des Aufschlusses	Repowering WEA Verweyen WEA 1
Bezeichnung der Probe			

Tiefe/Kernmarsch m		Probe		Felsgüte und Kerngewinn			Entnahmegerät		Bemerkungen - Kernfangring - Störung - Boden-/Felsart - Rammeinsatz
		Länge mm	Durch-messer mm	*TCR*	*RQD*	*SCR*	Aus-führung	Typ	
von	bis 21.00								B18
von	bis 22.00								B19
von	bis 23.00								B20
von	bis 24.00								B21
von	bis 25.50								B22
von	bis 27.00								B23
von	bis 28.00								B24
von	bis 28.80								B25
von	bis 30.00								B26
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								
von	bis								

Bemerkungen	
Name des qualifizierten Technikers	C. Steffen
Unterschrift des qualifizierten Technikers	

Vulhop + Becker GmbH & Co. KG
Tannenkrugstraße 42
26180 Rastede
Tel.: 0441 / 9990990

Verfüllprotokoll

Name des Unternehmens		Vulhop + Becker GmbH & Co. KG	
Name des Auftraggebers		Rasteder Projektierungs GmbH	
Projektbezeichnung	Baugrunduntersuchungen 5xE-138	Projektnummer	234364
Datum des Verfüllens	09.08.2023	Bezeichnung des Aufschlusses	Repowering WEA Verweyen WEA 1

Tiefe m		**Verfüllmaterial**		**Tiefe m**		**Verfüllmaterial**	
von 0,0	bis 4,0	Ton	FRIEBOfast	von	bis		
von 4,0	bis 8,0	Bohrgut		von	bis		
von 8,0	bis 14,0	Ton	FRIEBOfast	von	bis		
von 14,0	bis 25,0	Bohrgut		von	bis		
von 25,0	bis 27,0	Ton	FRIEBOfast	von	bis		
von 27,0	bis 28,0	Bohrgut		von	bis		
von 28,0	bis 29,0	Ton	FRIEBOfast	von	bis		
von 29,0	bis 30,0	Bohrgut		von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		
von	bis			von	bis		

Bemerkungen	
Name des qualifizierten Technikers	C. Steffen
Unterschrift des qualifizierten Technikers	

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.69

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung B WEA 5V Anlage / Blatt: 1 Höhe: + 0,61 m NHN — Datum: 16.08.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
2.10	a) Schluff, org. Beimengung, tonig, sehr schwach feinsandig				Handschachtung bis 1.50 m, Verrohrung d = 219 mm, Schnecke d = 180 mm	B B	1 2	1.00 2.10
	b)							
	c) steif	d) leicht bohrbar	e) hellgrau					
	f) Klei	g)	h) [TA]	i)				
3.30	a) Torf, schwach schluffig				GW (2.30)	B	3	3.30
	b) stark zersetzt							
	c)	d) leicht bohrbar	e) dunkelbraun					
	f) Torf	g)	h) HZ	i)				
4.00	a) Schluff, org. Beimengung, schwach tonig, schwach feinsandig				Ventilbohrer d = 180 mm	B UP	4 1	3.75 4.00
	b) Muschelschalen							
	c) weich	d) leicht bohrbar	e) hellgrau					
	f) Mischwatt	g)	h) UL	i)				
7.00	a) Feinsand, schwach mittelsandig, schwach schluffig				Schnecke d = 180 mm, nass	B B B	5 6 7	5.00 6.00 7.00
	b)							
	c)	d) mittelschwer bohrbar	e) hellgrau					
	f) Sand	g)	h) SU	i)				
7.50	a) Mittelsand, feinsandig, schwach schluffig, sehr schwach grobsandig - schwach grobsandig				Schnecke d = 180 mm, nass	K	1	7.50
	b)							
	c)	d) mittelschwer bohrbar	e) hellgrau					
	f) Sand	g)	h) SU	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.70

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung B WEA 5V Anlage / Blatt: 2 Höhe: + 0,61 m NHN — Datum: 16.08.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
8.00	a) Schluff, tonig, schwach feinsandig, schwach humos b)				Schnecke d = 180 mm, nass	K	1	8.00
	c) steif	d) mittelschwer bohrbar	e) hellgrau					
	f) Klei	g)	h) TA	i)				
12.00	a) Schluff, tonig - stark tonig, schwach feinsandig, sehr schwach humos - schwach humos b)				Ventilbohrer d = 180 mm	B B UP B K	8 9 2 10 2	9.00 9.75 10.00 11.00 12.00
	c) steif	d) mittelschwer bohrbar	e) grau					
	f) toniger Schluff	g)	h) UL	i)				
12.75	a) Schluff, humos, schwach feinsandig b)				Ventilbohrer d = 180 mm	B	11	12.75
	c) steif	d) mittelschwer bohrbar	e) grau					
	f) humoser Schluff	g)	h) OU	i)				
13.80	a) Schluff, tonig - stark tonig, schwach feinsandig, sehr schwach humos - schwach humos b)				Ventilbohrer d = 180 mm	UP B	3 12	13.00 13.80
	c) steif	d) mittelschwer bohrbar	e) grau					
	f) toniger Schluff	g)	h) UL	i)				
25.50	a) Feinsand, stark mittelsandig, schwach schluffig, schwach grobsandig b)				nass B 21 24.00 B 22 25.50	B B K B B B B B B	13 14 3 15 16 17 18 19 20	15.00 16.00 17.00 18.00 19.00 20.00 21.00 22.00 23.00
	c)	d) mittelschwer bohrbar	e) hellgrau					
	f) Sand	g)	h) SU	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

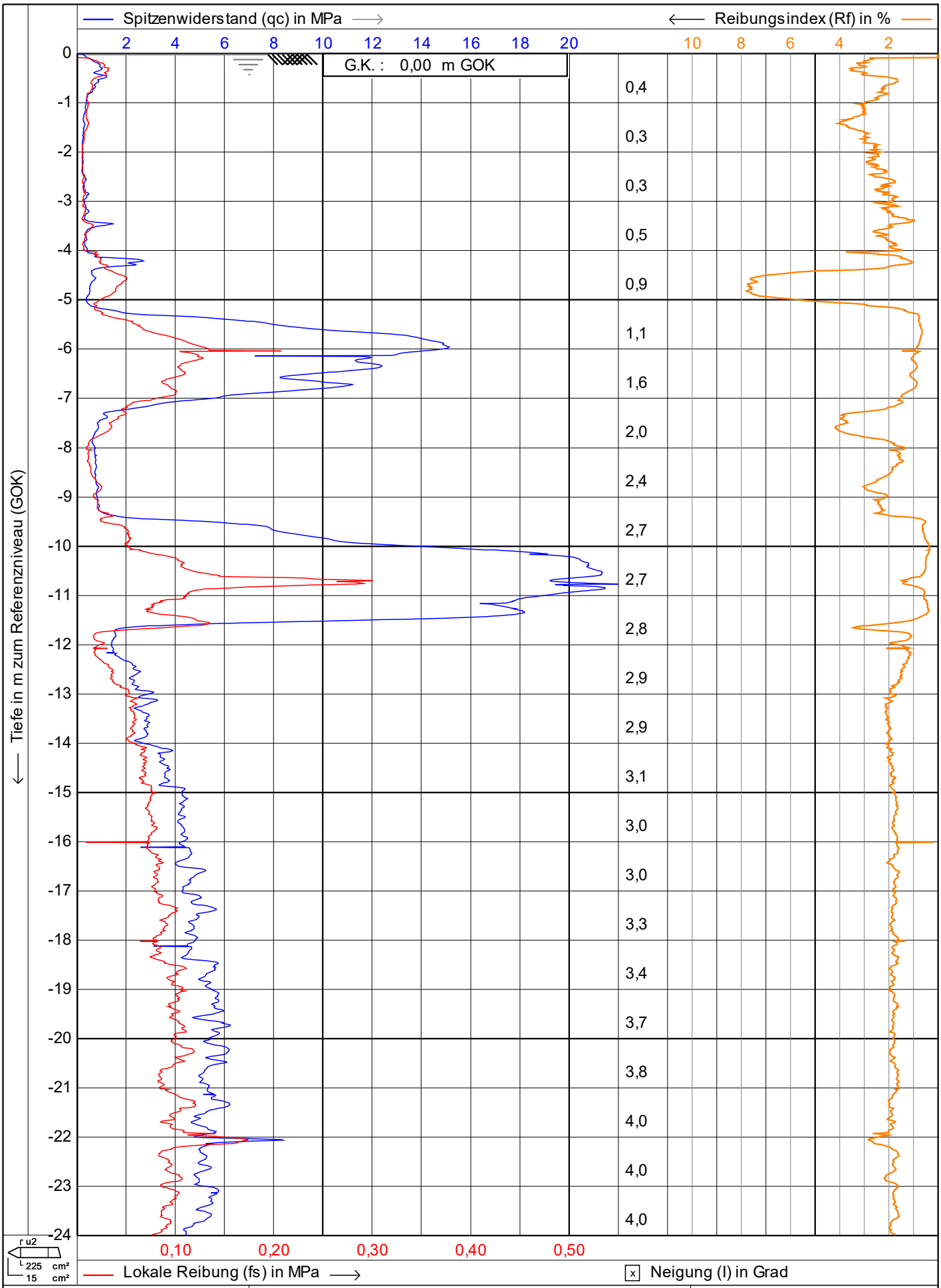
Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH Cloppenburger Straße 4a 26135 Oldenburg	**Schichtenverzeichnis** für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Projektnr: 23.1098 Seite: 3.71

Vorhaben: Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

Bohrung B WEA 5V Anlage / Blatt: 3 Höhe: + 0,61 m NHN — Datum: 16.08.2023

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung [1]				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			Art	Nr	Tiefe in m (Unterkante)
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung [1]	h) [1] Gruppe	i) Kalkgehalt				
27.00	a) Schluff, feinsandig, schwach tonig b)					B	23	27.00
	c) halbfest	d) mittelschwer bohrbar	e) hellgrau					
	f) sandiger Schluff	g)	h) UL	i)				
28.00	a) Feinsand, schluffig, schwach mittelsandig b)					B	24	28.00
	c)	d) mittelschwer bohrbar	e) grau dunkelbraun					
	f) schluffiger Sand	g)	h) SU*	i)				
28.80	a) Feinsand, humos, schluffig b) Schlufflinsen					B	25	28.80
	c)	d) mittelschwer bohrbar	e) dunkelbraun					
	f) humoser Sand	g)	h) OH	i)				
30.00	a) Mittelsand, schwach grobsandig, schwach feinsandig, sehr schwach feinkiesig b)					B	26	30.00
	c)	d) mittelschwer bohrbar	e) grau - dunkelbraun					
	f) Sand	g)	h) SE	i)				
	a) b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor

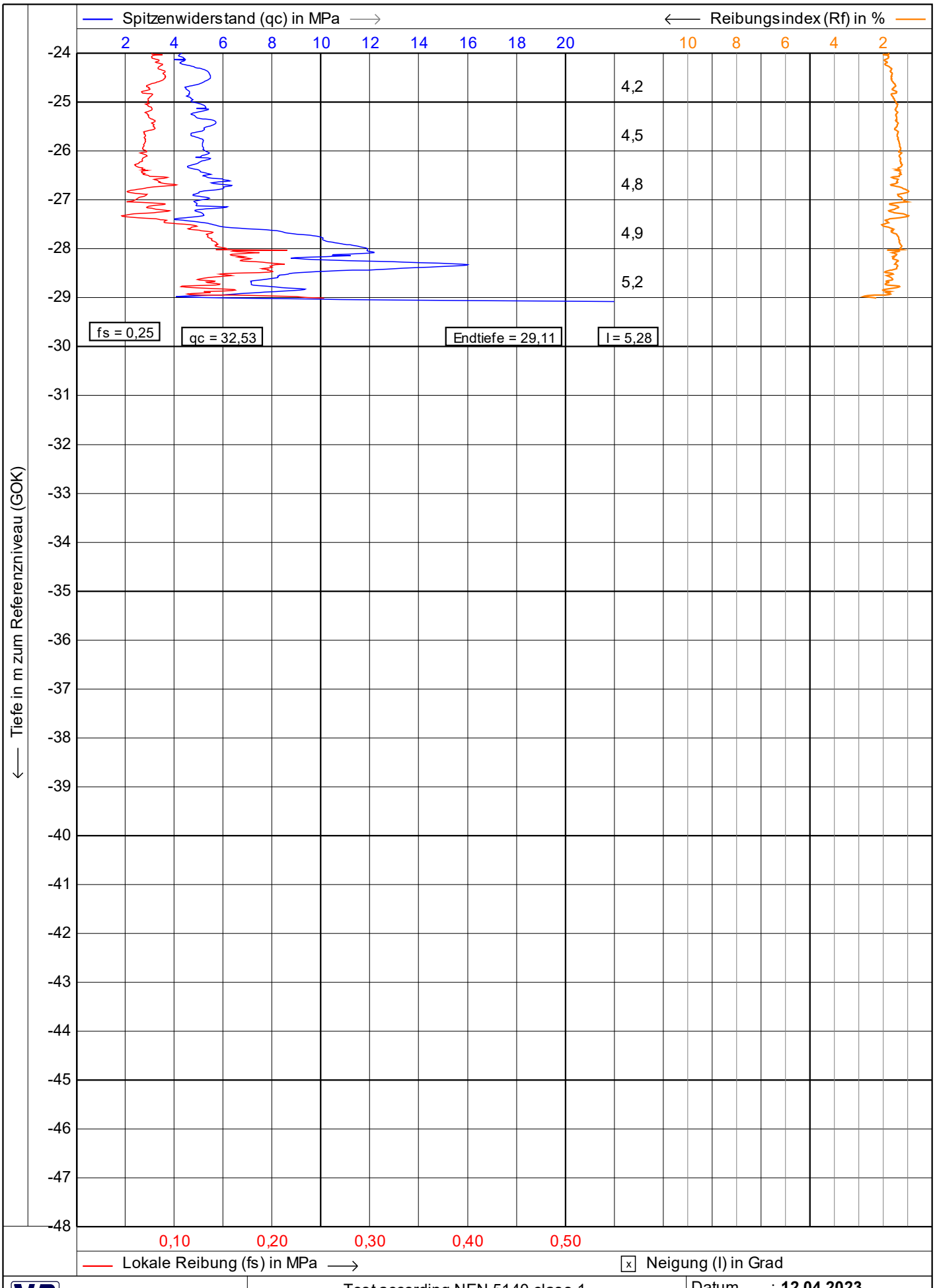


Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

Test according NEN 5140 class 1

Projekt : **WP Dornum**
Ort : **WEA 01**
Position: **32395058, 5944478 UTM3N**

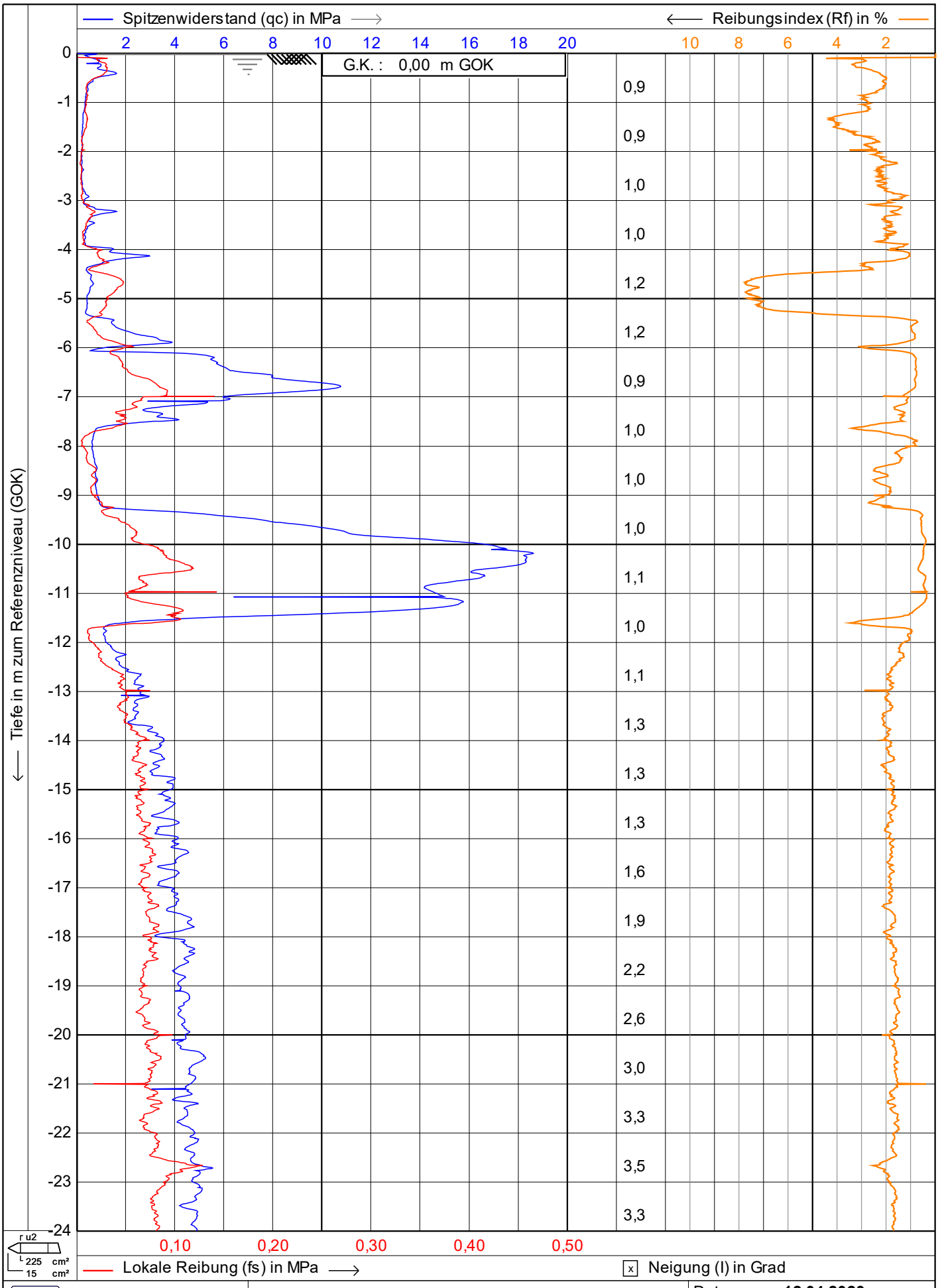
Datum : **12.04.2023**
Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417**
Projekt Nr. : **234364**
CPT Nr. : WEA 01 9mn.Norden **1/4**



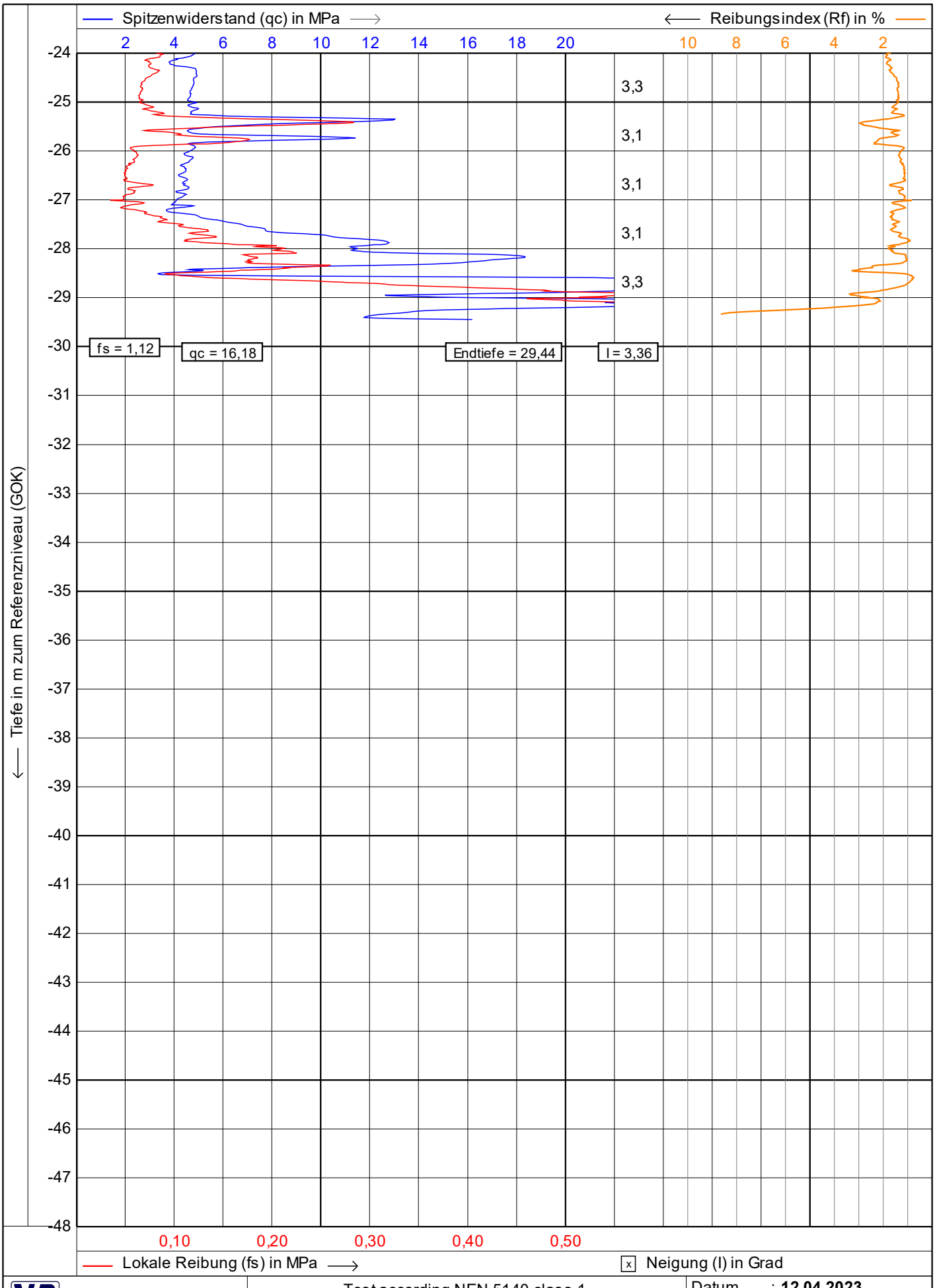
Test according NEN 5140 class 1

Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

Projekt	**WP Dornum**
Ort	**WEA 01**
Position	**32395058, 5944478 UTM3N**
Datum	**12.04.2023**
Konus Nr.	**S15CFIIP.S20417**
Projekt Nr.	**234364**
CPT Nr.	WEA 01 9mn.Norden — **2/4**



Vulhop+Becker GmbH & Co. KG 26180 Rastede Tannenkrugstraße 42 Telefon: +49 (441) 99 90 99-0 Telefax: +49 (441) 99 90 99-29 www.vulhop-becker.de Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung	Test according NEN 5140 class 1 Projekt : **WP Dornum** Ort : **WEA 01** Position: **32395057, 5944473 UTM3N**	Datum : **12.04.2023** Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417** Projekt Nr. : **234364** CPT Nr. : WEA 01 9mn.Osten **1/4**

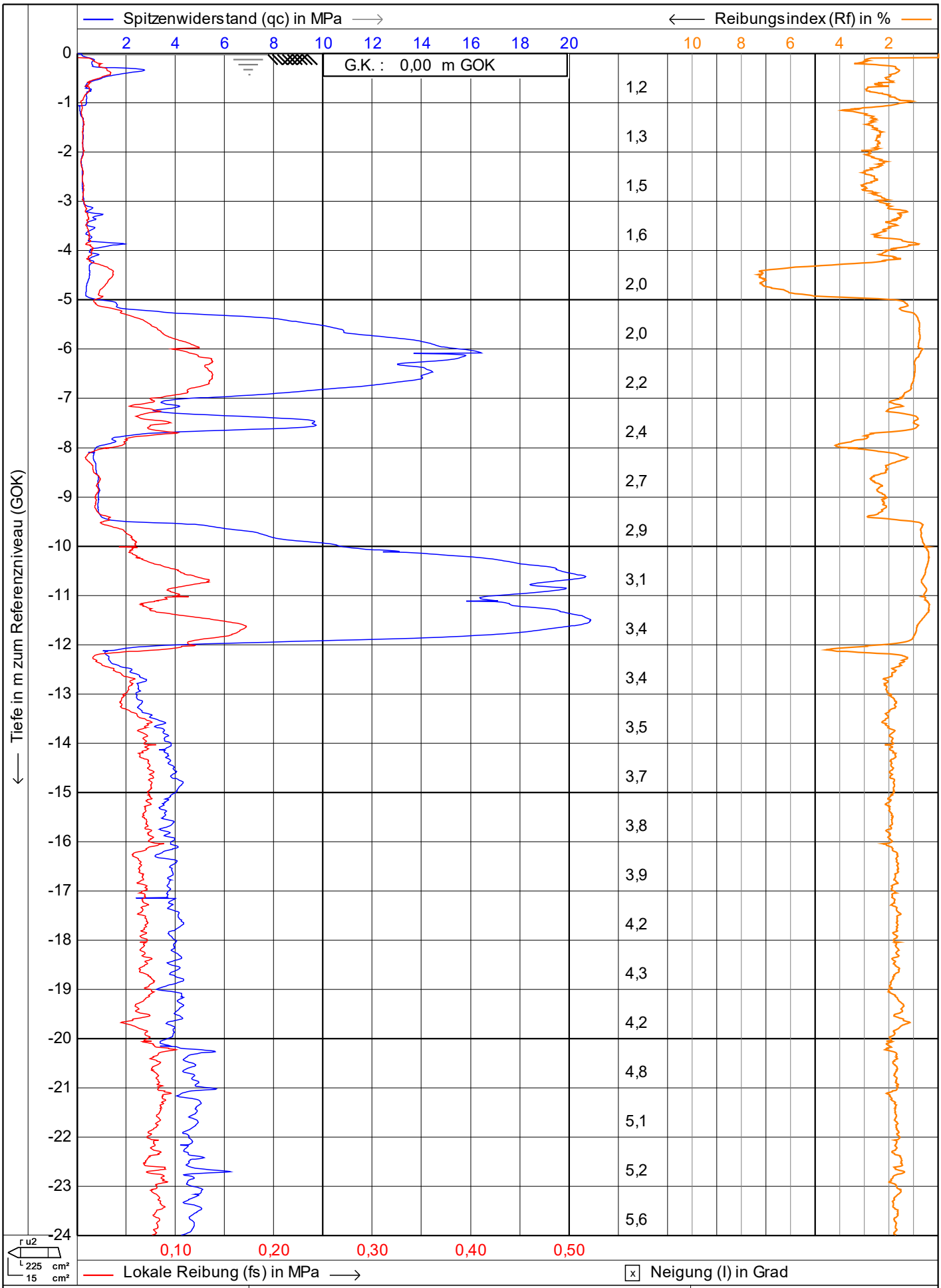


Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

Test according NEN 5140 class 1

Projekt : **WP Dornum**
Ort : **WEA 01**
Position: **32395057, 5944473 UTM3N**

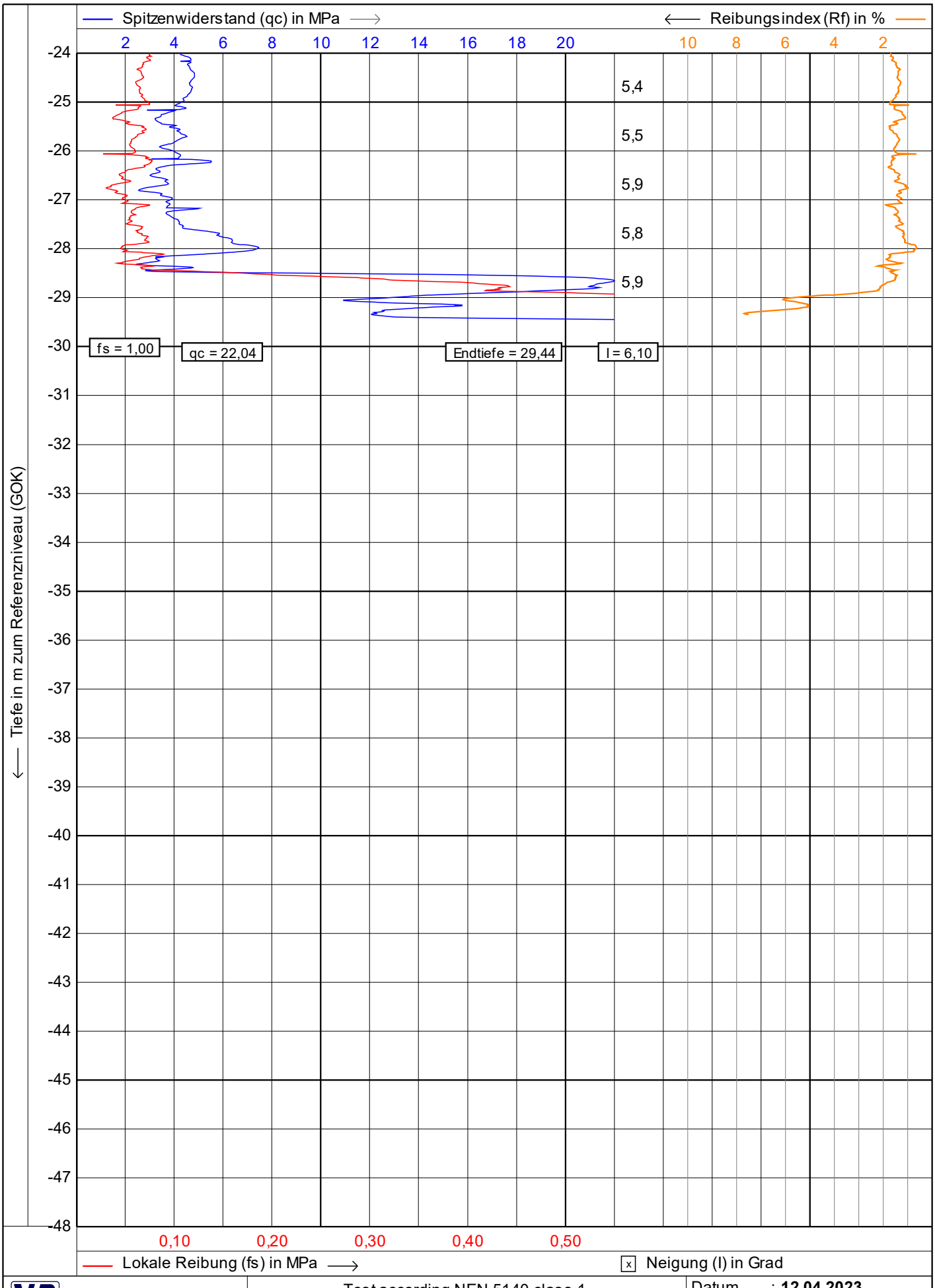
Datum : **12.04.2023**
Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417**
Projekt Nr. : **234364**
CPT Nr. : WEA 01 9mn.Osten **2/4**



Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

Test according NEN 5140 class 1

Projekt	**WP Dornum**
Ort	**WEA 01**
Position	**32395052, 5944474 UTM3N**
Datum	**12.04.2023**
Konus Nr.	**S15CFIIP.S20417**
Projekt Nr.	**234364**
CPT Nr.	WEA 01 9mn.Süden



Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

1.48

Test according NEN 5140 class 1

Projekt : **WP Dornum**

Ort : **WEA 01**

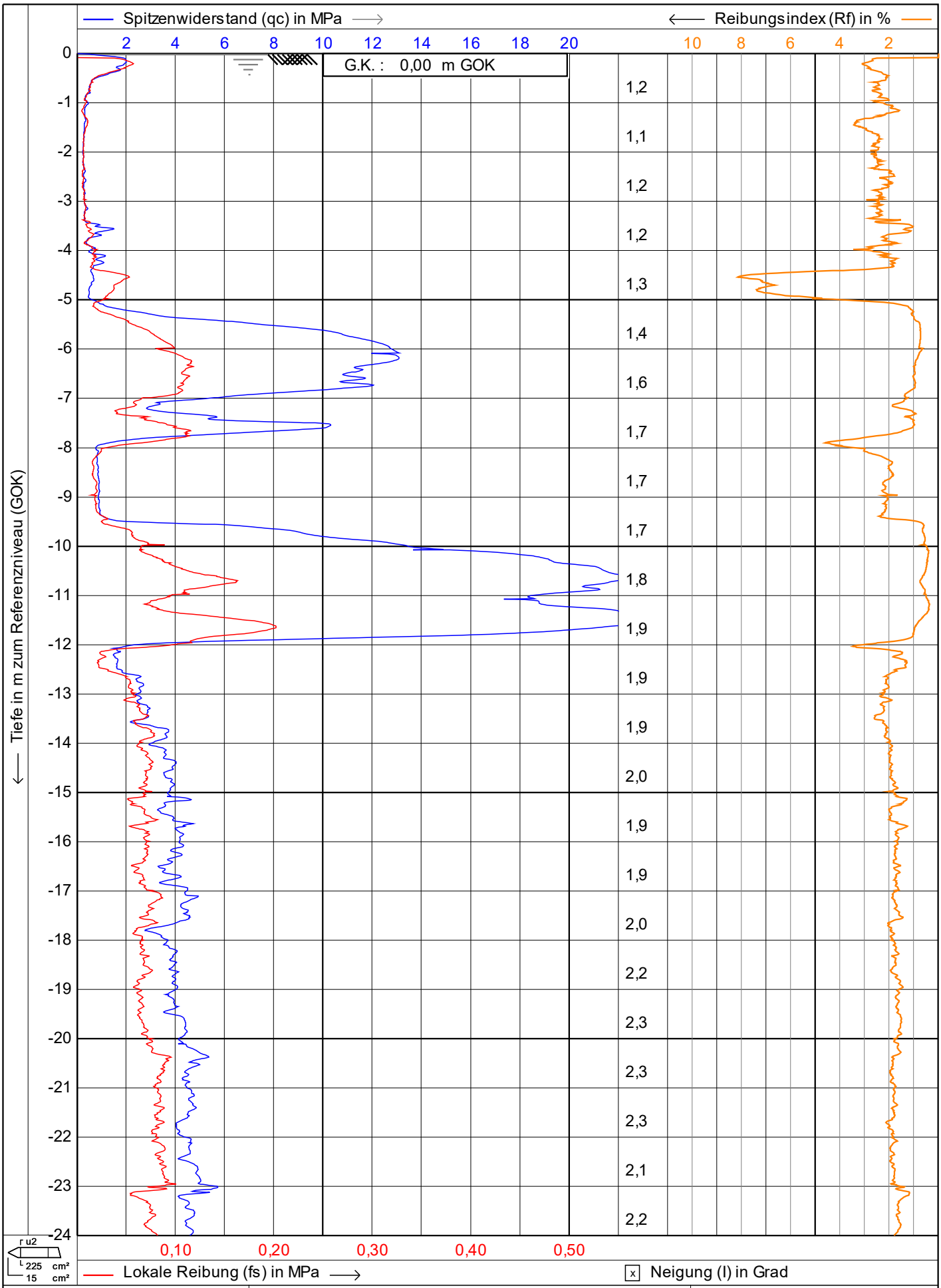
Position: **32395052, 5944474 UTM3N**

Datum : **12.04.2023**

Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417**

Projekt Nr. : **234364**

CPT Nr. : WEA 01 9mn.Süden **2/4**



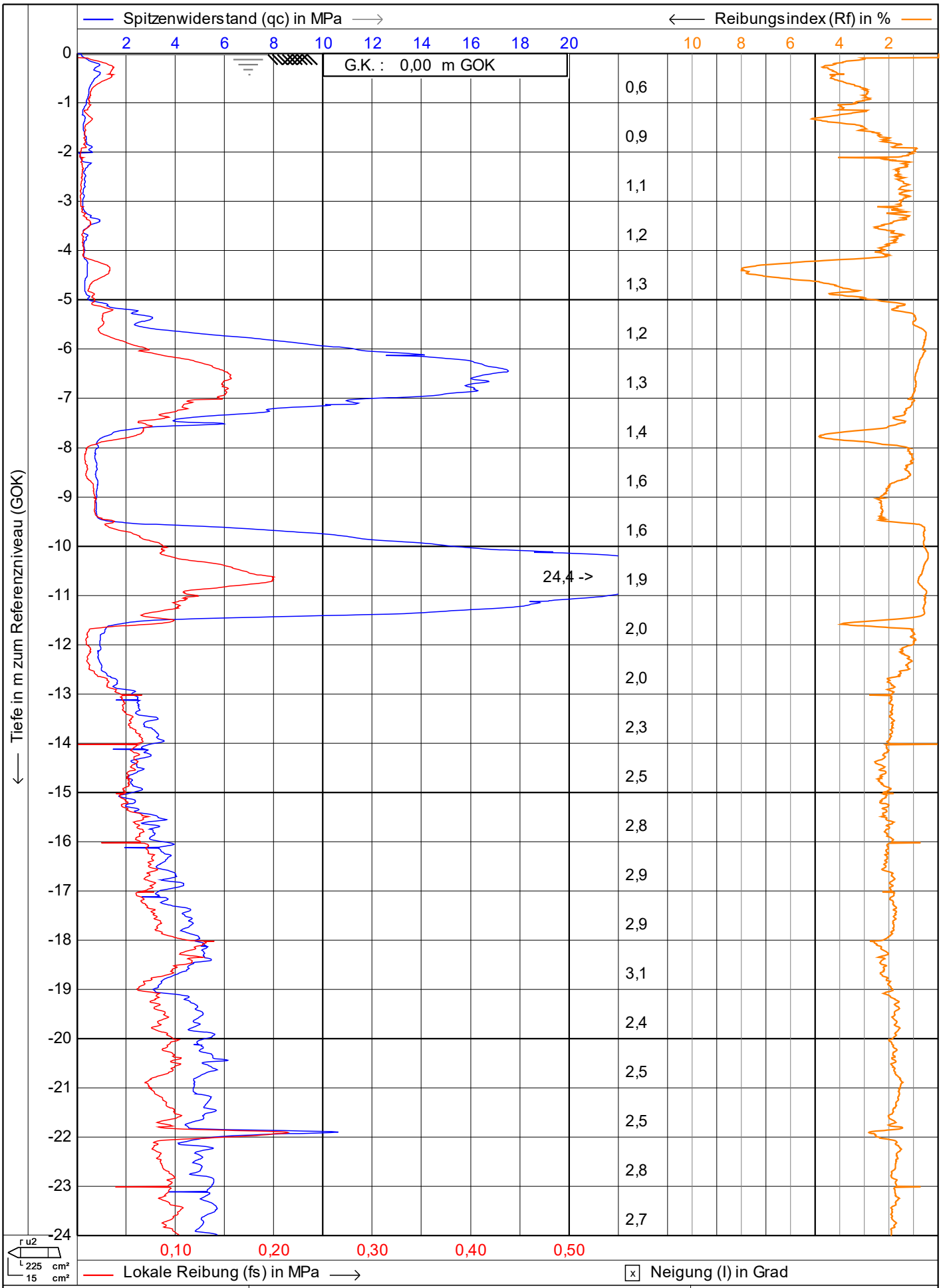
Vulhop+Becker GmbH & Co. KG 26180 Rastede Tannenkrugstraße 42 Telefon: +49 (441) 99 90 99-0 Telefax: +49 (441) 99 90 99-29 www.vulhop-becker.de Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung	Test according NEN 5140 class 1 Projekt : **WP Dornum** Ort : **WEA 01** Position: **32395052, 5944477 UTM3N**	Datum : **12.04.2023** Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417** Projekt Nr. : **234364** CPT Nr. : WEA 01 9mn.Westen **1/4**

Test according NEN 5140 class 1

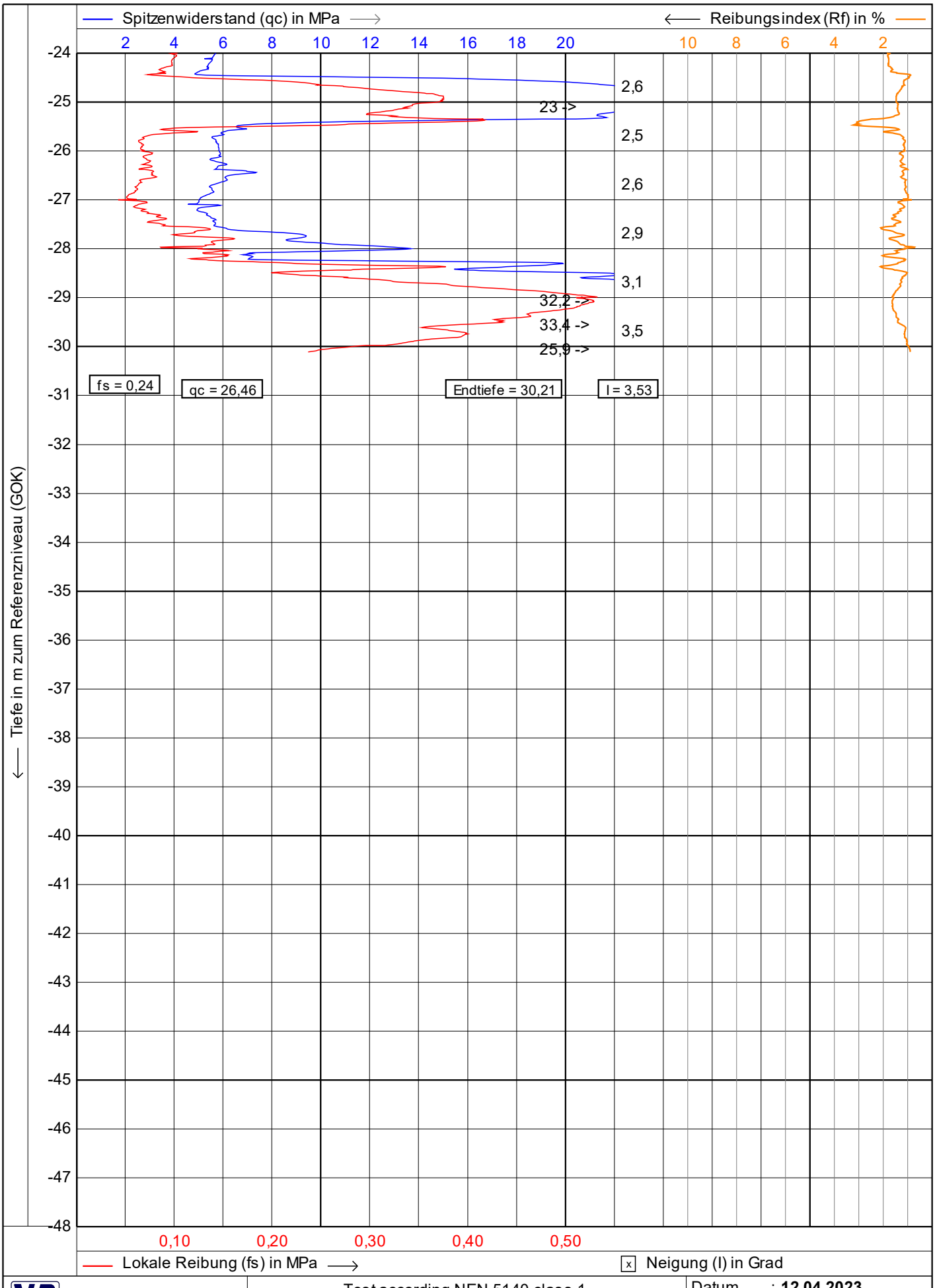
Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

Projekt : **WP Dornum**
Ort : **WEA 01**
Position: **32395052, 5944477 UTM3N**

Datum : **12.04.2023**
Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417**
Projekt Nr. : **234364**
CPT Nr. : WEA 01 9mn.Westen **2/4**

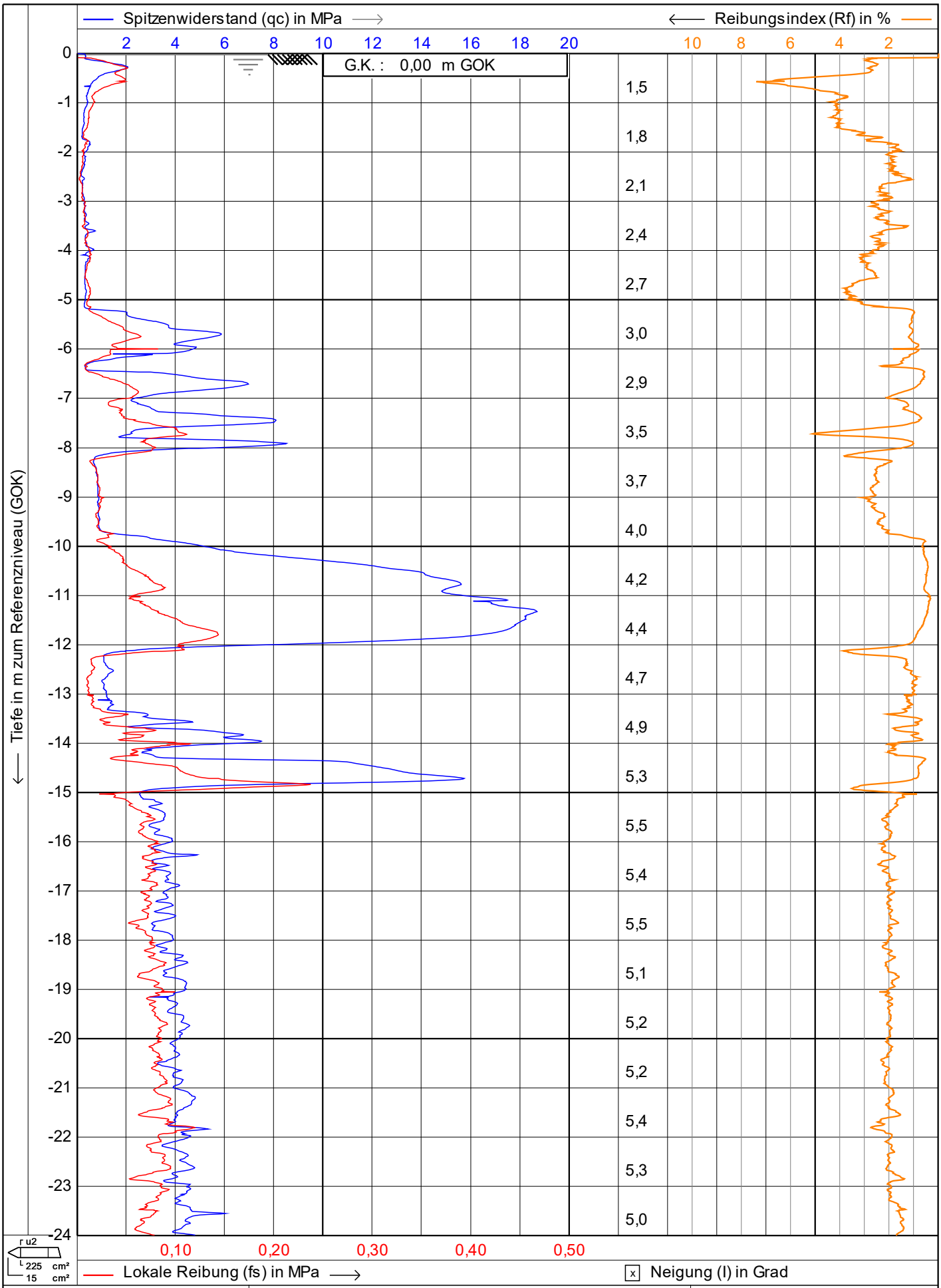


Vulhop+Becker GmbH & Co. KG 26180 Rastede Tannenkrugstraße 42 Telefon: +49 (441) 99 90 99-0 Telefax: +49 (441) 99 90 99-29 www.vulhop-becker.de Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung	Test according NEN 5140 class 1 Projekt : **WP Dornum** Ort : **WEA 01** Position: **32395076, 5944481 UTM3N**	Datum : **12.04.2023** Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417** Projekt Nr. : **234364** CPT Nr. : **WEA 01 KSF 1** **1/4**

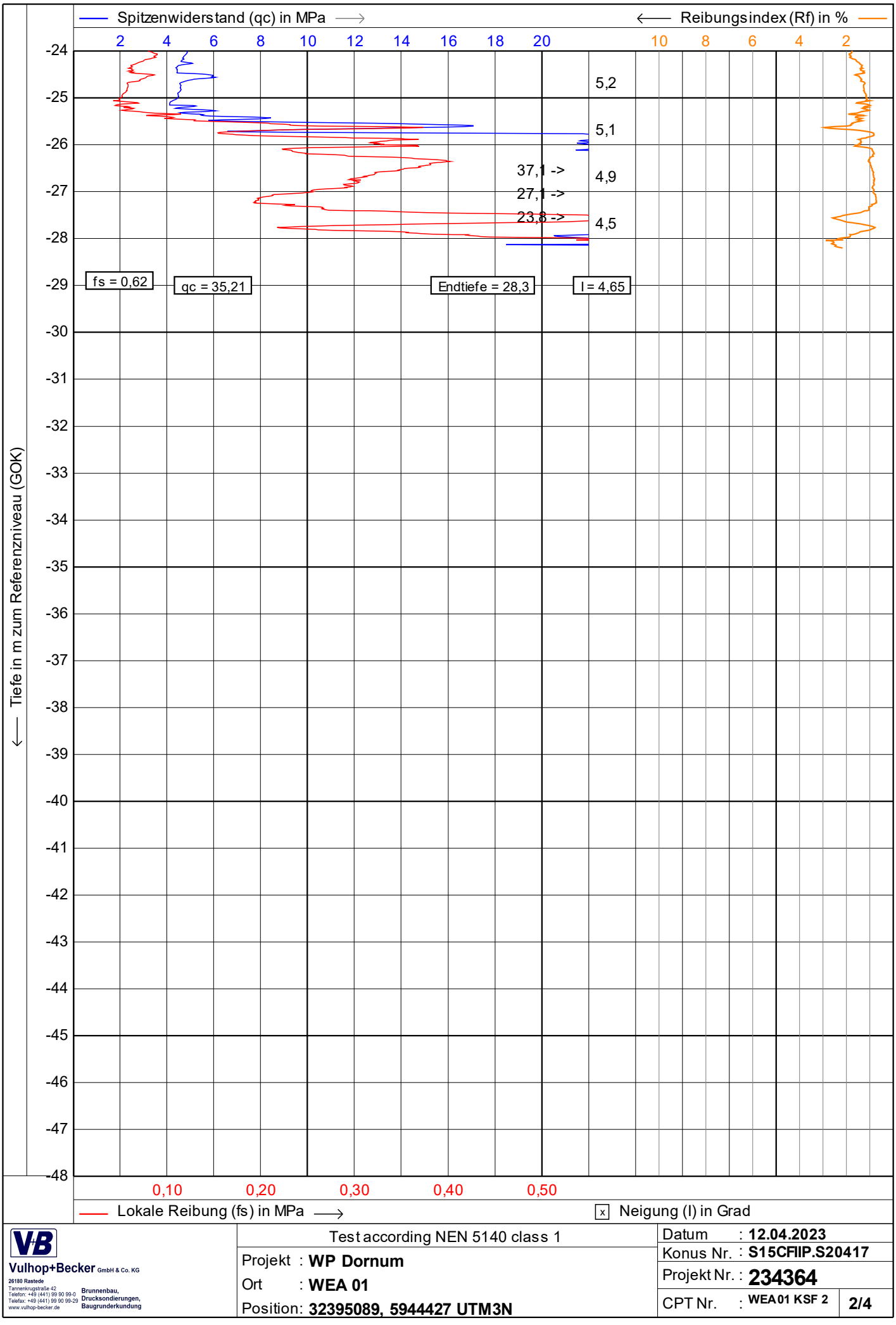


Vulhop+Becker GmbH & Co. KG 26180 Rastede Tannenkrugstraße 42 Telefon: +49 (441) 99 90 99-0 Telefax: +49 (441) 99 90 99-29 www.vulhop-becker.de Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung	Test according NEN 5140 class 1 Projekt : **WP Dornum** Ort : **WEA 01** Position: **32395076, 5944481 UTM3N**	Datum : **12.04.2023** Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417** Projekt Nr. : **234364** CPT Nr. : **WEA 01 KSF 1** **2/4**

1.48

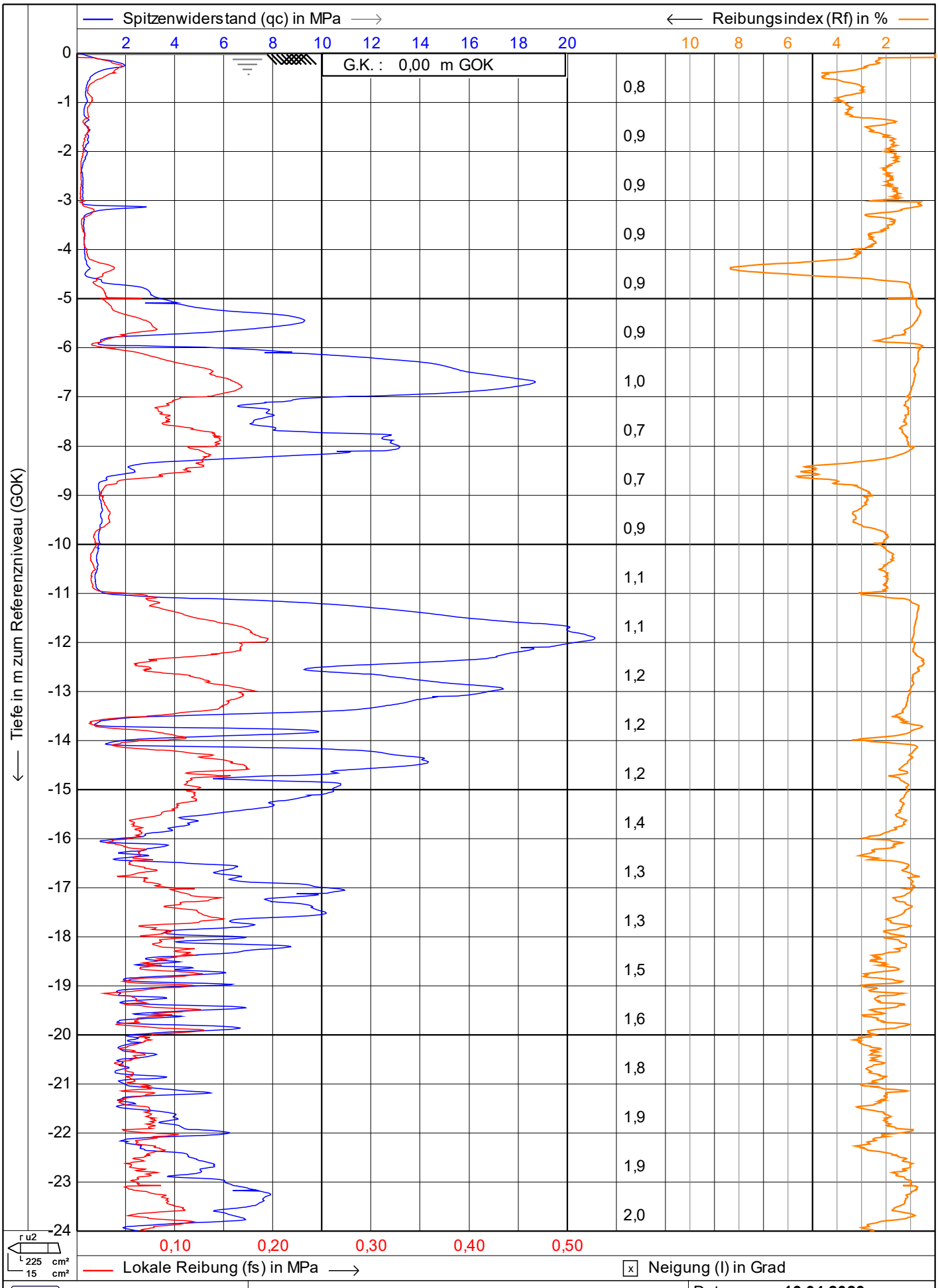


Vulhop+Becker GmbH & Co. KG 26180 Rastede Tannenkrugstraße 42 Telefon: +49 (441) 99 90 99-0 Telefax: +49 (441) 99 90 99-29 www.vulhop-becker.de Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung	Test according NEN 5140 class 1 Projekt : **WP Dornum** Ort : **WEA 01** Position: **32395089, 5944427 UTM3N**	Datum : **12.04.2023** Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417** Projekt Nr. : **234364** CPT Nr. : **WEA 01 KSF 2** **1/4**



Vulhop+Becker GmbH & Co. KG 26180 Rastede Tannenkrugstraße 42 Telefon: +49 (441) 99 90 99-0 Telefax: +49 (441) 99 90 99-29 www.vulhop-becker.de Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung	Test according NEN 5140 class 1 Projekt : **WP Dornum** Ort : **WEA 01** Position: **32395089, 5944427 UTM3N**	Datum : **12.04.2023** Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417** Projekt Nr. : **234364** CPT Nr. : **WEA 01 KSF 2** **2/4**

1.48

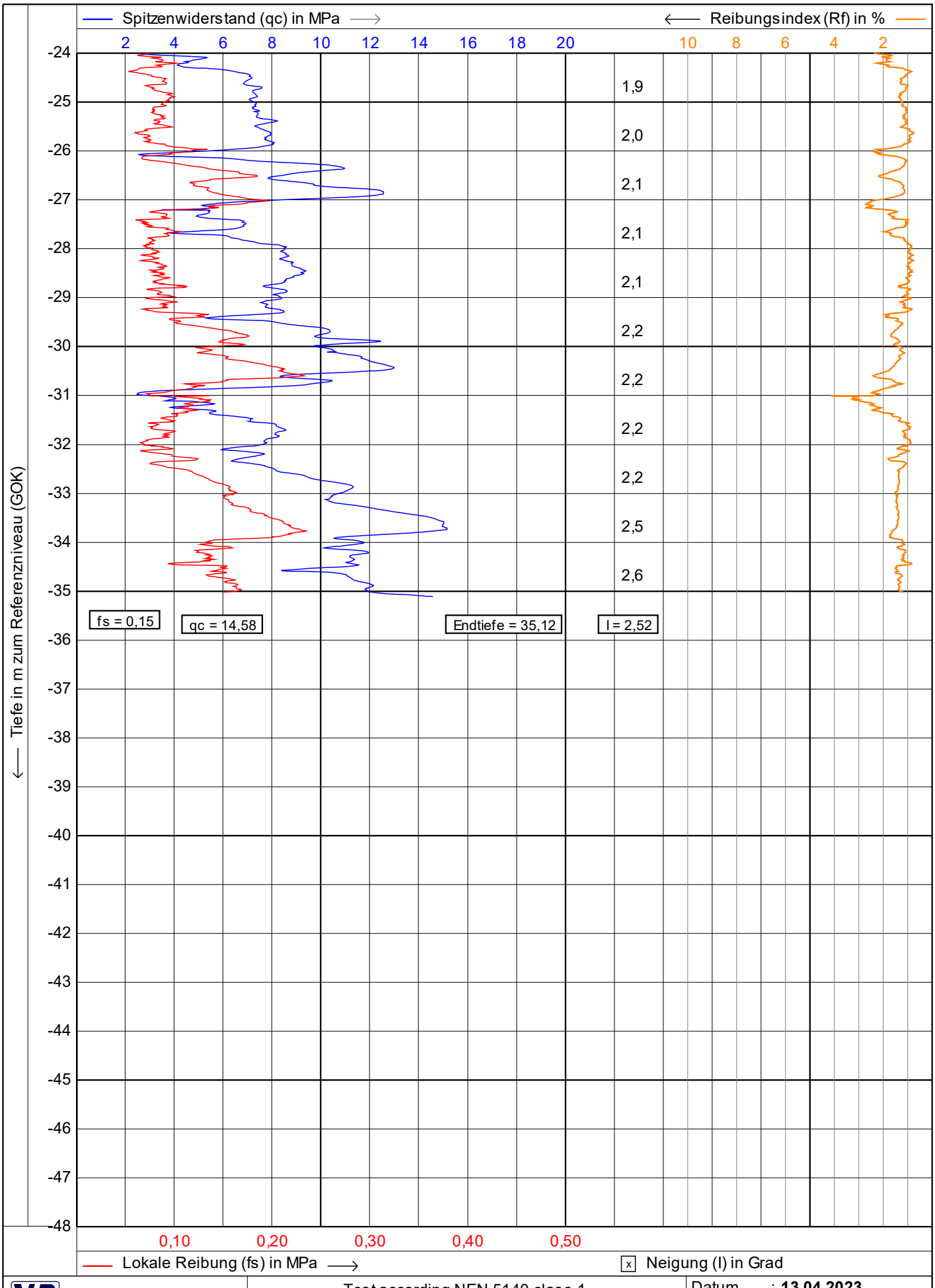


Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

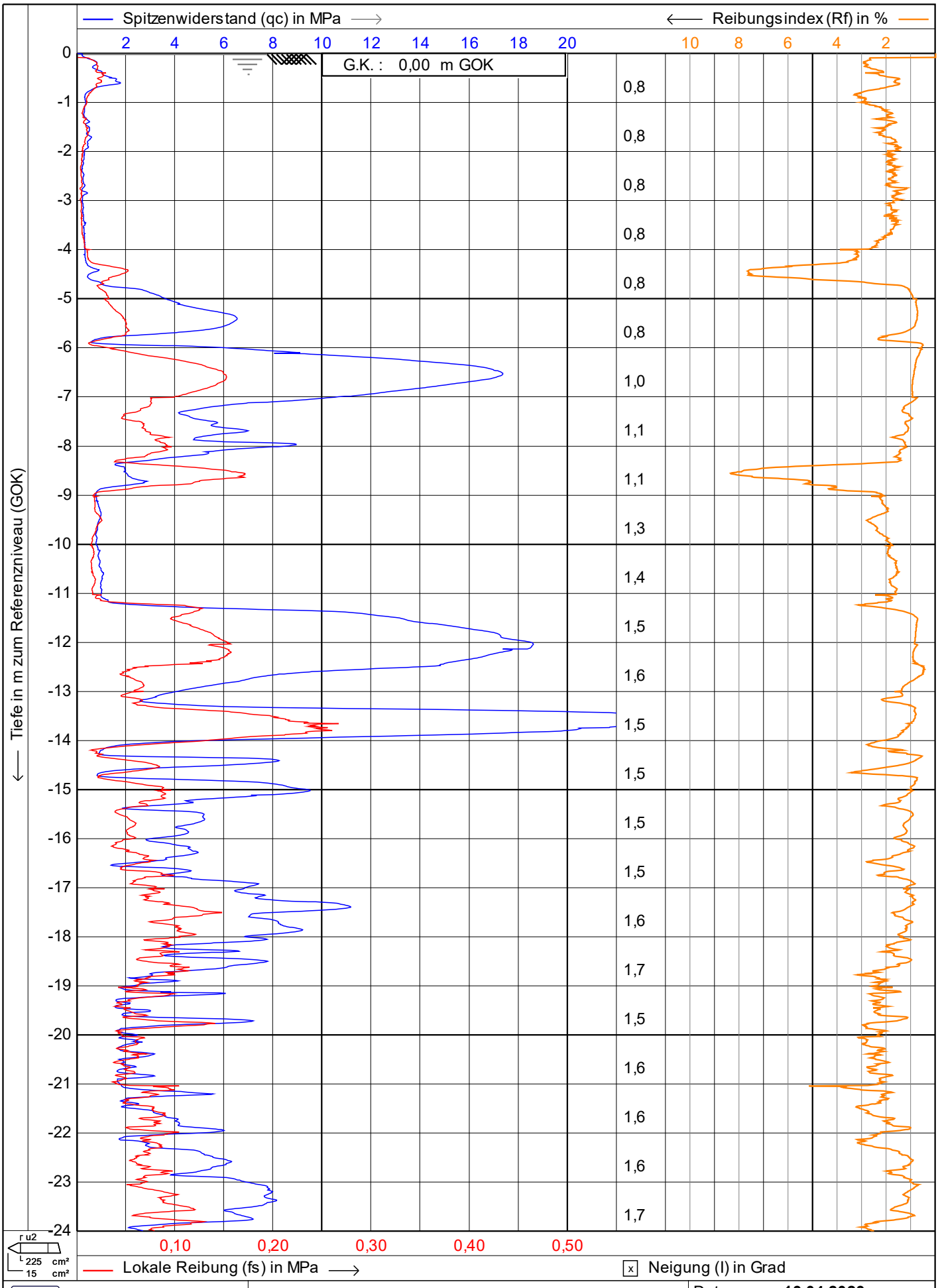
Test according NEN 5140 class 1

Projekt : **WP Dornum**
Ort : **WEA 02**
Position: **32395180, 5944216 UTM3N**

Datum : **13.04.2023**
Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417**
Projekt Nr. : **234364**
CPT Nr. : WEA 02 9mn.Norden **1/4**



Vulhop+Becker GmbH & Co. KG 26180 Rastede Tannenkrugstraße 42 Telefon: +49 (441) 99 90 99-0 Telefax: +49 (441) 99 90 99-29 www.vulhop-becker.de Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung	Test according NEN 5140 class 1 Projekt : **WP Dornum** Ort : **WEA 02** Position: **32395180, 5944216 UTM3N**	Datum : **13.04.2023** Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417** Projekt Nr. : **234364** CPT Nr. : WEA 02 9mn.Norden **2/4**

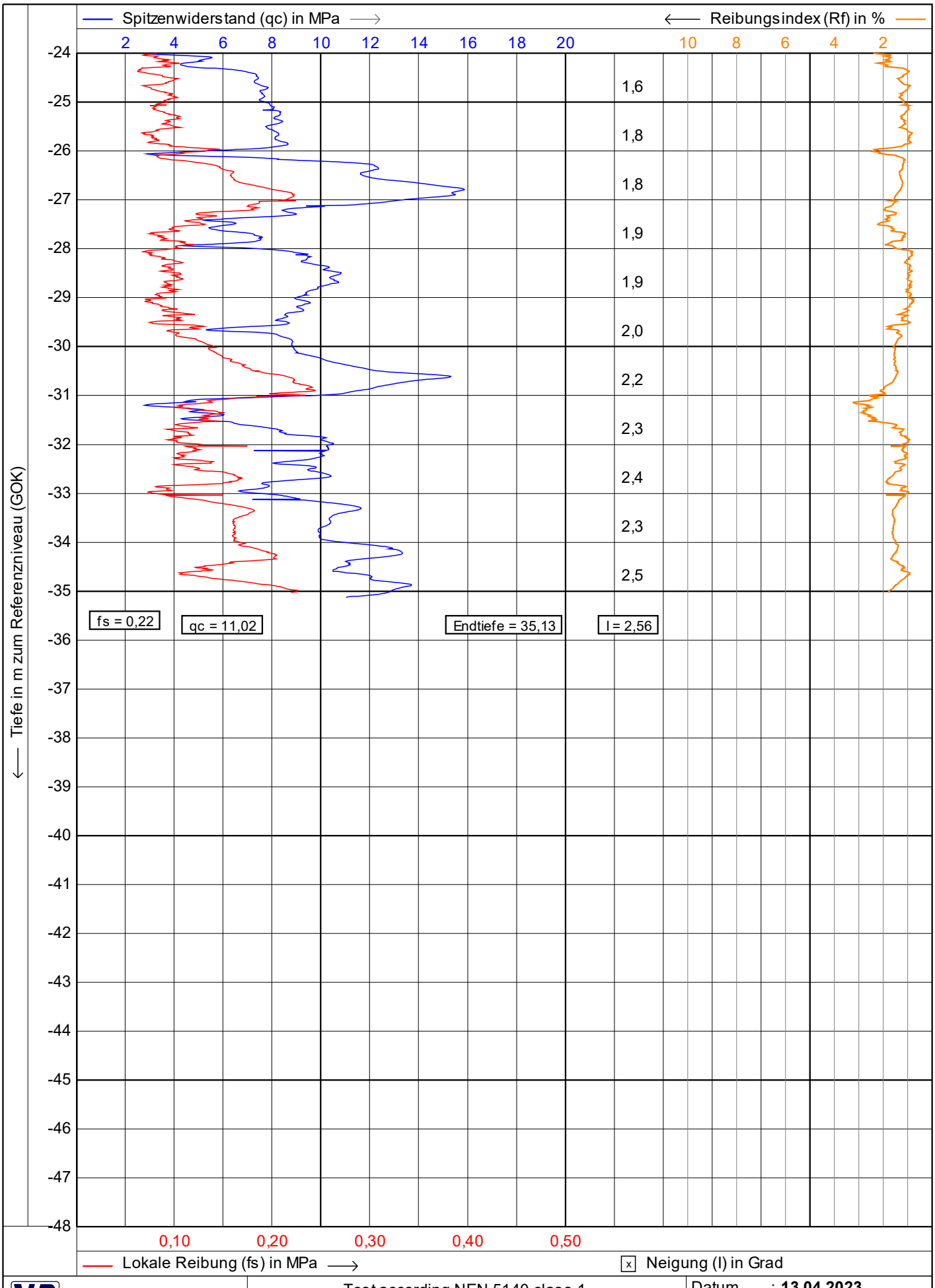


Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

Test according NEN 5140 class 1

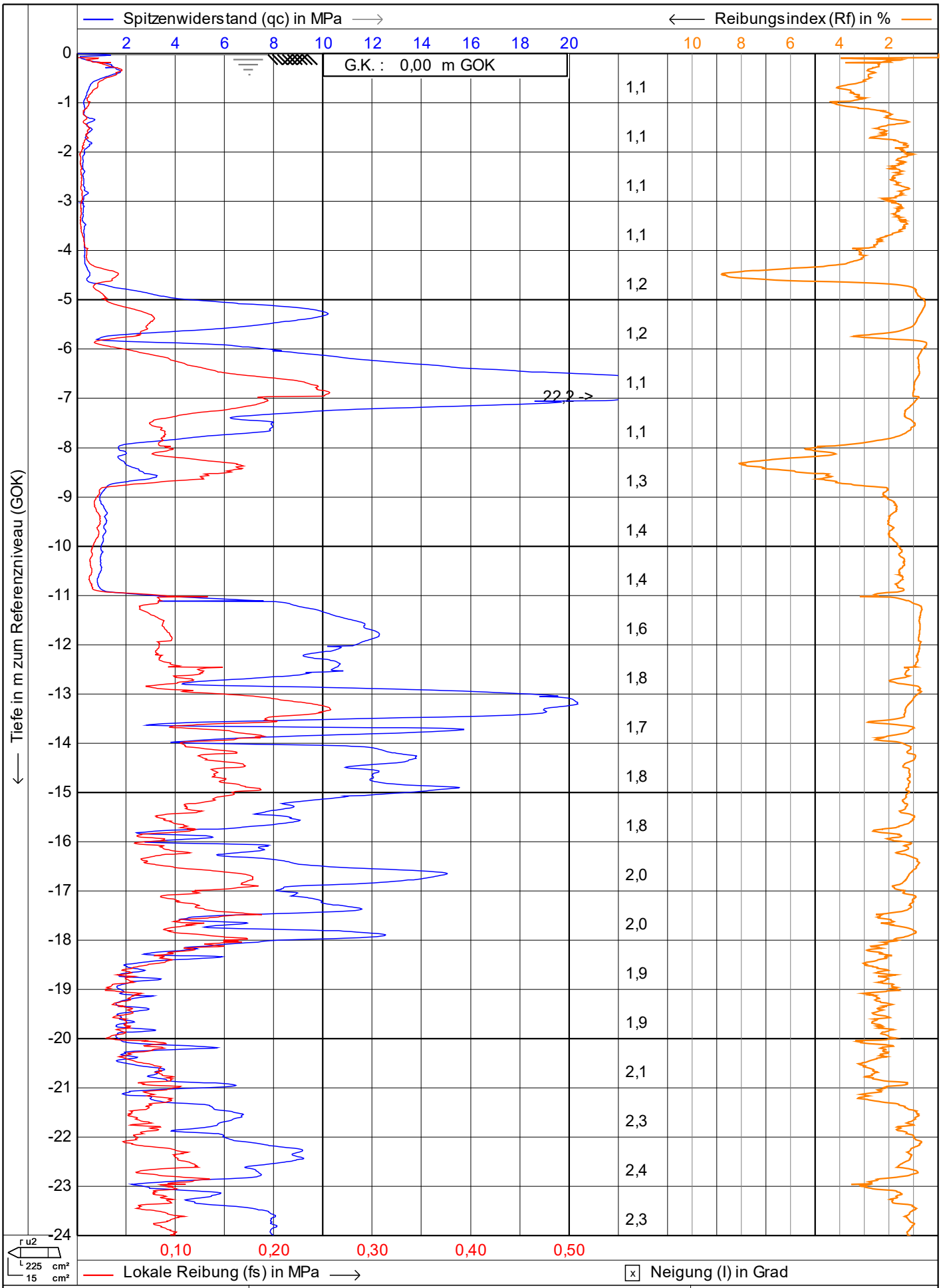
Projekt : **WP Dornum**
Ort : **WEA 02**
Position: **32395183, 5944212 UTM3N**

Datum : **13.04.2023**
Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417**
Projekt Nr. : **234364**
CPT Nr. : WEA 02 9mn.Osten **1/4**



Vulhop+Becker GmbH & Co. KG 26180 Rastede Tannenkrugstraße 42 Telefon: +49 (441) 99 90 99-0 Telefax: +49 (441) 99 90 99-29 www.vulhop-becker.de Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung	Test according NEN 5140 class 1 Projekt : **WP Dornum** Ort : **WEA 02** Position: **32395183, 5944212 UTM3N**	Datum : **13.04.2023** Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417** Projekt Nr. : **234364** CPT Nr. : WEA 02 9mn.Osten **2/4**

1.48



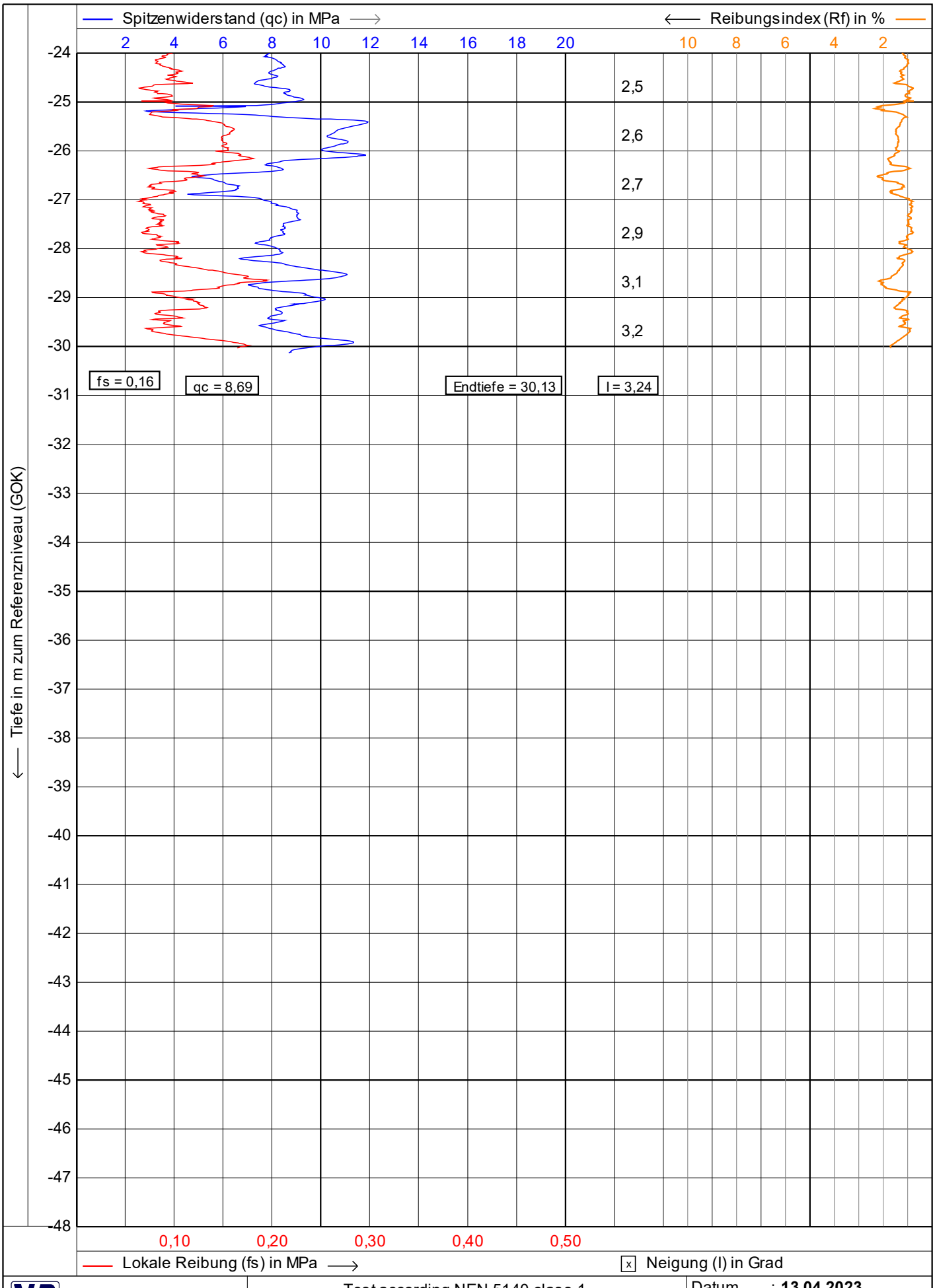
VB
Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

Test according NEN 5140 class 1

Projekt : **WP Dornum**
Ort : **WEA 02**
Position: **32395179, 5944209 UTM3N**

Datum : **13.04.2023**
Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417**
Projekt Nr. : **234364**
CPT Nr. : WEA 02 9mn.Süden **1/4**

1.48

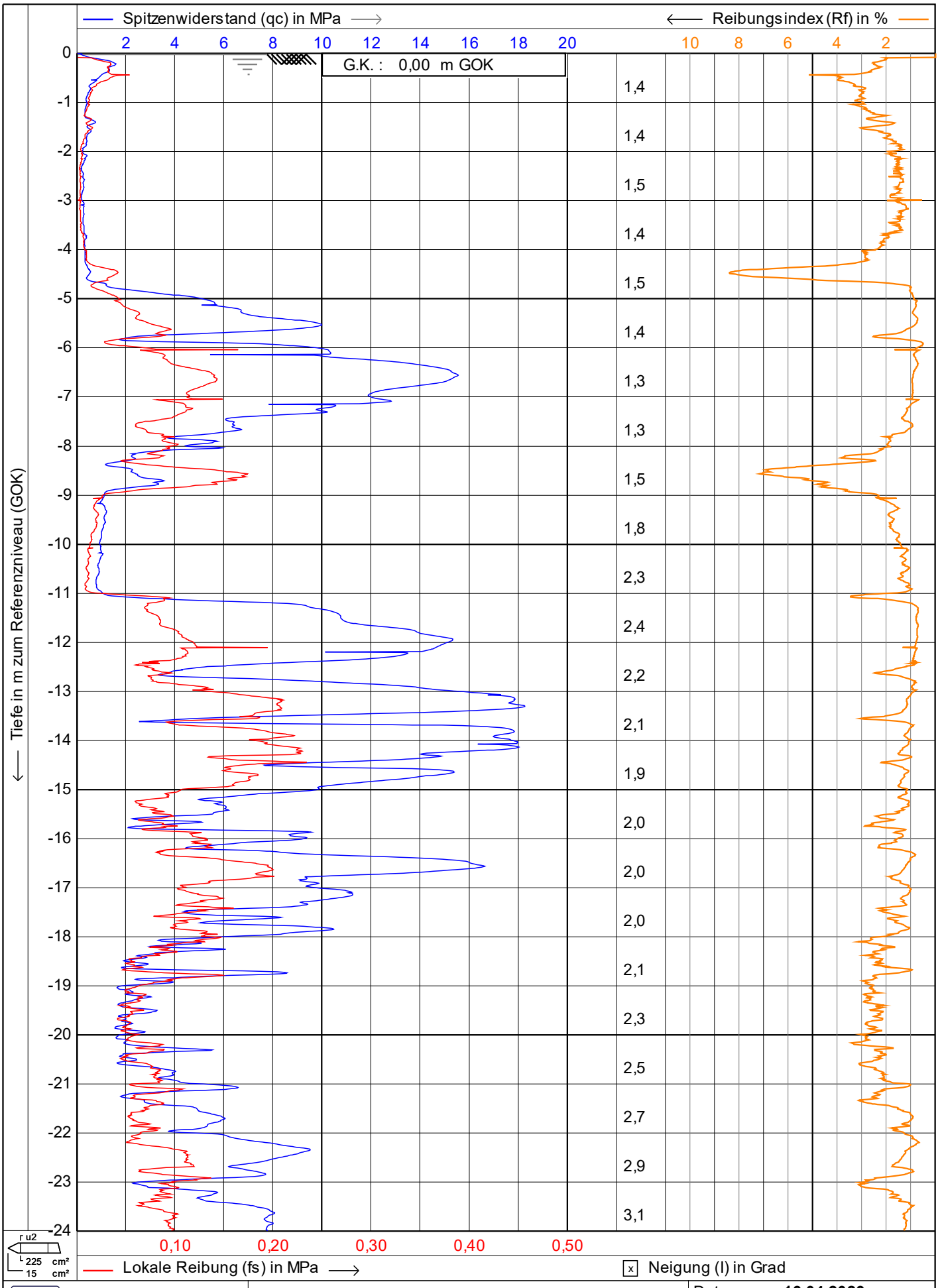


Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

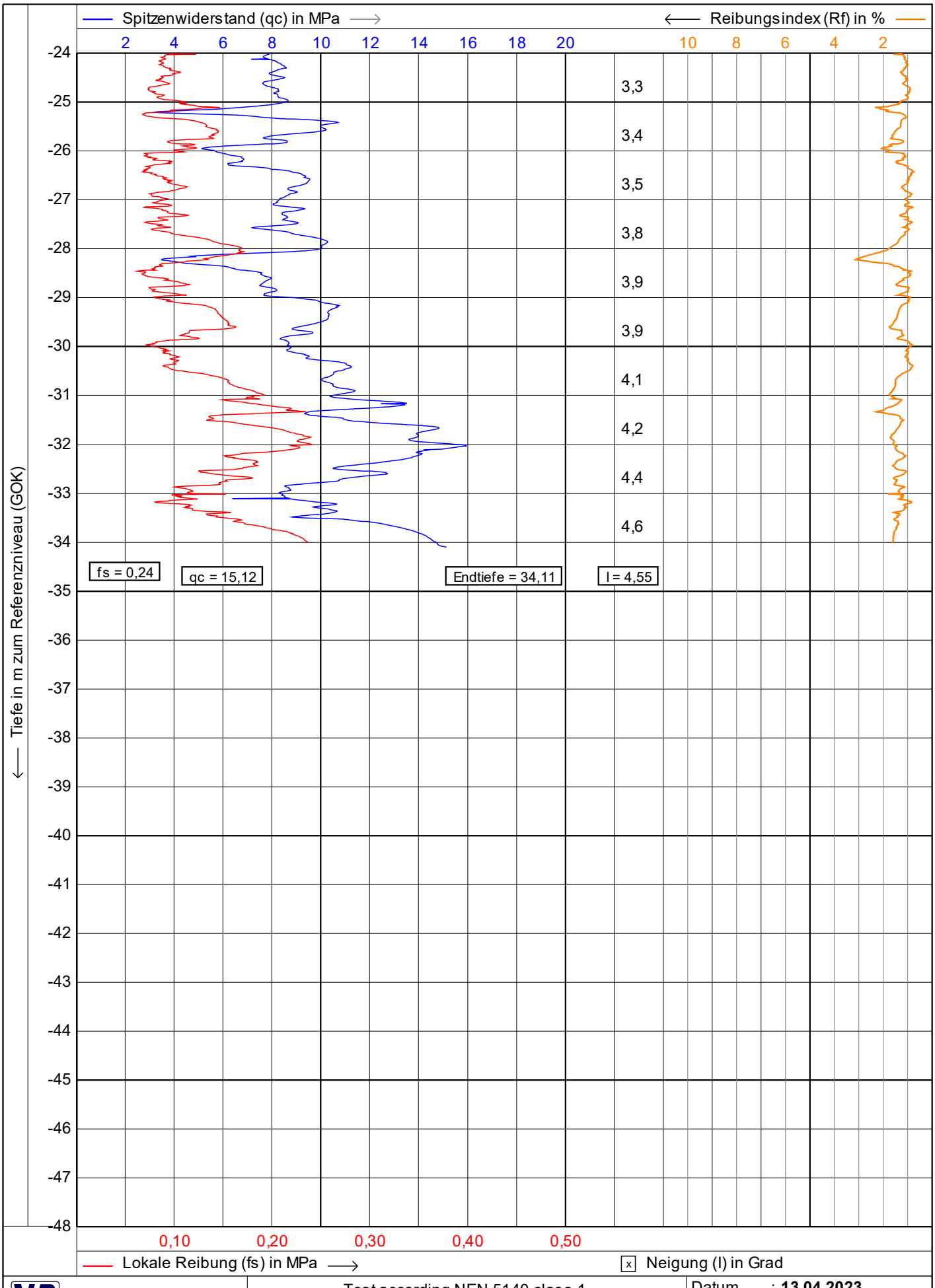
Test according NEN 5140 class 1

Projekt : **WP Dornum**
Ort : **WEA 02**
Position: **32395179, 5944209 UTM3N**

Datum : **13.04.2023**
Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417**
Projekt Nr. : **234364**
CPT Nr. : WEA 02 9mn.Süden **2/4**



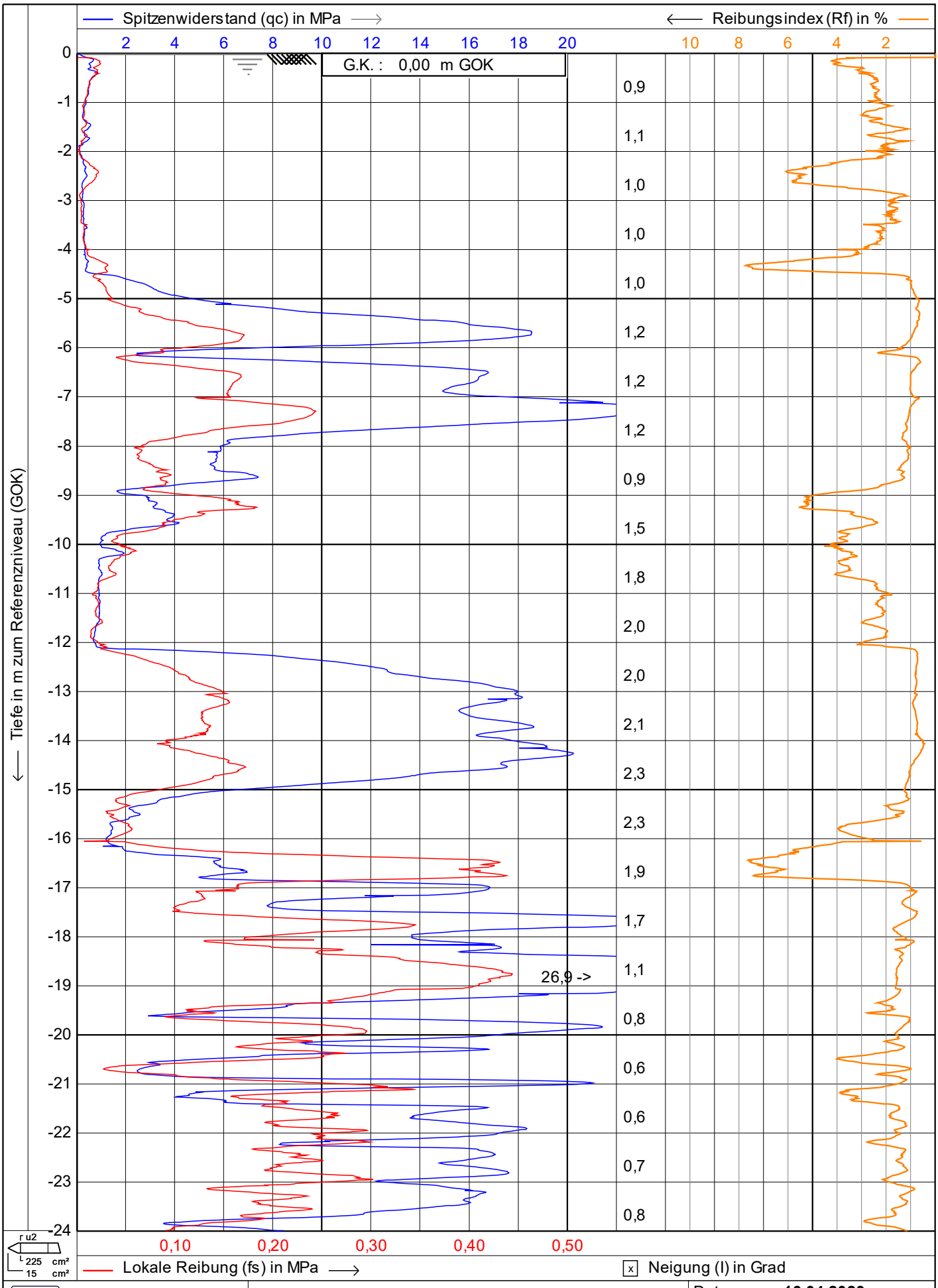
Vulhop+Becker GmbH & Co. KG 26180 Rastede Tannenkrugstraße 42 Telefon: +49 (441) 99 90 99-0 Telefax: +49 (441) 99 90 99-29 www.vulhop-becker.de Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung	Test according NEN 5140 class 1 Projekt : **WP Dornum** Ort : **WEA 02** Position: **32395176, 5944214 UTM3N**	Datum : **13.04.2023** Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417** Projekt Nr. : **234364** CPT Nr. : WEA 02 9mn.Westen **1/4**



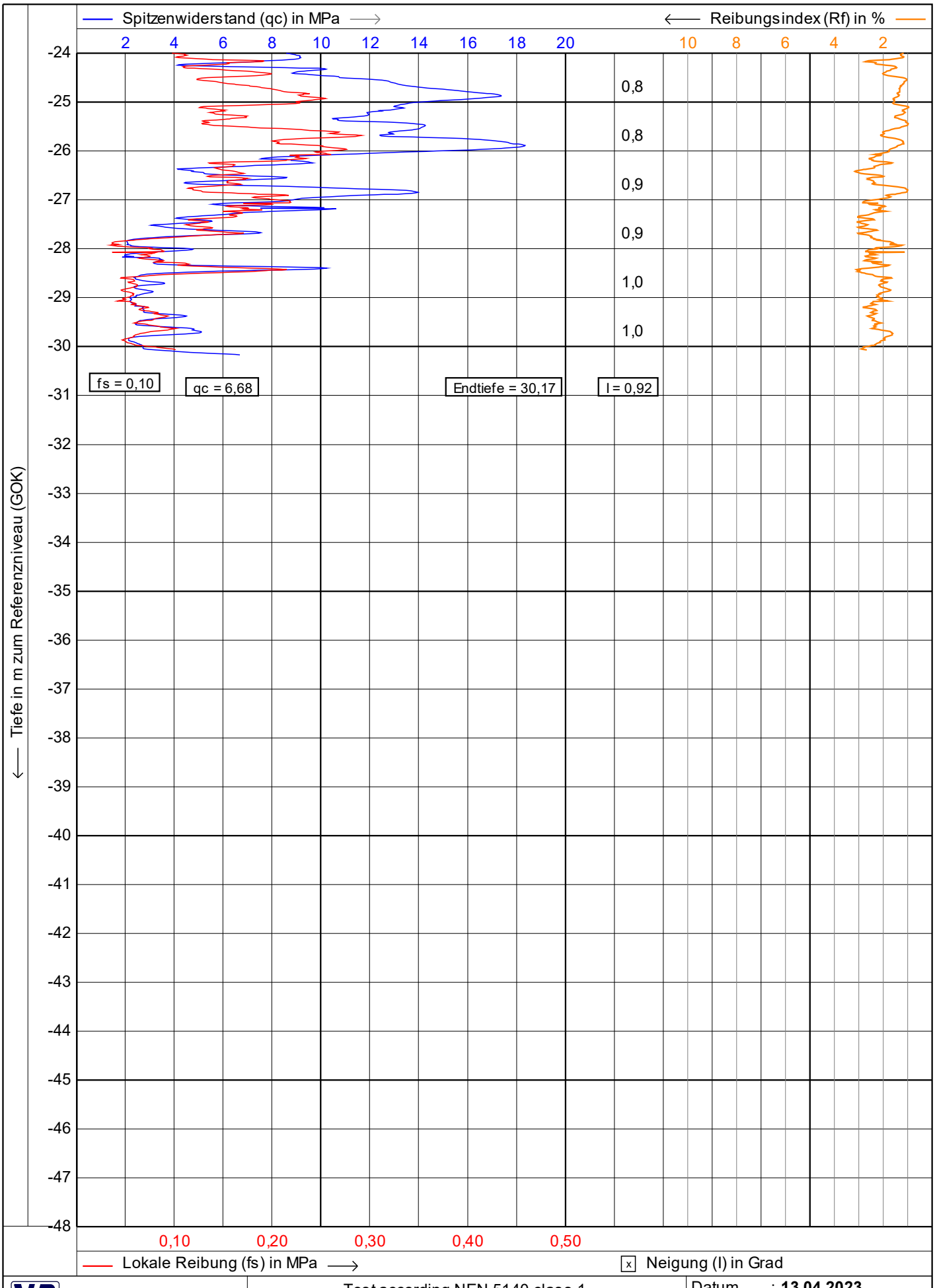
Test according NEN 5140 class 1

Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

Projekt	**WP Dornum**
Ort	**WEA 02**
Position	**32395176, 5944214 UTM3N**
Datum	**13.04.2023**
Konus Nr.	**S15CFIIP.S20417**
Projekt Nr.	**234364**
CPT Nr.	WEA 02 9mn.Westen — **2/4**



Vulhop+Becker GmbH & Co. KG 26180 Rastede Tannenkrugstraße 42 Telefon: +49 (441) 99 90 99-0 Telefax: +49 (441) 99 90 99-29 www.vulhop-becker.de Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung	Test according NEN 5140 class 1 Projekt : **WP Dornum** Ort : **WEA 02** Position: **32395208, 5944208 UTM3N**	Datum : **13.04.2023** Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417** Projekt Nr. : **234364** CPT Nr. : **WEA 02 KSF 1** **1/4**

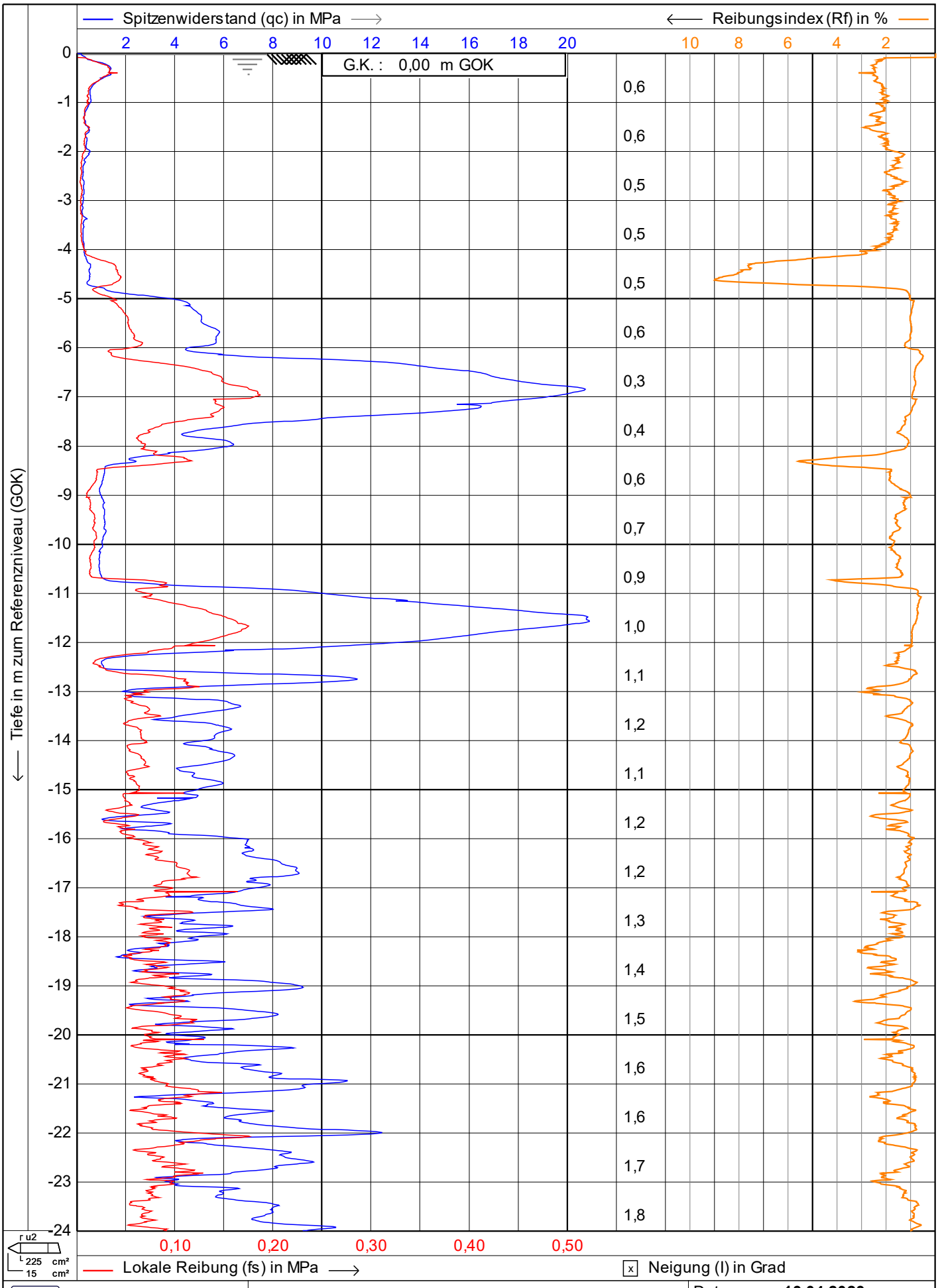


Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

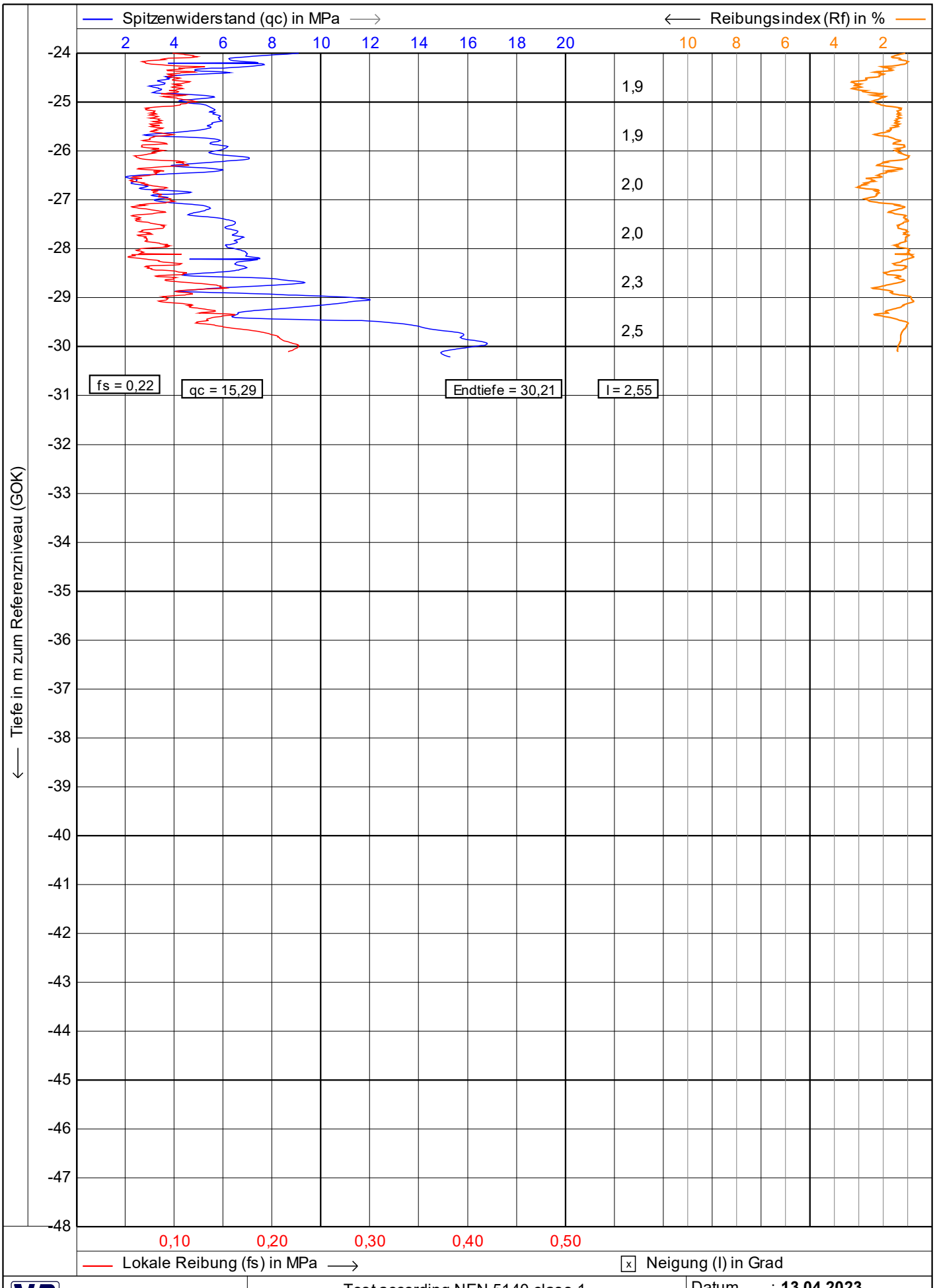
Test according NEN 5140 class 1

Projekt : **WP Dornum**
Ort : **WEA 02**
Position: **32395208, 5944208 UTM3N**

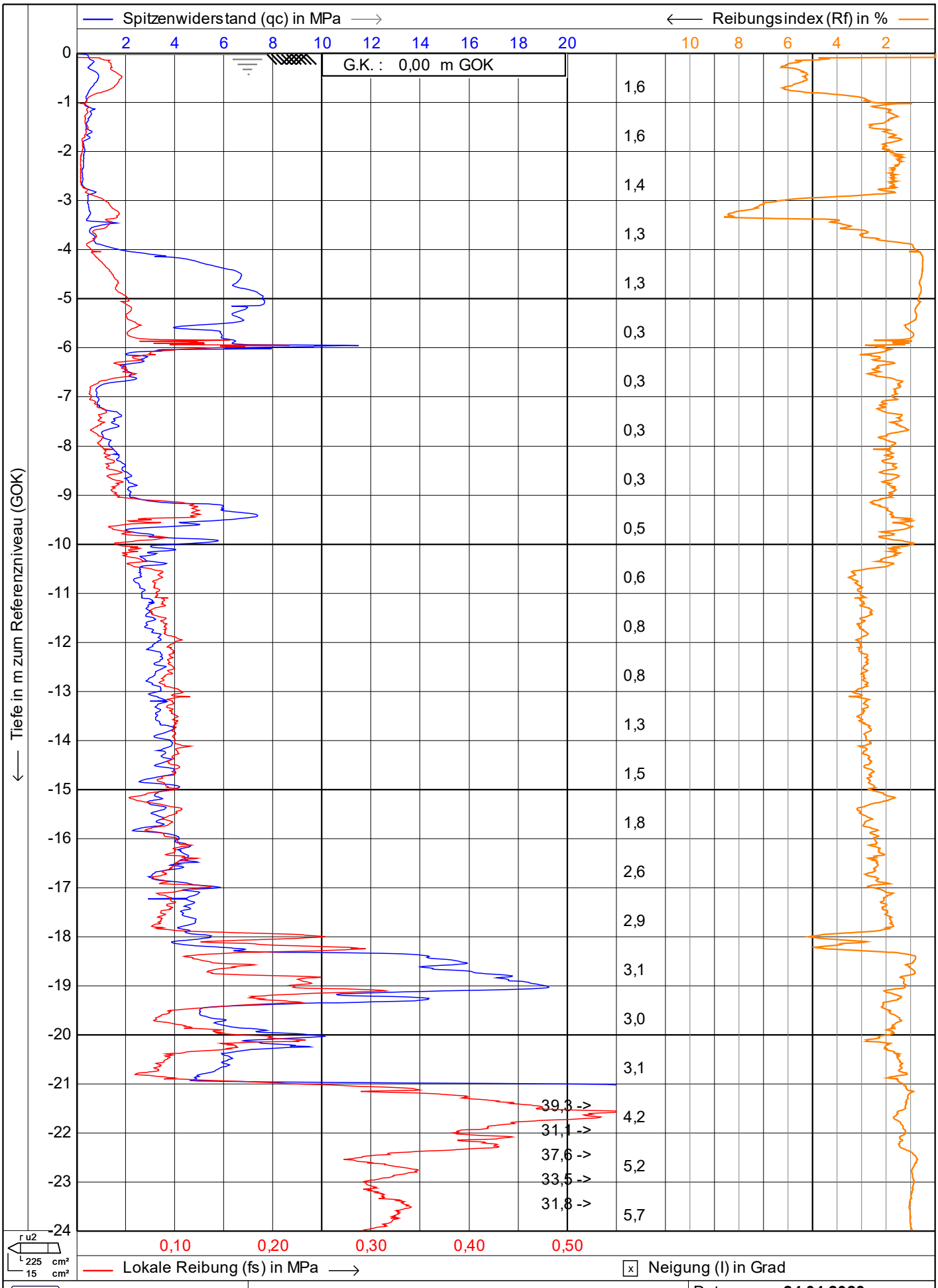
Datum : **13.04.2023**
Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417**
Projekt Nr. : **234364**
CPT Nr. : **WEA 02 KSF 1** **2/4**



Vulhop+Becker GmbH & Co. KG 26180 Rastede Tannenkrugstraße 42 Telefon: +49 (441) 99 90 99-0 Telefax: +49 (441) 99 90 99-29 www.vulhop-becker.de Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung	Test according NEN 5140 class 1 Projekt : **WP Dornum** Ort : **WEA 02** Position: **32395205, 5944263 UTM3N**	Datum : **13.04.2023** Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417** Projekt Nr. : **234364** CPT Nr. : **WEA 02 KSF 2** **1/4**



Vulhop+Becker GmbH & Co. KG 26180 Rastede Tannenkrugstraße 42 Telefon: +49 (441) 99 90 99-0 Telefax: +49 (441) 99 90 99-29 www.vulhop-becker.de Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung	Test according NEN 5140 class 1 Projekt : **WP Dornum** Ort : **WEA 02** Position: **32395205, 5944263 UTM3N**	Datum : **13.04.2023** Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417** Projekt Nr. : **234364** CPT Nr. : **WEA 02 KSF 2** **2/4**

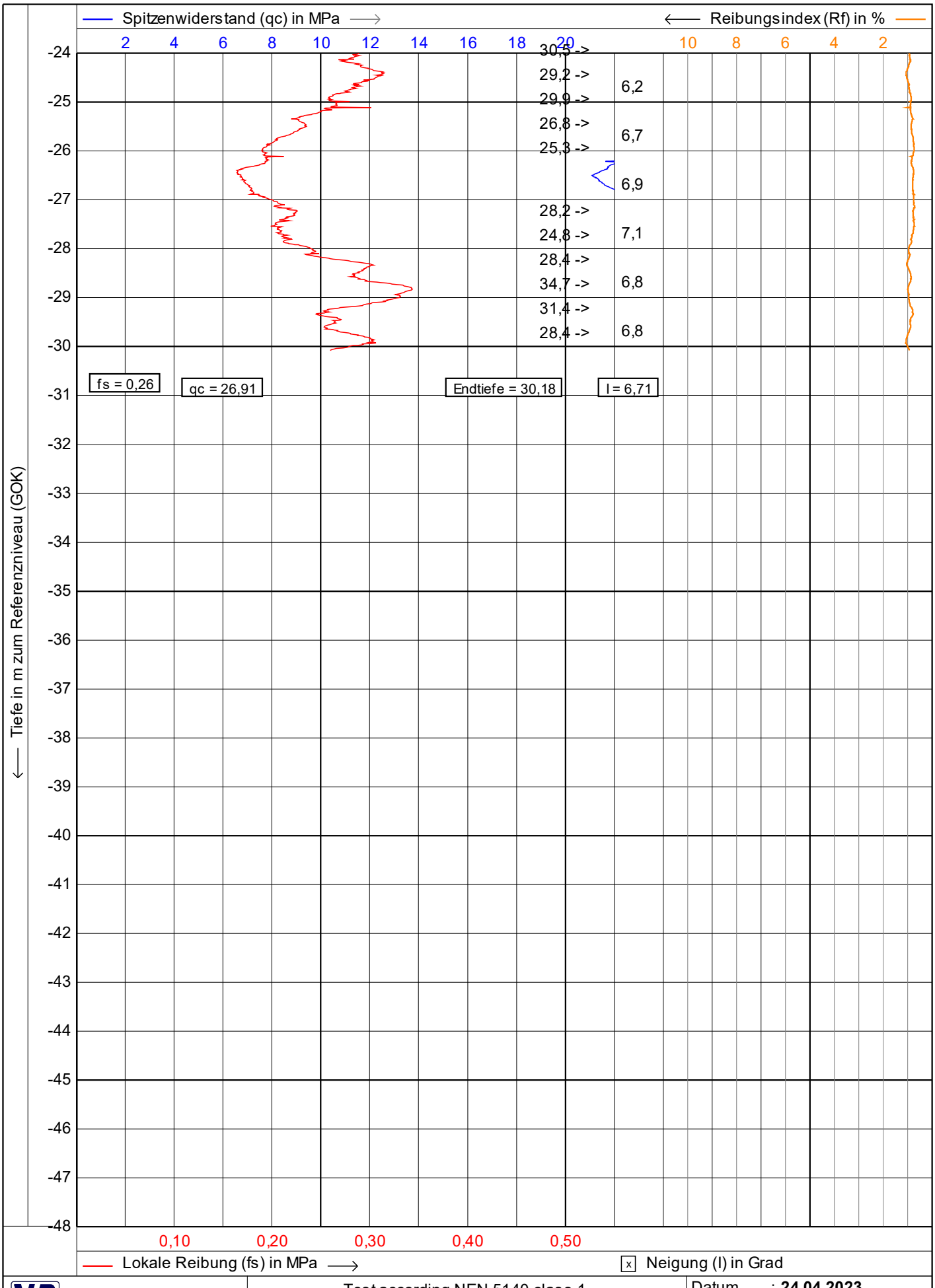


Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

Test according NEN 5140 class 1

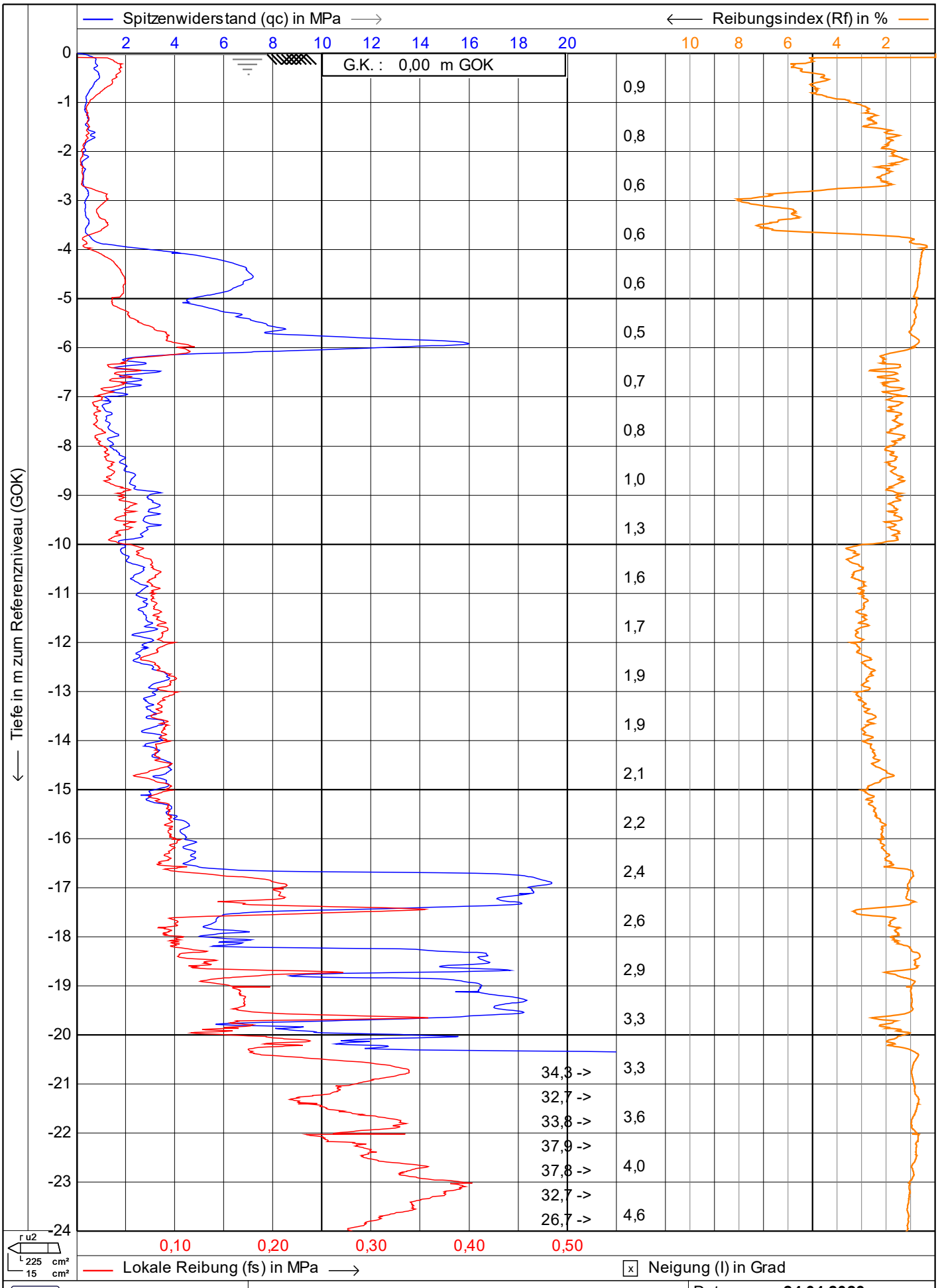
Projekt : **WP Dornum**
Ort : **WEA 3**
Position: **32395675, 5944130 UTM3N**

Datum : **24.04.2023**
Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417**
Projekt Nr. : **234364**
CPT Nr. : WEA 3 9mn.Norden **1/4**

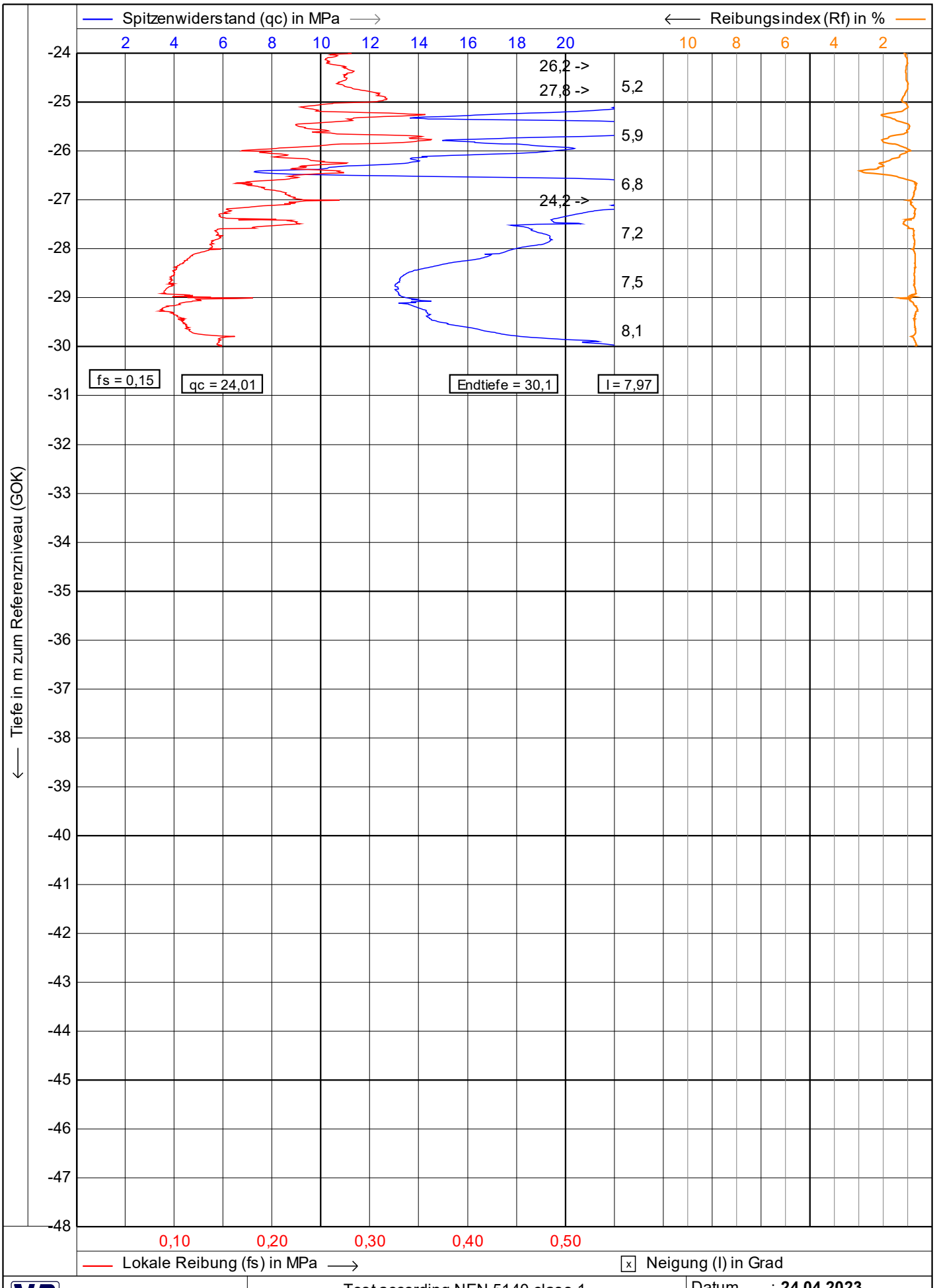


Vulhop+Becker GmbH & Co. KG 26180 Rastede Tannenkrugstraße 42 Telefon: +49 (441) 99 90 99-0 Telefax: +49 (441) 99 90 99-29 www.vulhop-becker.de Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung	Test according NEN 5140 class 1 Projekt : **WP Dornum** Ort : **WEA 3** Position: **32395675, 5944130 UTM3N**	Datum : **24.04.2023** Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417** Projekt Nr. : **234364** CPT Nr. : WEA 3 9mn.Norden	**2/4**

1.48



Vulhop+Becker GmbH & Co. KG 26180 Rastede Tannenkrugstraße 42 Telefon: +49 (441) 99 90 99-0 Telefax: +49 (441) 99 90 99-29 www.vulhop-becker.de Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung	Test according NEN 5140 class 1 Projekt : **WP Dornum** Ort : **WEA 3** Position: **32395677, 5944128 UTM3N**	Datum : **24.04.2023** Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417** Projekt Nr. : **234364** CPT Nr. : **WEA 3 9m n. Osten** **1/4**

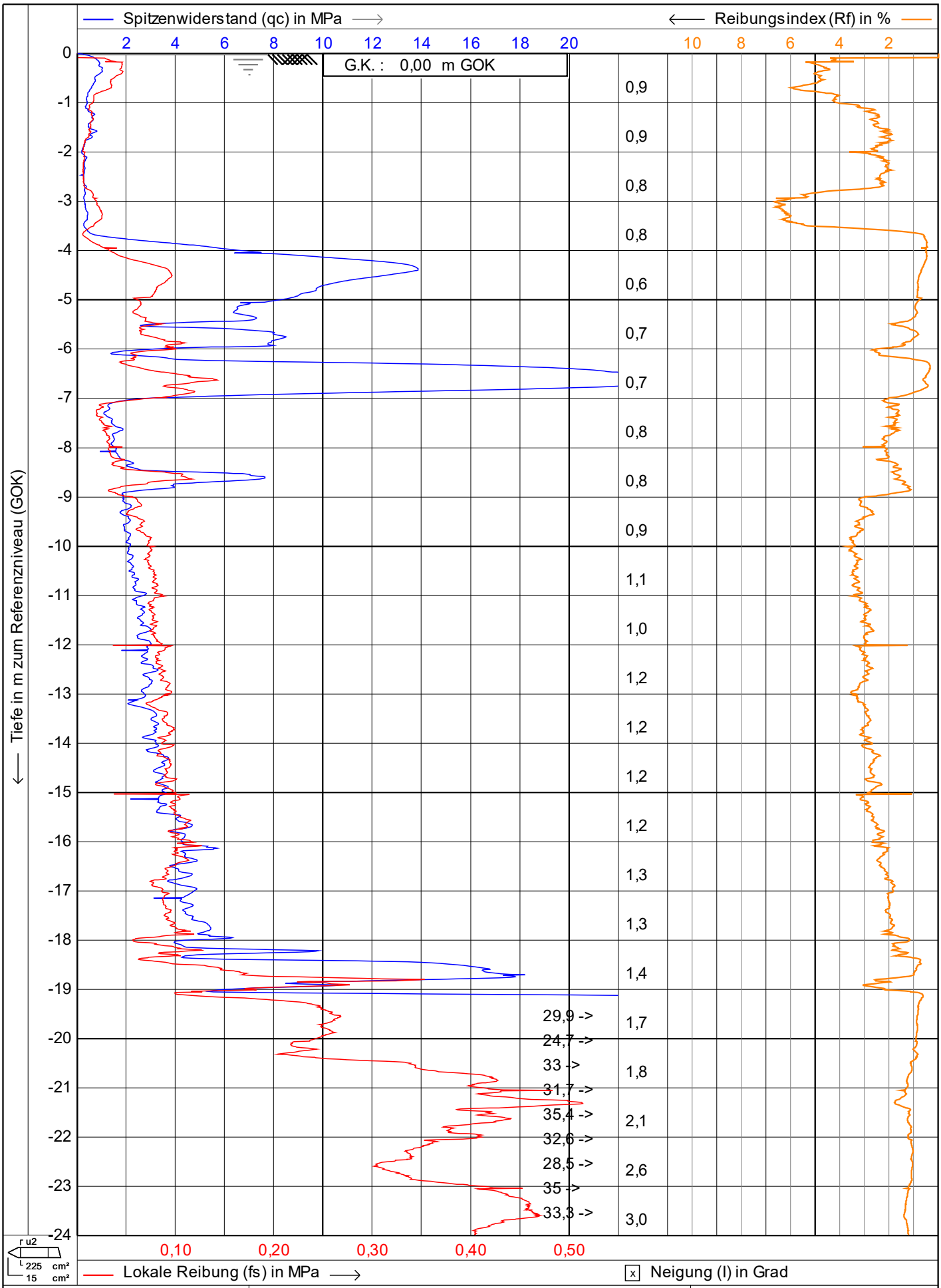


Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

Test according NEN 5140 class 1

Projekt : **WP Dornum**
Ort : **WEA 3**
Position: **32395677, 5944128 UTM3N**

Datum : **24.04.2023**
Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417**
Projekt Nr. : **234364**
CPT Nr. : **WEA 3 9m n. Osten** **2/4**

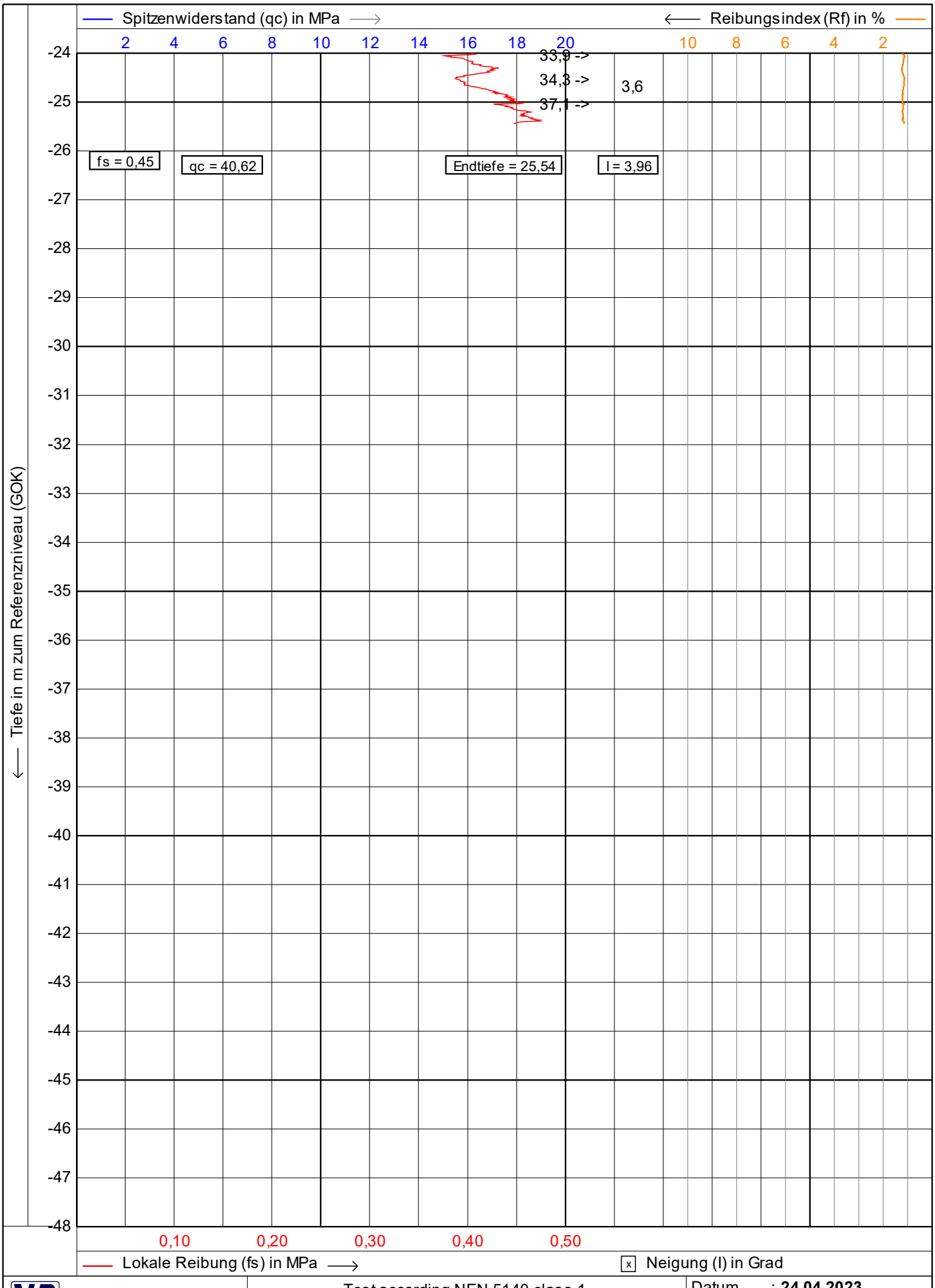


Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

Test according NEN 5140 class 1

Projekt : **WP Dornum**
Ort : **WEA 3**
Position: **32395676, 5944125 UTM3N**

Datum : **24.04.2023**
Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417**
Projekt Nr. : **234364**
CPT Nr. : WEA 3 9 mn.Süden **1/4**



Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

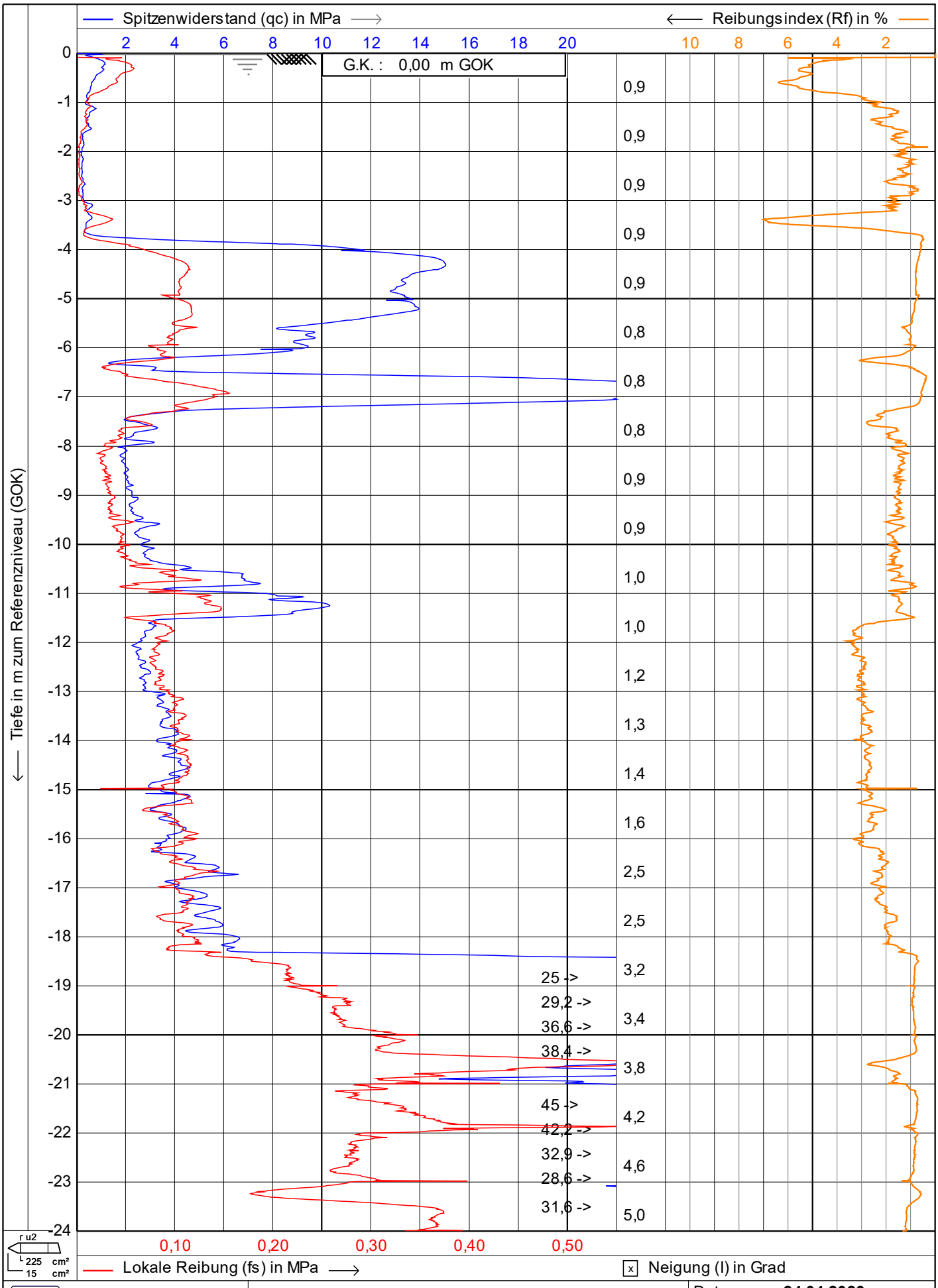
Test according NEN 5140 class 1

Projekt : **WP Dornum**

Ort : **WEA 3**

Position: **32395676, 5944125 UTM3N**

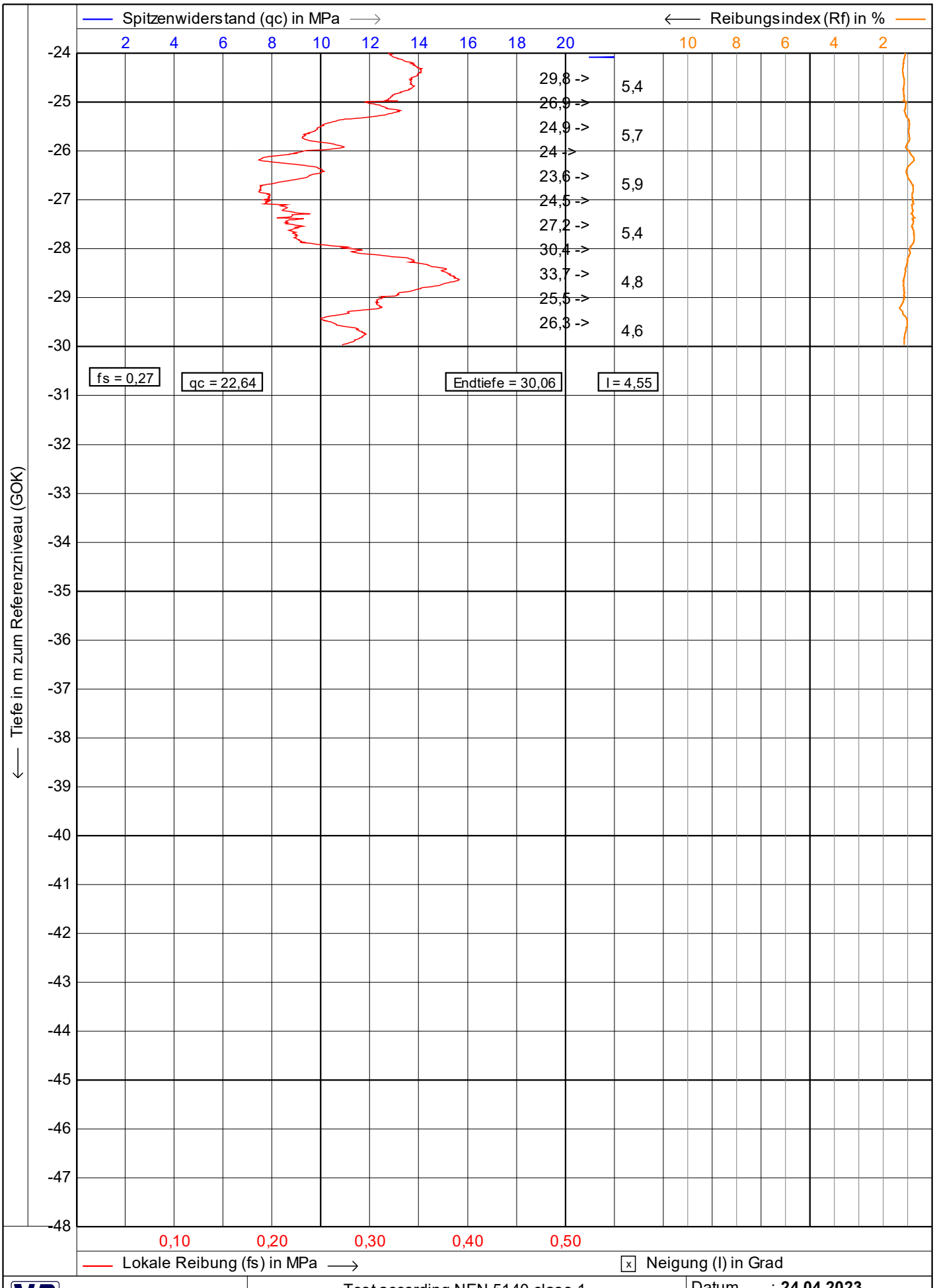
Datum	: **24.04.2023**
Konus Nr.	: **S15CFIIP.S20417**
Projekt Nr.	: **234364**
CPT Nr.	: WEA 3 9 mn. Süden **2/4**



Test according NEN 5140 class 1

Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

Projekt	**WP Dornum**
Ort	**WEA 3**
Position	**32395673, 5944127 UTM3N**
Datum	**24.04.2023**
Konus Nr.	**S15CFIIP.S20417**
Projekt Nr.	**234364**
CPT Nr.	WEA 3 9 mn\Westen — **1/4**

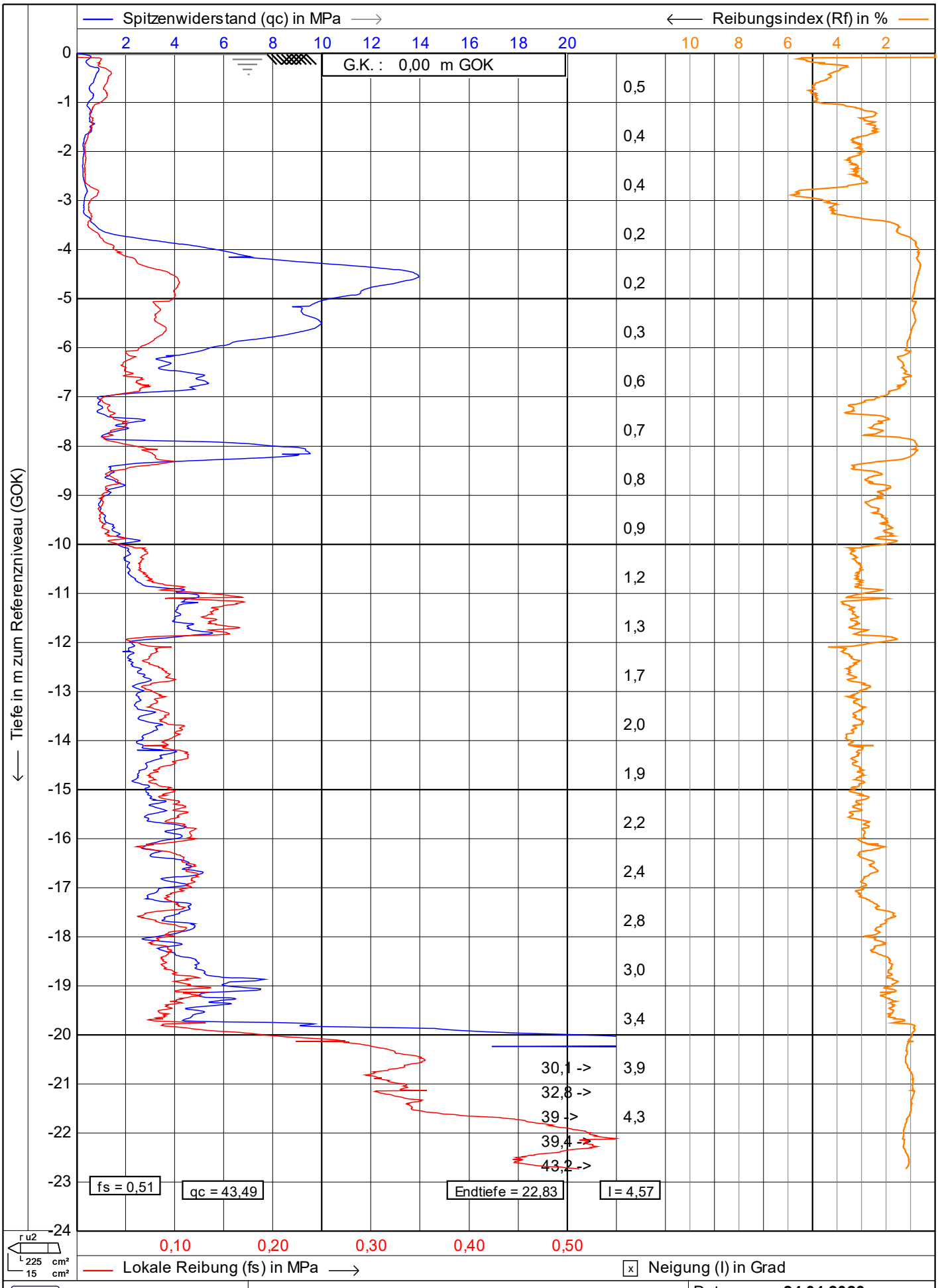


Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

Test according NEN 5140 class 1

Projekt : **WP Dornum**
Ort : **WEA 3**
Position: **32395673, 5944127 UTM3N**

Datum : **24.04.2023**
Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417**
Projekt Nr. : **234364**
CPT Nr. : WEA 3 9 mn\Westen **2/4**

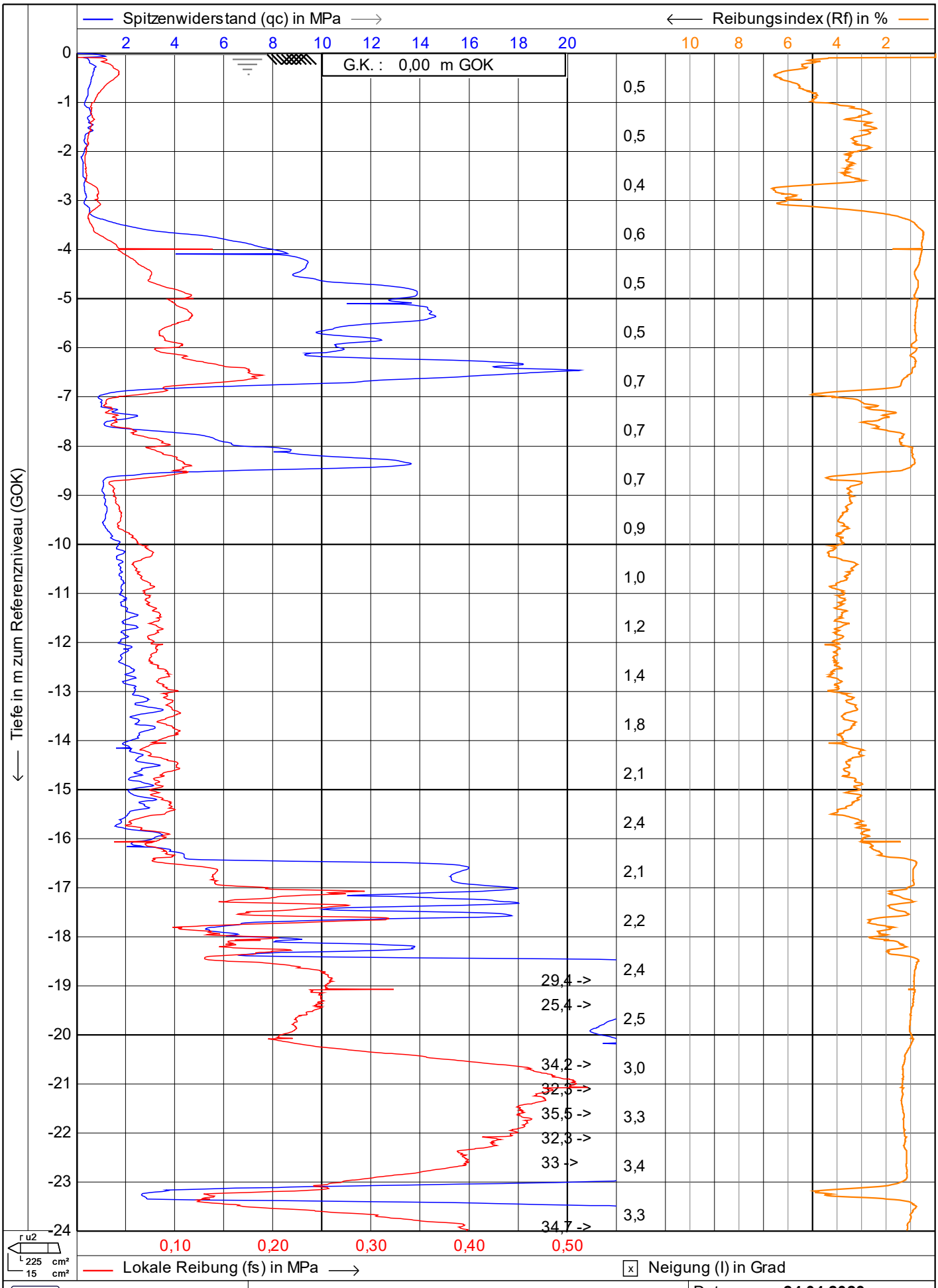


Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

Test according NEN 5140 class 1

Projekt : **WP Dornum**
Ort : **WEA 3**
Position: **32395645, 5944122 UTM3N**

Datum : **24.04.2023**
Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417**
Projekt Nr. : **234364**
CPT Nr. : **WEA 3 KSF 1** **1/2**

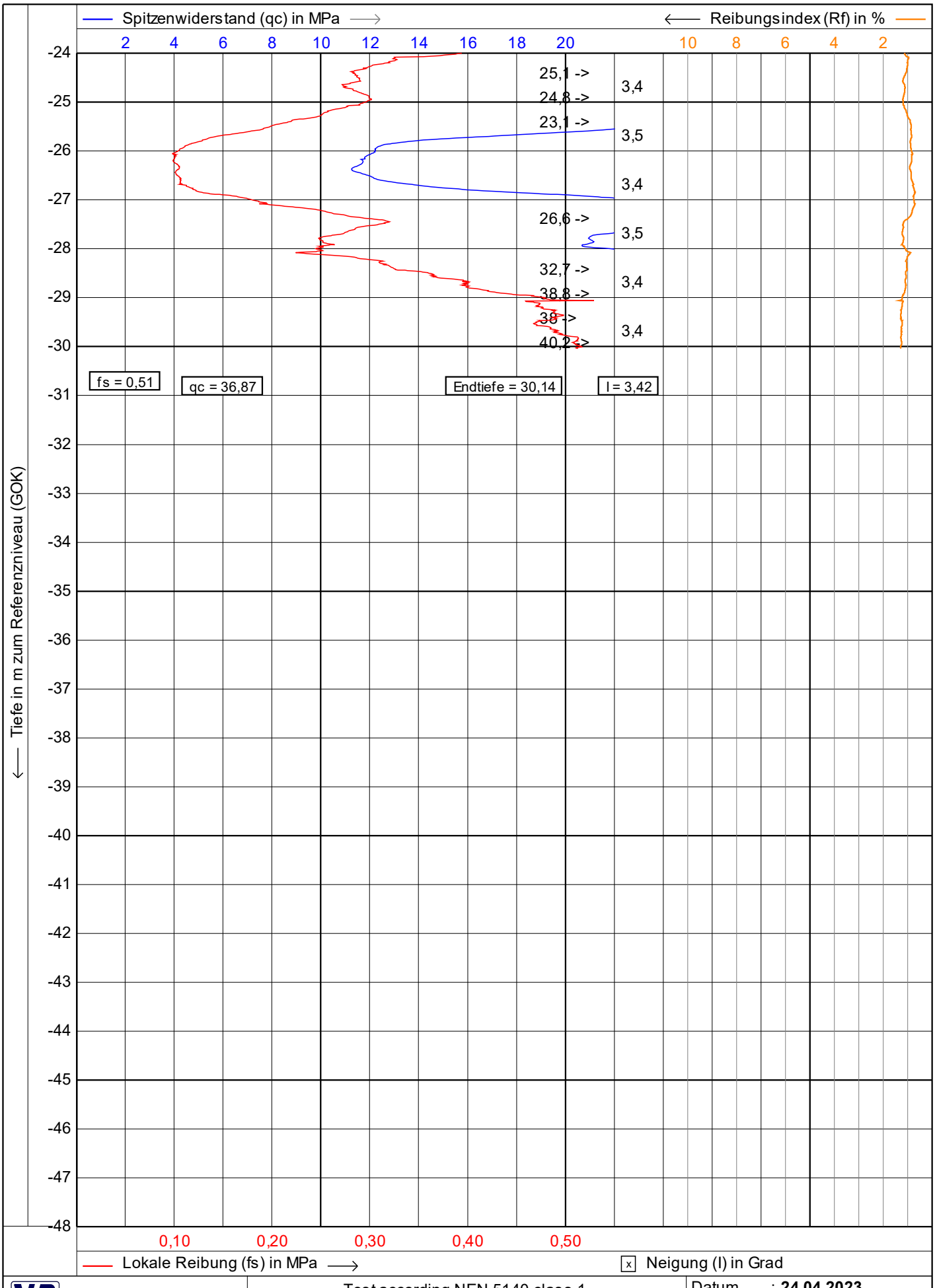


Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

Test according NEN 5140 class 1

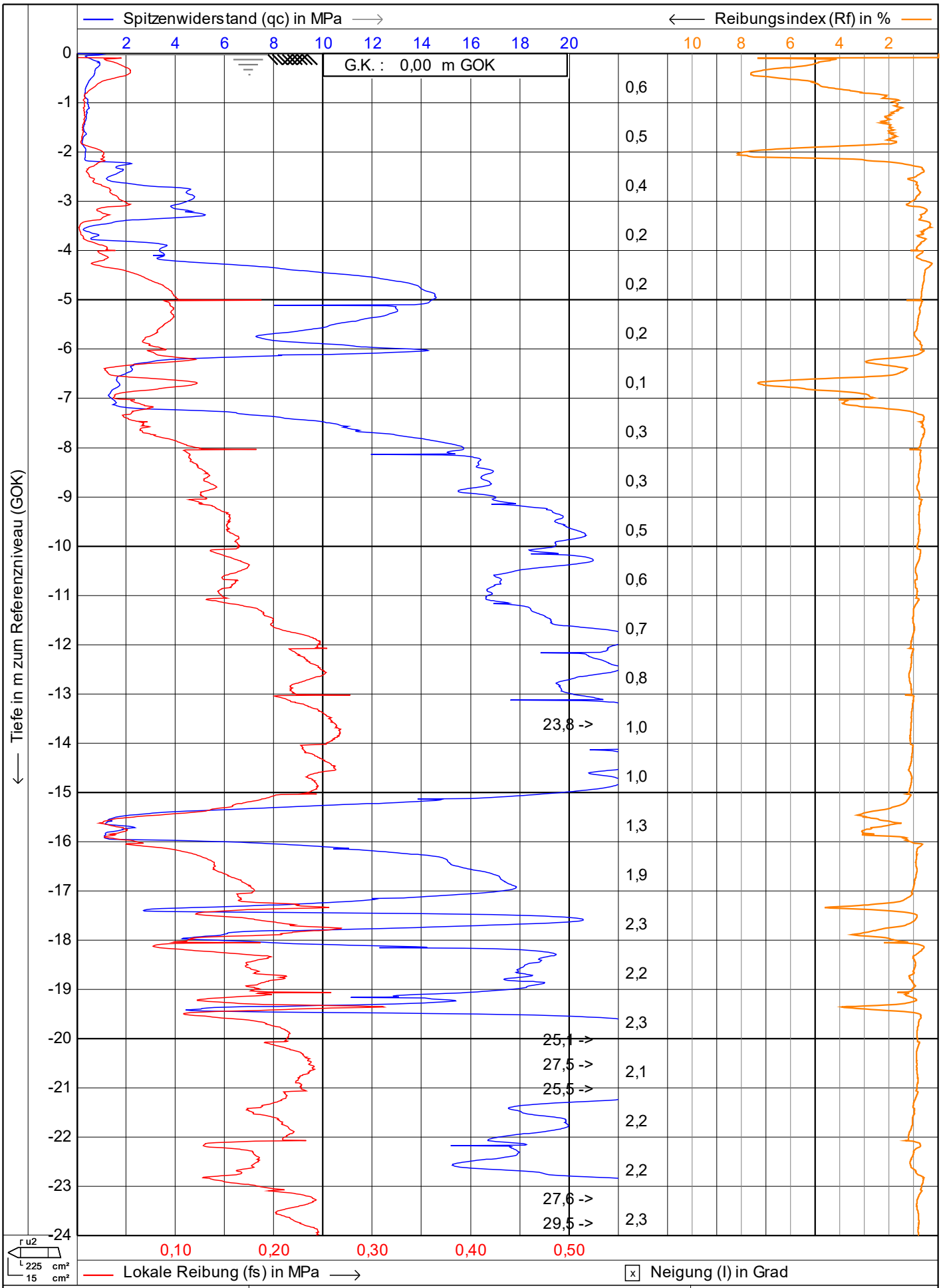
Projekt : **WP Dornum**
Ort : **WEA 3**
Position: **32395667, 5944068 UTM3N**

Datum : **24.04.2023**
Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417**
Projekt Nr. : **234364**
CPT Nr. : **WEA 3 KSF 2** **1/4**



Vulhop+Becker GmbH & Co. KG 26180 Rastede Tannenkrugstraße 42 Telefon: +49 (441) 99 90 99-0 Telefax: +49 (441) 99 90 99-29 www.vulhop-becker.de Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung	Test according NEN 5140 class 1 Projekt : **WP Dornum** Ort : **WEA 3** Position: **32395667, 5944068 UTM3N**	Datum : **24.04.2023** Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417** Projekt Nr. : **234364** CPT Nr. : **WEA 3 KSF 2** **2/4**

1.48



Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

Test according NEN 5140 class 1

Projekt : **WP Dornum**

Ort : **WEA 4**

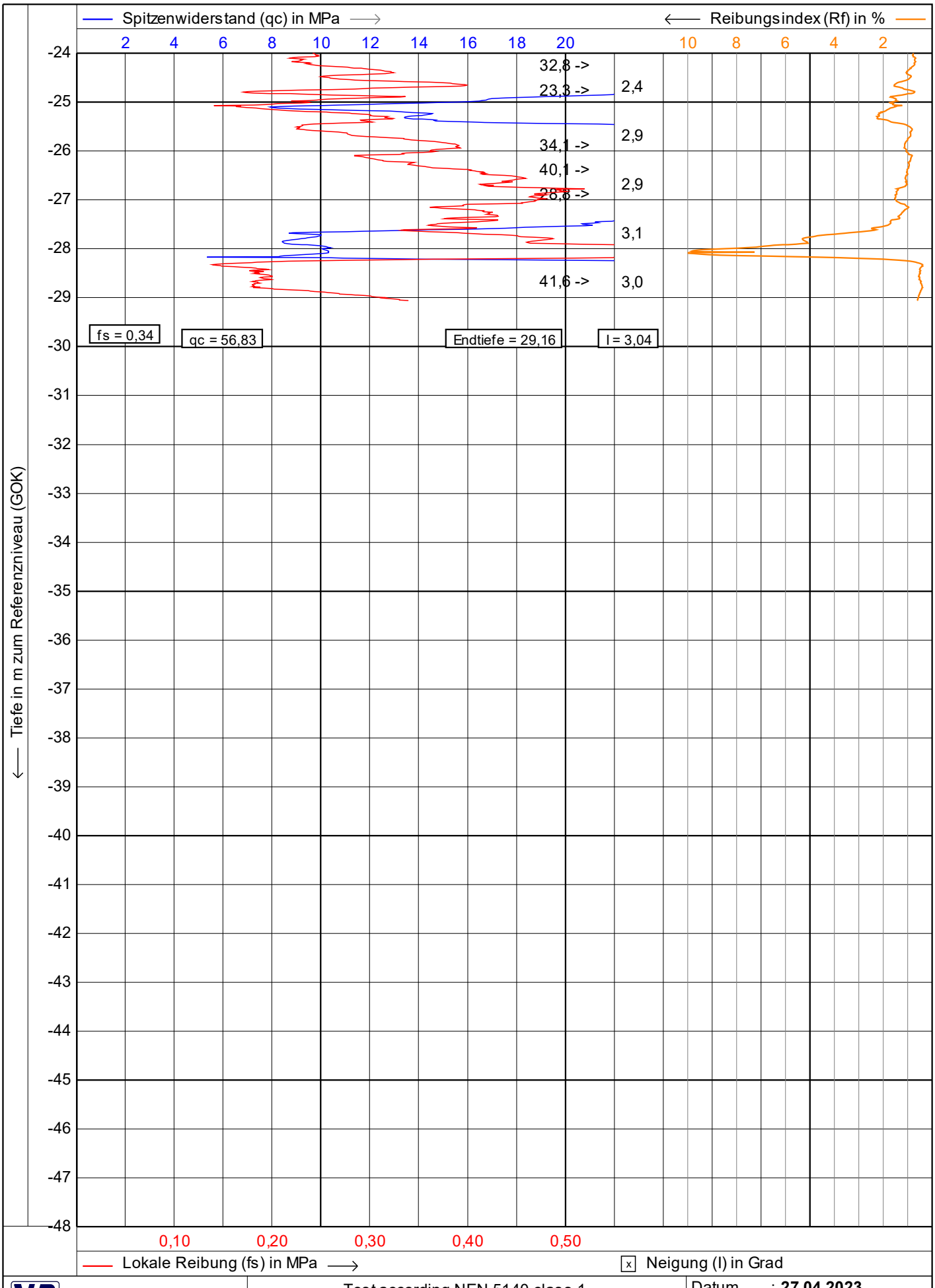
Position: **32395787, 5943705 UTM3N**

Datum : **27.04.2023**

Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417**

Projekt Nr. : **234364**

CPT Nr. : WEA 4 9mn. Norden **1/4**



Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

1.48

Test according NEN 5140 class 1

Projekt : **WP Dornum**

Ort : **WEA 4**

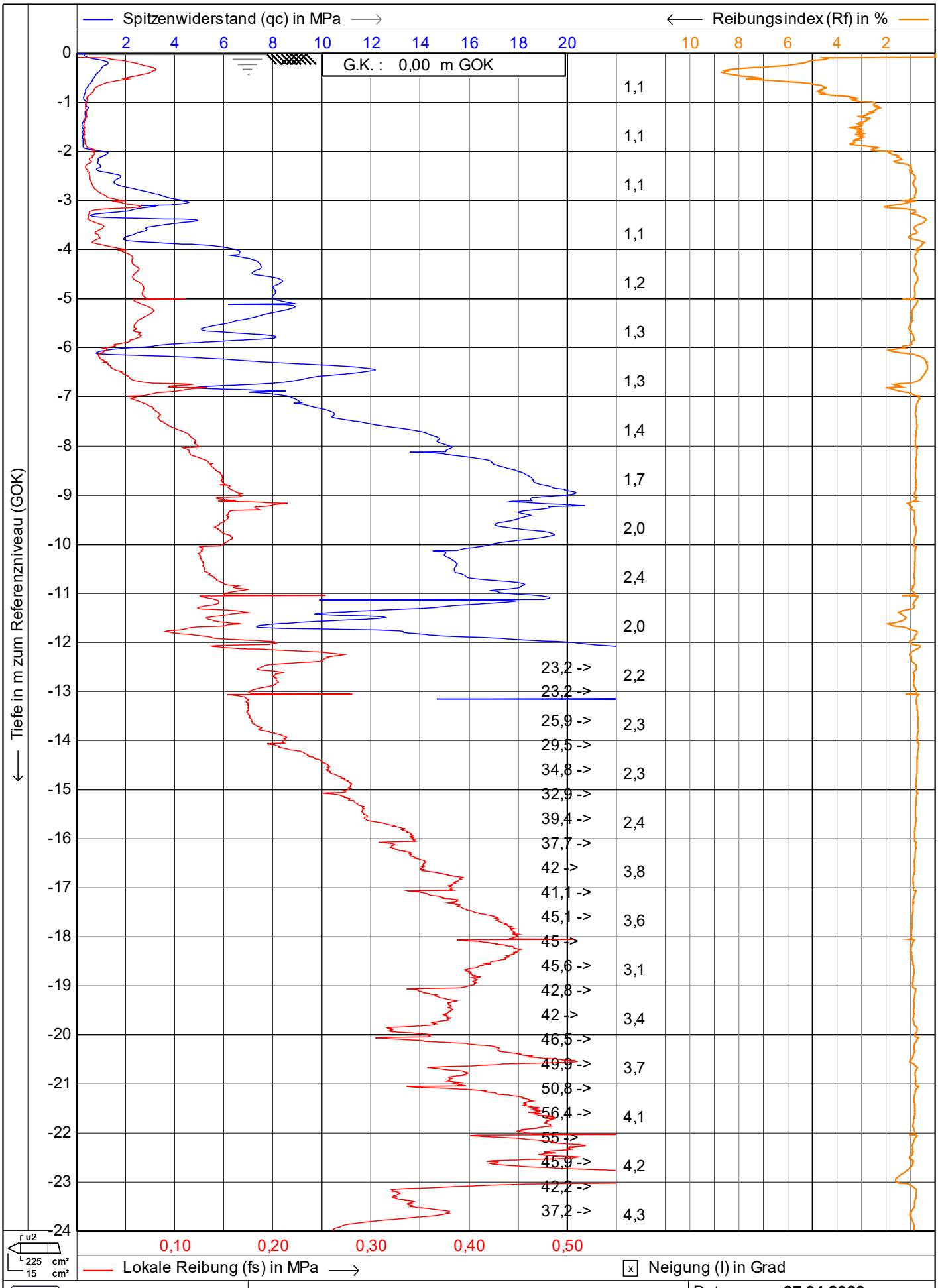
Position: **32395787, 5943705 UTM3N**

Datum : **27.04.2023**

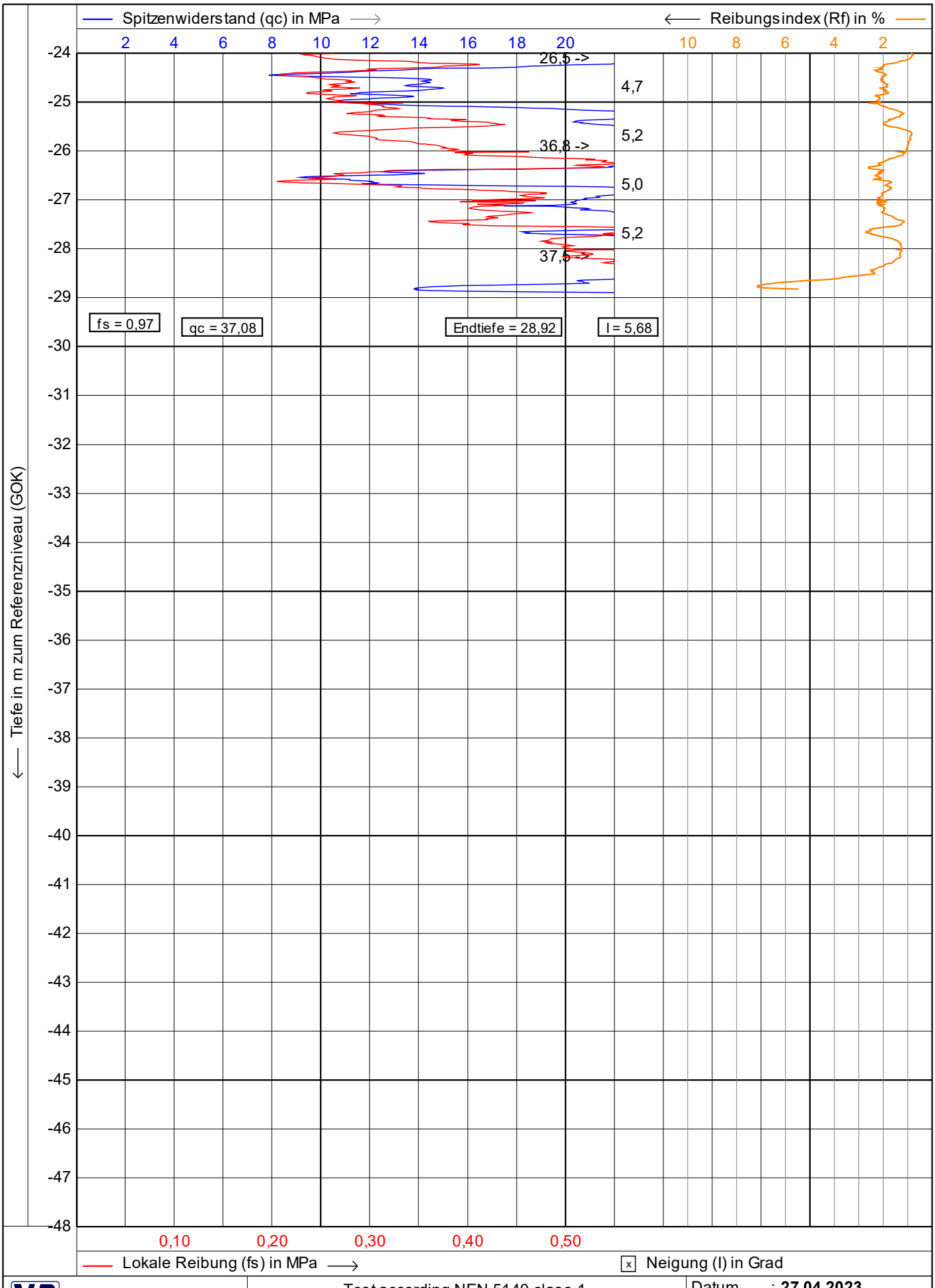
Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417**

Projekt Nr. : **234364**

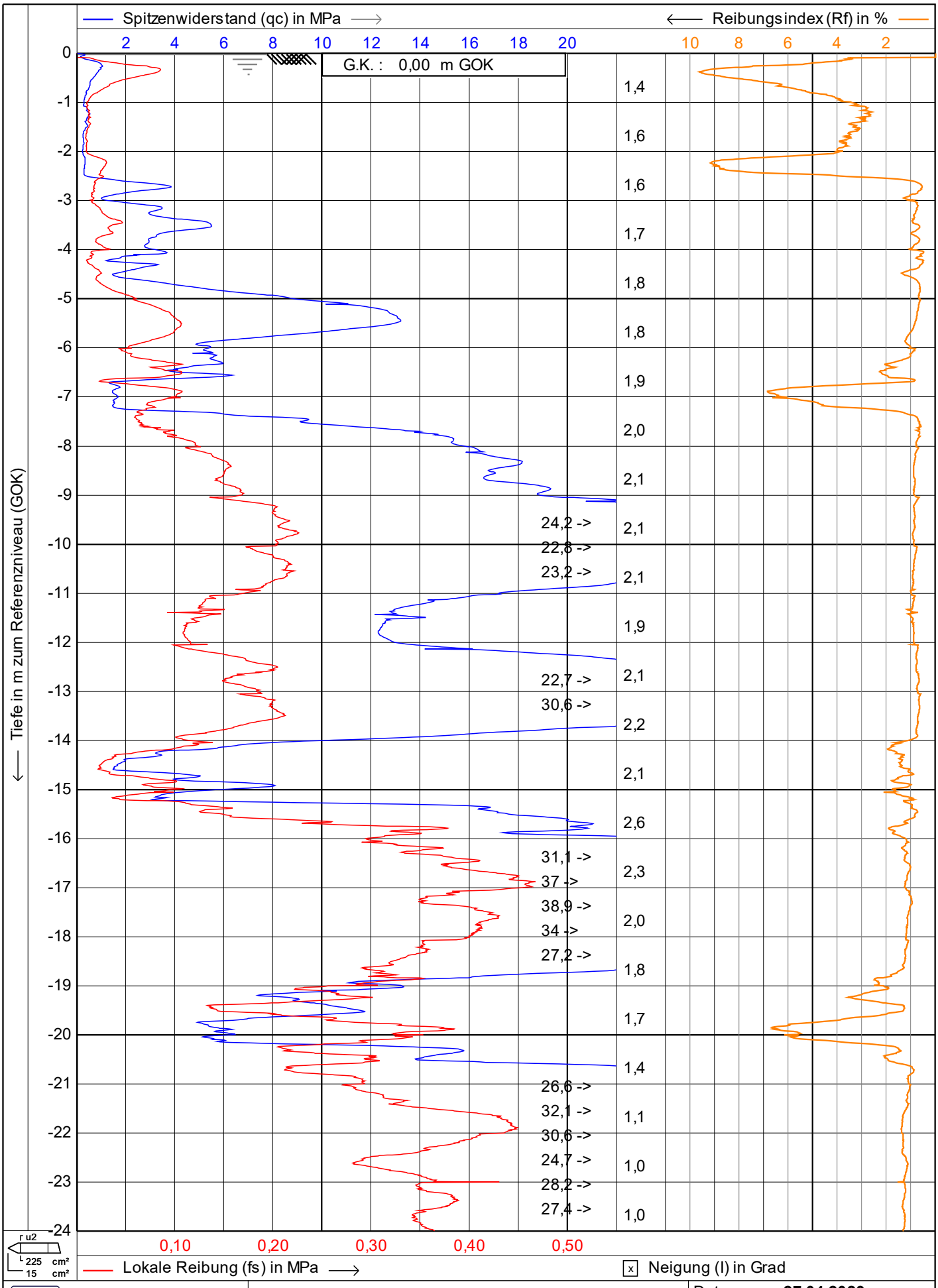
CPT Nr. : WEA 4 9mn.Norden **2/4**



Vulhop+Becker GmbH & Co. KG 26180 Rastede Tannenkrugstraße 42 Telefon: +49 (441) 99 90 99-0 Telefax: +49 (441) 99 90 99-29 www.vulhop-becker.de Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung	Test according NEN 5140 class 1 Projekt : **WP Dornum** Ort : **WEA 4** Position: **32395790, 5943700 UTM3N**	Datum : **27.04.2023** Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417** Projekt Nr. : **234364** CPT Nr. : **WEA 4 9m n. Osten** **1/4**



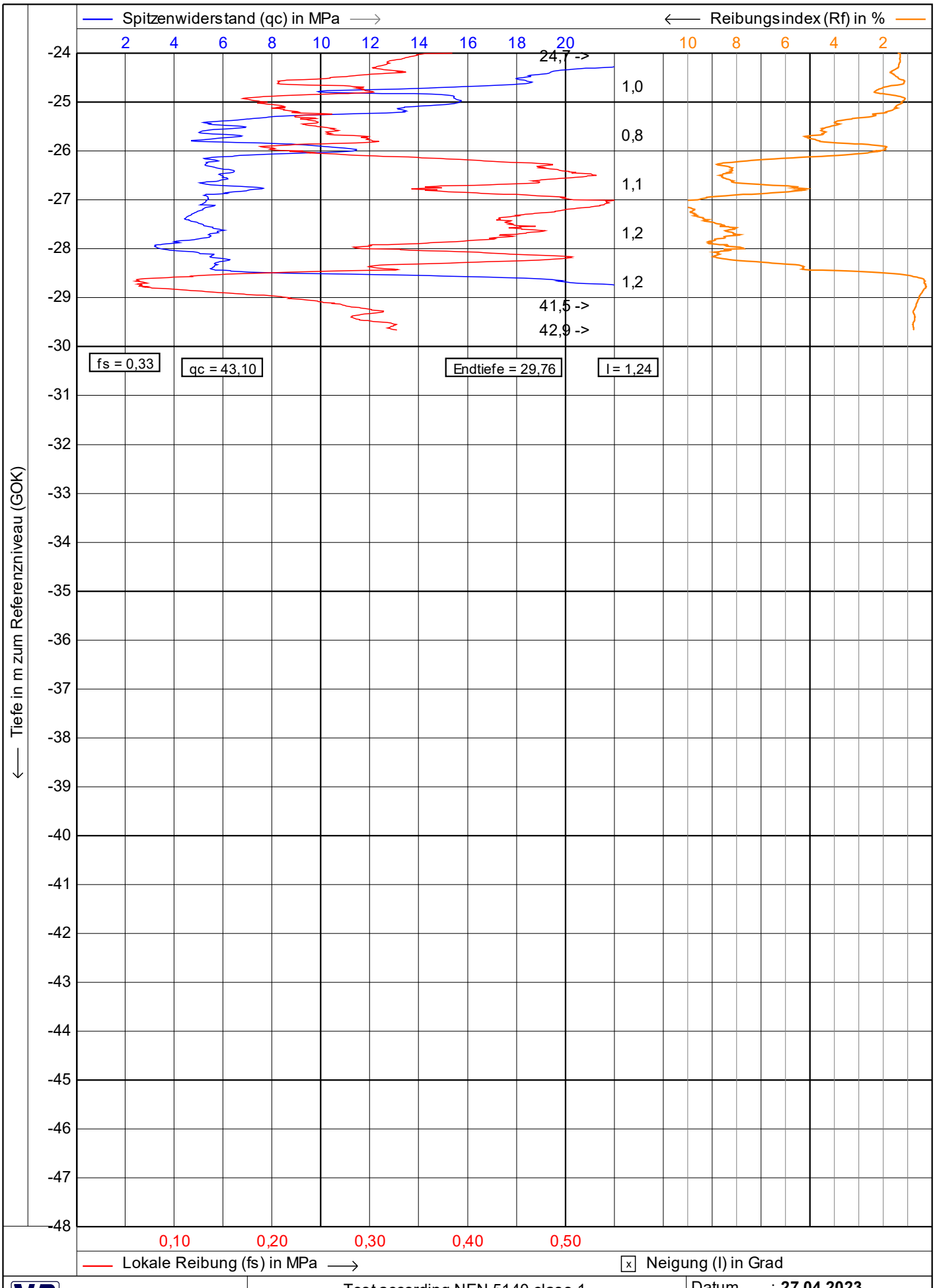
Vulhop+Becker GmbH & Co. KG 26180 Rastede Tannenkrugstraße 42 Telefon: +49 (441) 99 90 99-0 Telefax: +49 (441) 99 90 99-29 www.vulhop-becker.de Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung	Test according NEN 5140 class 1 Projekt : **WP Dornum** Ort : **WEA 4** Position: **32395790, 5943700 UTM3N**	Datum : **27.04.2023** Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417** Projekt Nr. : **234364** CPT Nr. : **WEA 4 9m n. Osten** **2/4**



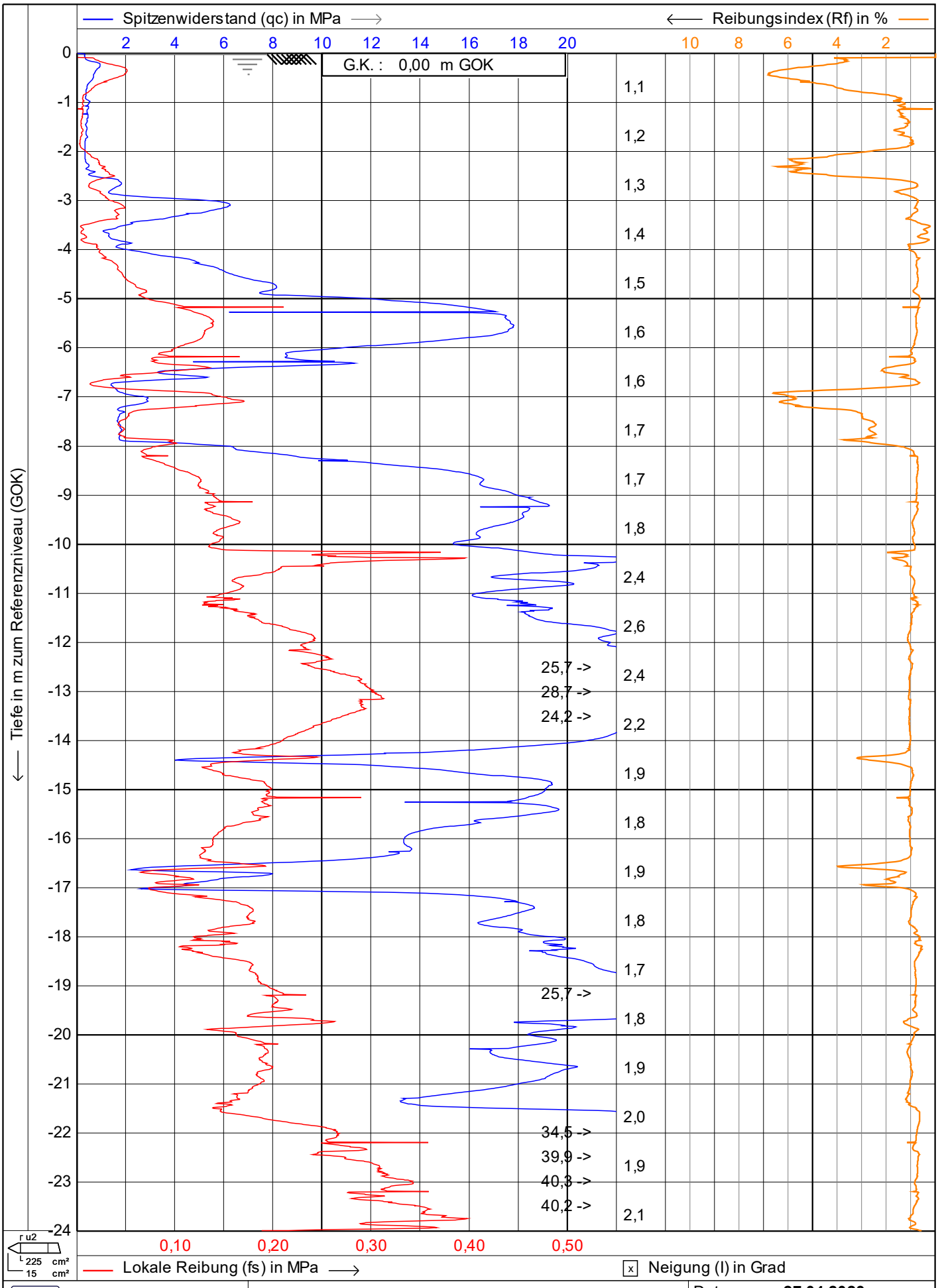
Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

Test according NEN 5140 class 1

Projekt	**WP Dornum**
Ort	**WEA 4**
Position	**32395786, 5943696 UTM3N**
Datum	**27.04.2023**
Konus Nr.	**S15CFIIP.S20417**
Projekt Nr.	**234364**
CPT Nr.	**WEA 4 9m n. Süden**



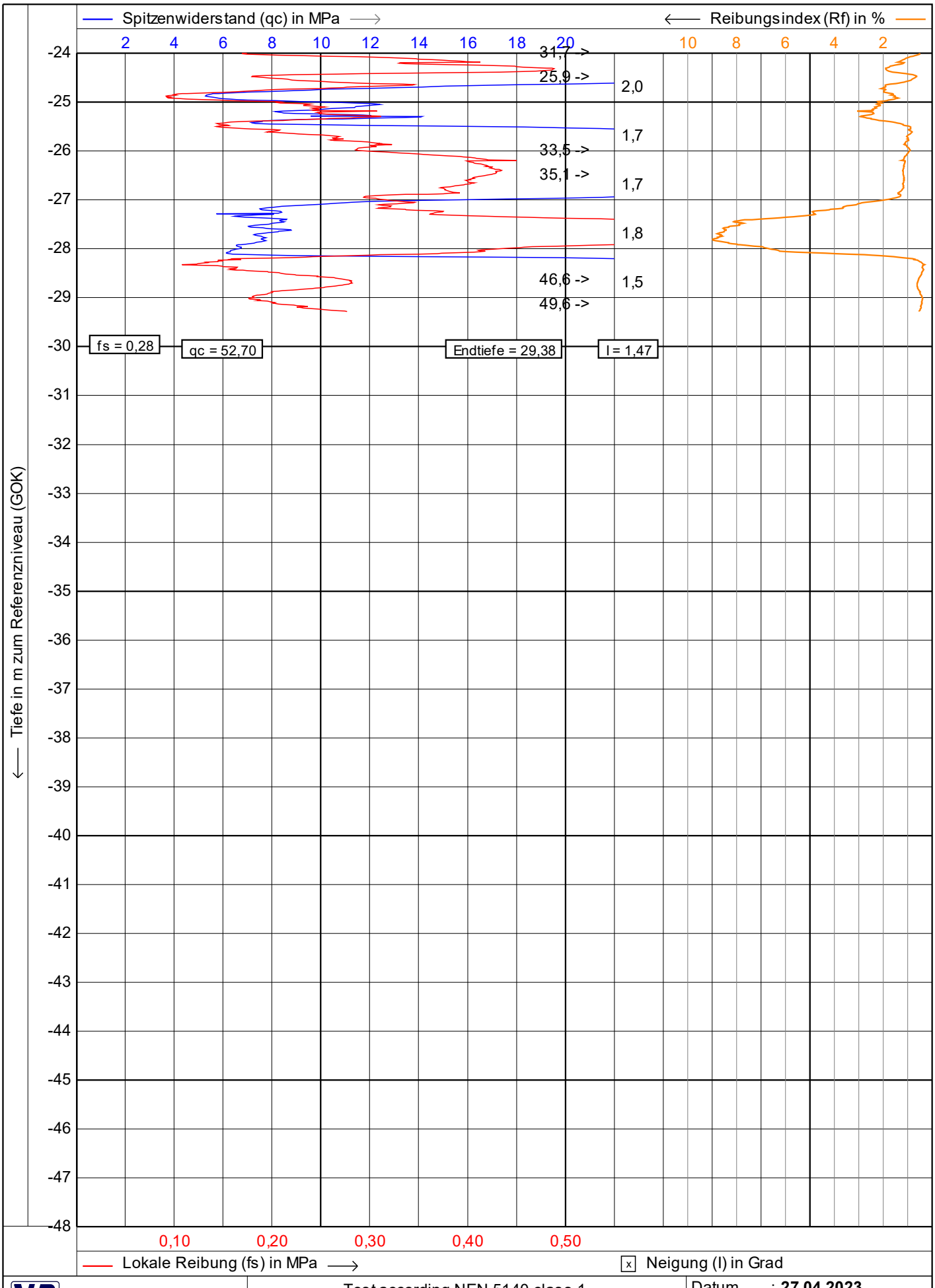
Vulhop+Becker GmbH & Co. KG 26180 Rastede Tannenkrugstraße 42 Telefon: +49 (441) 99 90 99-0 Telefax: +49 (441) 99 90 99-29 www.vulhop-becker.de Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung	Test according NEN 5140 class 1 Projekt : **WP Dornum** Ort : **WEA 4** Position: **32395786, 5943696 UTM3N**	Datum : **27.04.2023** Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417** Projekt Nr. : **234364** CPT Nr. : **WEA 4 9m n. Süden** **2/4**



Test according NEN 5140 class 1

Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

Projekt	**WP Dornum**
Ort	**WEA 4**
Position	**32395783, 5943700 UTM3N**
Datum	**27.04.2023**
Konus Nr.	**S15CFIIP.S20417**
Projekt Nr.	**234364**
CPT Nr.	WEA 4 9mn.Westen — **1/4**

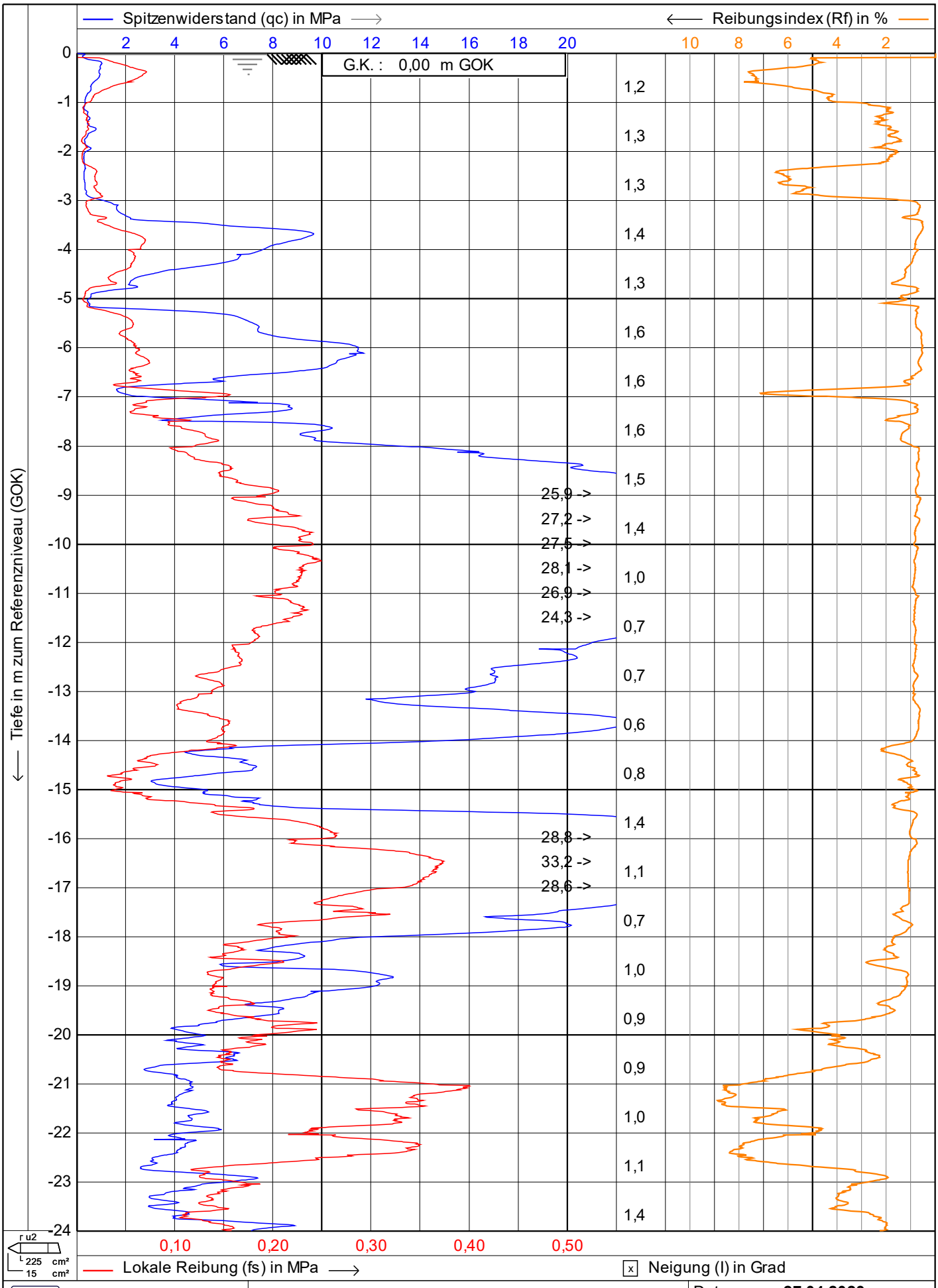


Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

Test according NEN 5140 class 1

Projekt : **WP Dornum**
Ort : **WEA 4**
Position: **32395783, 5943700 UTM3N**

Datum : **27.04.2023**
Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417**
Projekt Nr. : **234364**
CPT Nr. : WEA 4 9mn. Westen **2/4**

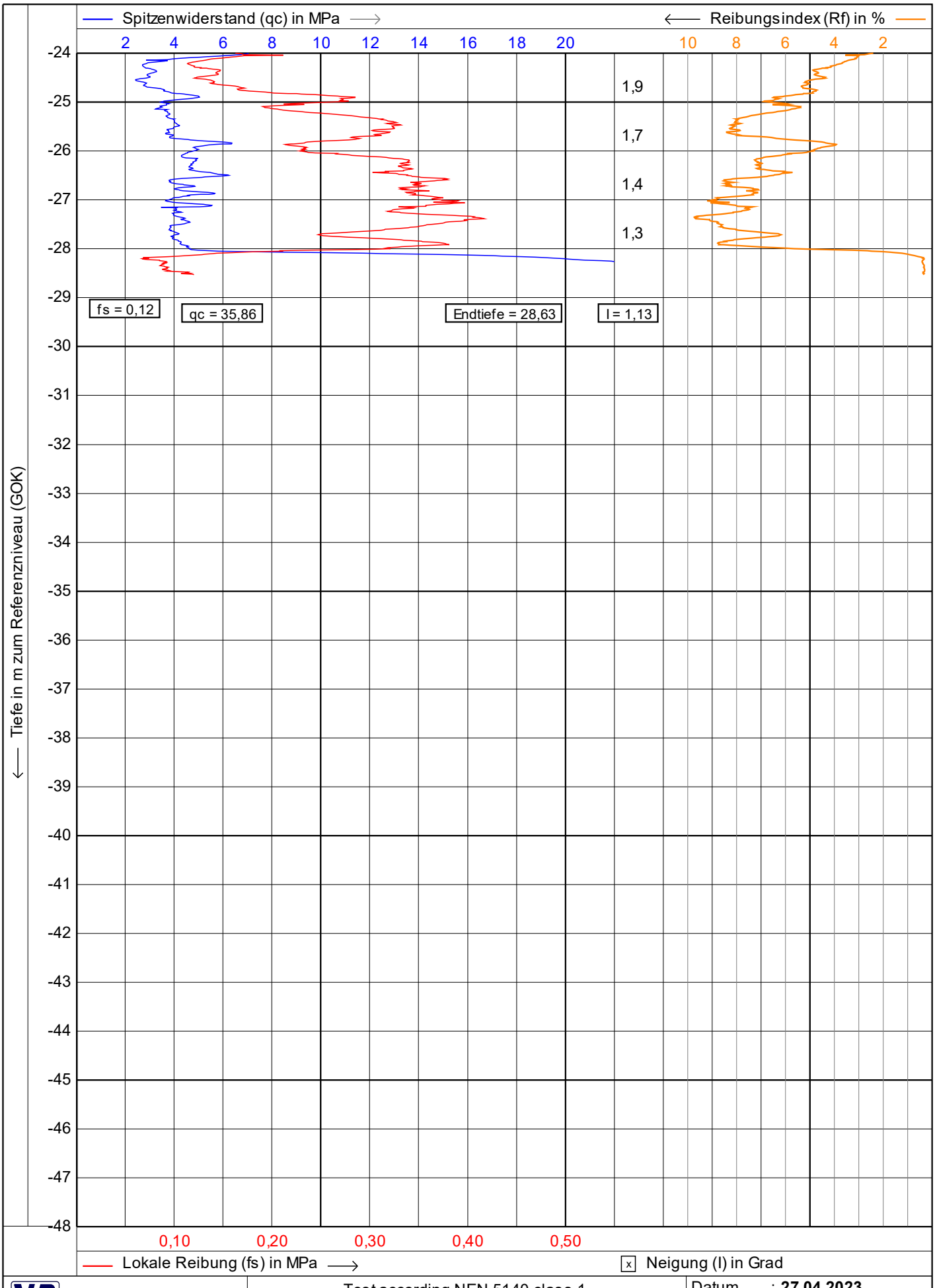


Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

Test according NEN 5140 class 1

Projekt : **WP Dornum**
Ort : **WEA 4**
Position: **0, 0 UTM3N**

Datum : **27.04.2023**
Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417**
Projekt Nr. : **234364**
CPT Nr. : **WEA4 KSF 1** **1/4**



Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

1.48

Test according NEN 5140 class 1

Projekt : **WP Dornum**

Ort : **WEA 4**

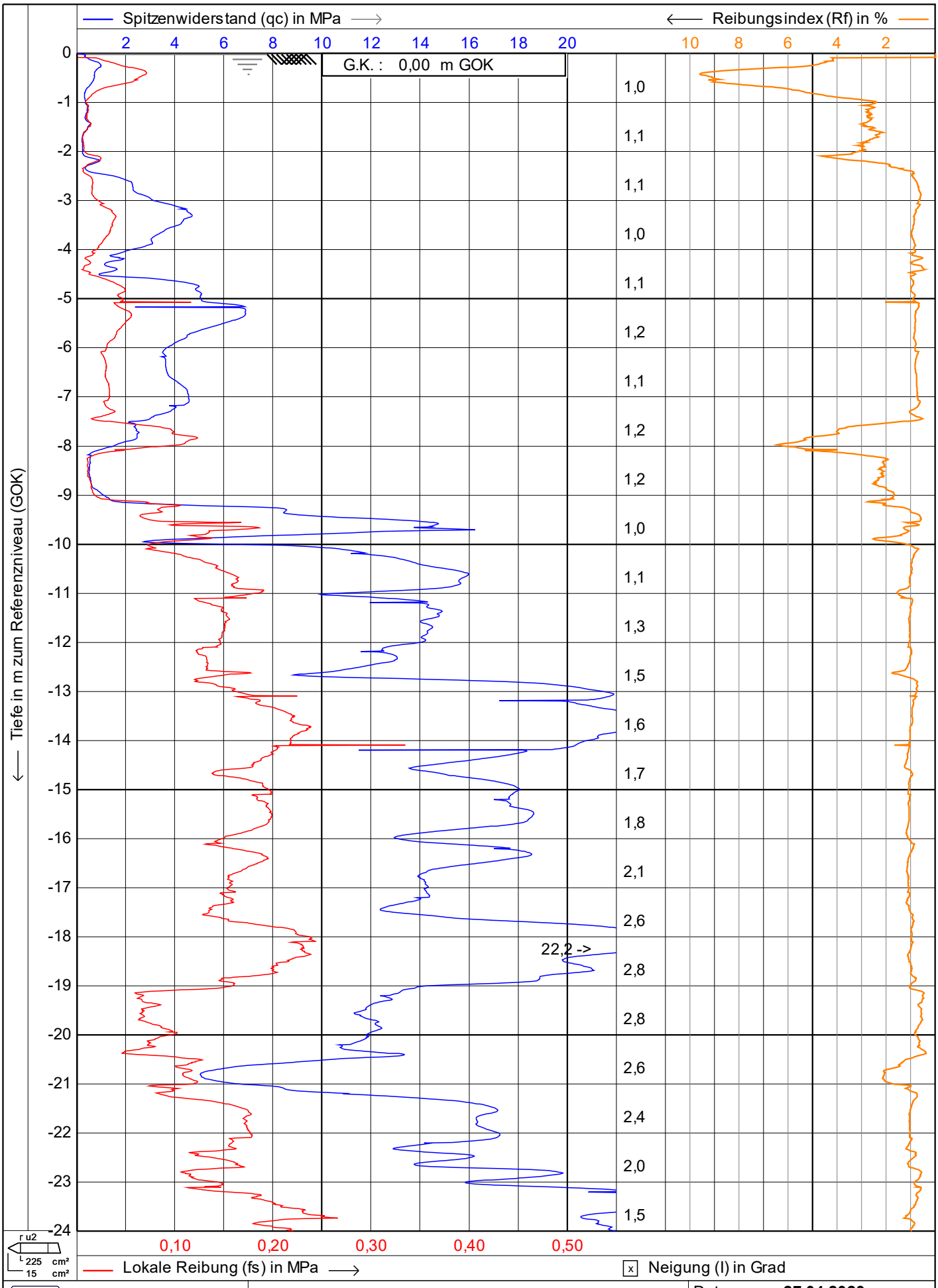
Position: **0, 0 UTM3N**

Datum : **27.04.2023**

Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417**

Projekt Nr. : **234364**

CPT Nr. : **WEA4 KSF 1** **2/4**

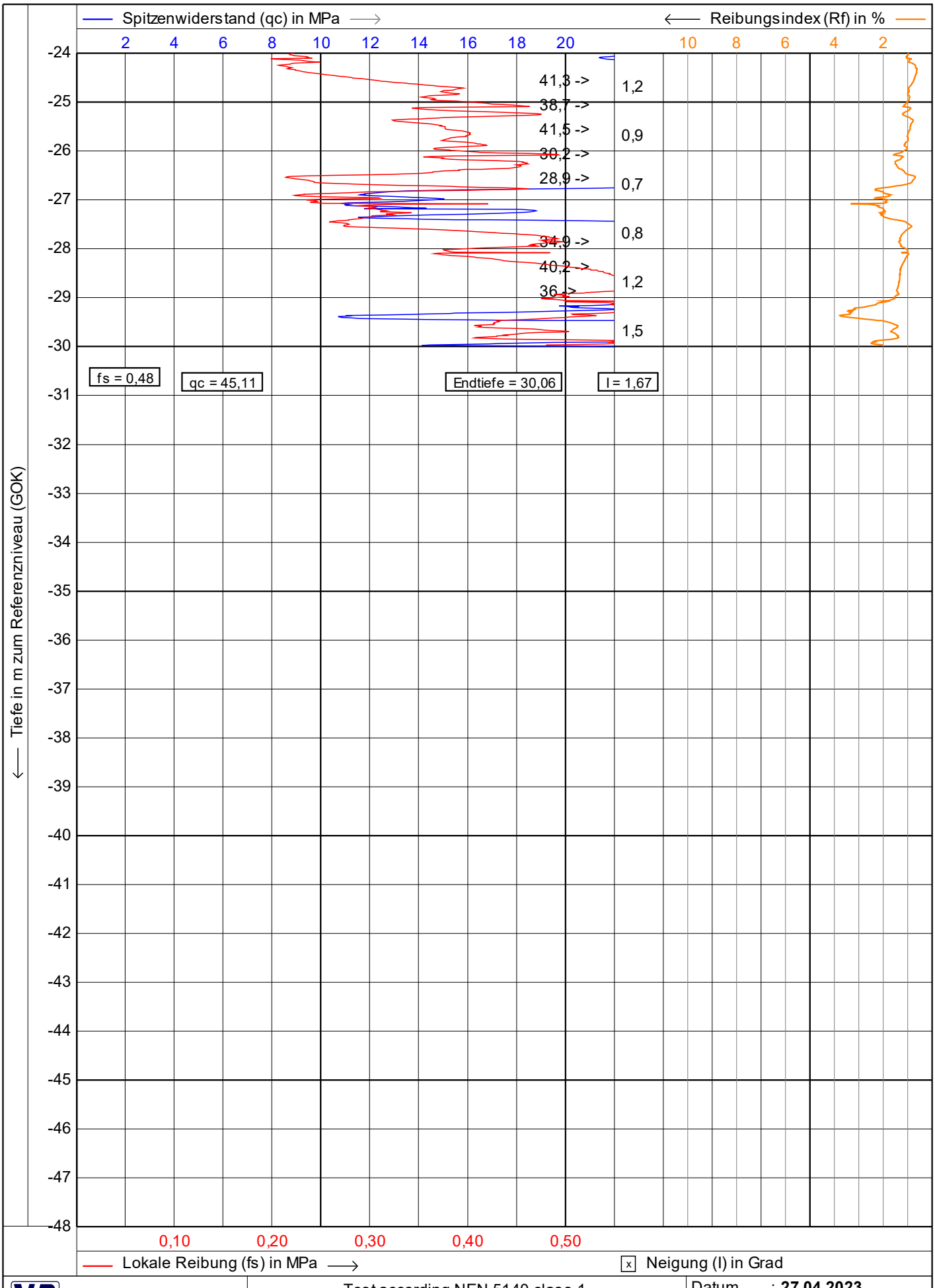


Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

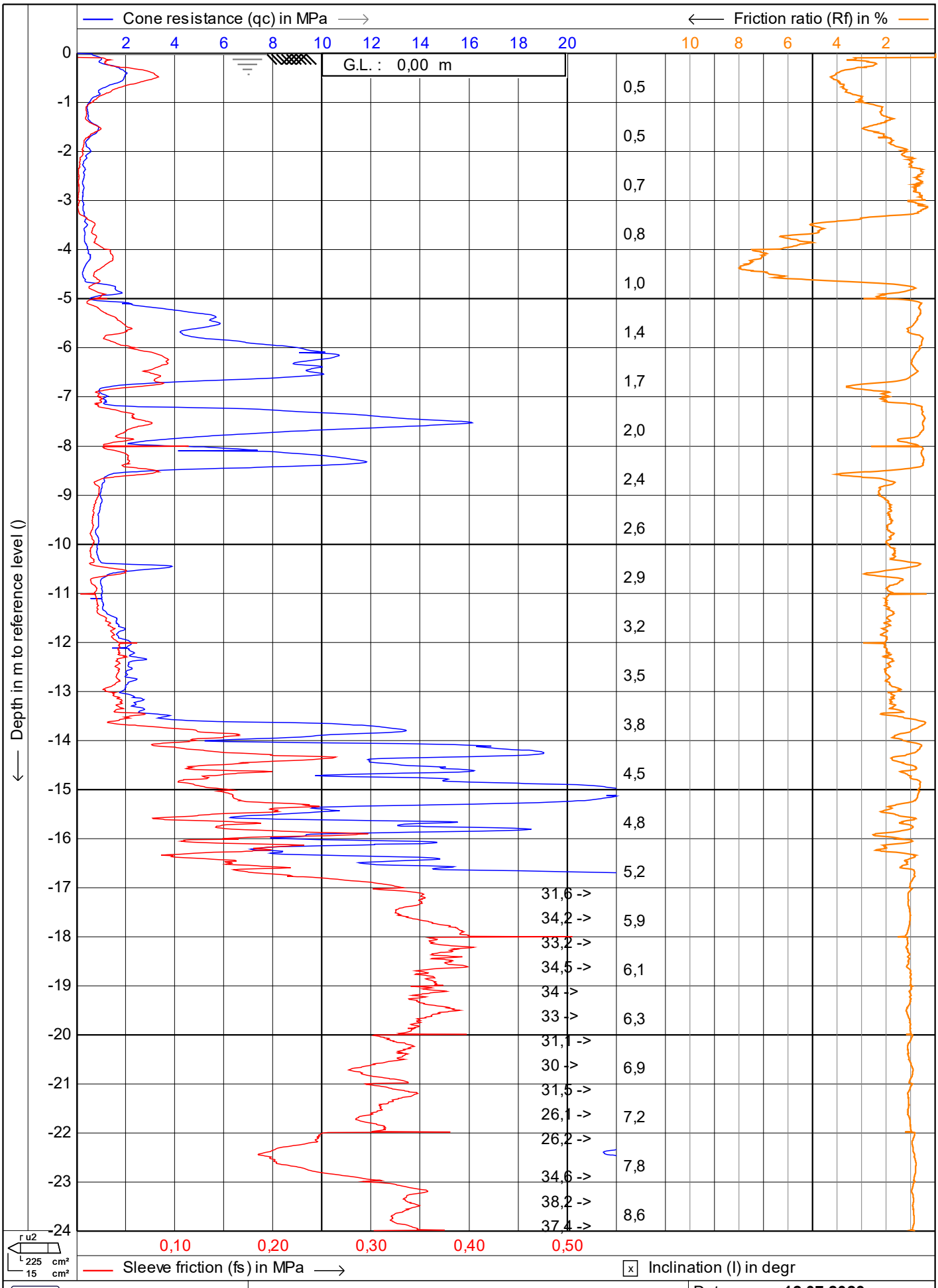
Test according NEN 5140 class 1

Projekt	**WP Dornum**
Ort	**WEA 4**
Position	**32395721, 5943681 UTM3N**
Datum	**27.04.2023**
Konus Nr.	**S15CFIIP.S20417**
Projekt Nr.	**234364**
CPT Nr.	**WEA 4 KSF 2**

1/4



Vulhop+Becker GmbH & Co. KG 26180 Rastede Tannenkrugstraße 42 Telefon: +49 (441) 99 90 99-0 Telefax: +49 (441) 99 90 99-29 www.vulhop-becker.de Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung	Test according NEN 5140 class 1 Projekt : **WP Dornum** Ort : **WEA 4** Position: **32395721, 5943681 UTM3N**	Datum : **27.04.2023** Konus Nr. : **S15CFIIP.S20417** Projekt Nr. : **234364** CPT Nr. : **WEA 4 KSF 2** **2/4**

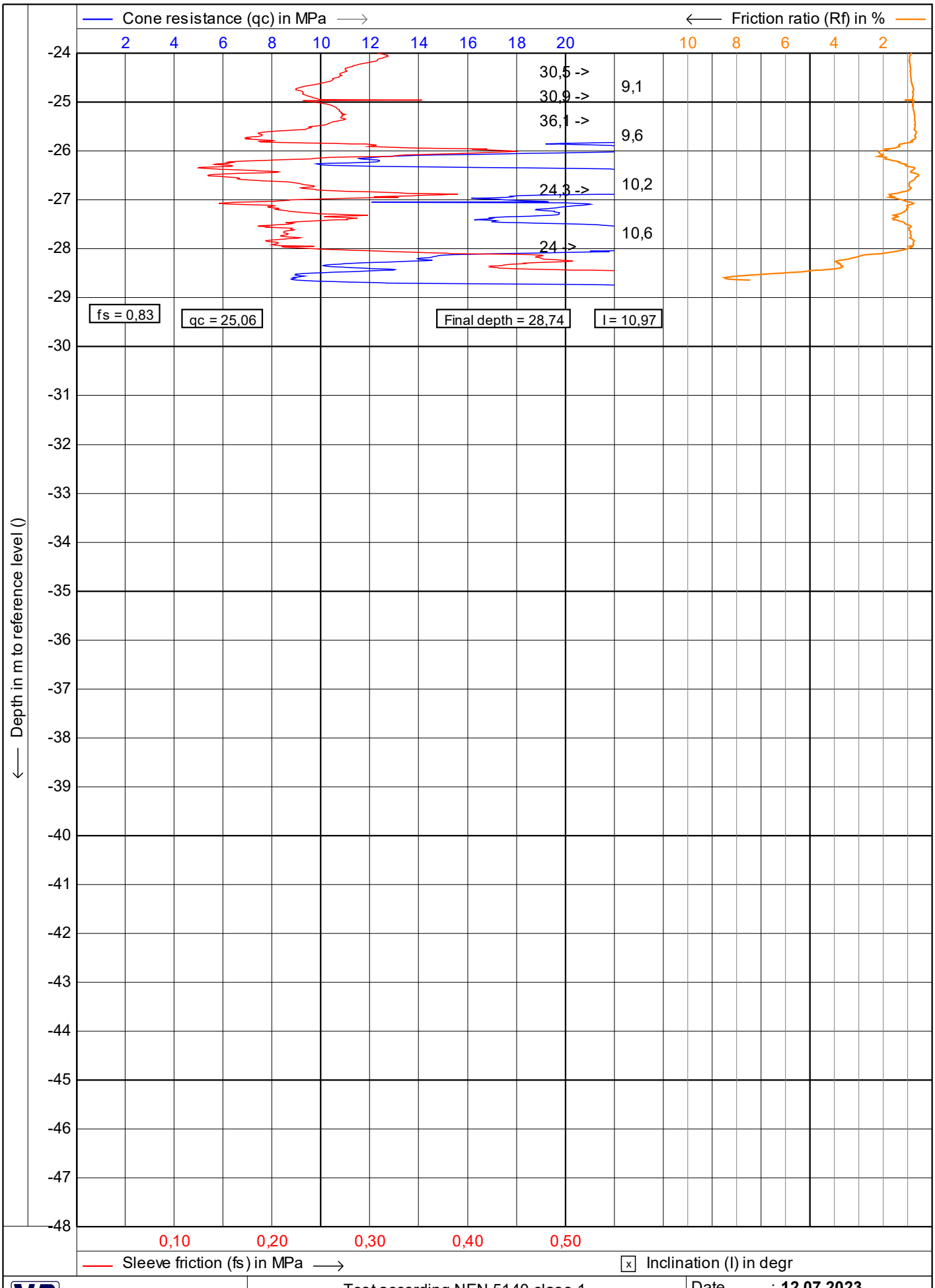


Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

Test according NEN 5140 class 1

Project : **WP Dornum**
Location: **WEA 01 Verweyen**
Position: **0, 0 UTM3N**

Date : **12.07.2023**
Cone no. : **S15CFIIP.S22494**
Project no. : **234364a**
CPT no. : **9m n. Norden** **1/4**

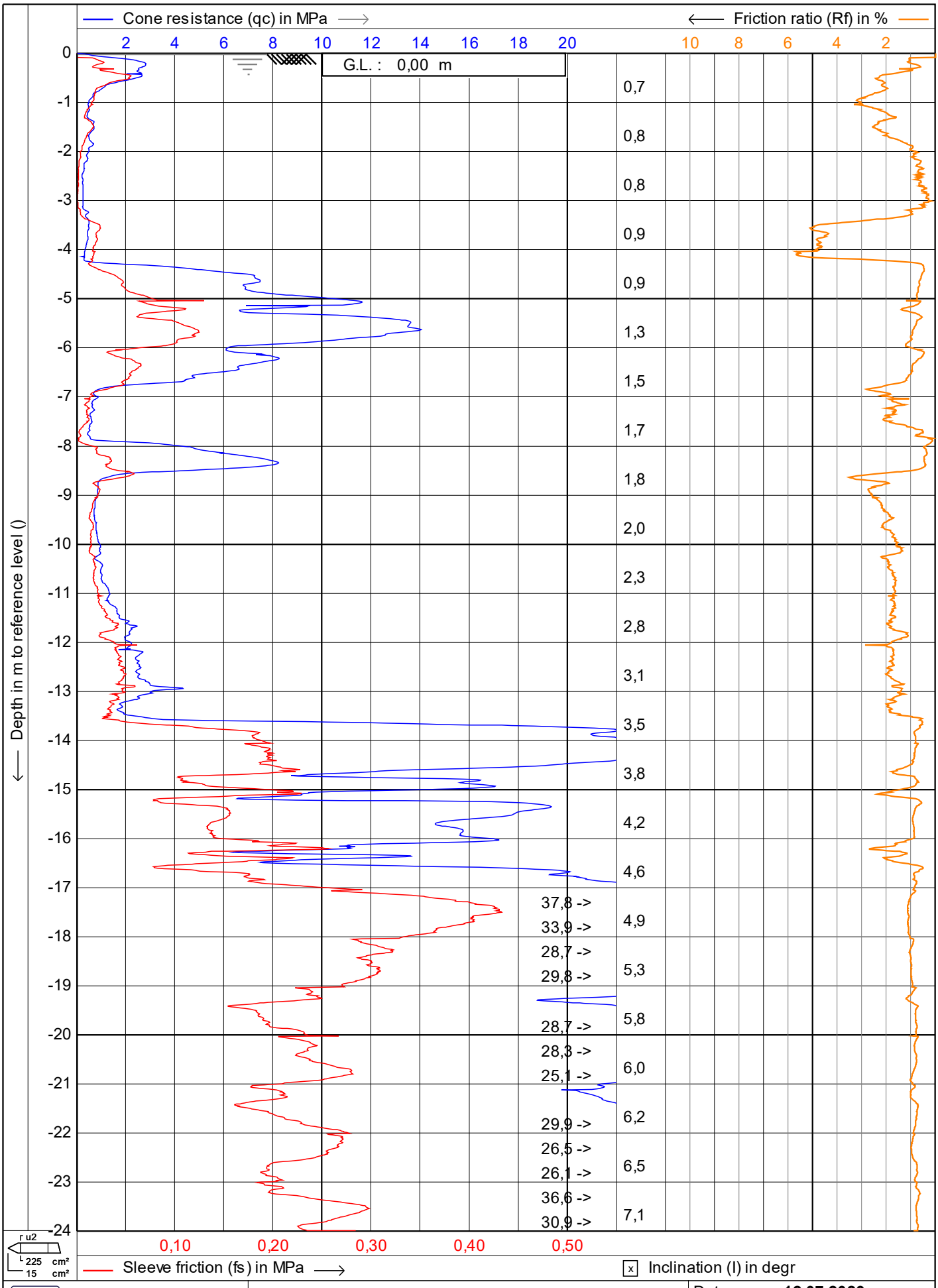


Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

Test according NEN 5140 class 1

Project : **WP Dornum**
Location: **WEA 01 Verweyen**
Position: **0, 0 UTM3N**

Date : **12.07.2023**
Cone no. : **S15CFIIP.S22494**
Project no. : **234364a**
CPT no. : **9m n. Norden** **2/4**

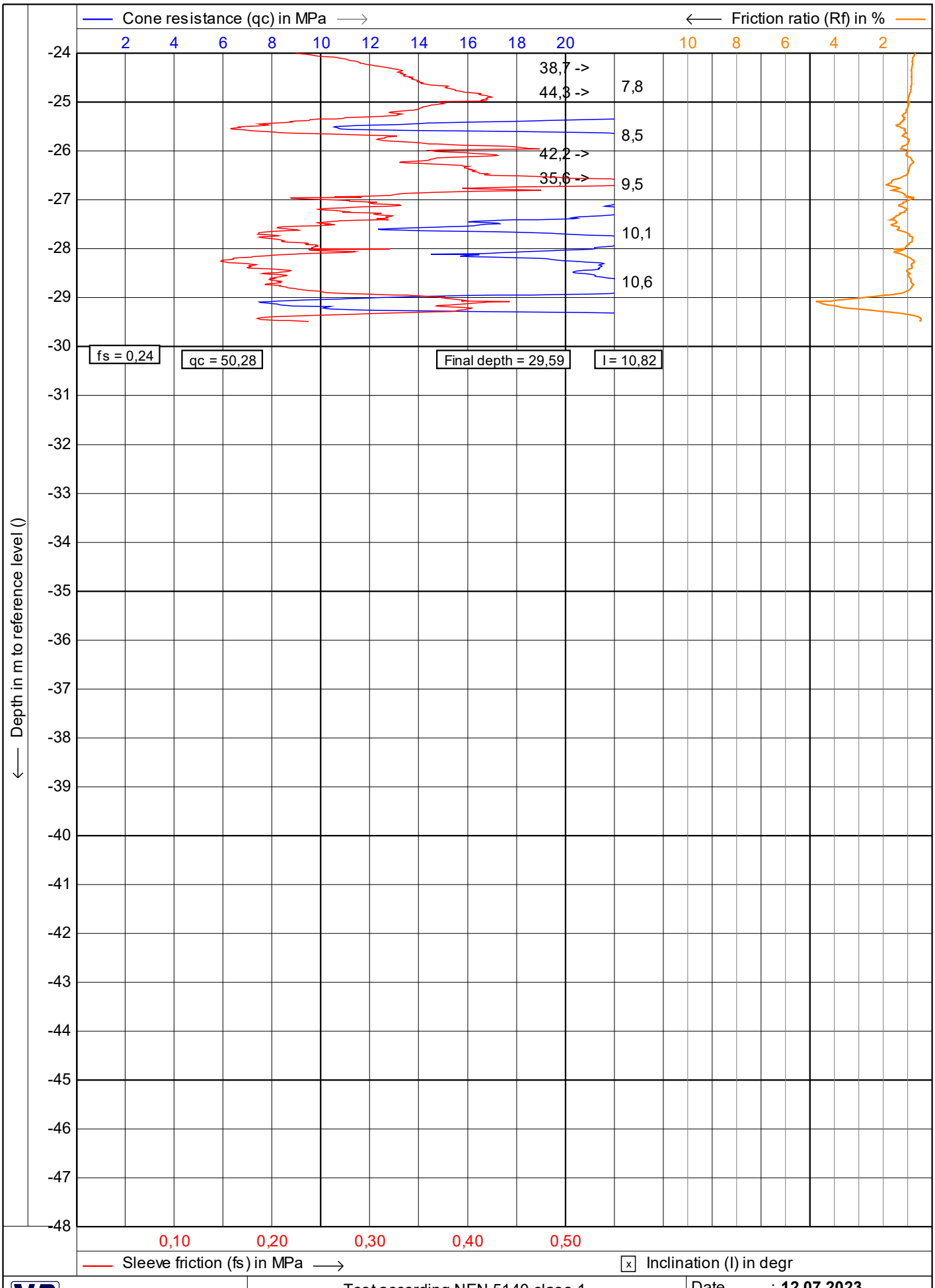


Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

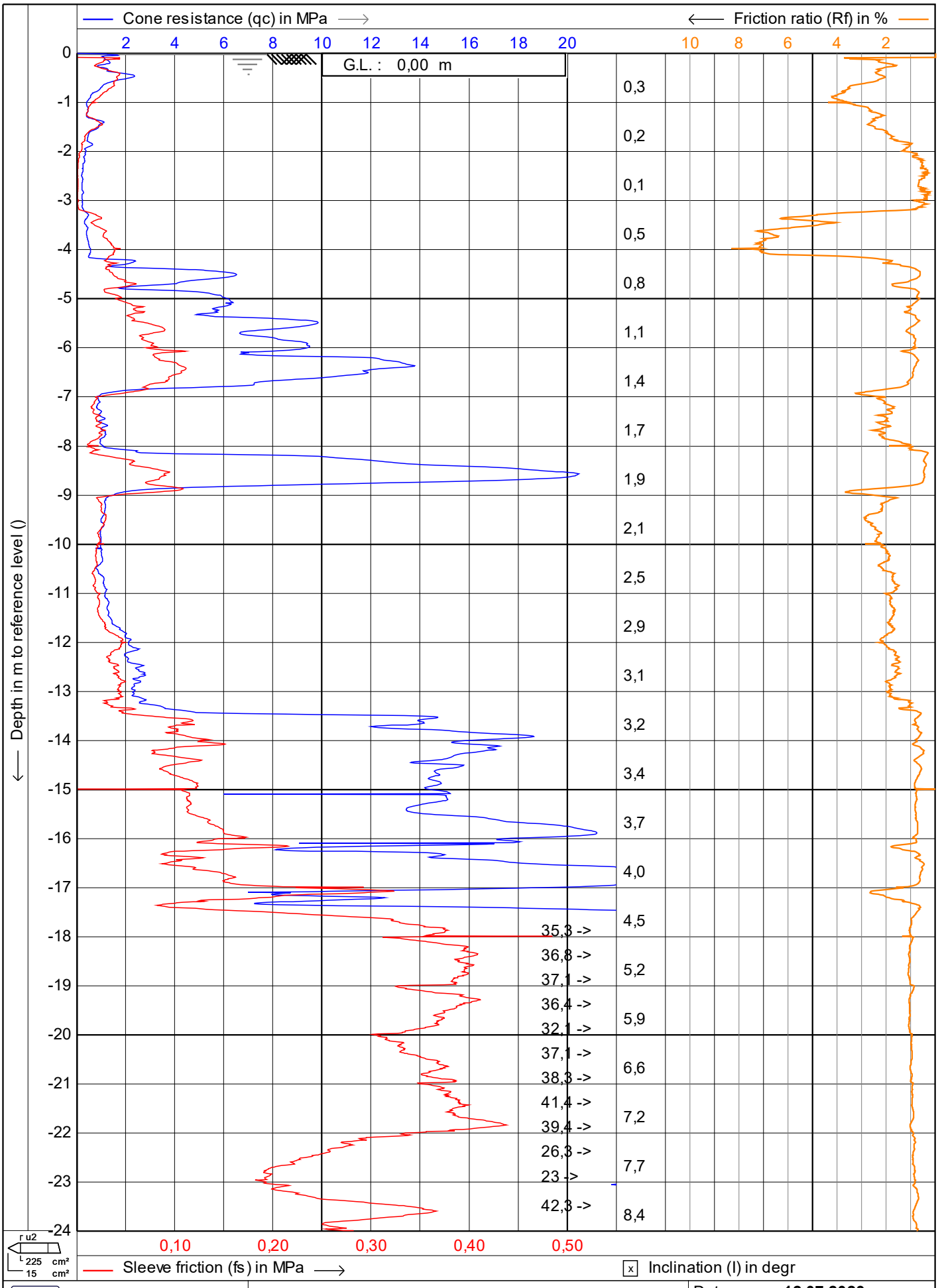
Test according NEN 5140 class 1

Project : **WP Dornum**
Location: **WEA 01 Verweyen**
Position: **0, 0 UTM3N**

Date : **12.07.2023**
Cone no. : **S15CFIIP.S22494**
Project no. : **234364a**
CPT no. : **9m n. Osten** **1/4**



Vulhop+Becker GmbH & Co. KG 26180 Rastede Tannenkrugstraße 42 Telefon: +49 (441) 99 90 99-0 Telefax: +49 (441) 99 90 99-29 www.vulhop-becker.de Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung	Test according NEN 5140 class 1 Project : **WP Dornum** Location: **WEA 01 Verweyen** Position: **0, 0 UTM3N**	Date : **12.07.2023** Cone no. : **S15CFIIP.S22494** Project no. : **234364a** CPT no. : **9m n. Osten** **2/4**

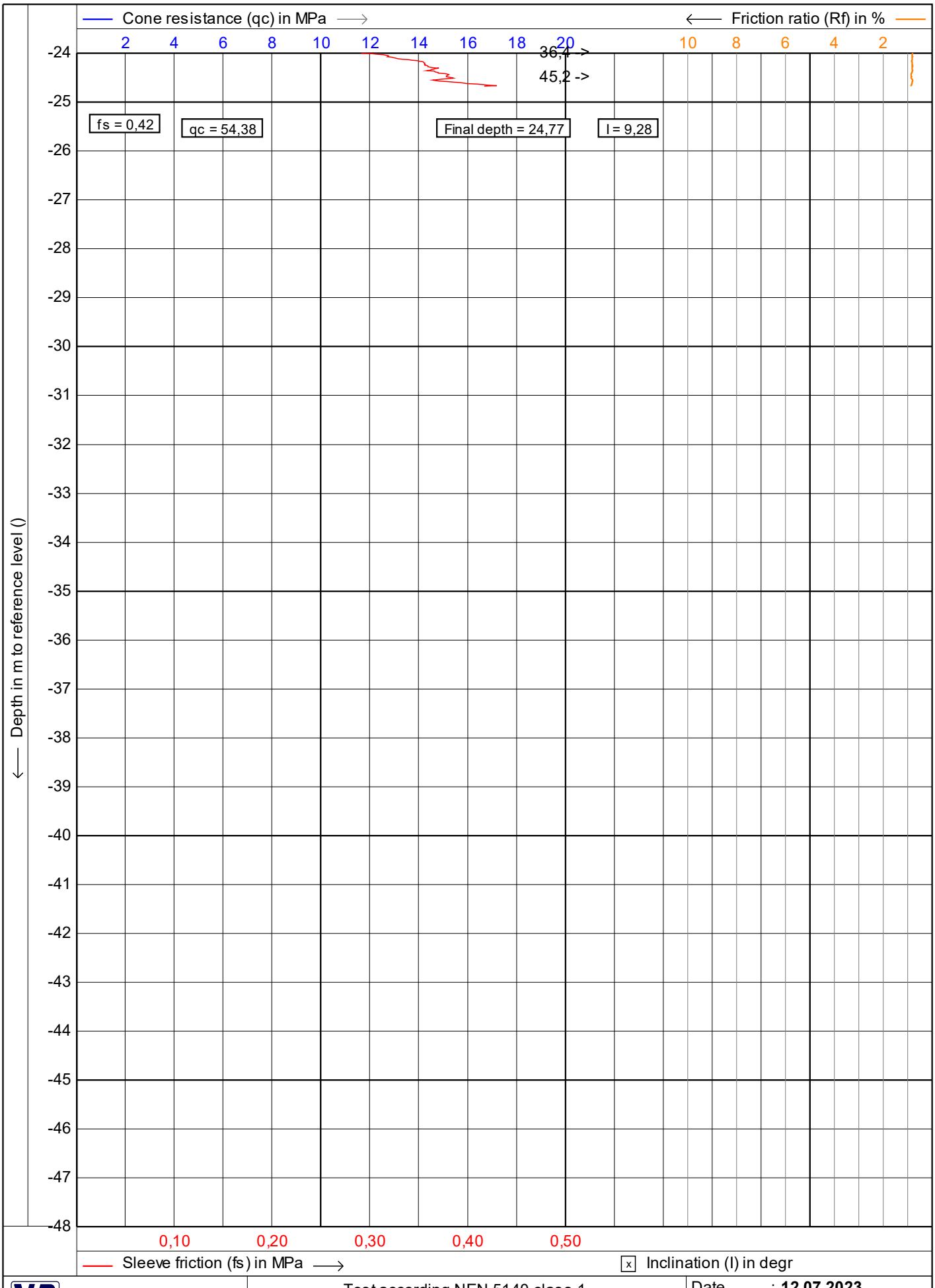


Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

Test according NEN 5140 class 1

Project : **WP Dornum**
Location: **WEA 01 Verweyen**
Position: **0, 0 UTM3N**

Date : **12.07.2023**
Cone no. : **S15CFIIP.S22494**
Project no. : **234364a**
CPT no. : **9m n. Süden** **1/4**



Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

1.48

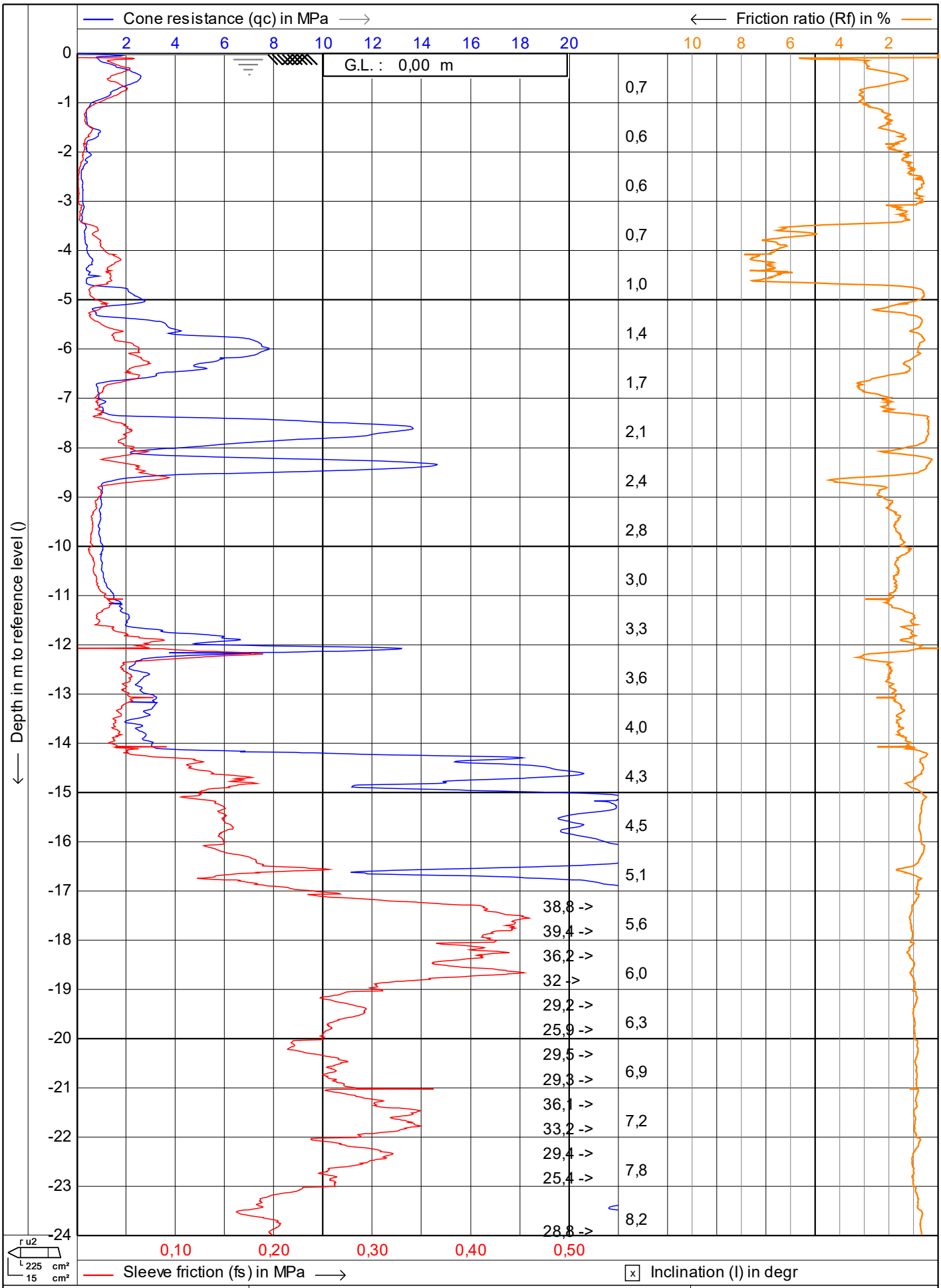
Test according NEN 5140 class 1

Project : **WP Dornum**

Location: **WEA 01 Verweyen**

Position: **0, 0 UTM3N**

Date	: **12.07.2023**
Cone no.	: **S15CFIIP.S22494**
Project no.	: **234364a**
CPT no.	: **9m n. Süden** **2/4**

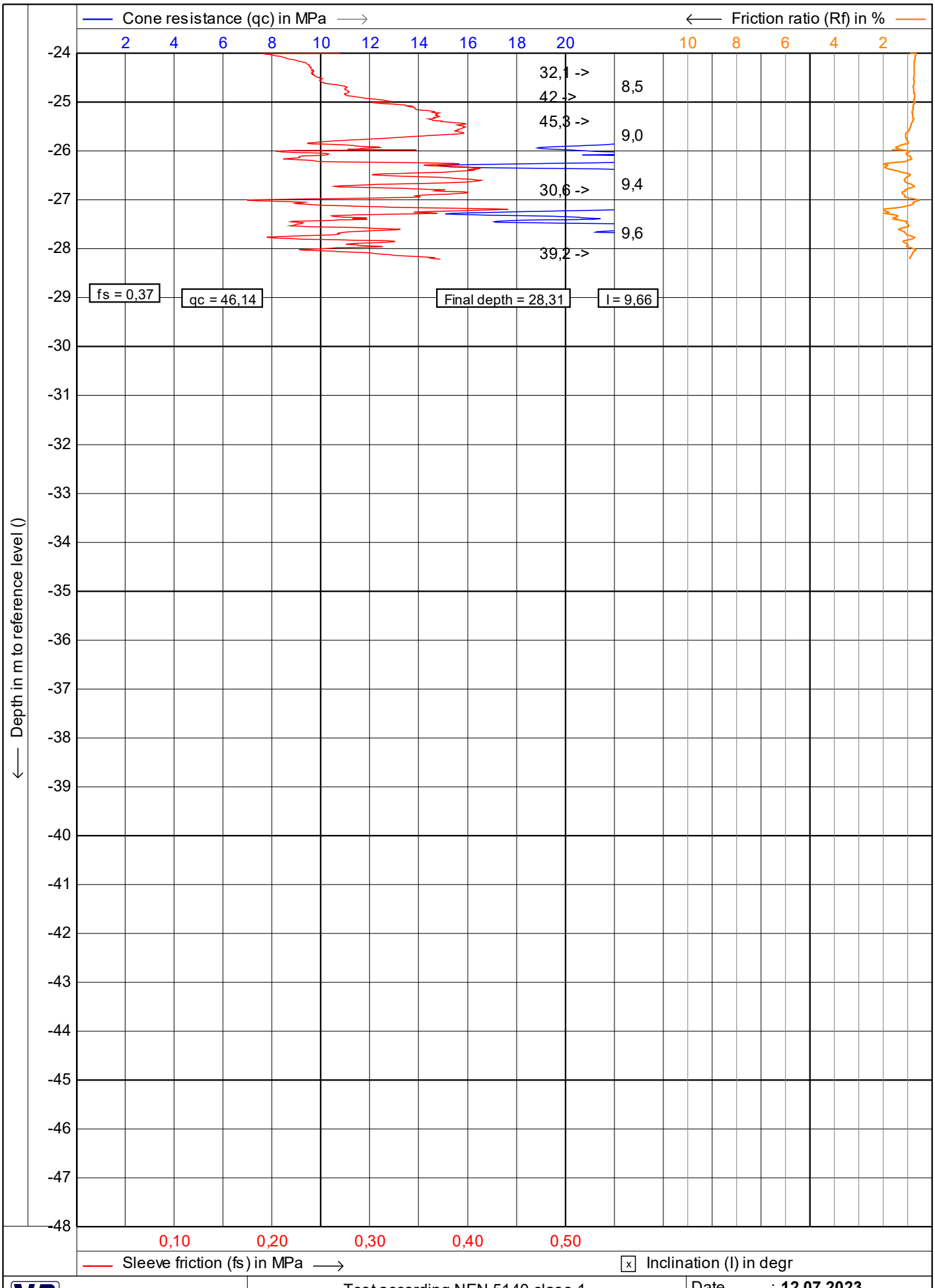


Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

Test according NEN 5140 class 1

Project : **WP Dornum**
Location: **WEA 01 Verweyen**
Position: **0, 0 UTM3N**

Date : **12.07.2023**
Cone no. : **S15CFIIP.S22494**
Project no. : **234364a**
CPT no. : **9m n. Westen** **1/4**

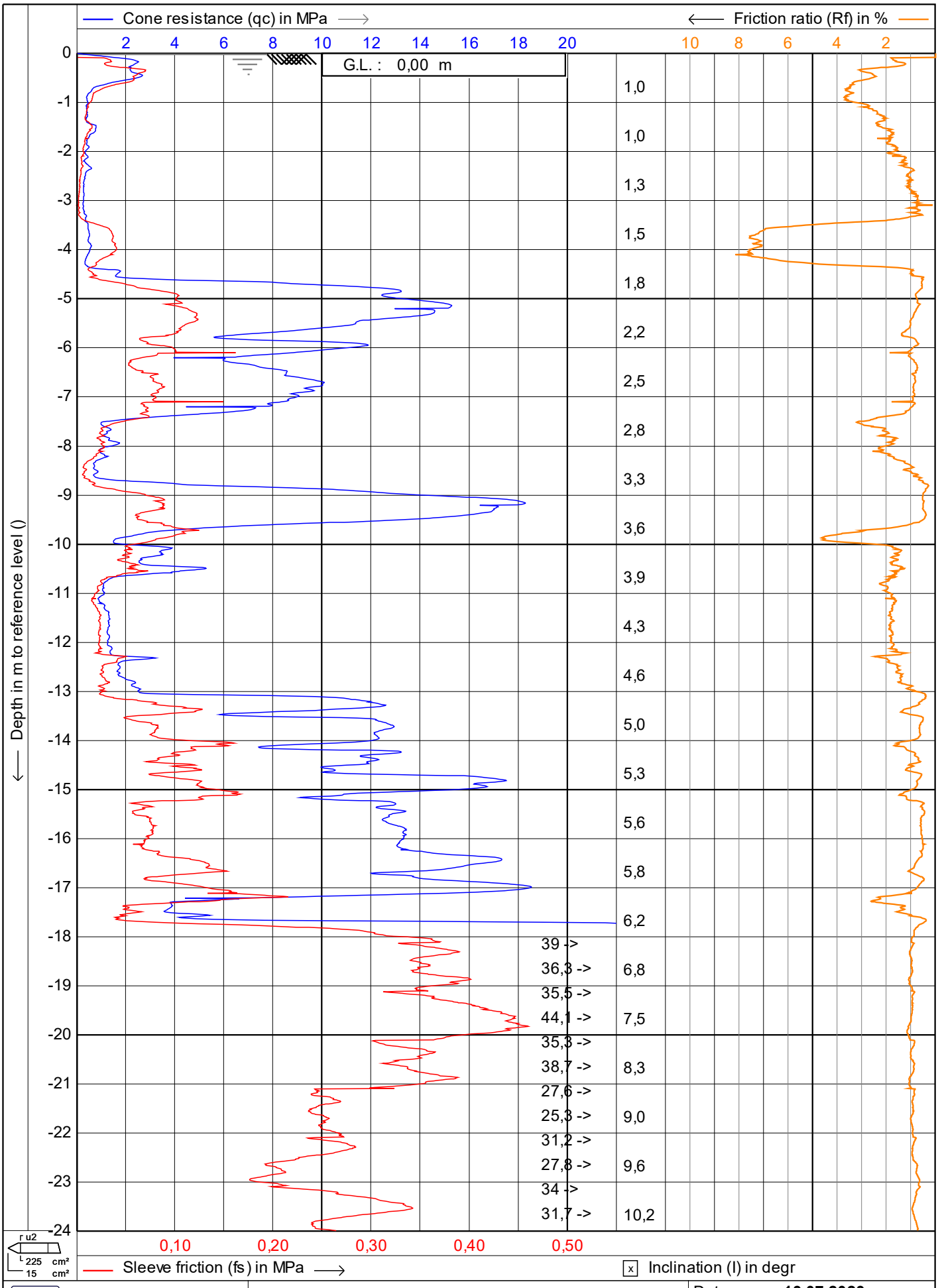


Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

Test according NEN 5140 class 1

Project : **WP Dornum**
Location: **WEA 01 Verweyen**
Position: **0, 0 UTM3N**

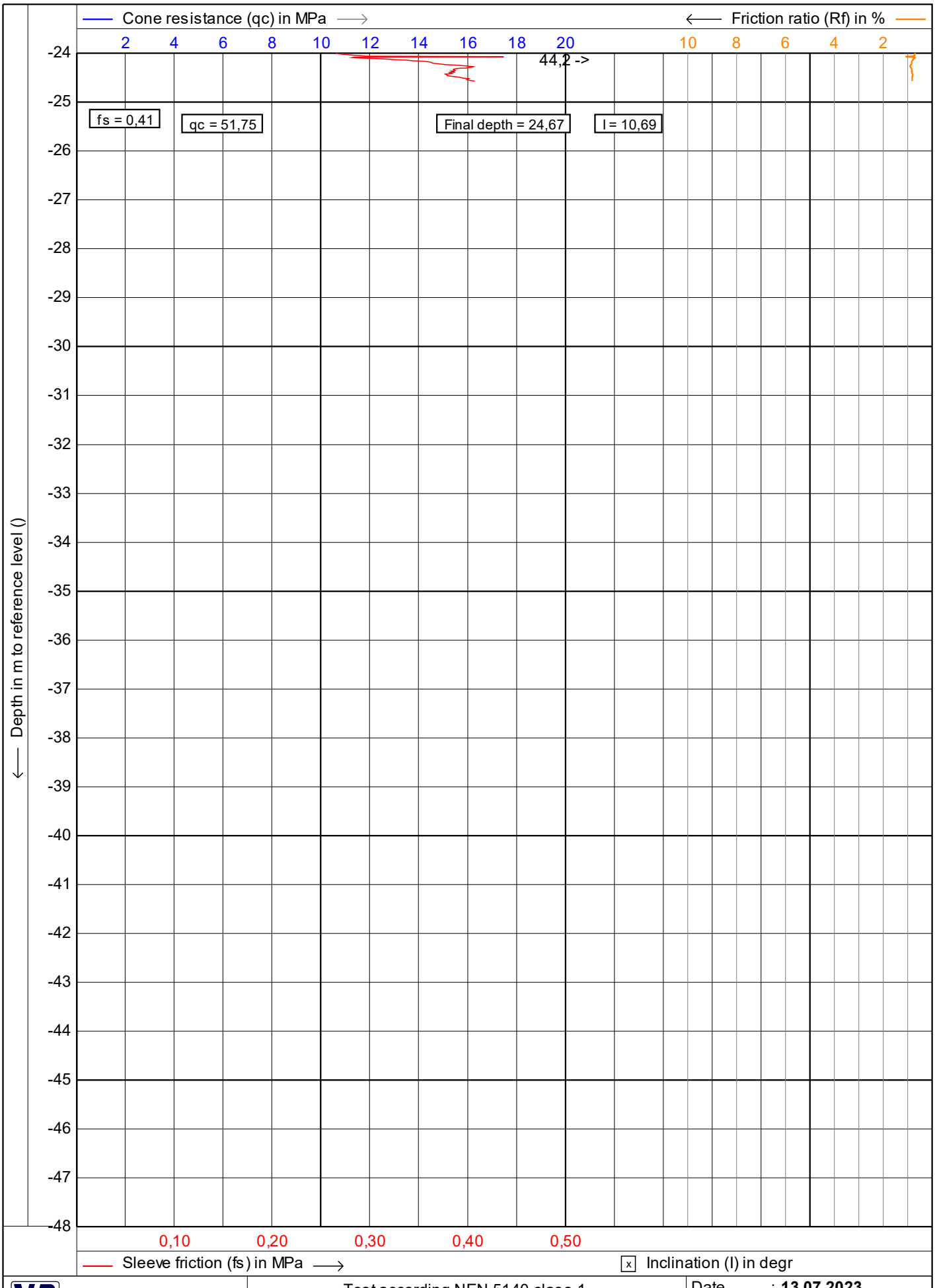
Date : **12.07.2023**
Cone no. : **S15CFIIP.S22494**
Project no. : **234364a**
CPT no. : **9m n. Westen** **2/4**



Test according NEN 5140 class 1

Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

Project	**WP Dornum**
Location	**WEA 01 Verweyen**
Position	**0, 0 UTM3N**
Date	**13.07.2023**
Cone no.	**S15CFIIP.S22494**
Project no.	**234364a**
CPT no.	**KSF 1** 1/4



Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

1.48

Test according NEN 5140 class 1

Project : **WP Dornum**

Location: **WEA 01 Verweyen**

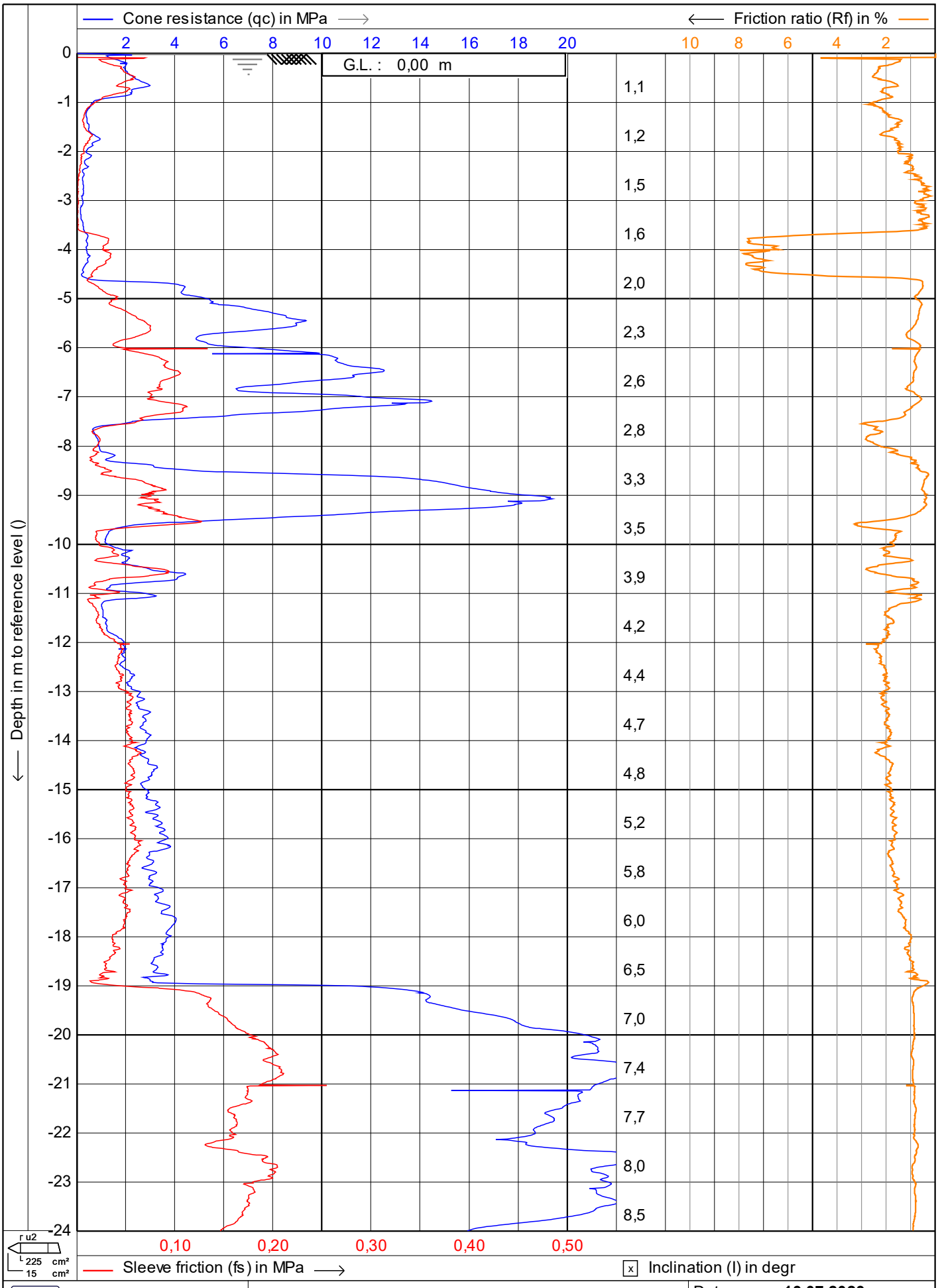
Position: **0, 0 UTM3N**

Date : **13.07.2023**

Cone no. : **S15CFIIP.S22494**

Project no. : **234364a**

CPT no. : **KSF 1** **2/4**



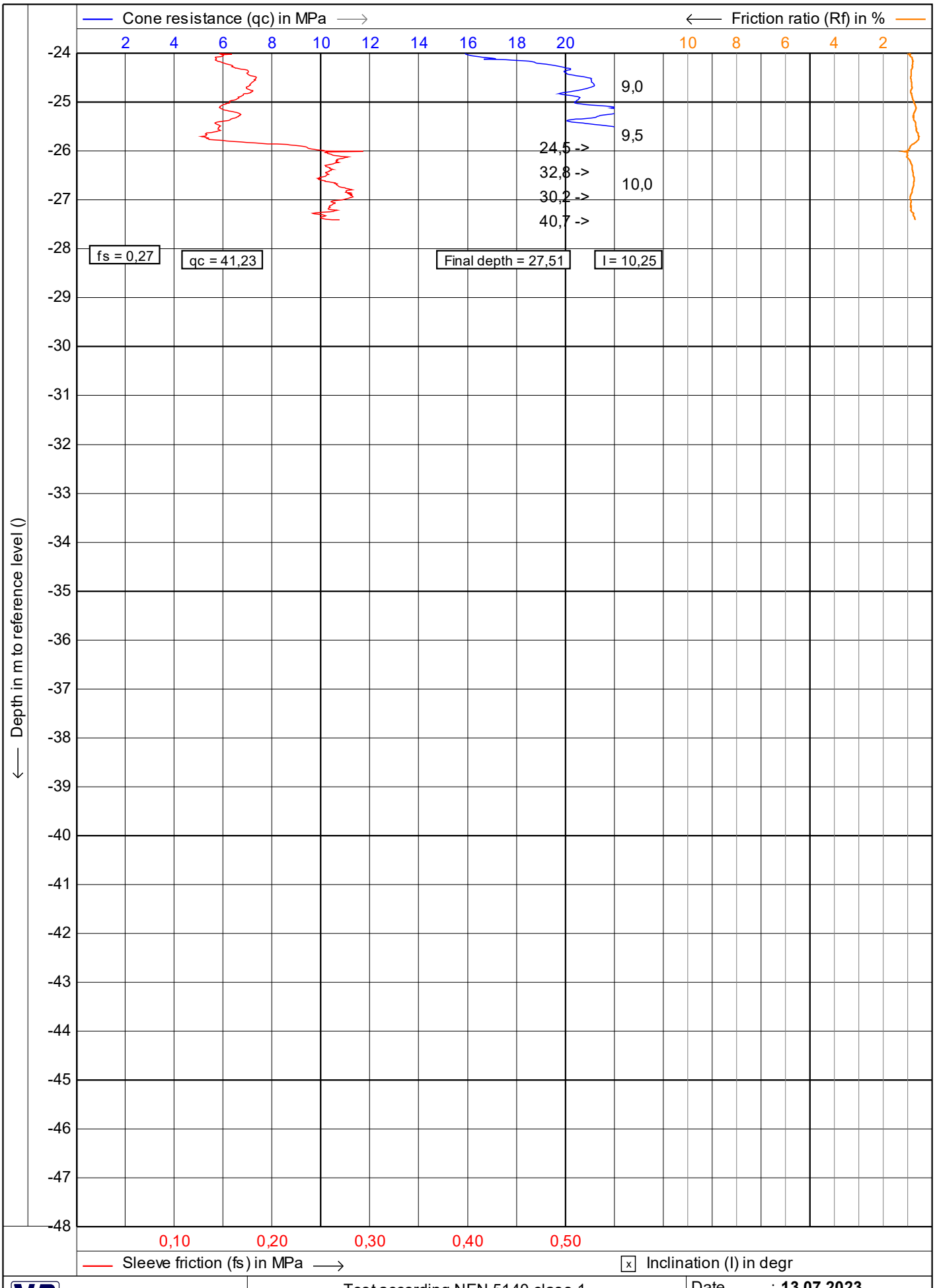
Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

Test according NEN 5140 class 1

Project : **WP Dornum**
Location: **WEA 01 Verweyen**
Position: **0, 0 UTM3N**

Date : **13.07.2023**
Cone no. : **S15CFIIP.S22494**
Project no. : **234364a**
CPT no. : **KSF 2** **1/4**

1.48



Vulhop+Becker GmbH & Co. KG
26180 Rastede
Tannenkrugstraße 42
Telefon: +49 (441) 99 90 99-0
Telefax: +49 (441) 99 90 99-29
www.vulhop-becker.de
Brunnenbau, Drucksondierungen, Baugrunderkundung

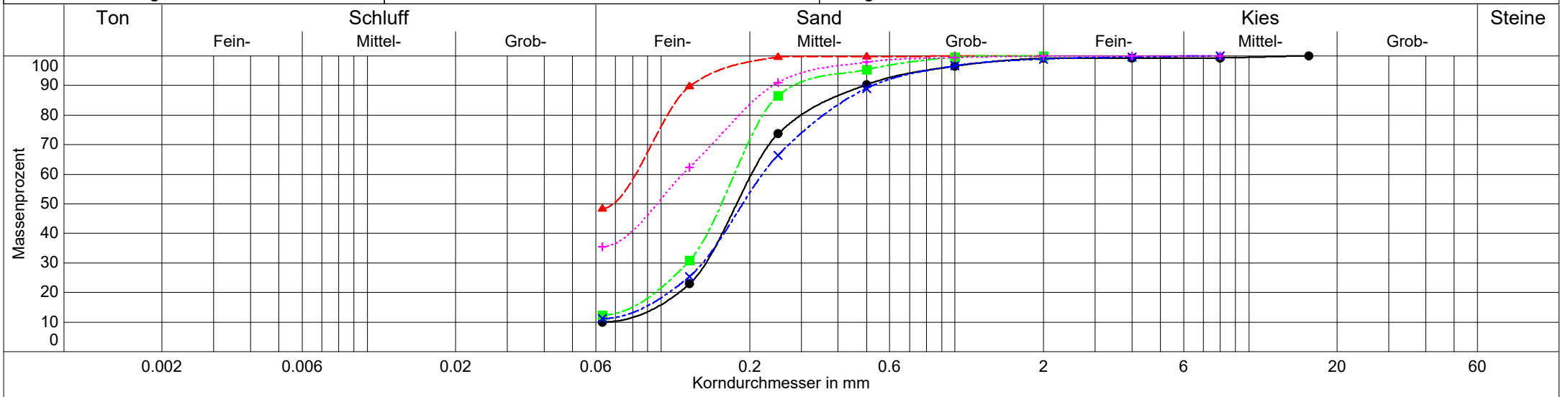
Test according NEN 5140 class 1

Project : **WP Dornum**
Location: **WEA 01 Verweyen**
Position: **0, 0 UTM3N**

Date : **13.07.2023**
Cone no. : **S15CFIIP.S22494**
Project no. : **234364a**
CPT no. : **KSF 2** **2/4**

1.48

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH	**Kornverteilung**	Projekt : Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen
Bodenmechanik, Erd- und Grundbau	DIN EN ISO 17892-4	Projektnr.: 23.1098
Cloppenburger Straße 4 a		Datum : 23.08.2023
26135 Oldenburg		Anlage : 5.1



Entnahmestelle	W1 Verweyen	W2	W3	W3	W4
Bezeichnung	W1 Verweyen/L3	W2/L3	W3/B5	W3/B20	W4/B23
Ungleichförm. Cu	3.1	-	-	-	-
Krümmungszahl Cc	1.5	-	-	-	-
Bodenart	fS,$\overline{ms}$,u',gs'	U+fS	fS,ms,u'	fS,$\overline{ms}$,u',gs'	fS,$\overline{u}$,ms
Bodengruppe	SU	U	SU	SU	S$\overline{U}$
Anteil < 0.063 mm	10.0 %	48.4 %	12.4 %	11.2 %	35.5 %
Frostempfindl.klasse	F1	F3	-	-	F3
kf nach Hazen	4.8E-05 m/s	-	-	-	-
kf nach Kaubisch	- (0.063 <= 10%)	5.9E-09 m/s	1.0E-05 m/s	1.4E-05 m/s	6.0E-08 m/s
kf nach Seiler	-	-	-	-	-
kf nach USBR	- (d10 > 0.02)	-	1.6E-05 m/s	2.1E-05 m/s	-
kf nach Seelheim	1.2E-04 m/s	-	-	-	-
Kornfrakt. T/U/S/G	0.0/10.0/89.3/0.8 %	0.0/48.4/51.6/0.0 %	0.0/12.4/87.6/0.0 %	0.0/11.2/87.8/1.0 %	0.0/35.5/64.4/0.1 %
Keine Angabe der Nebengemengteile unter 5 % Kornfraktion		-	-	-	-
Entnahmetiefe	16,00 - 17,00 m	27,6	5,00 - 6,00 m	23,00 - 24,00 m	23,00 - 24,00 m
Wassergehalt	15.6 %	25.6 %	27.1 %	17.2 %	22.0 %
Die Unterscheidung zwischen Schluff und Ton ist von den plastischen Eigenschaften abhängig (Fließ- und Ausrollgrenze)				-	-

DC

Projekt:	Auftraggeber:	Projektnummer:	
Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen	**Thade Gerdes GmbH Gewerbestraße 23a 26506 Norden**	**23.1098**	SBI SCHMITZ + BEILKE INGENIEURE GMBH
Art:		Bearbeiter/Datum:	Anlage:
Laborflügelsondierung DIN EN ISO 22476-9:2021-01		**FS / 22.08.2023**	**6.1**

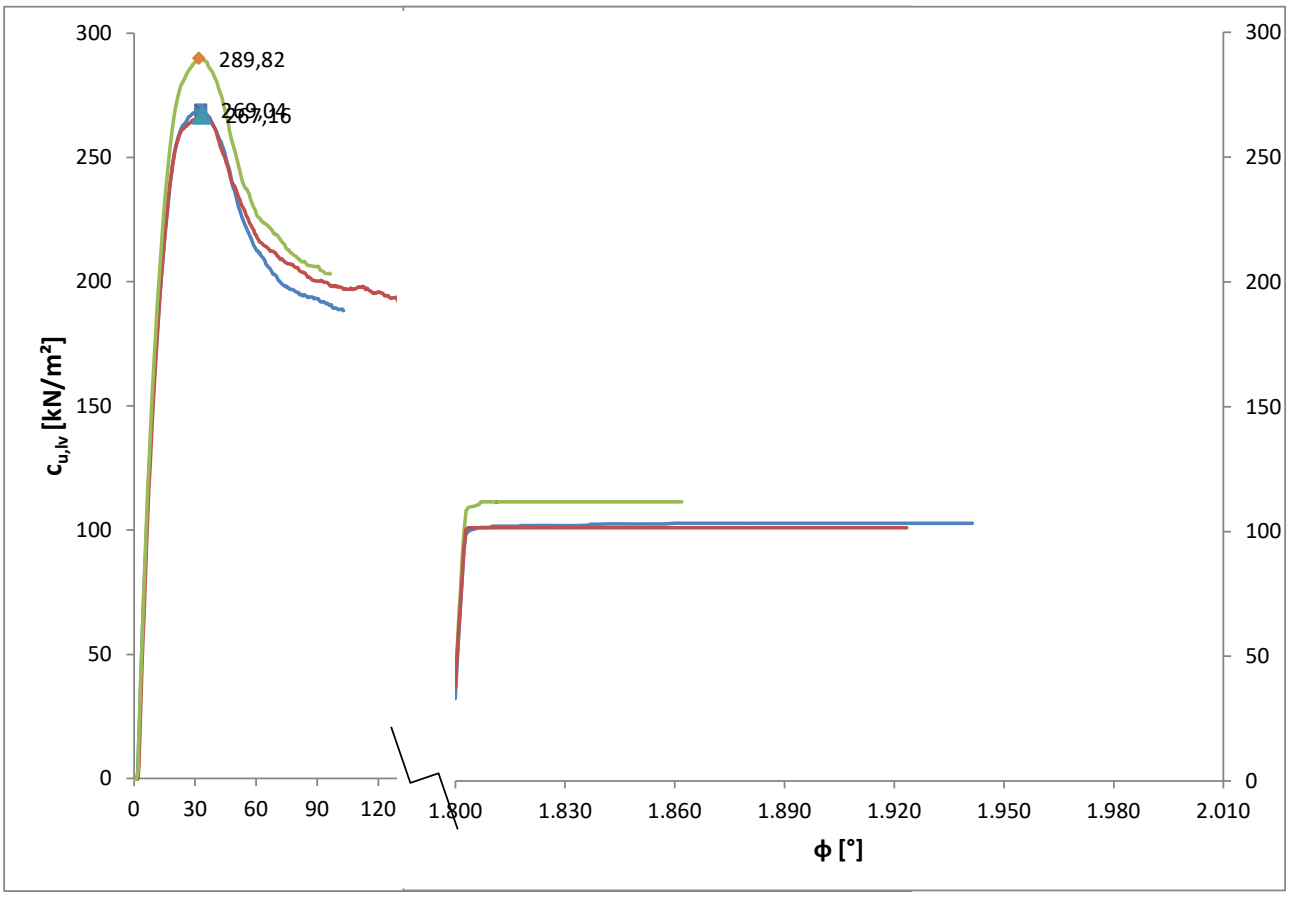
Allgemeine Angaben

Entnahmestelle:	B WEA1 - UP2	**Ausführungsdatum:**	22.08.2023
Entnahmetiefe:	19,75 - 20,00 m	**Bodenart:**	toniger Schluff
Entnahmedatum:	04.08.2023	**Probenart:**	ungestört

Angaben zum Probenkörper

Wassergehalt:	**w =**	16,03 %	**Schergeschwindigkeit:**	**ω =**	0,10 °/s
Feuchtdichte:	**ρ =**	2,21 g/cm³	**Flügelabmessungen:**	**H/D =**	25,4 / 12,7 mm
Trockendichte:	**ρ_d =**	1,91 g/cm³			

Versuchsergebnisse



Ergebnisse:

Mittelwert ungestörte Scherfestigkeit c_{fv} (gemessen)	=	275,34	kN/m²
Mittelwert gestörte Scherfestigkeit c_{rv} (gemessen)	=	105,50	kN/m²
Korrekturbeiwert μ	=	1,23	
ungestörte Scherfestigkeit c_u (korrigiert)	=	338,36	kN/m²
gestörte Scherfestigkeit $c_{u,rem}$ (korrigiert)	=	129,65	kN/m²
Flügelempfindlichkeit/Sensitivität S_{fv}	=	2,61	

Projekt:	Auftraggeber:	Projektnummer:	
Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen	**Thade Gerdes GmbH Gewerbestraße 23a 26506 Norden**	**23.1098**	SBI SCHMITZ + BEILKE INGENIEURE GMBH
Art:		Bearbeiter/Datum:	Anlage:
Laborflügelsondierung DIN EN ISO 22476-9:2021-01		**FS / 22.08.2023**	**6.2**

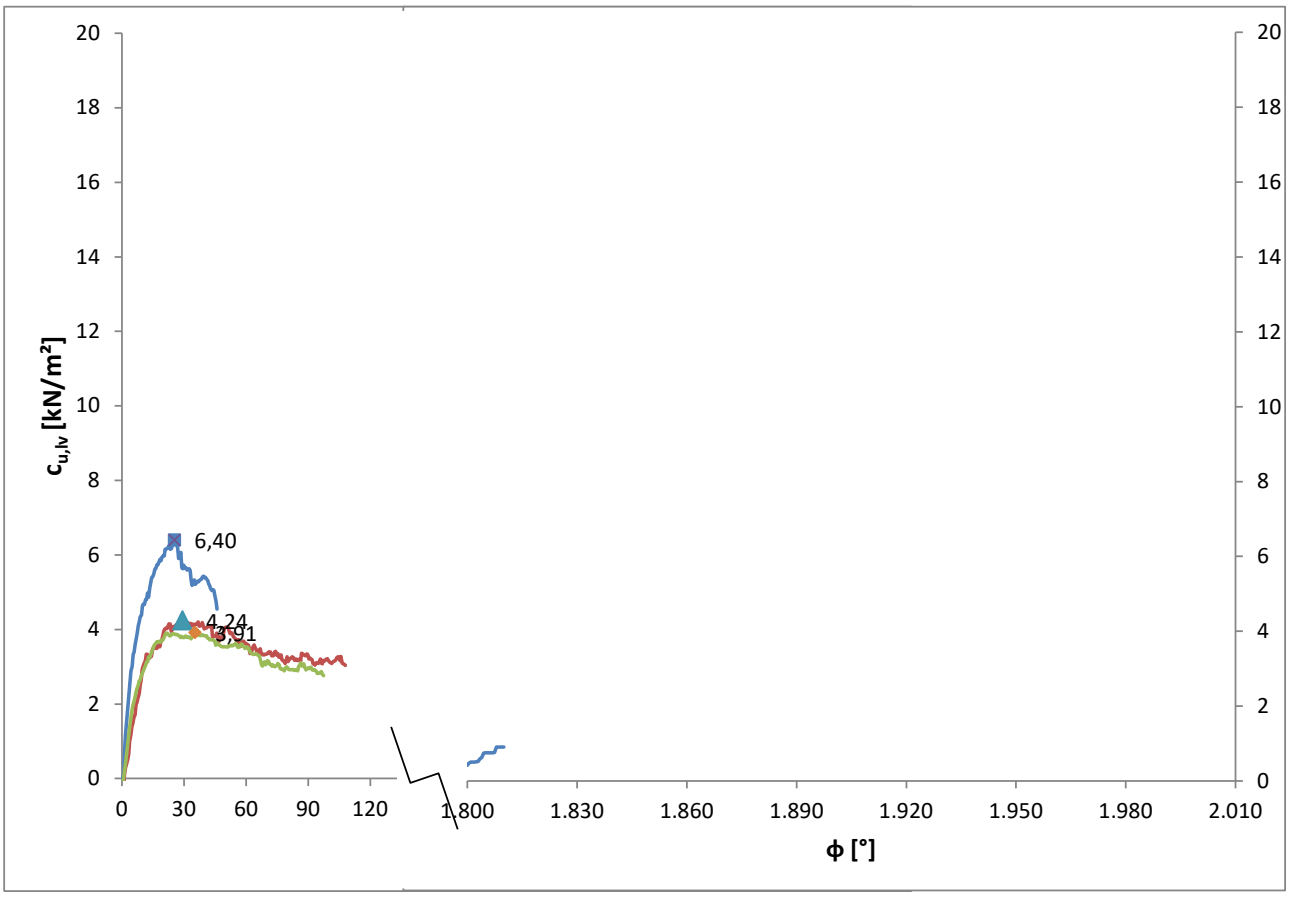
Allgemeine Angaben

Entnahmestelle:	B WEA2 - UP1	**Ausführungsdatum:**	22.08.2023
Entnahmetiefe:	3,75 - 4,00 m	**Bodenart:**	Mischwatt
Entnahmedatum:	01.08.2023	**Probenart:**	ungestört

Angaben zum Probenkörper

Wassergehalt:	**w =**	59,39 %	**Schergeschwindigkeit:**	**ω =**	0,10 °/s
Feuchtdichte:	**ρ =**	1,73 g/cm³	**Flügelabmessungen:**	**H/D =**	25,4 / 12,7 mm
Trockendichte:	**ρ_d =**	1,08 g/cm³			

Versuchsergebnisse



Ergebnisse:

Mittelwert ungestörte Scherfestigkeit c_{fv} (gemessen)	=	4,85	kN/m²
Mittelwert gestörte Scherfestigkeit c_{rv} (gemessen)	=	0,90	kN/m²
Korrekturbeiwert μ	=	1,01	
ungestörte Scherfestigkeit c_u (korrigiert)	=	4,90	kN/m²
gestörte Scherfestigkeit $c_{u,rem}$ (korrigiert)	=	0,91	kN/m²
Flügelempfindlichkeit/Sensitivität S_{fv}	=	5,39	

Projekt:	Auftraggeber:	Projektnummer:	
Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen	**Thade Gerdes GmbH Gewerbestraße 23a 26506 Norden**	**23.1098**	SBI SCHMITZ + BEILKE INGENIEURE GMBH
Art:		Bearbeiter/Datum:	Anlage:
Laborflügelsondierung DIN EN ISO 22476-9:2021-01		**FS / 17.08.2023**	**6.3**

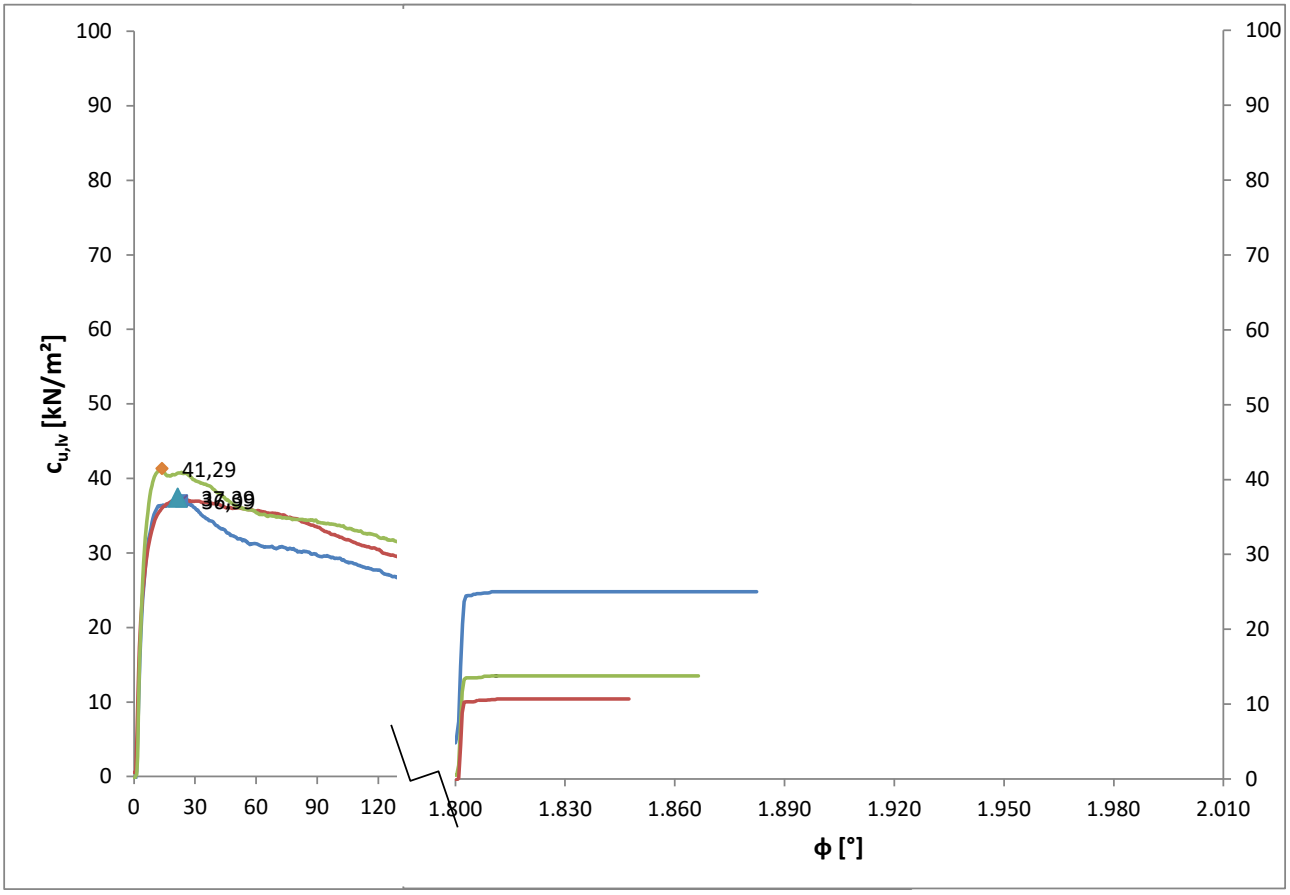
Allgemeine Angaben

Entnahmestelle:	B WEA2 - UP2	**Ausführungsdatum:**	17.08.2023
Entnahmetiefe:	9,75 - 10,00 m	**Bodenart:**	toniger Schluff
Entnahmedatum:	01.08.2023	**Probenart:**	ungestört

Angaben zum Probenkörper

Wassergehalt:	**w =**	37,25 %	**Schergeschwindigkeit:**	**ω =**	0,10 °/s
Feuchtdichte:	**ρ =**	1,87 g/cm³	**Flügelabmessungen:**	**H/D =**	25,4 / 12,7 mm
Trockendichte:	**ρ_d =**	1,37 g/cm³			

Versuchsergebnisse



Ergebnisse:

Mittelwert ungestörte Scherfestigkeit c_{fv} (gemessen)	=	38,56	kN/m²
Mittelwert gestörte Scherfestigkeit c_{rv} (gemessen)	=	16,49	kN/m²
Korrekturbeiwert μ	=	0,97	
ungestörte Scherfestigkeit c_u (korrigiert)	=	37,44	kN/m²
gestörte Scherfestigkeit $c_{u,rem}$ (korrigiert)	=	16,01	kN/m²
Flügelempfindlichkeit/Sensitivität S_{fv}	=	2,34	

Projekt:	Auftraggeber:	Projektnummer:	
Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen	**Thade Gerdes GmbH Gewerbestraße 23a 26506 Norden**	**23.1098**	SBI SCHMITZ + BEILKE INGENIEURE GMBH
Art: **Laborflügelsondierung DIN EN ISO 22476-9:2021-01**		Bearbeiter/Datum: **FS / 18.08.2023**	Anlage: **6.4**

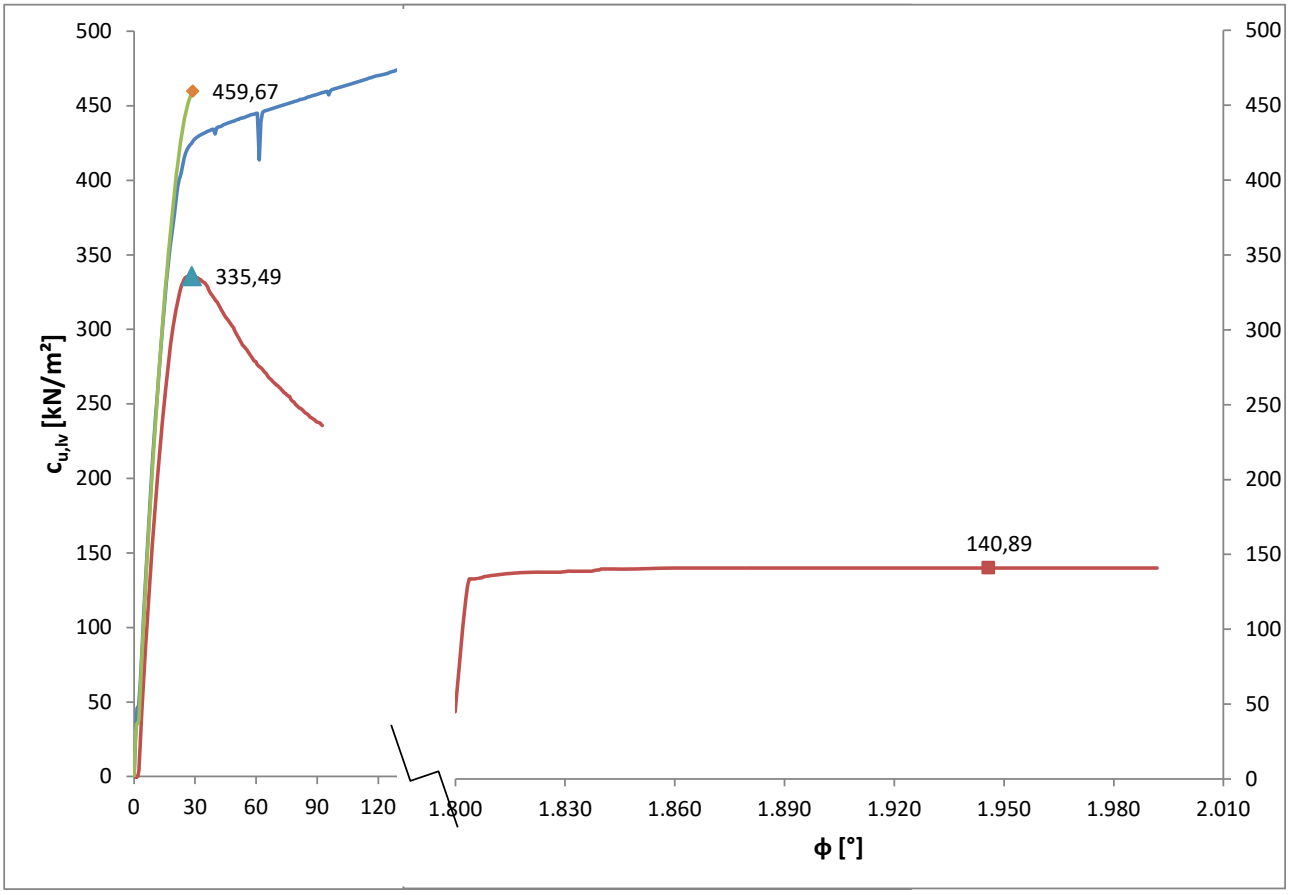
Allgemeine Angaben

Entnahmestelle:	B WEA3 - UP3	**Ausführungsdatum:**	18.08.2023
Entnahmetiefe:	17,75 - 18,00 m	**Bodenart:**	Geschiebemergel
Entnahmedatum:	03.07.2023	**Probenart:**	ungestört

Angaben zum Probenkörper

Wassergehalt:	**w =**	12,88 %	**Schergeschwindigkeit:**	**ω =**	0,10 °/s
Feuchtdichte:	**ρ =**	2,22 g/cm³	**Flügelabmessungen:**	**H/D =**	25,4 / 12,7 mm
Trockendichte:	**ρ_d =**	1,96 g/cm³			

Versuchsergebnisse



Ergebnisse:

Mittelwert ungestörte Scherfestigkeit c_{fv} (gemessen)	=	423,79	kN/m²
Mittelwert gestörte Scherfestigkeit c_{rv} (gemessen)	=	140,89	kN/m²
Korrekturbeiwert μ	=	1,21	
ungestörte Scherfestigkeit c_u (korrigiert)	=	510,76	kN/m²
gestörte Scherfestigkeit $c_{u,rem}$ (korrigiert)	=	169,80	kN/m²
Flügelempfindlichkeit/Sensitivität S_{fv}	=	3,01	

Projekt:	Auftraggeber:	Projektnummer:	
Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen	**Thade Gerdes GmbH Gewerbestraße 23a 26506 Norden**	**23.1098**	SBI SCHMITZ + BEILKE INGENIEURE GMBH
Art:		Bearbeiter/Datum:	Anlage:
Laborflügelsondierung DIN EN ISO 22476-9:2021-01		**FS / 17.08.2023**	**6.5**

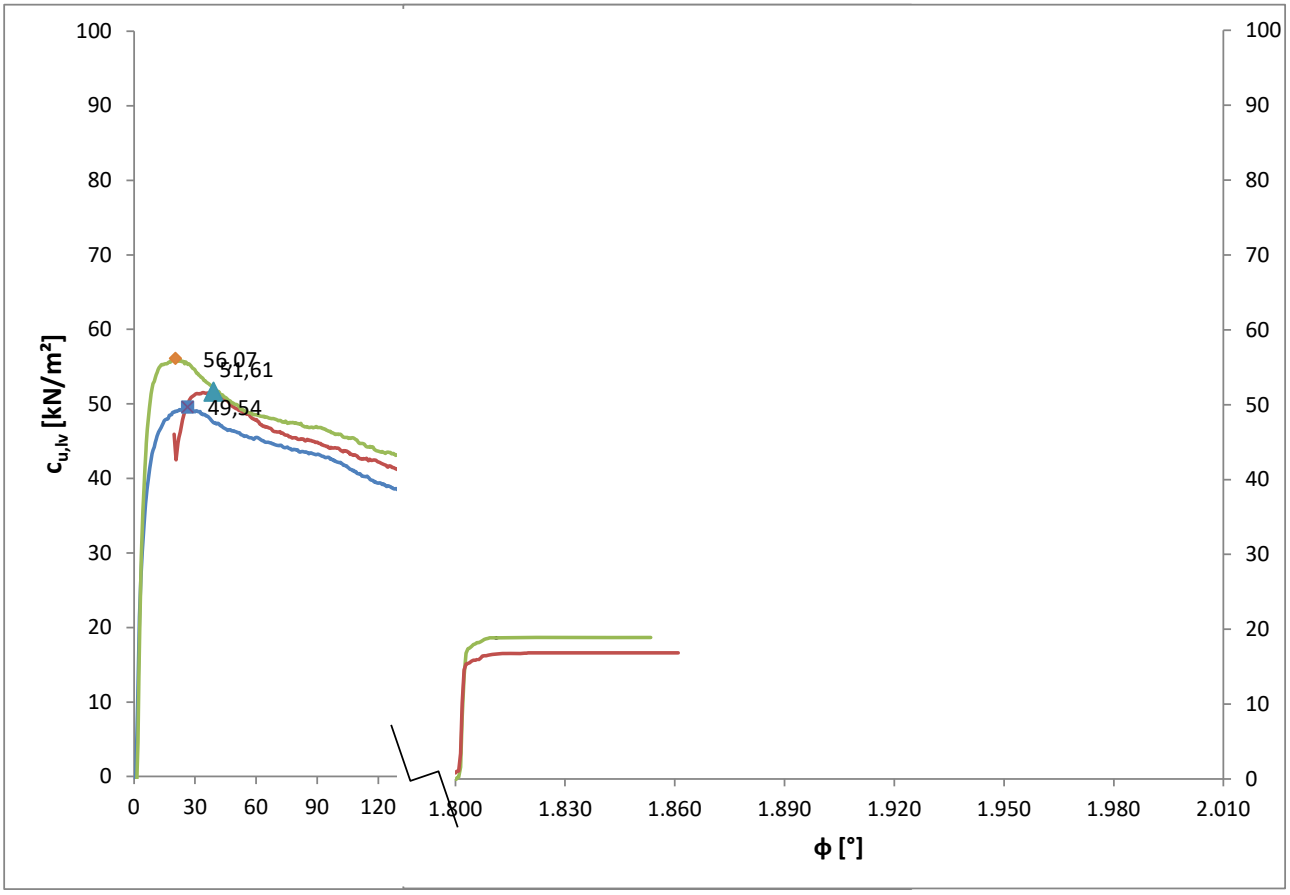
Allgemeine Angaben

Entnahmestelle:	B WEA5 Verw. - UP2	**Ausführungsdatum:**	17.08.2023
Entnahmetiefe:	9,75 - 10,00 m	**Bodenart:**	toniger Schluff
Entnahmedatum:	08.08.2023	**Probenart:**	ungestört

Angaben zum Probenkörper

Wassergehalt:	**w =**	25,04 %	**Schergeschwindigkeit:**	**ω =**	0,10 °/s
Feuchtdichte:	**ρ =**	2,02 g/cm³	**Flügelabmessungen:**	**H/D =**	25,4 / 12,7 mm
Trockendichte:	**ρ_d =**	1,62 g/cm³			

Versuchsergebnisse



Ergebnisse:

Mittelwert ungestörte Scherfestigkeit c_{fv} (gemessen)	=	52,41	kN/m²
Mittelwert gestörte Scherfestigkeit c_{rv} (gemessen)	=	17,88	kN/m²
Korrekturbeiwert μ	=	1,09	
ungestörte Scherfestigkeit c_u (korrigiert)	=	56,98	kN/m²
gestörte Scherfestigkeit $c_{u,rem}$ (korrigiert)	=	19,44	kN/m²
Flügelempfindlichkeit/Sensitivität S_{fv}	=	2,93	

Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH
Bodenmechanik, Erd- und Grundbau
Cloppenburger Straße 4a
26135 Oldenburg

Anlage: 7.1

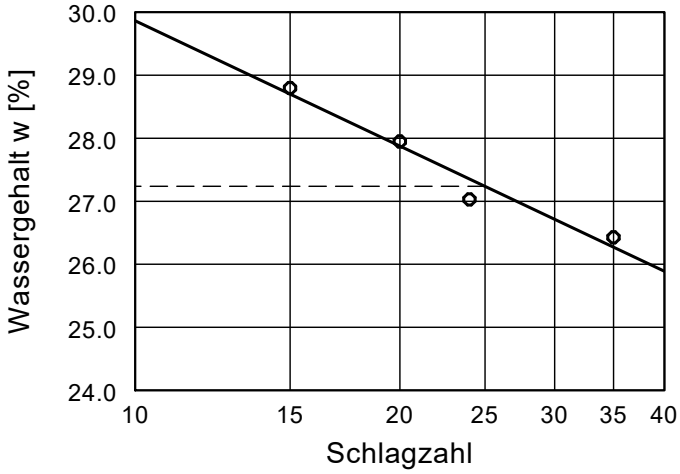
Zustandsgrenzen nach DIN 18 122

Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

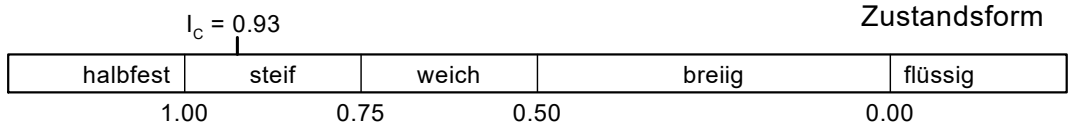
Bearbeiter: Schellig

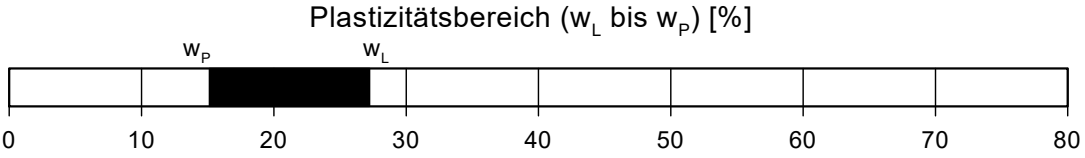
Datum: 23.08.2023

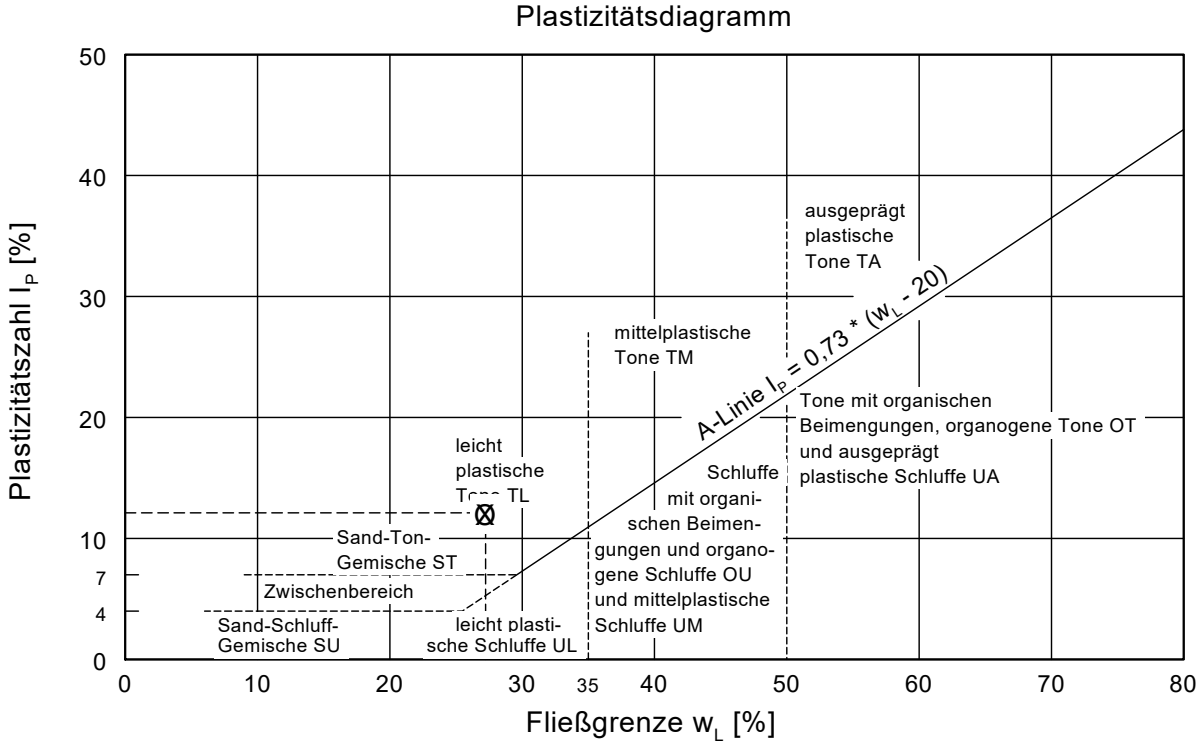
Prüfungsnummer: 23.1098
Entnahmestelle: WEA1 - UP2
Tiefe: 19.75 - 20.00 m
Art der Entnahme: ungestört
Bodenart: toniger Schluff
Probe entnommen am: 03.08.2023



Wassergehalt w =	16.0 %
Fließgrenze w_L =	27.2 %
Ausrollgrenze w_P =	15.1 %
Plastizitätszahl I_P =	12.1 %
Konsistenzzahl I_C =	0.93







Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH
Bodenmechanik, Erd- und Grundbau
Cloppenburger Straße 4a
26135 Oldenburg

Anlage: 7.2

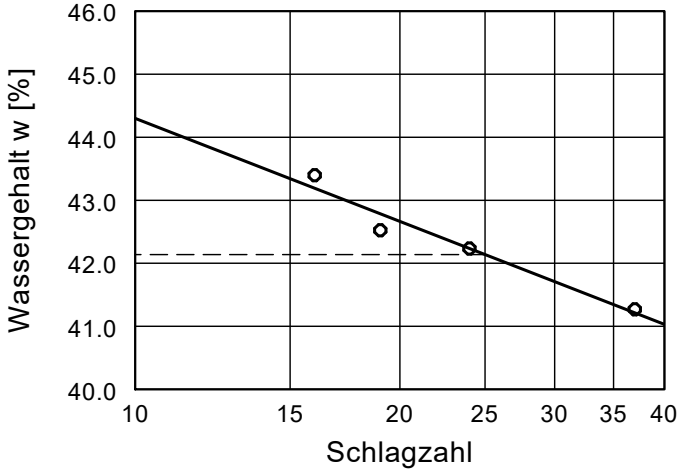
Zustandsgrenzen nach DIN 18 122

Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

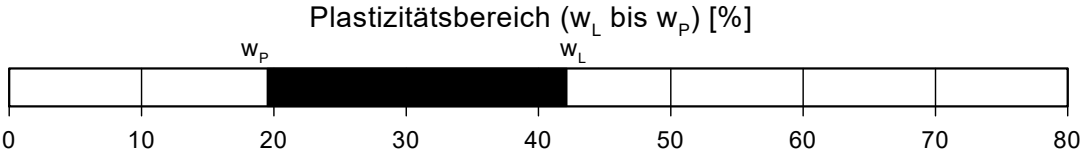
Bearbeiter: Schellig

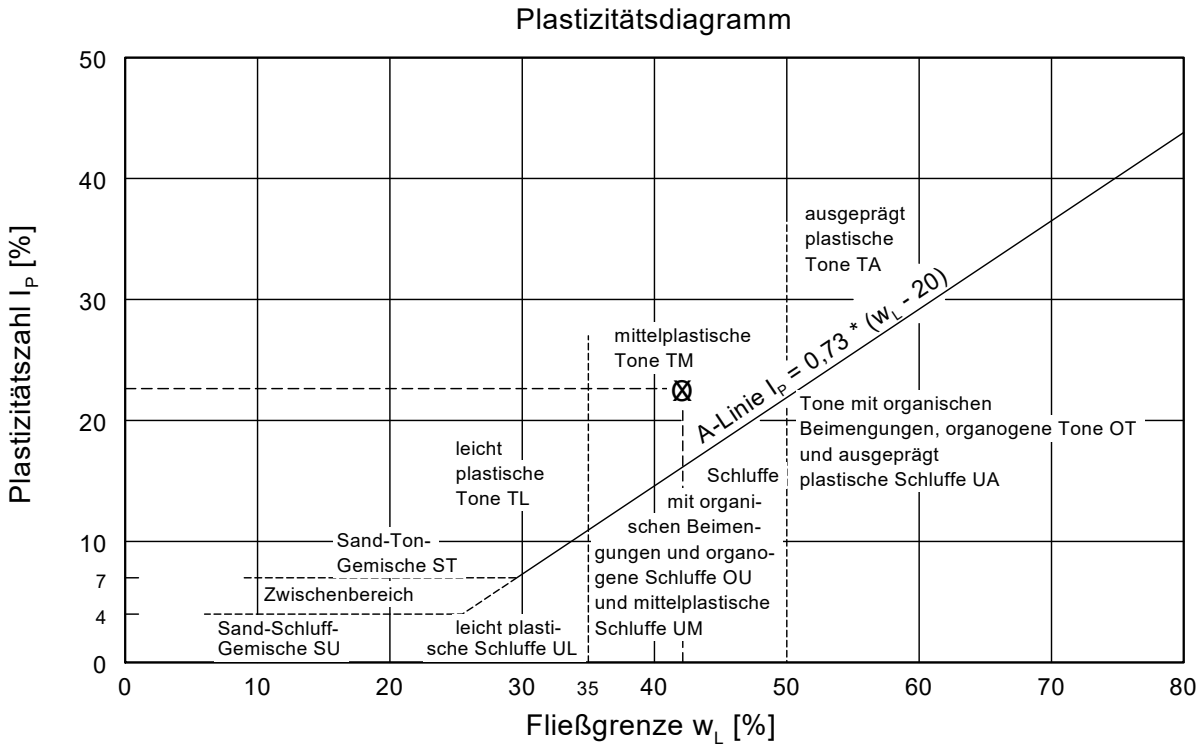
Datum: 22.08.2023

Prüfungsnummer: 23.1098
Entnahmestelle: WEA2 - UP1
Tiefe: 3.75 - 4.00 m
Art der Entnahme: ungestört
Bodenart: Mischwatt
Probe entnommen am: 01.08.2023



Wassergehalt w =	59.4 %
Fließgrenze w_L =	42.1 %
Ausrollgrenze w_P =	19.5 %
Plastizitätszahl I_P =	22.6 %
Konsistenzzahl I_C =	-0.76





Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH
Bodenmechanik, Erd- und Grundbau
Cloppenburger Straße 4a
26135 Oldenburg

Anlage: 7.3

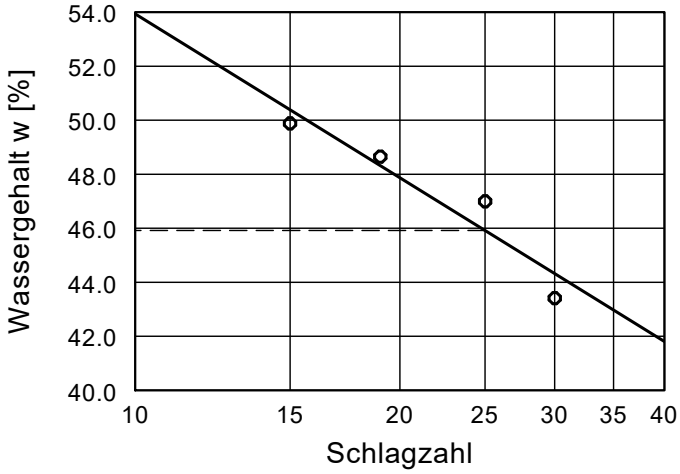
Zustandsgrenzen nach DIN 18 122

Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

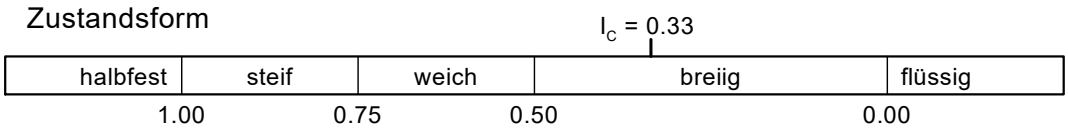
Bearbeiter: Schellig

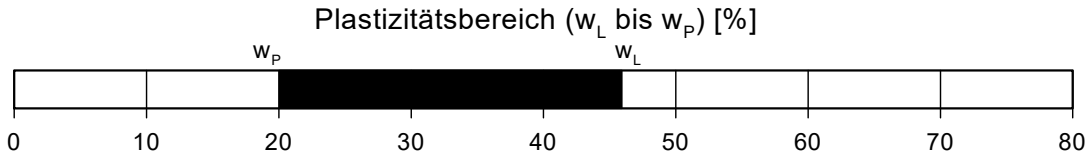
Datum: 22.08.2023

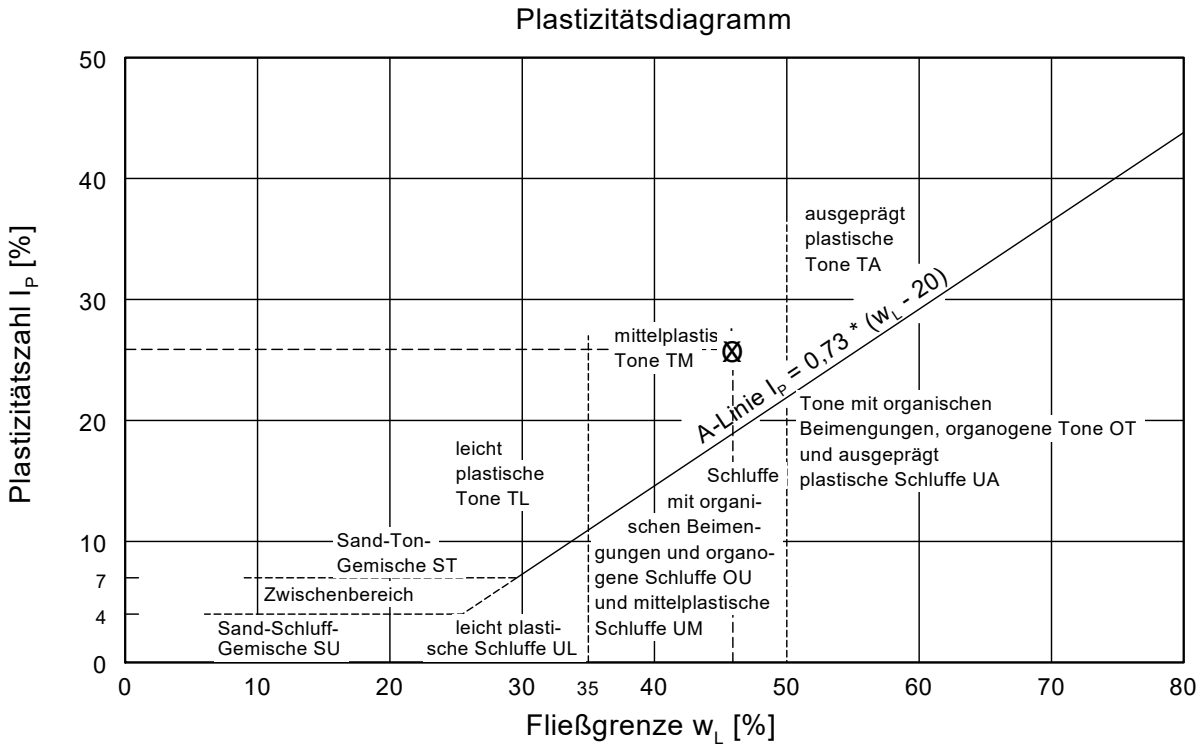
Prüfungsnummer: 23.1098
Entnahmestelle: WEA2 - UP2
Tiefe: 9.75 - 10.00 m
Art der Entnahme: ungestört
Bodenart: toniger Schluff
Probe entnommen am: 01.08.2023



Wassergehalt w =	37.3 %
Fließgrenze w_L =	45.9 %
Ausrollgrenze w_P =	20.0 %
Plastizitätszahl I_P =	25.9 %
Konsistenzzahl I_C =	0.33







Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH
Bodenmechanik, Erd- und Grundbau
Cloppenburger Straße 4a
26135 Oldenburg

Anlage: 7.4

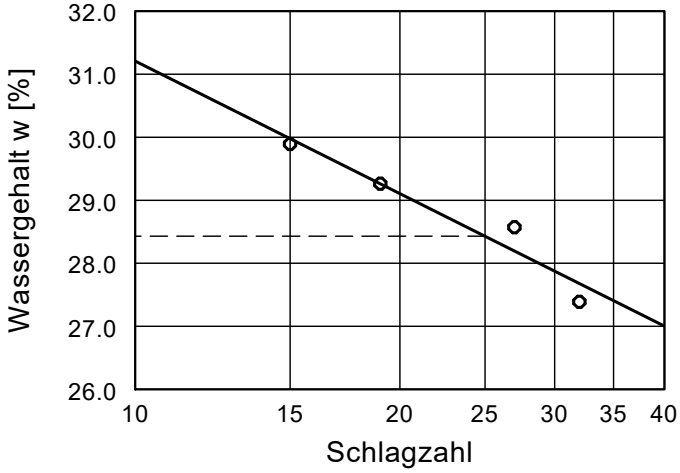
Zustandsgrenzen nach DIN 18 122

Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

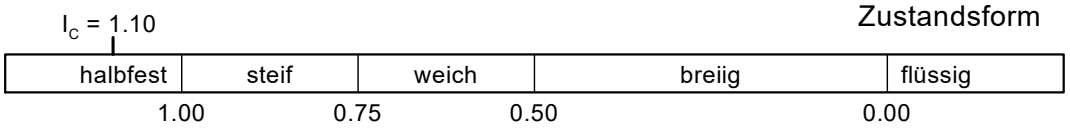
Bearbeiter: Schellig

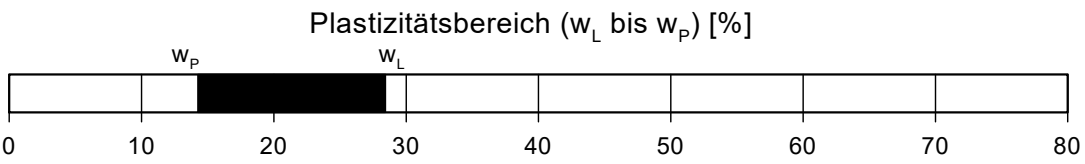
Datum: 22.08.2023

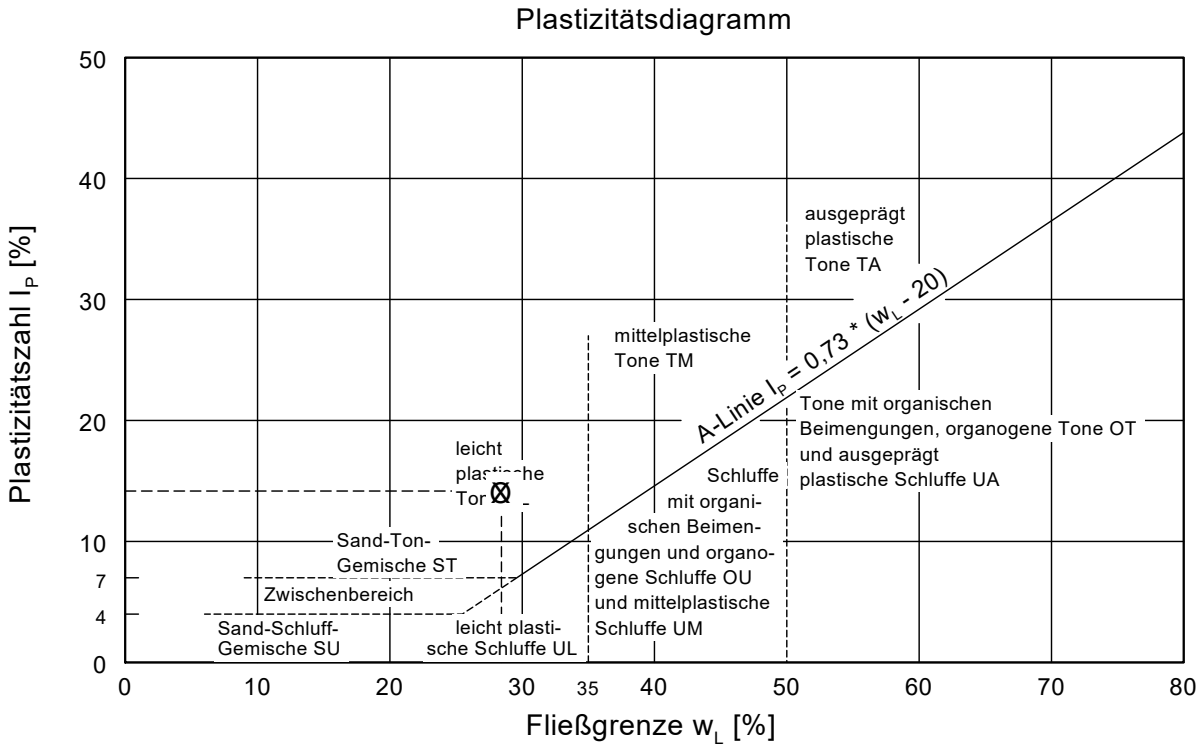
Prüfungsnummer: 23.1098
Entnahmestelle: WEA3 - UP3
Tiefe: 17.75 - 18.00 m
Art der Entnahme: ungestört
Bodenart: Geschiebemergel
Probe entnommen am: 03.07.2023



Wassergehalt w =	12.9 %
Fließgrenze w_L =	28.4 %
Ausrollgrenze w_P =	14.3 %
Plastizitätszahl I_P =	14.1 %
Konsistenzzahl I_C =	1.10







Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH
Bodenmechanik, Erd- und Grundbau
Cloppenburger Straße 4a
26135 Oldenburg

Anlage: 7.5

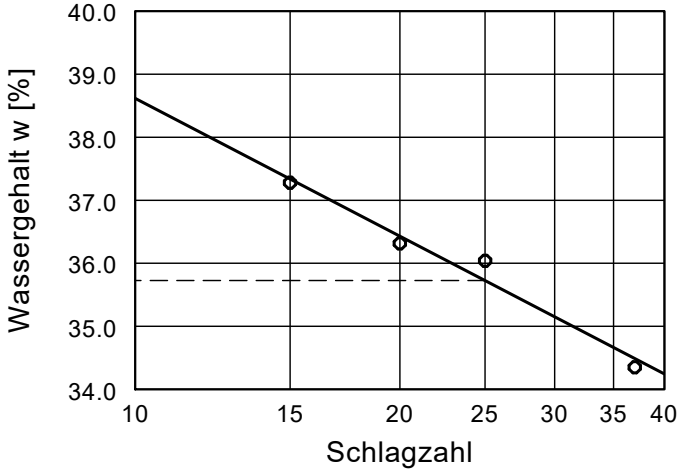
Zustandsgrenzen nach DIN 18 122

Repowering WP. Georgshof und Repowering WEA Verweyen

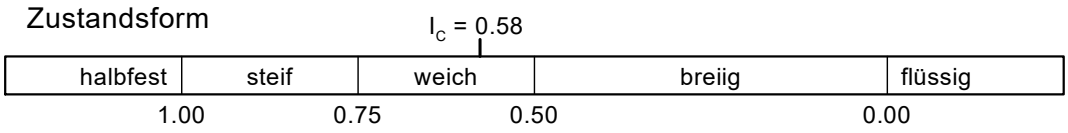
Bearbeiter: Schellig

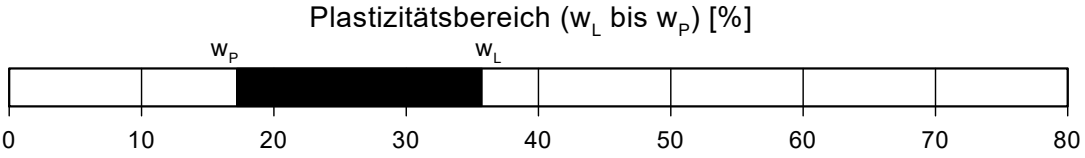
Datum: 22.08.2023

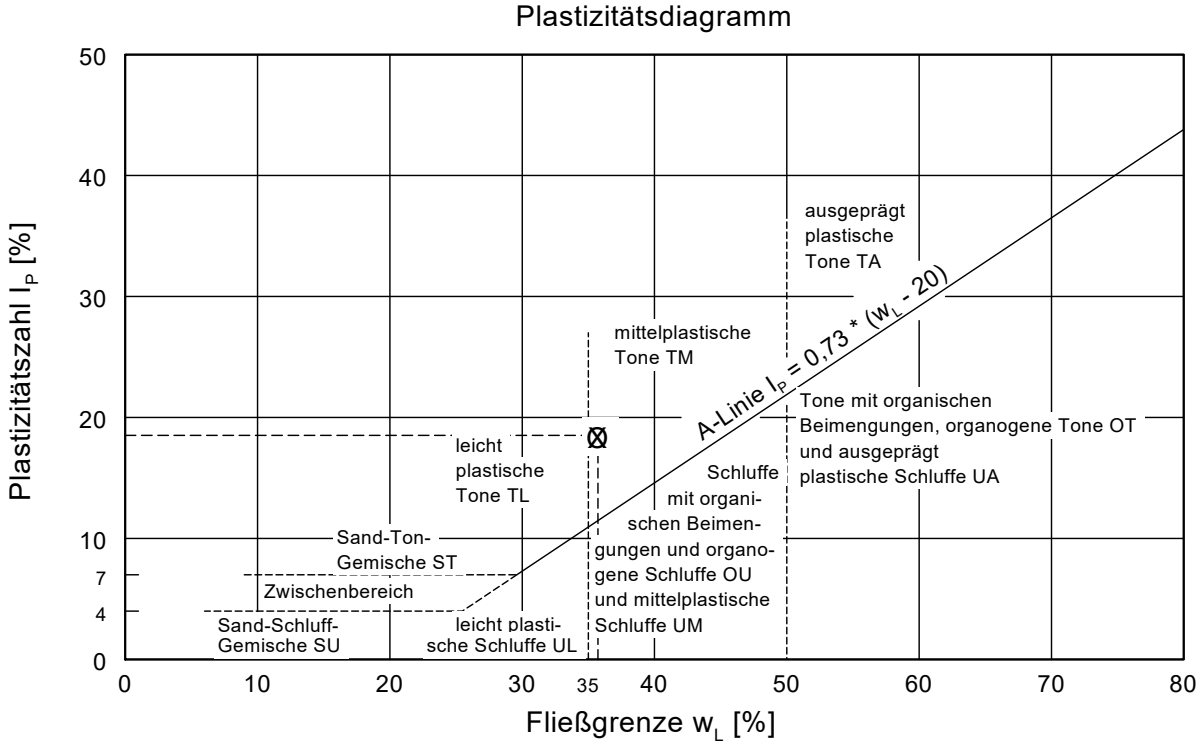
Prüfungsnummer: 23.1098
Entnahmestelle: WEA5 Verweyen - UP2
Tiefe: 9.75 - 10.00 m
Art der Entnahme: ungestört
Bodenart: Mischwatt
Probe entnommen am: 08.08.2023



Wassergehalt w =	25.0 %
Fließgrenze w_L =	35.7 %
Ausrollgrenze w_P =	17.2 %
Plastizitätszahl I_P =	18.5 %
Konsistenzzahl I_C =	0.58







CUA

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

HPC AG
Blinke 6

26789 LEER

06. September 2023

PRÜFBERICHT 010923809

Auftragsnr. Auftraggeber:	2301989
Projektbezeichnung:	WP Georgshof, WWA Verweyen
Probenahme:	durch Auftraggeber am 01.09.2023
Probentransport:	durch Auftraggeber
Probeneingang:	01.09.2023
Prüfzeitraum:	01.09. – 06.09.2023
Probennummer:	21173 – 21176 / 23
Probenmaterial:	Wasser
Verpackung:	PE-Flasche (500 mL; 500 mL + $CaCO_3$)
Bemerkungen:	-
Sonstiges:	Der Messfehler dieser Prüfungen befindet sich im üblichen Rahmen. Näheres teilen wir Ihnen auf Anfrage gerne mit. Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die angegebenen Prüfgegenstände. Regelungen zur Unterauftragvergabe und zu Messunsicherheiten auf Seite 2. Eine auszugsweise Vervielfältigung dieses Prüfberichts bedarf der schriftlichen Genehmigung durch die CUA Emden GmbH. Eventuell ausgewiesene Summen einzelner Parameter werden automatisch berechnet. Die Bildung der Summen erfolgt rein numerisch. Die angegebenen Stellen widerspiegeln keine Signifikanz. Die Bestimmungsgrenzen können matrix- / einwaagebedingt variieren.
Analysenbefunde:	Seite 3 – 6
Messverfahren:	Seite 2
Qualitätskontrolle:	

Name: M. Ed. Greta Brose
Grund: Geprüft und freigegeben.
Datum: 06.09.2023 12:10:23 (UTC+02:00:00)

M. Ed. Greta Brose
(Projektleiterin)

Name: Laura Bernd
Grund: Geprüft und freigegeben.
Datum: 06.09.2023 12:14:42 (UTC+02:00:00)

Laura Bernd
(stellv. Projektleiterin)

CUA Chemisches Untersuchungsamt Emden GmbH
Zum Nordkai 16 | 26725 Emden
Geschäftsführer Dr. Joachim Döring
Telefon 0 49 21 87 - 23 50
Telefax 0 49 21 87 - 23 56
cua@cua-emden.com
Sparkasse Emden
BIC BRLA DE 21EMD
IBAN DE35284500000021003090
Ust-IdNr. DE274636155
St.-Nr. 58/200/11267
Handelsregister Aurich HR B Nr. 201749

Methode	Norm	Messunsicherheit [%]
pH-Wert (W,E)	DIN EN ISO 10523 (C5): 2012-04[1)]	0,10 abs.
Sulfat	DIN EN ISO 10304-1 (D20): 2009-07[1)]	7,6
kalklös. Kohlensäure	DIN 38404-C10 [1)*)]	-
Ammonium	DIN EN ISO 11732 (E 23): 1997-09 [1)]	13,1
Calcium	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09 [2)]	12,9
Magnesium	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09 [2)]	11,8

[1)] Chemisches Untersuchungsamt Emden GmbH akkreditiert durch die DAkkS gemäß D-PL-17612-01
[2)] Laboratorien Dr. Döring GmbH akkreditiert durch die DAkkS gemäß D-PL-13462-01-00
[*)] nicht akkreditiertes Verfahren

CUA Chemisches Untersuchungsamt Emden GmbH
Zum Nordkai 16 | 26725 Emden
Geschäftsführer Dr. Joachim Döring
Telefon 0 49 21 87 - 23 50
Telefax 0 49 21 87 - 23 56
cua@cua-emden.com
Sparkasse Emden
BIC BRLA DE 21EMD
IBAN DE35284500000021003090
Ust-IdNr. DE274636155
St.-Nr. 58/200/11267
Handelsregister Aurich HR B Nr. 201749

Labornummer	21173	Angriffsgrad		
Analysennummer	155796			
Probenbezeichnung	**Probe 06 (WEA 01)**			
		schwach angreifend	mäßig angreifend	stark angreifend
Dimension	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]
pH-Wert (20°C)	6,7	6,5 – 5,5	< 5,5 – 4,5	< 4,5
kalklösende Kohlensäure	9,4	15 – 40	> 40 – 100	> 100
Ammonium	0,4	15 – 30	> 30 – 60	> 60
Sulfat	37	200 – 600	> 600 – 3.000	> 3.000
Magnesium	20	300 – 1.000	> 1.000 – 3.000	> 3.000
Calcium	110			
Angriffsgrad n. DIN 4030	*	schwach angreifend	mäßig angreifend	stark angreifend

* die Analysenwerte liegen jeweils unterhalb der Grenzwerte für den Angriffsgrad: XA1 schwach angreifend

Beurteilung nach DIN 4030 - Betonaggressivität

In Bezug auf die untersuchten Parameter liegen die Analysenwerte der Wasserprobe **Probe 06 (WEA 01)** (Labornummer 21173) unterhalb der Grenzwerte für den Angriffsgrad XA1, schwach angreifend nach der DIN 4030-1.

Hinweis:
Die Beurteilung des untersuchten Materials erfolgt ausschließlich auf formaler Grundlage und ist nicht Gegenstand der akkreditierten Leistung. Einzel- und Sonderfallregelungen (z.B. durch Fußnoten) sind nicht berücksichtigt. Diese Klassenzuordnung ersetzt keine geologische Gutachterleistung unter Berücksichtigung aller Rahmenbedingungen.

CUA Chemisches Untersuchungsamt Emden GmbH
Zum Nordkai 16 | 26725 Emden
Geschäftsführer Dr. Joachim Döring
Telefon 0 49 21 87 - 23 50
Telefax 0 49 21 87 - 23 56
cua@cua-emden.com
Sparkasse Emden
BIC BRLA DE 21EMD
IBAN DE35284500000021003090
Ust-IdNr. DE274636155
St.-Nr. 58/200/11267
Handelsregister Aurich HR B Nr. 201749

Labornummer	21174	Angriffsgrad		
Analysennummer	155797			
Probenbezeichnung	**Probe 07 (WEA 02)**			
		schwach angreifend	mäßig angreifend	stark angreifend
Dimension	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]
pH-Wert (20°C)	6,7	6,5 – 5,5	< 5,5 – 4,5	< 4,5
kalklösende Kohlensäure	< 1,0	15 – 40	> 40 – 100	> 100
Ammonium	0,4	15 – 30	> 30 – 60	> 60
Sulfat	53	200 – 600	> 600 – 3.000	> 3.000
Magnesium	24	300 – 1.000	> 1.000 – 3.000	> 3.000
Calcium	7,8			
Angriffsgrad n. DIN 4030	*	schwach angreifend	mäßig angreifend	stark angreifend

* die Analysenwerte liegen jeweils unterhalb der Grenzwerte für den Angriffsgrad: XA1 schwach angreifend

Beurteilung nach DIN 4030 - Betonaggressivität

In Bezug auf die untersuchten Parameter liegen die Analysenwerte der Wasserprobe **Probe 07 (WEA 02)** (Labornummer 21174) unterhalb der Grenzwerte für den Angriffsgrad XA1, schwach angreifend nach der DIN 4030-1.

Hinweis:
Die Beurteilung des untersuchten Materials erfolgt ausschließlich auf formaler Grundlage und ist nicht Gegenstand der akkreditierten Leistung. Einzel- und Sonderfallregelungen (z.B. durch Fußnoten) sind nicht berücksichtigt. Diese Klassenzuordnung ersetzt keine geologische Gutachterleistung unter Berücksichtigung aller Rahmenbedingungen.

CUA Chemisches Untersuchungsamt Emden GmbH
Zum Nordkai 16 | 26725 Emden
Geschäftsführer Dr. Joachim Döring
Telefon 0 49 21 87 - 23 50
Telefax 0 49 21 87 - 23 56
cua@cua-emden.com
Sparkasse Emden
BIC BRLA DE 21EMD
IBAN DE35284500000021003090
Ust-IdNr. DE274636155
St.-Nr. 58/200/11267
Handelsregister Aurich HR B Nr. 201749

Labornummer	21175	Angriffsgrad		
Analysennummer	155798			
Probenbezeichnung	**Probe 09 (WEA 04)**			
		schwach angreifend	mäßig angreifend	stark angreifend
Dimension	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]
pH-Wert (20°C)	6,7	6,5 – 5,5	< 5,5 – 4,5	< 4,5
kalklösende Kohlensäure	8,4	15 – 40	> 40 – 100	> 100
Ammonium	0,1	15 – 30	> 30 – 60	> 60
Sulfat	6,8	200 – 600	> 600 – 3.000	> 3.000
Magnesium	24	300 – 1.000	> 1.000 – 3.000	> 3.000
Calcium	3,3			
Angriffsgrad n. DIN 4030	*	schwach angreifend	mäßig angreifend	stark angreifend

* die Analysenwerte liegen jeweils unterhalb der Grenzwerte für den Angriffsgrad: XA1 schwach angreifend

Beurteilung nach DIN 4030 - Betonaggressivität

In Bezug auf die untersuchten Parameter liegen die Analysenwerte der Wasserprobe **Probe 09 (WEA 04)** (Labornummer 21175) unterhalb der Grenzwerte für den Angriffsgrad XA1, schwach angreifend nach der DIN 4030-1.

Hinweis:
Die Beurteilung des untersuchten Materials erfolgt ausschließlich auf formaler Grundlage und ist nicht Gegenstand der akkreditierten Leistung. Einzel- und Sonderfallregelungen (z.B. durch Fußnoten) sind nicht berücksichtigt. Diese Klassenzuordnung ersetzt keine geologische Gutachterleistung unter Berücksichtigung aller Rahmenbedingungen.

CUA Chemisches Untersuchungsamt Emden GmbH
Zum Nordkai 16 | 26725 Emden
Geschäftsführer Dr. Joachim Döring
Telefon 0 49 21 87 - 23 50
Telefax 0 49 21 87 - 23 56
cua@cua-emden.com
Sparkasse Emden
BIC BRLA DE 21EMD
IBAN DE35284500000021003090
Ust-IdNr. DE274636155
St.-Nr. 58/200/11267
Handelsregister Aurich HR B Nr. 201749

Labornummer	21176	Angriffsgrad		
Analysennummer	155799			
Probenbezeichnung	**Probe 10 (WEA Verweyen)**			
		schwach angreifend	mäßig angreifend	stark angreifend
Dimension	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]
pH-Wert (20°C)	7,1	6,5 – 5,5	< 5,5 – 4,5	< 4,5
kalklösende Kohlensäure	< 1,0	15 – 40	> 40 – 100	> 100
Ammonium	< 0,1	15 – 30	> 30 – 60	> 60
Sulfat	21	200 – 600	> 600 – 3.000	> 3.000
Magnesium	7,9	300 – 1.000	> 1.000 – 3.000	> 3.000
Calcium	7,4			
Angriffsgrad n. DIN 4030	*	schwach angreifend	mäßig angreifend	stark angreifend

* die Analysenwerte liegen jeweils unterhalb der Grenzwerte für den Angriffsgrad: XA1 schwach angreifend

Beurteilung nach DIN 4030 - Betonaggressivität

In Bezug auf die untersuchten Parameter liegen die Analysenwerte der Wasserprobe **Probe 10 (WEA Verweyen)** (Labornummer 21176) unterhalb der Grenzwerte für den Angriffsgrad XA1, schwach angreifend nach der DIN 4030-1.

Hinweis:
Die Beurteilung des untersuchten Materials erfolgt ausschließlich auf formaler Grundlage und ist nicht Gegenstand der akkreditierten Leistung. Einzel- und Sonderfallregelungen (z.B. durch Fußnoten) sind nicht berücksichtigt. Diese Klassenzuordnung ersetzt keine geologische Gutachterleistung unter Berücksichtigung aller Rahmenbedingungen.

CUA Chemisches Untersuchungsamt Emden GmbH
Zum Nordkai 16 | 26725 Emden
Geschäftsführer Dr. Joachim Döring
Telefon 0 49 21 87 - 23 50
Telefax 0 49 21 87 - 23 56
cua@cua-emden.com
Sparkasse Emden
BIC BRLA DE 21EMD
IBAN DE35284500000021003090
Ust-IdNr. DE274636155
St.-Nr. 58/200/11267
Handelsregister Aurich HR B Nr. 201749

CUA

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

HPC AG
Blinke 6

26789 LEER

29. August 2023

PRÜFBERICHT 240823802

Auftragsnr. Auftraggeber:	Kst: 3711; 2301989
Projektbezeichnung:	WP Georgshof, WWA Verweyen
Probenahme:	durch Auftraggeber am 23.08.2023
Probentransport:	durch Auftraggeber
Probeneingang:	24.08.2023
Prüfzeitraum:	24.08. – 29.08.2023
Probennummer:	20605 / 23
Probenmaterial:	Wasser
Verpackung:	PE-Flasche (250 mL, 250 mL + $CaCO_3$)
Bemerkungen:	-
Sonstiges:	Der Messfehler dieser Prüfungen befindet sich im üblichen Rahmen. Näheres teilen wir Ihnen auf Anfrage gerne mit. Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die angegebenen Prüfgegenstände. Regelungen zur Unterauftragvergabe und zu Messunsicherheiten auf Seite 2. Eine auszugsweise Vervielfältigung dieses Prüfberichts bedarf der schriftlichen Genehmigung durch die CUA Emden GmbH. Eventuell ausgewiesene Summen einzelner Parameter werden automatisch berechnet. Die Bildung der Summen erfolgt rein numerisch. Die angegebenen Stellen widerspiegeln keine Signifikanz. Die Bestimmungsgrenzen können matrix- / einwaagebedingt variieren.
Analysenbefunde:	Seite 3
Messverfahren:	Seite 2
Qualitätskontrolle:	

Name: M. Ed. Greta Brose
Grund: Geprüft und freigegeben.
Datum: 29.08.2023 11:22:19 (UTC+02:00:00)

M. Ed. Greta Brose
(Projektleiterin)

Name: Laura Bernd
Grund: Geprüft und freigegeben.
Datum: 29.08.2023 11:24:01 (UTC+02:00:00)

Laura Bernd
(stellv. Projektleiterin)

CUA Chemisches Untersuchungsamt Emden GmbH
Zum Nordkai 16 | 26725 Emden
Geschäftsführer Dr. Joachim Döring
Telefon 0 49 21 87 - 23 50
Telefax 0 49 21 87 - 23 56
cua@cua-emden.com
Sparkasse Emden
BIC BRLA DE 21EMD
IBAN DE35284500000021003090
Ust-IdNr. DE274636155
St.-Nr. 58/200/11267
Handelsregister Aurich HR B Nr. 201749

Methode	Norm	Messunsicherheit [%]
pH-Wert (W,E)	DIN EN ISO 10523 (C5): 2012-04[1)]	0,10 abs.
Sulfat	DIN EN ISO 10304-1 (D20): 2009-07[1)]	7,6
kalklös. Kohlensäure	DIN 38404-C10 [1)*)]	-
Ammonium	DIN EN ISO 11732 (E 23): 1997-09 [1)]	13,1
Calcium	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09 [2)]	12,9
Magnesium	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09 [2)]	11,8

[1)] Chemisches Untersuchungsamt Emden GmbH akkreditiert durch die DAkkS gemäß D-PL-17612-01
[2)] Laboratorien Dr. Döring GmbH akkreditiert durch die DAkkS gemäß D-PL-13462-01-00
[*)] nicht akkreditiertes Verfahren

CUA Chemisches Untersuchungsamt Emden GmbH
Zum Nordkai 16 | 26725 Emden
Geschäftsführer Dr. Joachim Döring
Telefon 0 49 21 87 - 23 50
Telefax 0 49 21 87 - 23 56
cua@cua-emden.com
Sparkasse Emden
BIC BRLA DE 21EMD
IBAN DE35284500000021003090
Ust-IdNr. DE274636155
St.-Nr. 58/200/11267
Handelsregister Aurich HR B Nr. 201749

Labornummer	20605	Angriffsgrad		
Analysennummer	152276			
Probenbezeichnung	**Probe 08 (WEA 03)**			
		schwach angreifend	mäßig angreifend	stark angreifend
Dimension	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]
pH-Wert (20°C)	6,9	6,5 – 5,5	< 5,5 – 4,5	< 4,5
kalklösende Kohlensäure	16	15 – 40	> 40 – 100	> 100
Ammonium	0,6	15 – 30	> 30 – 60	> 60
Sulfat	31	200 – 600	> 600 – 3.000	> 3.000
Magnesium	13	300 – 1.000	> 1.000 – 3.000	> 3.000
Calcium	110			
Angriffsgrad n. DIN 4030	schwach angreifend	schwach angreifend	mäßig angreifend	stark angreifend

Beurteilung nach DIN 4030 - Betonaggressivität

In Bezug auf die untersuchten Parameter ist die Wasserprobe **Probe 08 (WEA 03)** (Labornummer 20605) beurteilt nach den Grenzwerten der DIN 4030-1 aufgrund der kalklösenden Kohlensäure als schwach betonangreifend einzustufen.

Hinweis:
Die Beurteilung des untersuchten Materials erfolgt ausschließlich auf formaler Grundlage und ist nicht Gegenstand der akkreditierten Leistung. Einzel- und Sonderfallregelungen (z.B. durch Fußnoten) sind nicht berücksichtigt. Diese Klassenzuordnung ersetzt keine geologische Gutachterleistung unter Berücksichtigung aller Rahmenbedingungen.

CUA Chemisches Untersuchungsamt Emden GmbH
Zum Nordkai 16 | 26725 Emden
Geschäftsführer Dr. Joachim Döring
Telefon 0 49 21 87 - 23 50
Telefax 0 49 21 87 - 23 56
cua@cua-emden.com
Sparkasse Emden
BIC BRLA DE 21EMD
IBAN DE35284500000021003090
Ust-IdNr. DE274636155
St.-Nr. 58/200/11267
Handelsregister Aurich HR B Nr. 201749

Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 1 Nord

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	5,3	5,3	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	5,3	-	7,0	1,7	10,00	0	0,100	3,500	Sand
3	7,0	-	9,4	2,4	1,00	0	0,010	0,350	bindig
4	9,4	-	10,0	0,6	10,00	0	0,100	3,500	Sand
5	10,0	-	11,5	1,5	19,00	0	0,150	6,650	Sand
6	11,5	-	13,0	1,5	0,00	100	0,040	0,800	bindig
7	13,0	-	14,0	1,0	0,00	150	0,050	1,150	bindig
8	14,0	-	18,4	4,4	0,00	200	0,060	1,500	bindig
9	18,4	-	27,4	9,0	0,00	250	0,060	1,500	bindig
10	27,4	-	29,1	1,7	9,00	0	0,090	3,150	Sandiger Schluff
11	29,1	-	35,0	5,9	9,00	0	0,090	3,150	Annahme

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Stahlbetonrammpfahl		
Pfahlbreite:	45 cm		
Minimale Pfahllänge:	29,0 m	Schaftumfang:	1,80 m
Maximale Pfahllänge:	30,0 m	Fußfläche:	0,20 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

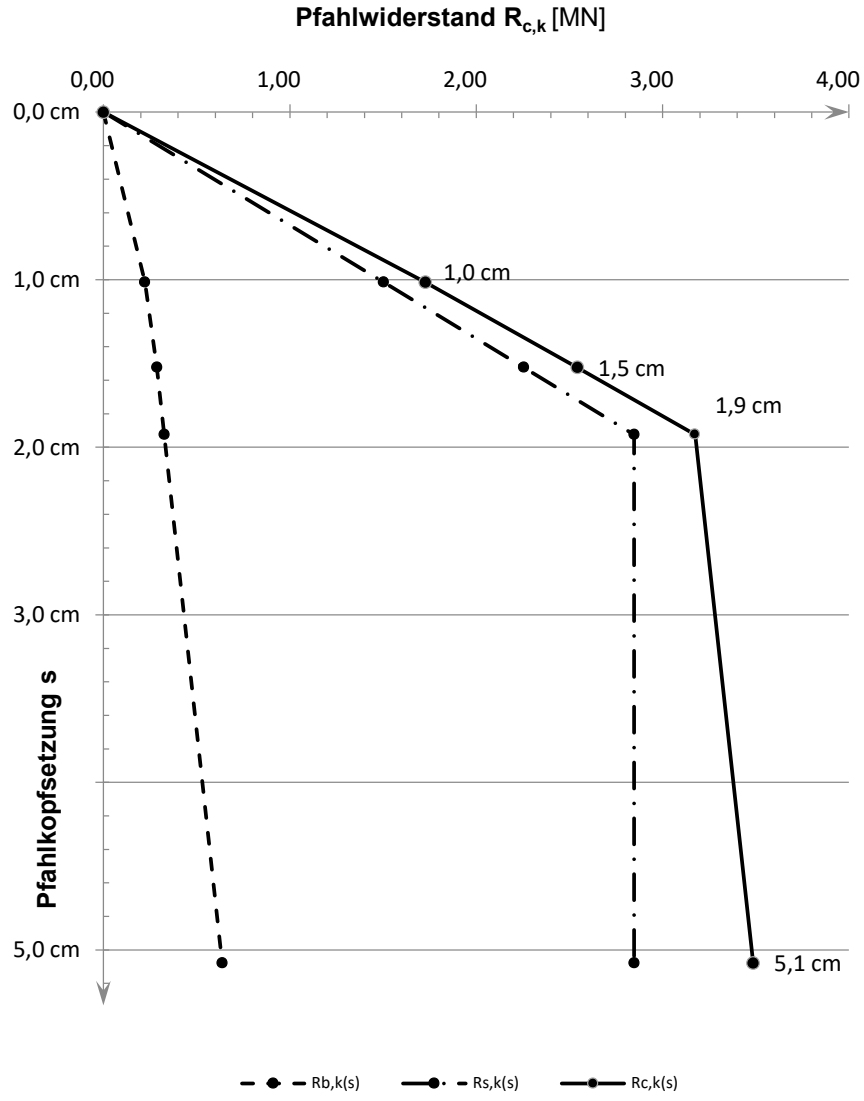
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
29,0	3,404	2,767	0,638
29,5	**3,485**	2,848	0,638
30,0	3,566	2,929	0,638

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 29,5 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,0 cm	1,503	0,223	1,726
s/D = 0,03	1,5 cm	2,255	0,287	2,542
s_{sg}	1,9 cm	2,848	0,327	3,174
s/D = 0,10	5,1 cm	2,848	0,638	3,485

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 1 Nord

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	5,3	5,3	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	5,3	-	7,0	1,7	10,00	0	0,100	3,500	Sand
3	7,0	-	9,4	2,4	1,00	0	0,010	0,350	bindig
4	9,4	-	10,0	0,6	10,00	0	0,100	3,500	Sand
5	10,0	-	11,5	1,5	19,00	0	0,150	6,650	Sand
6	11,5	-	13,0	1,5	0,00	100	0,040	0,800	bindig
7	13,0	-	14,0	1,0	0,00	150	0,050	1,150	bindig
8	14,0	-	18,4	4,4	0,00	200	0,060	1,500	bindig
9	18,4	-	27,4	9,0	0,00	250	0,060	1,500	bindig
10	27,4	-	29,1	1,7	9,00	0	0,090	3,150	Sandiger Schluff
11	29,1	-	35,0	5,9	9,00	0	0,090	3,150	Annahme

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Ortbetonrammpfahl VI		
Schaftdurchmesser:	51 cm		
Spitzendurchmesser:	62 cm		
Minimale Pfahllänge:	29,0 m	Schaftumfang:	1,60 m
Maximale Pfahllänge:	30,0 m	Fußfläche:	0,30 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

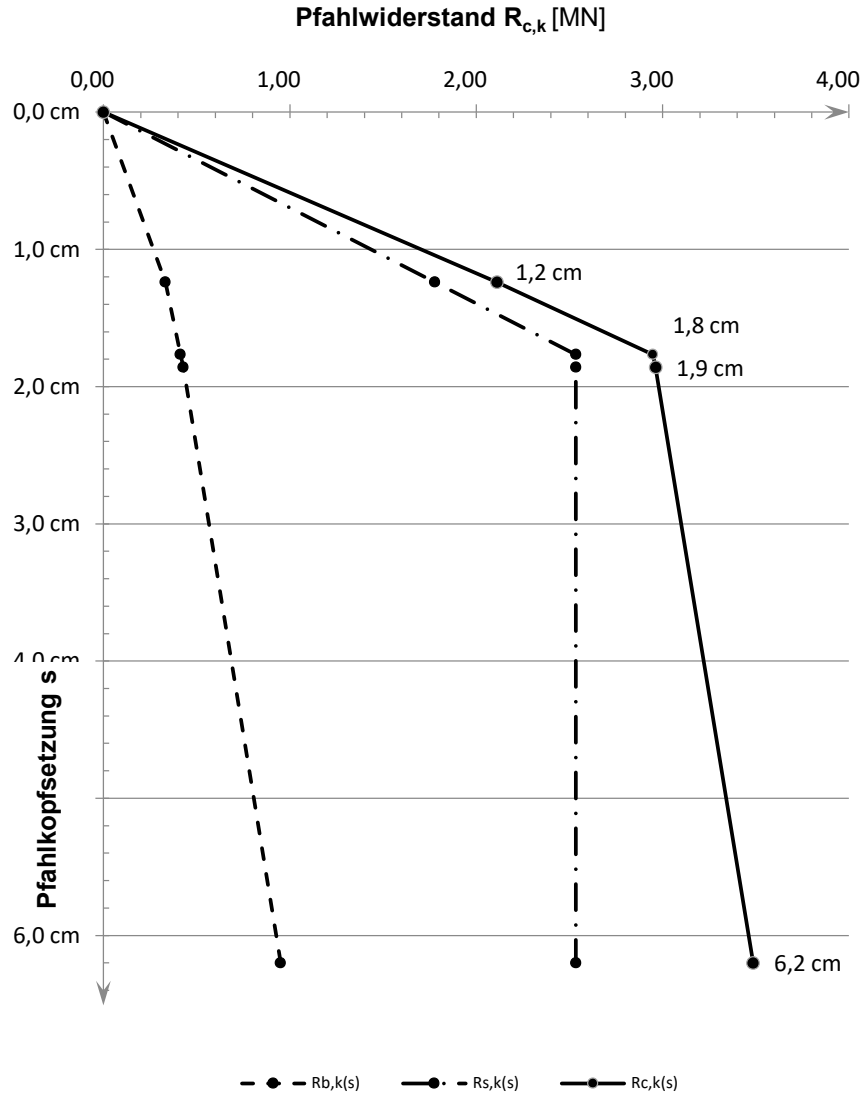
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
29,0	3,414	2,463	0,951
29,5	**3,486**	2,535	0,951
30,0	3,558	2,607	0,951

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 29,5 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,2 cm	1,778	0,333	2,111
s_{sg}	1,8 cm	2,535	0,414	2,948
s/D = 0,03	1,9 cm	2,535	0,428	2,963
s/D = 0,10	6,2 cm	2,535	0,951	3,486

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 1 Nord

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	5,3	5,3	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	5,3	-	7,0	1,7	10,00	0	0,080	2,000	Sand
3	7,0	-	9,4	2,4	1,00	0	0,008	0,200	bindig
4	9,4	-	10,0	0,6	10,00	0	0,080	2,000	Sand
5	10,0	-	11,5	1,5	19,00	0	0,120	3,400	Sand
6	11,5	-	13,0	1,5	0,00	100	0,040	0,800	bindig
7	13,0	-	14,0	1,0	0,00	150	0,050	1,150	bindig
8	14,0	-	18,4	4,4	0,00	200	0,060	1,500	bindig
9	18,4	-	27,4	9,0	0,00	250	0,060	1,500	bindig
10	27,4	-	29,1	1,7	9,00	0	0,072	1,800	Sandiger Schluff
11	29,1	-	38,0	8,9	9,00	0	0,072	1,800	Annahme

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Bohrpfahl (klassisch)		
Schaftdurchmesser:	100 cm		
Spitzendurchmesser:	100 cm		
Minimale Pfahllänge:	34,0 m	Schaftumfang:	3,14 m
Maximale Pfahllänge:	35,0 m	Fußfläche:	0,79 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

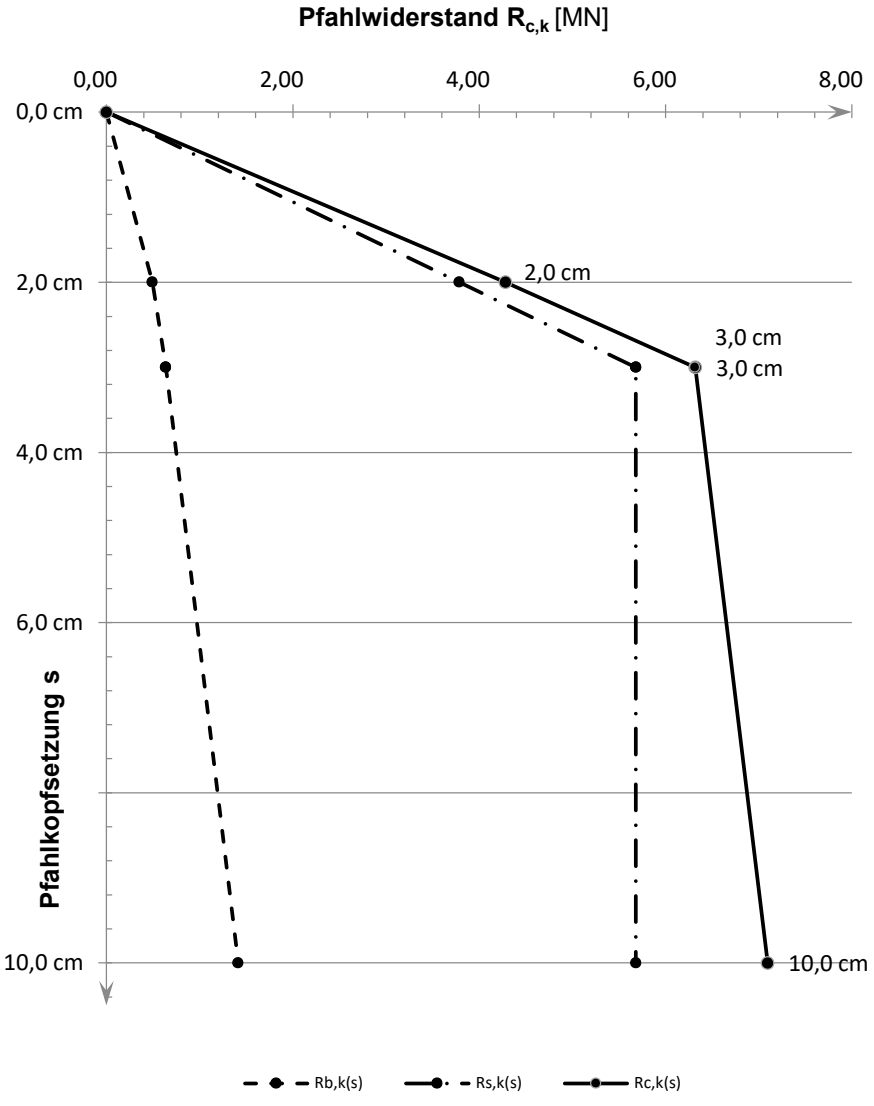
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
34,0	6,982	5,568	1,414
34,5	**7,095**	5,681	1,414
35,0	7,208	5,794	1,414

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 34,5 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	2,0 cm	3,788	0,495	4,282
s/D = 0,03	3,0 cm	5,681	0,636	6,317
s_{sg}	3,0 cm	5,681	0,636	6,317
s/D = 0,10	10,0 cm	5,681	1,414	7,095

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 1 Ost

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	5,4	5,4	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	5,4	-	6,2	0,8	2,00	0	0,020	0,700	Sand
3	6,2	-	7,0	0,8	7,50	0	0,075	2,625	Sand
4	7,0	-	7,5	0,5	3,00	0	0,030	1,050	Sand
5	7,5	-	9,3	1,8	1,00	0	0,010	0,350	bindig
6	9,3	-	11,4	2,1	14,00	0	0,140	4,900	Sand
7	11,4	-	12,6	1,2	0,00	100	0,040	0,800	bindig
8	12,6	-	16,0	3,4	0,00	175	0,055	1,325	bindig
9	16,0	-	20,4	4,4	0,00	200	0,060	1,500	bindig
10	20,4	-	27,7	7,3	0,00	250	0,060	1,500	bindig
11	27,7	-	29,4	1,7	15,00	0	0,150	5,250	Sand/Schluff
12	29,4	-	35,0	5,6	15,00	0	0,150	5,250	Annahme

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Stahlbetonrammpfahl		
Pfahlbreite:	45 cm		
Minimale Pfahllänge:	29,0 m	Schaftumfang:	1,80 m
Maximale Pfahllänge:	30,0 m	Fußfläche:	0,20 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

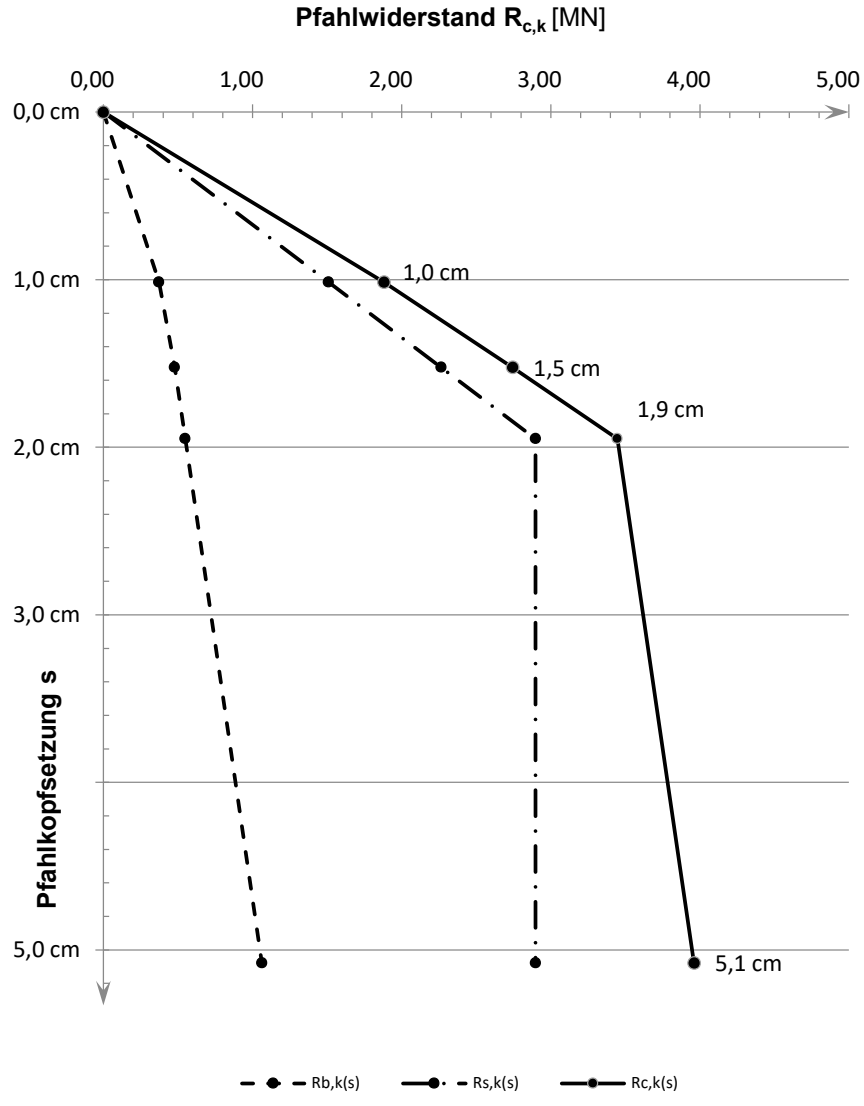
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
29,0	3,826	2,763	1,063
29,5	**3,961**	2,898	1,063
30,0	4,096	3,033	1,063

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 29,5 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,0 cm	1,510	0,372	1,882
s/D = 0,03	1,5 cm	2,265	0,478	2,743
s_{sg}	1,9 cm	2,898	0,548	3,446
s/D = 0,10	5,1 cm	2,898	1,063	3,961

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 1 Ost

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	5,4	5,4	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	5,4	-	6,2	0,8	2,00	0	0,020	0,700	Sand
3	6,2	-	7,0	0,8	7,50	0	0,075	2,625	Sand
4	7,0	-	7,5	0,5	3,00	0	0,030	1,050	Sand
5	7,5	-	9,3	1,8	1,00	0	0,010	0,350	bindig
6	9,3	-	11,4	2,1	14,00	0	0,140	4,900	Sand
7	11,4	-	12,6	1,2	0,00	100	0,040	0,800	bindig
8	12,6	-	16,0	3,4	0,00	175	0,055	1,325	bindig
9	16,0	-	20,4	4,4	0,00	200	0,060	1,500	bindig
10	20,4	-	27,7	7,3	0,00	250	0,060	1,500	bindig
11	27,7	-	29,4	1,7	15,00	0	0,150	5,250	Sand/Schluff
12	29,4	-	35,0	5,6	15,00	0	0,150	5,250	Annahme

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Ortbetonrammpfahl VI		
Schaftdurchmesser:	51 cm		
Spitzendurchmesser:	62 cm		
Minimale Pfahllänge:	29,0 m	Schaftumfang:	1,60 m
Maximale Pfahllänge:	30,0 m	Fußfläche:	0,30 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

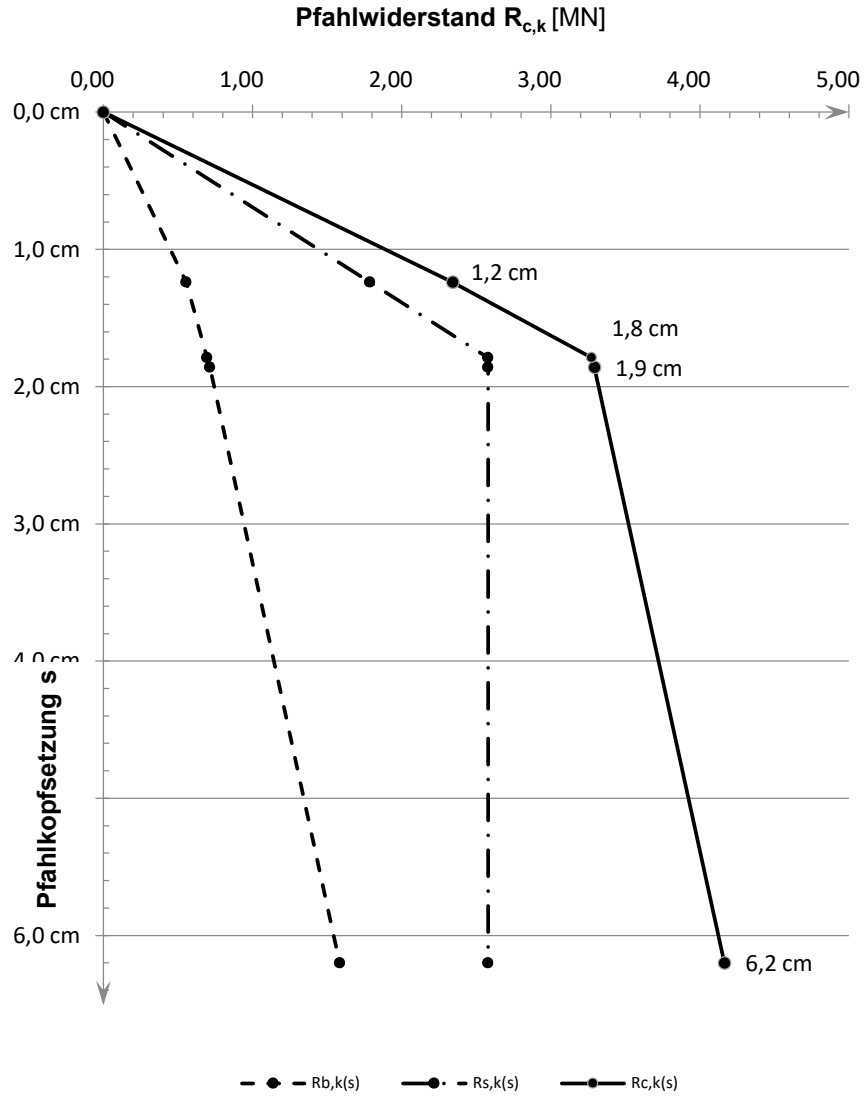
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
29,0	4,044	2,459	1,585
29,5	**4,165**	2,580	1,585
30,0	4,285	2,700	1,585

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 29,5 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,2 cm	1,787	0,555	2,342
s_{sg}	1,8 cm	2,580	0,695	3,275
s/D = 0,03	1,9 cm	2,580	0,713	3,293
s/D = 0,10	6,2 cm	2,580	1,585	4,165

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 1 Ost

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	5,4	5,4	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	5,4	-	6,2	0,8	2,00	0	0,016	0,400	Sand
3	6,2	-	7,0	0,8	7,50	0	0,060	1,500	Sand
4	7,0	-	7,5	0,5	3,00	0	0,024	0,600	Sand
5	7,5	-	9,3	1,8	1,00	0	0,008	0,200	bindig
6	9,3	-	11,4	2,1	14,00	0	0,112	2,800	Sand
7	11,4	-	12,6	1,2	0,00	100	0,040	0,800	bindig
8	12,6	-	16,0	3,4	0,00	175	0,055	1,325	bindig
9	16,0	-	20,4	4,4	0,00	200	0,060	1,500	bindig
10	20,4	-	27,7	7,3	0,00	250	0,060	1,500	bindig
11	27,7	-	29,4	1,7	15,00	0	0,120	3,000	Sand/Schluff
12	29,4	-	38,0	8,6	15,00	0	0,120	3,000	Annahme

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Bohrpfahl (klassisch)		
Schaftdurchmesser:	100 cm		
Spitzendurchmesser:	100 cm		
Minimale Pfahllänge:	34,0 m	Schaftumfang:	3,14 m
Maximale Pfahllänge:	35,0 m	Fußfläche:	0,79 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

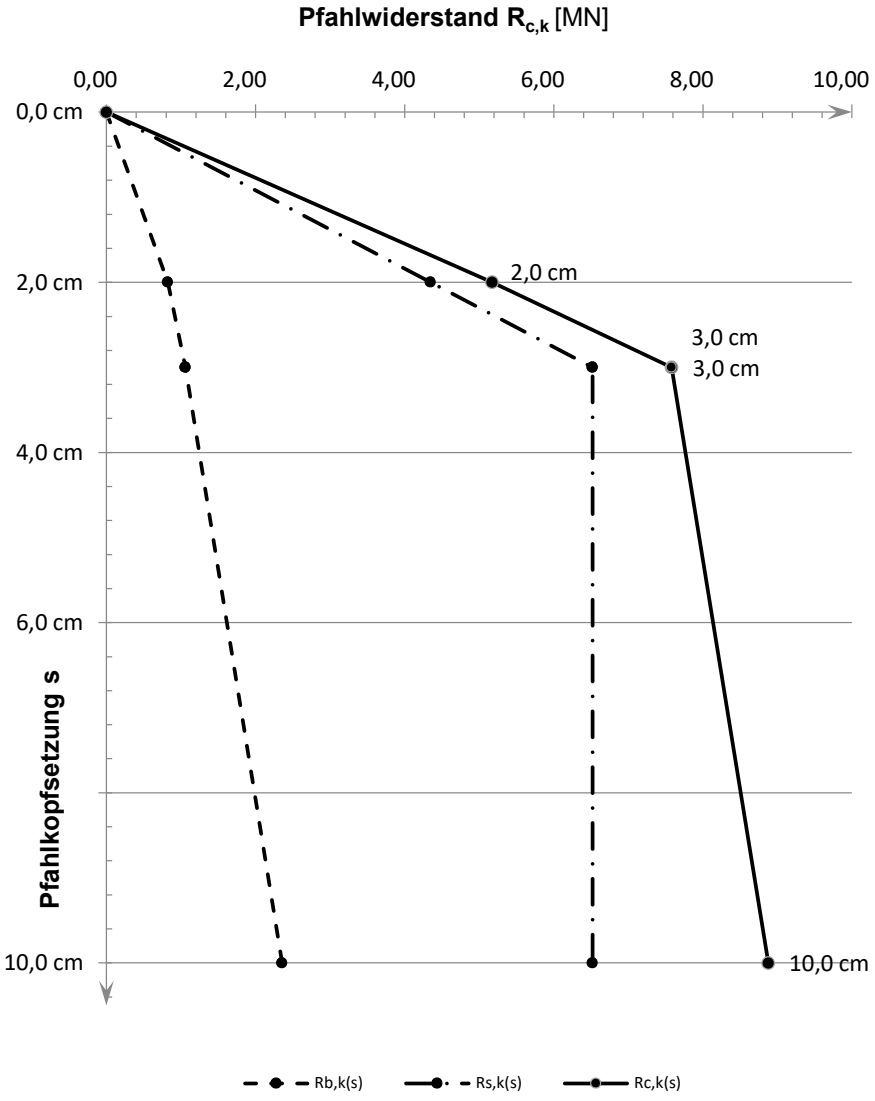
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
34,0	8,688	6,332	2,356
34,5	**8,876**	6,520	2,356
35,0	9,065	6,709	2,356

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 34,5 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	2,0 cm	4,347	0,825	5,171
s/D = 0,03	3,0 cm	6,520	1,060	7,580
s_{sg}	3,0 cm	6,520	1,060	7,580
s/D = 0,10	10,0 cm	6,520	2,356	8,876

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 1 Süd

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	5,2	5,2	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	5,2	-	7,0	1,8	12,00	0	0,120	4,200	Sand
3	7,0	-	7,6	0,6	6,00	0	0,060	2,100	Sand/Schluff
4	7,6	-	9,5	1,9	1,00	0	0,010	0,350	bindig
5	9,5	-	12,0	2,5	18,00	0	0,150	6,300	Sand
6	12,0	-	12,6	0,6	0,00	100	0,040	0,800	bindig
7	12,6	-	17,5	4,9	0,00	200	0,060	1,500	bindig
8	17,5	-	20,0	2,5	0,00	200	0,060	1,500	bindig
9	20,0	-	28,5	8,5	0,00	250	0,060	1,500	bindig
10	28,5	-	29,4	0,9	16,00	0	0,150	5,600	Sand/Schluff
11	29,4	-	35,0	5,6	16,00	0	0,150	5,600	Annahme

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Stahlbetonrammpfahl		
Pfahlbreite:	45 cm		
Minimale Pfahllänge:	29,0 m	Schaftumfang:	1,80 m
Maximale Pfahllänge:	30,0 m	Fußfläche:	0,20 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

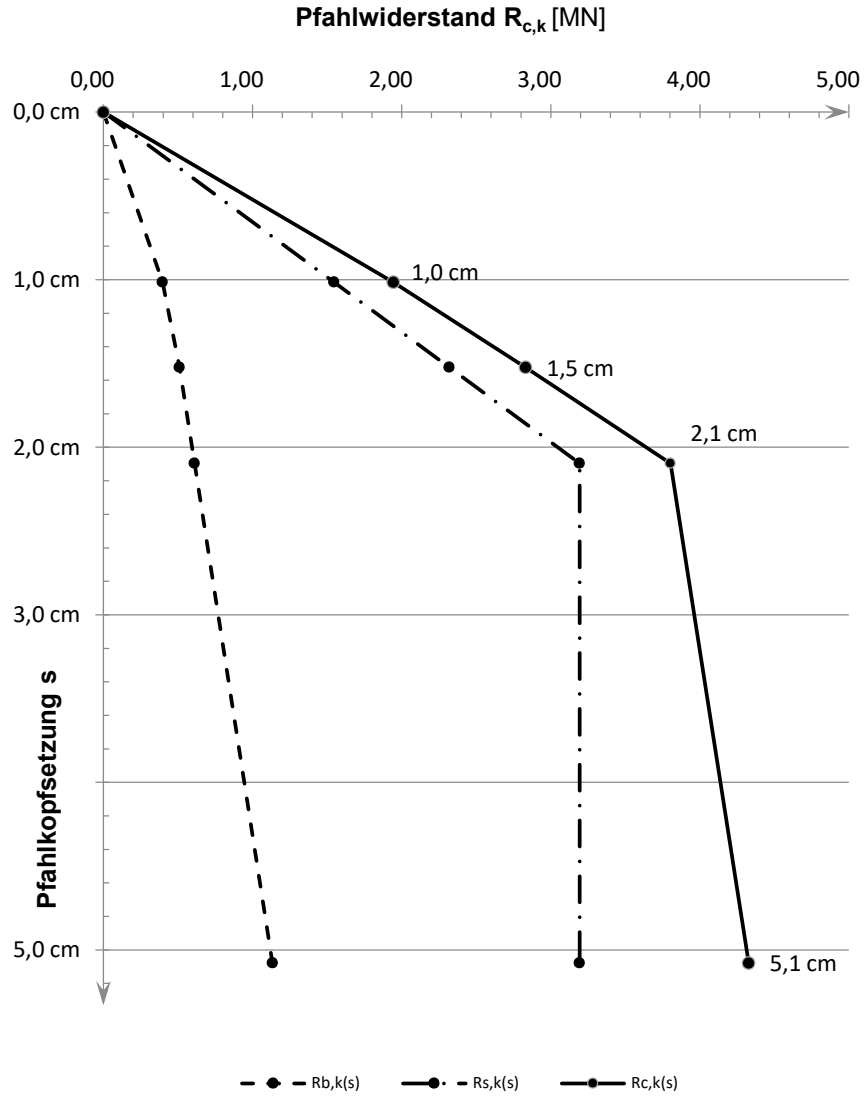
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
29,0	4,192	3,058	1,134
29,5	**4,327**	3,193	1,134
30,0	4,462	3,328	1,134

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 29,5 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,0 cm	1,547	0,397	1,944
s/D = 0,03	1,5 cm	2,320	0,510	2,830
s_{sg}	2,1 cm	3,193	0,611	3,804
s/D = 0,10	5,1 cm	3,193	1,134	4,327

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 1 Süd

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	5,2	5,2	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	5,2	-	7,0	1,8	12,00	0	0,120	4,200	Sand
3	7,0	-	7,6	0,6	6,00	0	0,060	2,100	Sand/Schluff
4	7,6	-	9,5	1,9	1,00	0	0,010	0,350	bindig
5	9,5	-	12,0	2,5	18,00	0	0,150	6,300	Sand
6	12,0	-	12,6	0,6	0,00	100	0,040	0,800	bindig
7	12,6	-	17,5	4,9	0,00	200	0,060	1,500	bindig
8	17,5	-	20,0	2,5	0,00	200	0,060	1,500	bindig
9	20,0	-	28,5	8,5	0,00	250	0,060	1,500	bindig
10	28,5	-	29,4	0,9	16,00	0	0,150	5,600	Sand/Schluff
11	29,4	-	35,0	5,6	16,00	0	0,150	5,600	Annahme

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Ortbetonrammpfahl VI		
Schaftdurchmesser:	51 cm		
Spitzendurchmesser:	62 cm		
Minimale Pfahllänge:	29,0 m	Schaftumfang:	1,60 m
Maximale Pfahllänge:	30,0 m	Fußfläche:	0,30 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

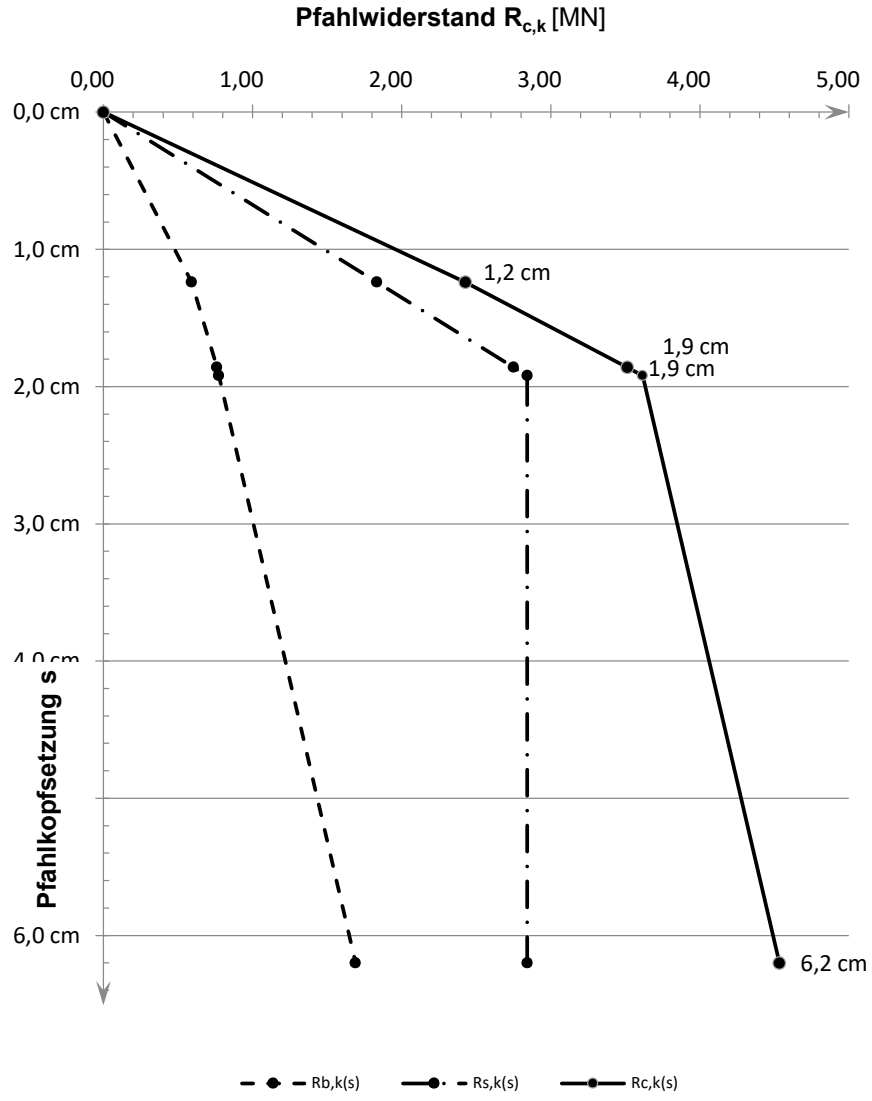
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
29,0	4,413	2,722	1,691
29,5	**4,533**	2,842	1,691
30,0	4,653	2,962	1,691

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 29,5 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,2 cm	1,835	0,592	2,426
s/D = 0,03	1,9 cm	2,752	0,761	3,513
s_{sg}	1,9 cm	2,842	0,774	3,616
s/D = 0,10	6,2 cm	2,842	1,691	4,533

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 1 Süd

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	5,2	5,2	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	5,2	-	7,0	1,8	12,00	0	0,096	2,400	Sand
3	7,0	-	7,6	0,6	6,00	0	0,048	1,200	Sand/Schluff
4	7,6	-	9,5	1,9	1,00	0	0,008	0,200	bindig
5	9,5	-	12,0	2,5	18,00	0	0,120	3,300	Sand
6	12,0	-	12,6	0,6	0,00	100	0,040	0,800	bindig
7	12,6	-	17,5	4,9	0,00	200	0,060	1,500	bindig
8	17,5	-	20,0	2,5	0,00	200	0,060	1,500	bindig
9	20,0	-	28,5	8,5	0,00	250	0,060	1,500	bindig
10	28,5	-	29,4	0,9	16,00	0	0,120	3,100	Sand/Schluff
11	29,4	-	38,0	8,6	16,00	0	0,120	3,100	Annahme

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Bohrpfahl (klassisch)		
Schaftdurchmesser:	100 cm		
Spitzendurchmesser:	100 cm		
Minimale Pfahllänge:	34,0 m	Schaftumfang:	3,14 m
Maximale Pfahllänge:	35,0 m	Fußfläche:	0,79 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

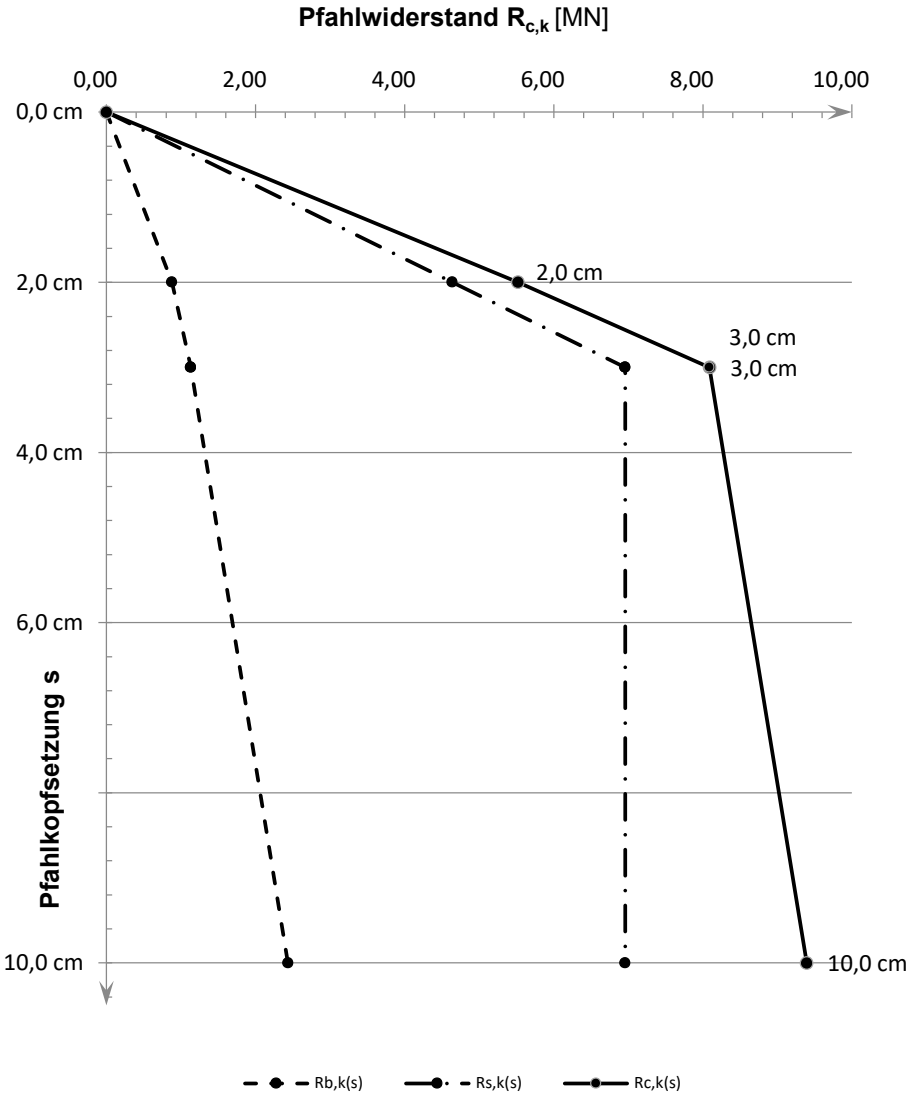
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
34,0	9,204	6,770	2,435
34,5	**9,393**	6,958	2,435
35,0	9,581	7,146	2,435

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 34,5 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	2,0 cm	4,639	0,880	5,518
s/D = 0,03	3,0 cm	6,958	1,131	8,089
s_{sg}	3,0 cm	6,958	1,131	8,089
s/D = 0,10	10,0 cm	6,958	2,435	9,393

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 1 West

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	5,2	5,2	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	5,2	-	7,0	1,8	10,00	0	0,100	3,500	Sand
3	7,0	-	7,6	0,6	6,00	0	0,060	2,100	Sand/Schluff
4	7,6	-	9,6	2,0	1,00	0	0,010	0,350	bindig
5	9,6	-	11,8	2,2	20,00	0	0,150	7,000	Sand
6	11,8	-	12,6	0,8	0,00	100	0,040	0,800	bindig
7	12,6	-	15,7	3,1	0,00	175	0,055	1,325	bindig
8	15,7	-	20,0	4,3	0,00	200	0,060	1,500	bindig
9	20,0	-	24,0	4,0	0,00	250	0,060	1,500	bindig
10	24,0	-	28,3	4,3	0,00	250	0,060	1,500	bindig
11	28,3	-	29,1	0,8	12,00	0	0,120	4,200	Sand/Schluff
12	29,1	-	35,0	5,9	12,00	0	0,120	4,200	Annahme

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Stahlbetonrammpfahl		
Pfahlbreite:	45 cm		
Minimale Pfahllänge:	29,0 m	Schaftumfang:	1,80 m
Maximale Pfahllänge:	30,0 m	Fußfläche:	0,20 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

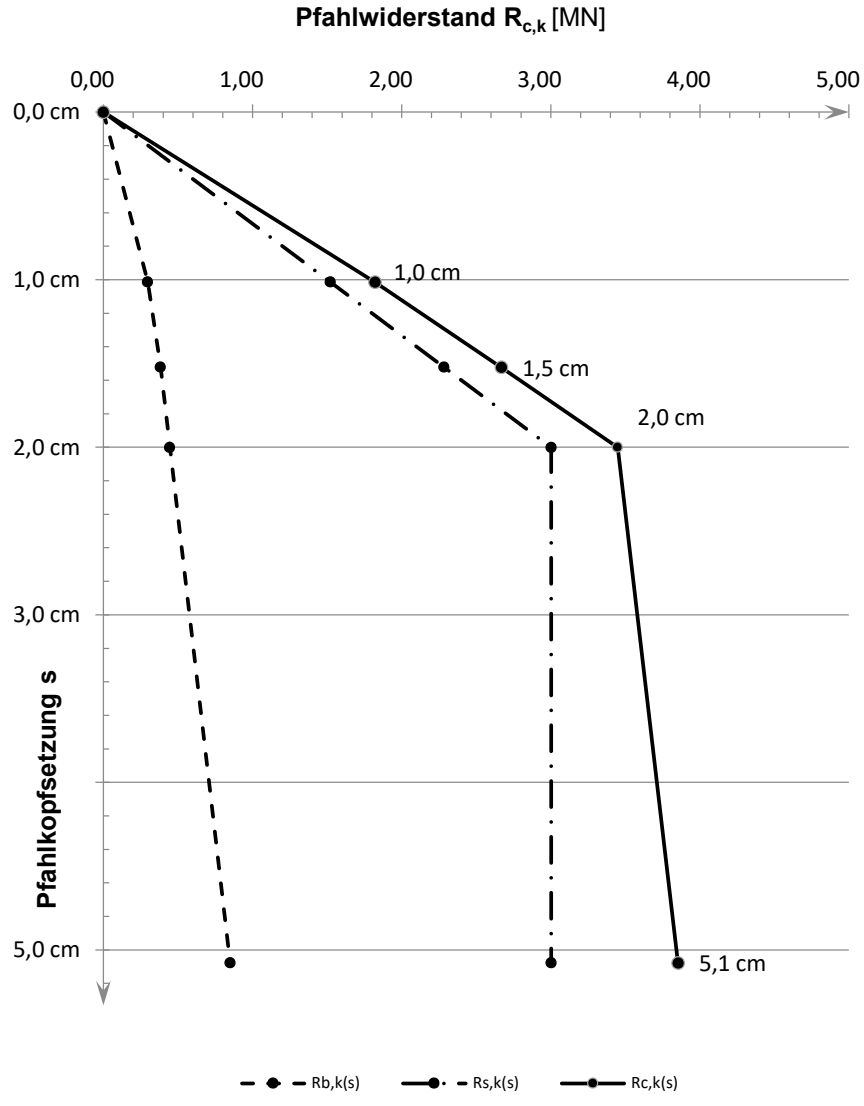
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
29,0	3,746	2,895	0,851
29,5	**3,854**	3,003	0,851
30,0	3,962	3,111	0,851

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 29,5 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,0 cm	1,524	0,298	1,821
s/D = 0,03	1,5 cm	2,286	0,383	2,668
s_{sg}	2,0 cm	3,003	0,446	3,449
s/D = 0,10	5,1 cm	3,003	0,851	3,854

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 1 West

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	5,2	5,2	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	5,2	-	7,0	1,8	10,00	0	0,100	3,500	Sand
3	7,0	-	7,6	0,6	6,00	0	0,060	2,100	Sand/Schluff
4	7,6	-	9,6	2,0	1,00	0	0,010	0,350	bindig
5	9,6	-	11,8	2,2	20,00	0	0,150	7,000	Sand
6	11,8	-	12,6	0,8	0,00	100	0,040	0,800	bindig
7	12,6	-	15,7	3,1	0,00	175	0,055	1,325	bindig
8	15,7	-	20,0	4,3	0,00	200	0,060	1,500	bindig
9	20,0	-	24,0	4,0	0,00	250	0,060	1,500	bindig
10	24,0	-	28,3	4,3	0,00	250	0,060	1,500	bindig
11	28,3	-	29,1	0,8	12,00	0	0,120	4,200	Sand/Schluff
12	29,1	-	35,0	5,9	12,00	0	0,120	4,200	Annahme

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Ortbetonrammpfahl VI		
Schaftdurchmesser:	51 cm		
Spitzendurchmesser:	62 cm		
Minimale Pfahllänge:	29,0 m	Schaftumfang:	1,60 m
Maximale Pfahllänge:	30,0 m	Fußfläche:	0,30 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

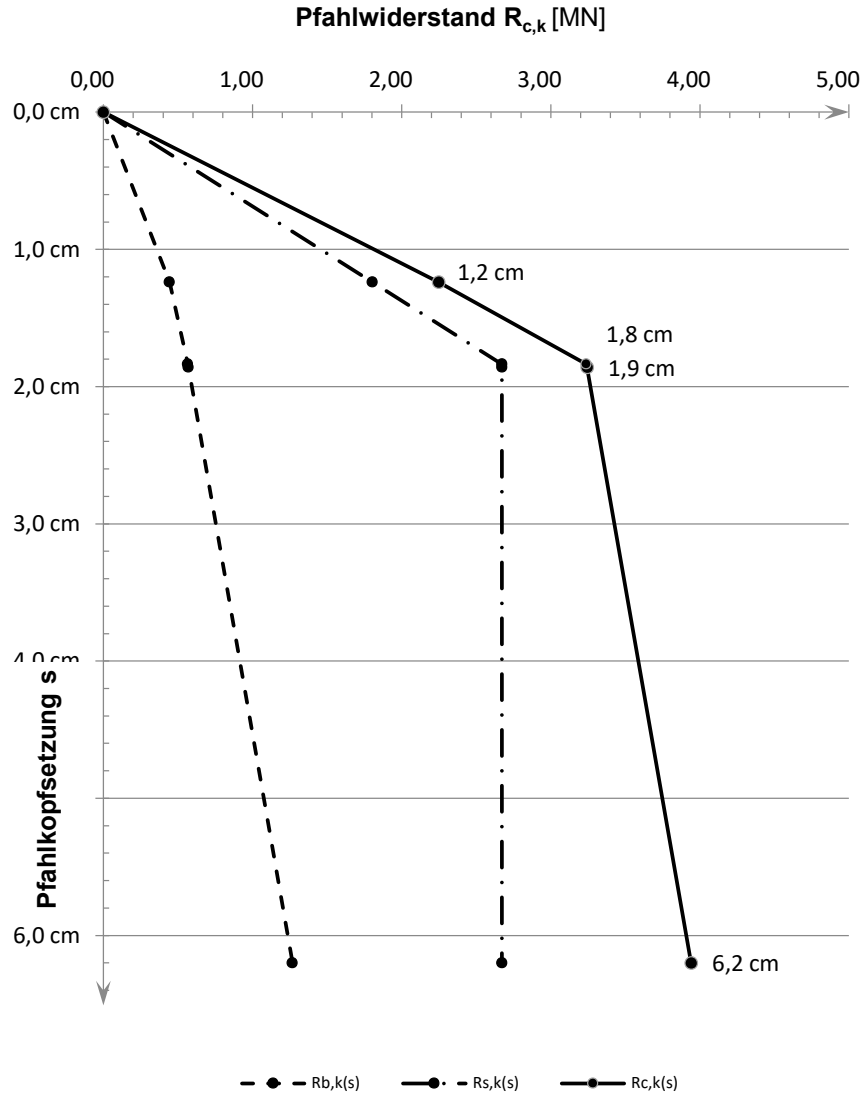
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
29,0	3,845	2,577	1,268
29,5	**3,941**	2,673	1,268
30,0	4,037	2,769	1,268

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 29,5 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,2 cm	1,805	0,444	2,249
s_{sg}	1,8 cm	2,673	0,566	3,239
s/D = 0,03	1,9 cm	2,673	0,571	3,244
s/D = 0,10	6,2 cm	2,673	1,268	3,941

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 1 West

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	5,2	5,2	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	5,2	-	7,0	1,8	10,00	0	0,080	2,000	Sand
3	7,0	-	7,6	0,6	6,00	0	0,048	1,200	Sand/Schluff
4	7,6	-	9,6	2,0	1,00	0	0,008	0,200	bindig
5	9,6	-	11,8	2,2	20,00	0	0,120	3,500	Sand
6	11,8	-	12,6	0,8	0,00	100	0,040	0,800	bindig
7	12,6	-	15,7	3,1	0,00	175	0,055	1,325	bindig
8	15,7	-	20,0	4,3	0,00	200	0,060	1,500	bindig
9	20,0	-	24,0	4,0	0,00	250	0,060	1,500	bindig
10	24,0	-	28,3	4,3	0,00	250	0,060	1,500	bindig
11	28,3	-	29,1	0,8	12,00	0	0,096	2,400	Sand/Schluff
12	29,1	-	38,0	8,9	12,00	0	0,096	2,400	Annahme

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Bohrpfahl (klassisch)		
Schaftdurchmesser:	100 cm		
Spitzendurchmesser:	100 cm		
Minimale Pfahllänge:	34,0 m	Schaftumfang:	3,14 m
Maximale Pfahllänge:	35,0 m	Fußfläche:	0,79 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

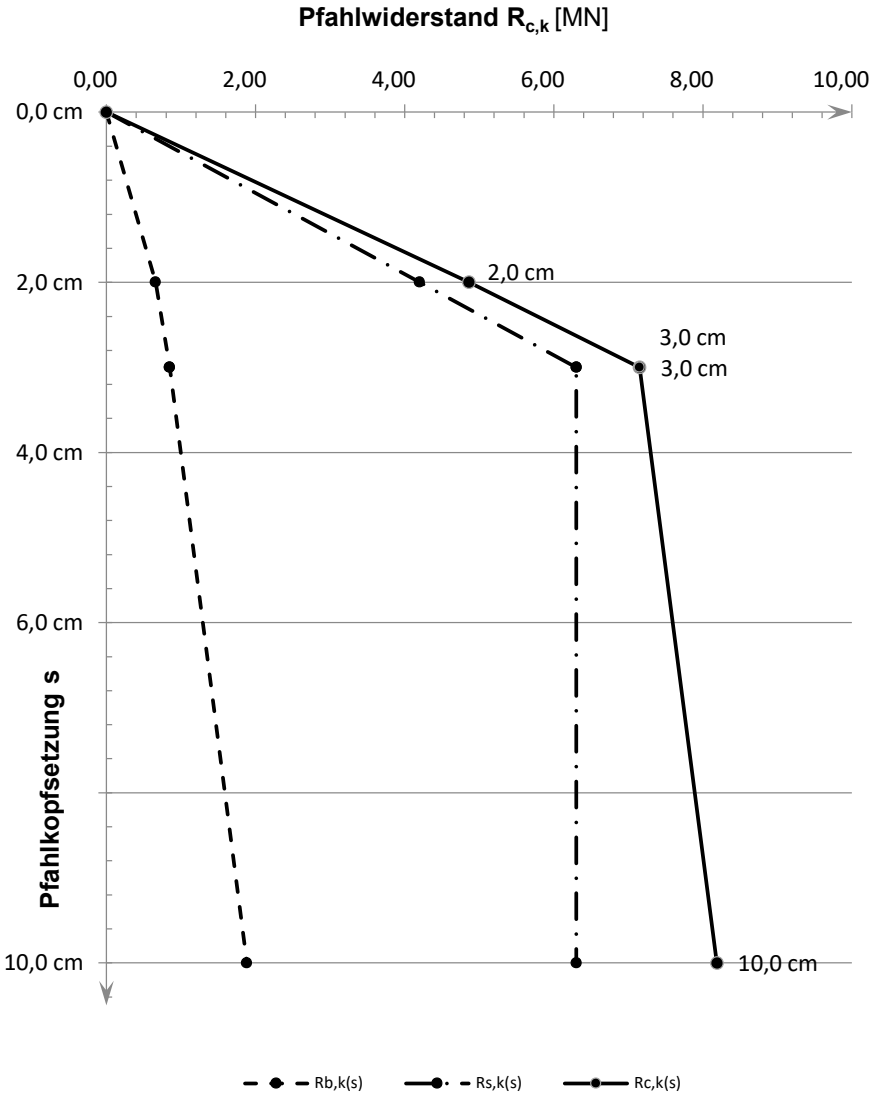
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
34,0	8,038	6,153	1,885
34,5	**8,189**	6,304	1,885
35,0	8,339	6,454	1,885

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 34,5 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	2,0 cm	4,202	0,660	4,862
s/D = 0,03	3,0 cm	6,304	0,848	7,152
s_{sg}	3,0 cm	6,304	0,848	7,152
s/D = 0,10	10,0 cm	6,304	1,885	8,189

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 2 Nord

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]	Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0 - 4,7	4,7	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	4,7 - 6,0	1,3	5,00	0	0,050	1,750	Sand/Schluff
3	6,0 - 7,0	1,0	15,00	0	0,150	5,250	Sand
4	7,0 - 8,2	1,2	10,00	0	0,100	3,500	Sand/Schluff
5	8,2 - 11,2	3,0	1,00	0	0,010	0,350	bindig
6	11,2 - 13,3	2,1	15,00	0	0,150	5,250	Sand
7	13,3 - 15,5	2,2	7,50	0	0,075	2,625	Sand/Schluff
8	15,5 - 16,5	1,0	0,00	100	0,040	0,800	bindig
9	16,5 - 18,3	1,8	7,50	0	0,075	2,625	Sand/Schluff
10	18,3 - 23,0	4,7	0,00	175	0,055	1,325	bindig
11	23,0 - 26,2	3,2	7,50	0	0,075	2,625	bindig
12	26,2 - 29,5	3,3	8,00	0	0,080	2,800	bindig
13	29,5 - 30,8	1,3	10,00	0	0,100	3,500	Sand/Schluff
14	30,8 - 31,5	0,7	0,00	200	0,060	1,500	bindig
15	31,5 - 32,7	1,2	7,50	0	0,075	2,625	Sand/Schluff
16	32,7 - 35,1	2,4	11,00	0	0,110	3,850	Sand

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Stahlbetonrammpfahl		
Pfahlbreite:	45 cm		
Minimale Pfahllänge:	27,5 m	Schaftumfang:	1,80 m
Maximale Pfahllänge:	28,5 m	Fußfläche:	0,20 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

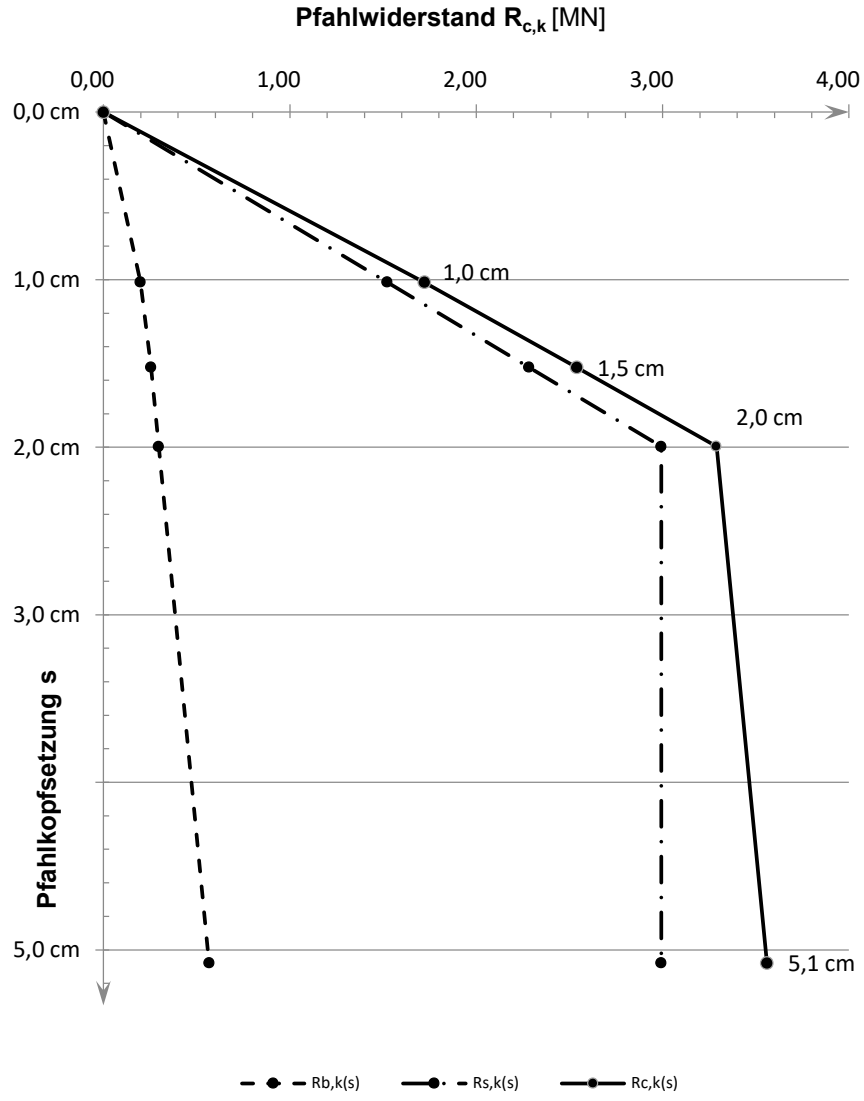
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
27,5	3,488	2,921	0,567
28,0	**3,560**	2,993	0,567
28,5	3,632	3,065	0,567

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 28,0 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,0 cm	1,522	0,198	1,721
s/D = 0,03	1,5 cm	2,284	0,255	2,539
s_{sg}	2,0 cm	2,993	0,297	3,289
s/D = 0,10	5,1 cm	2,993	0,567	3,560

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 2 Nord

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	4,7	4,7	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	4,7	-	6,0	1,3	5,00	0	0,050	1,750	Sand/Schluff
3	6,0	-	7,0	1,0	15,00	0	0,150	5,250	Sand
4	7,0	-	8,2	1,2	10,00	0	0,100	3,500	Sand/Schluff
5	8,2	-	11,2	3,0	1,00	0	0,010	0,350	bindig
6	11,2	-	13,3	2,1	15,00	0	0,150	5,250	Sand
7	13,3	-	15,5	2,2	7,50	0	0,075	2,625	Sand/Schluff
8	15,5	-	16,5	1,0	0,00	100	0,040	0,800	bindig
9	16,5	-	18,3	1,8	7,50	0	0,075	2,625	Sand/Schluff
10	18,3	-	23,0	4,7	0,00	175	0,055	1,325	bindig
11	23,0	-	26,2	3,2	7,50	0	0,075	2,625	bindig
12	26,2	-	29,5	3,3	8,00	0	0,080	2,800	bindig
13	29,5	-	30,8	1,3	10,00	0	0,100	3,500	Sand/Schluff
14	30,8	-	31,5	0,7	0,00	200	0,060	1,500	bindig
15	31,5	-	32,7	1,2	7,50	0	0,075	2,625	Sand/Schluff
16	32,7	-	35,1	2,4	11,00	0	0,110	3,850	Sand

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Ortbetonrammpfahl VI		
Schaftdurchmesser:	51 cm		
Spitzendurchmesser:	62 cm		
Minimale Pfahllänge:	27,5 m	Schaftumfang:	1,60 m
Maximale Pfahllänge:	28,5 m	Fußfläche:	0,30 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

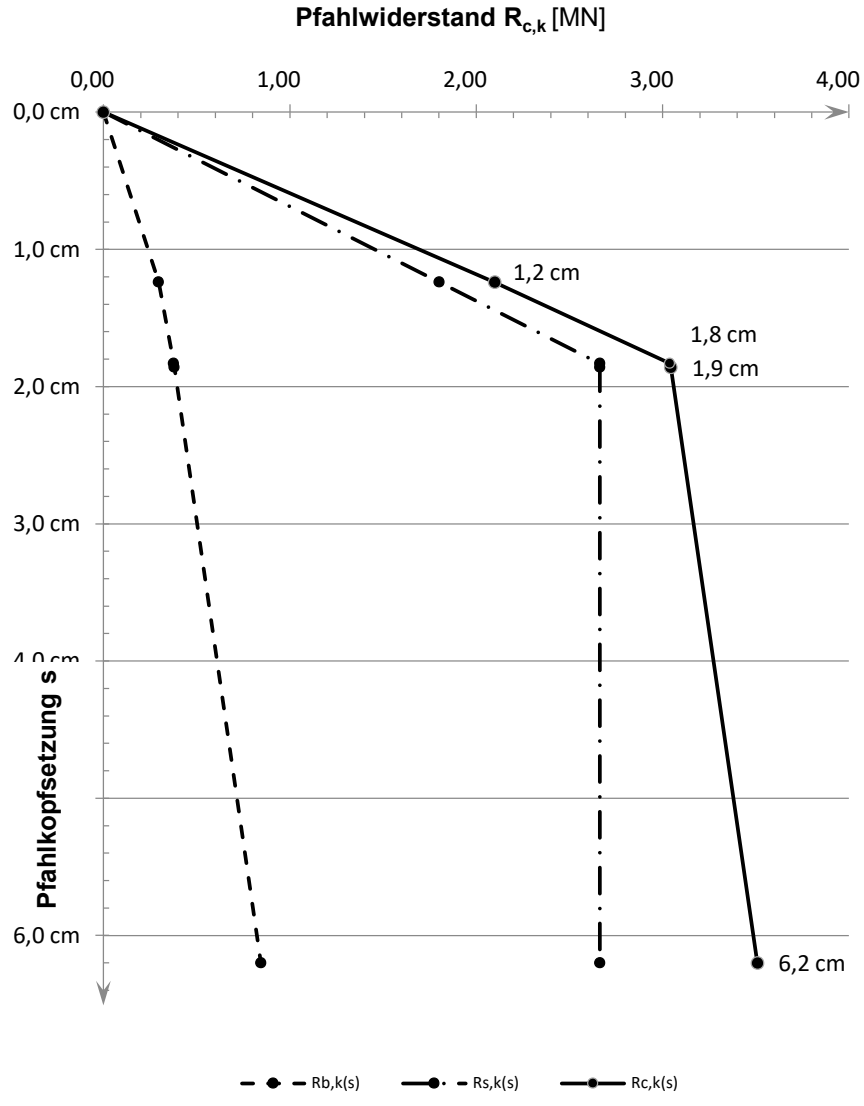
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
27,5	3,445	2,600	0,845
28,0	**3,509**	2,664	0,845
28,5	3,573	2,728	0,845

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 28,0 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,2 cm	1,803	0,296	2,099
s_{sg}	1,8 cm	2,664	0,377	3,040
s/D = 0,03	1,9 cm	2,664	0,380	3,044
s/D = 0,10	6,2 cm	2,664	0,845	3,509

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 2 Nord

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]	Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0 - 4,7	4,7	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	4,7 - 6,0	1,3	5,00	0	0,040	1,000	Sand/Schluff
3	6,0 - 7,0	1,0	15,00	0	0,120	3,000	Sand
4	7,0 - 8,2	1,2	10,00	0	0,080	2,000	Sand/Schluff
5	8,2 - 11,2	3,0	1,00	0	0,008	0,200	bindig
6	11,2 - 13,3	2,1	15,00	0	0,120	3,000	Sand
7	13,3 - 15,5	2,2	7,50	0	0,060	1,500	Sand/Schluff
8	15,5 - 16,5	1,0	0,00	100	0,040	0,800	bindig
9	16,5 - 18,3	1,8	7,50	0	0,060	1,500	Sand/Schluff
10	18,3 - 23,0	4,7	0,00	175	0,055	1,325	bindig
11	23,0 - 26,2	3,2	7,50	0	0,060	1,500	bindig
12	26,2 - 29,5	3,3	8,00	0	0,064	1,600	bindig
13	29,5 - 30,8	1,3	10,00	0	0,080	2,000	Sand/Schluff
14	30,8 - 31,5	0,7	0,00	200	0,060	1,500	bindig
15	31,5 - 32,7	1,2	7,50	0	0,060	1,500	Sand/Schluff
16	32,7 - 35,1	2,4	11,00	0	0,088	2,200	Sand
17	35,1 - 38,0	2,9	11,00	0	0,088	2,200	Annahme: Sand

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Bohrpfahl (klassisch)		
Schaftdurchmesser:	100 cm		
Spitzendurchmesser:	100 cm		
Minimale Pfahllänge:	34,0 m	Schaftumfang:	3,14 m
Maximale Pfahllänge:	35,0 m	Fußfläche:	0,79 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

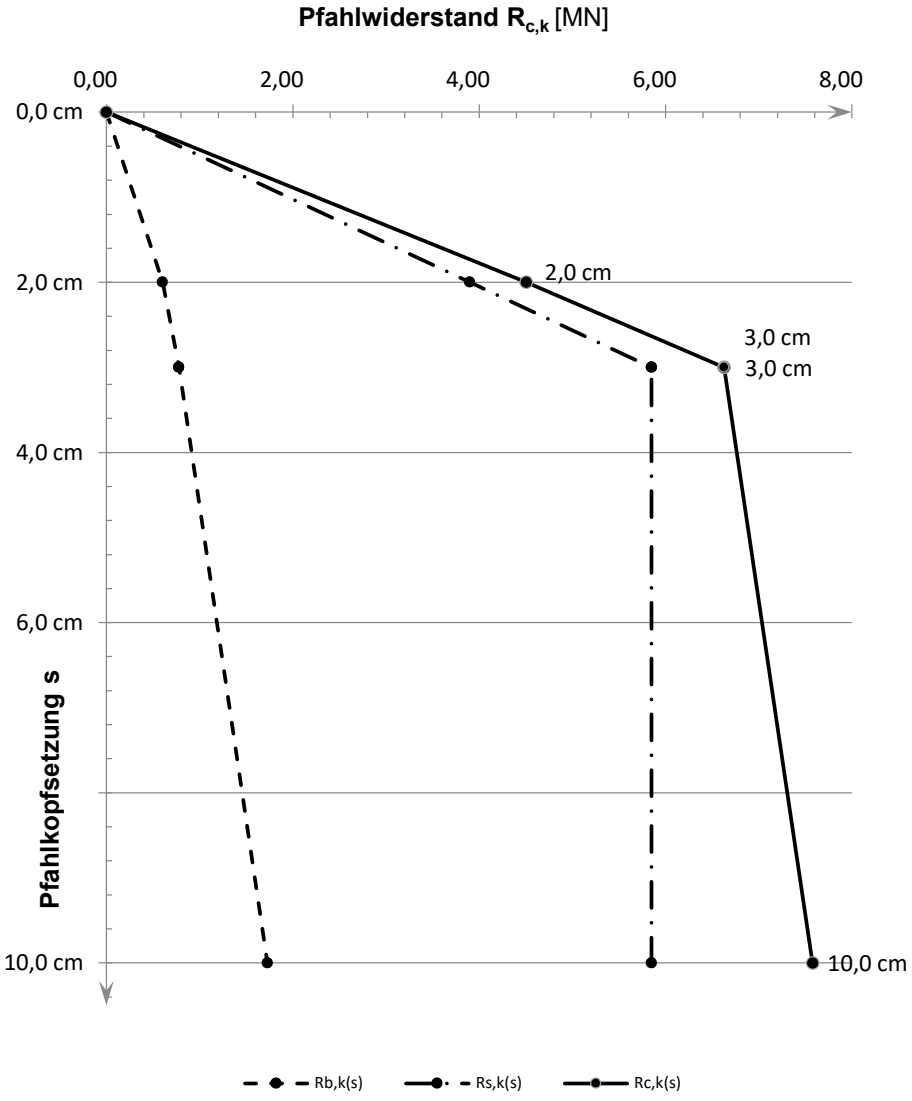
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
34,0	7,440	5,712	1,728
34,5	**7,578**	5,850	1,728
35,0	7,716	5,988	1,728

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 34,5 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	2,0 cm	3,900	0,605	4,505
s/D = 0,03	3,0 cm	5,850	0,778	6,628
s_{sg}	3,0 cm	5,850	0,778	6,628
s/D = 0,10	10,0 cm	5,850	1,728	7,578

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 2 Ost

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	4,8	4,8	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	4,8	-	6,0	1,2	4,00	0	0,040	1,400	Sand/Schluff
3	6,0	-	7,0	1,0	14,00	0	0,140	4,900	Sand
4	7,0	-	8,2	1,2	5,00	0	0,050	1,750	Sand/Schluff
5	8,2	-	9,0	0,8	2,00	0	0,020	0,700	bindig
6	9,0	-	11,2	2,2	1,00	0	0,010	0,350	bindig
7	11,2	-	12,5	1,3	15,00	0	0,150	5,250	Sand
8	12,5	-	13,3	0,8	5,00	0	0,050	1,750	Sand/Schluff
9	13,3	-	14,0	0,7	18,00	0	0,150	6,300	Sand
10	14,0	-	16,8	2,8	0,00	175	0,055	1,325	bindig
11	16,8	-	18,7	1,9	7,50	0	0,075	2,625	bindig
12	18,7	-	20,0	1,3	0,00	150	0,050	1,150	bindig
13	20,0	-	21,0	1,0	0,00	100	0,040	0,800	bindig
14	21,0	-	22,5	1,5	0,00	175	0,055	1,325	bindig
15	22,5	-	26,2	3,7	7,50	0	0,075	2,625	Sand/Schluff
16	26,2	-	35,1	8,9	10,00	0	0,100	3,500	Sand/Schluff

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Stahlbetonrammpfahl		
Pfahlbreite:	45 cm		
Minimale Pfahllänge:	27,5 m	Schaftumfang:	1,80 m
Maximale Pfahllänge:	28,5 m	Fußfläche:	0,20 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

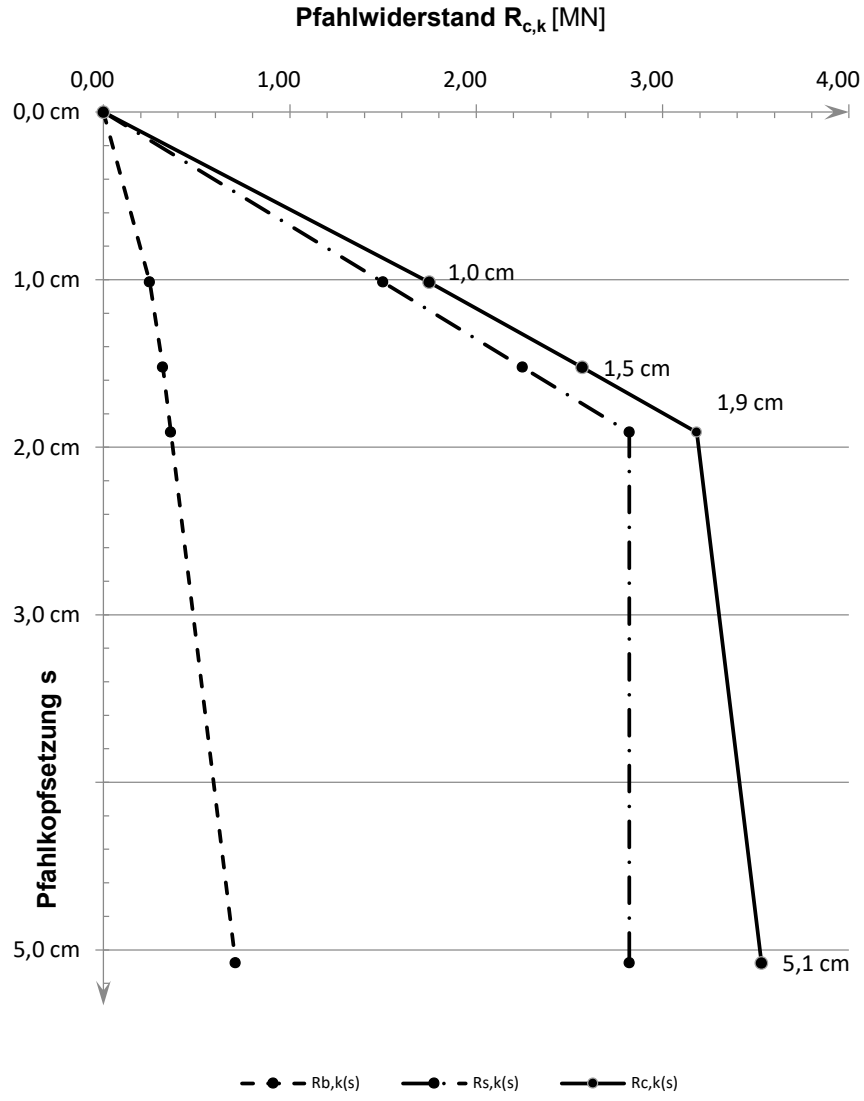
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
27,5	3,440	2,732	0,709
28,0	**3,530**	2,822	0,709
28,5	3,620	2,912	0,709

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 28,0 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,0 cm	1,500	0,248	1,748
s/D = 0,03	1,5 cm	2,249	0,319	2,568
s_{sg}	1,9 cm	2,822	0,361	3,183
s/D = 0,10	5,1 cm	2,822	0,709	3,530

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 2 Ost

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]	Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0 - 4,8	4,8	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	4,8 - 6,0	1,2	4,00	0	0,040	1,400	Sand/Schluff
3	6,0 - 7,0	1,0	14,00	0	0,140	4,900	Sand
4	7,0 - 8,2	1,2	5,00	0	0,050	1,750	Sand/Schluff
5	8,2 - 9,0	0,8	2,00	0	0,020	0,700	bindig
6	9,0 - 11,2	2,2	1,00	0	0,010	0,350	bindig
7	11,2 - 12,5	1,3	15,00	0	0,150	5,250	Sand
8	12,5 - 13,3	0,8	5,00	0	0,050	1,750	Sand/Schluff
9	13,3 - 14,0	0,7	18,00	0	0,150	6,300	Sand
10	14,0 - 16,8	2,8	0,00	175	0,055	1,325	bindig
11	16,8 - 18,7	1,9	7,50	0	0,075	2,625	bindig
12	18,7 - 20,0	1,3	0,00	150	0,050	1,150	bindig
13	20,0 - 21,0	1,0	0,00	100	0,040	0,800	bindig
14	21,0 - 22,5	1,5	0,00	175	0,055	1,325	bindig
15	22,5 - 26,2	3,7	7,50	0	0,075	2,625	Sand/Schluff
16	26,2 - 35,1	8,9	10,00	0	0,100	3,500	Sand/Schluff

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Ortbetonrammpfahl VI		
Schaftdurchmesser:	51 cm		
Spitzendurchmesser:	62 cm		
Minimale Pfahllänge:	27,5 m	Schaftumfang:	1,60 m
Maximale Pfahllänge:	28,5 m	Fußfläche:	0,30 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

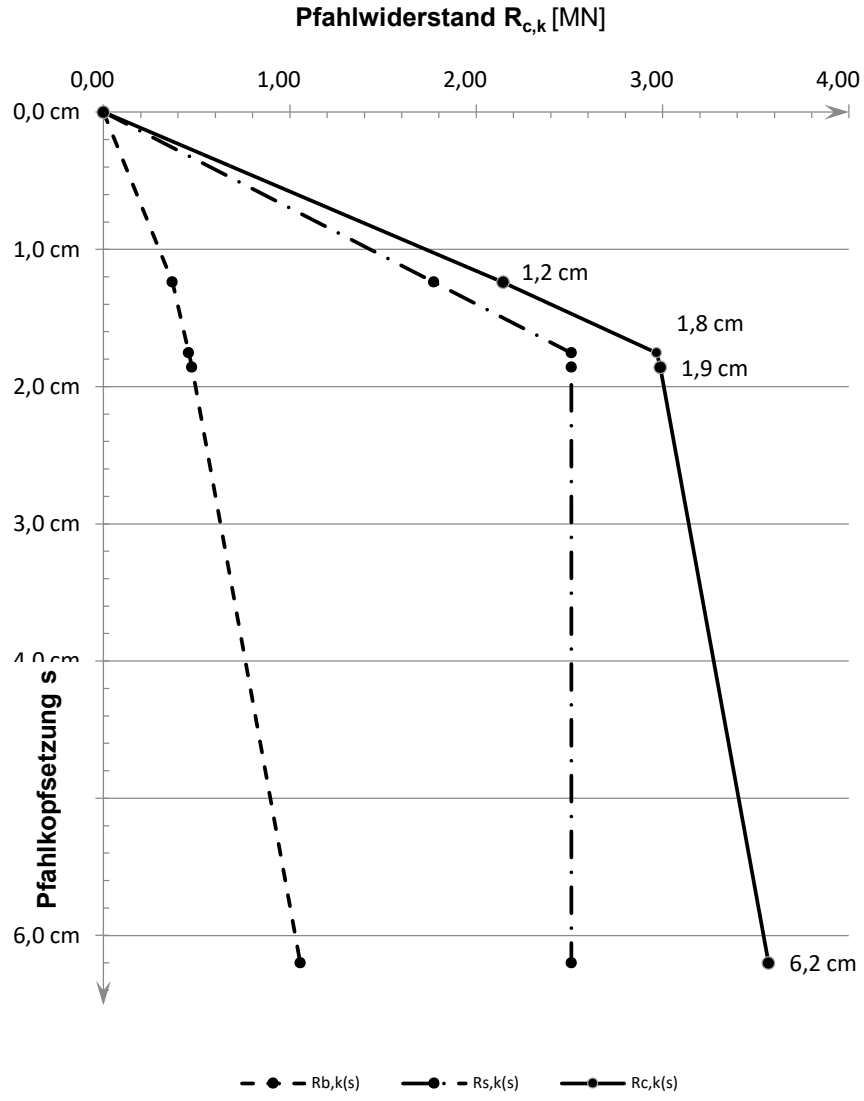
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
27,5	3,488	2,431	1,057
28,0	**3,568**	2,511	1,057
28,5	3,648	2,592	1,057

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 28,0 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,2 cm	1,774	0,370	2,144
s_{sg}	1,8 cm	2,511	0,458	2,969
s/D = 0,03	1,9 cm	2,511	0,476	2,987
s/D = 0,10	6,2 cm	2,511	1,057	3,568

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 2 Ost

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]	Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0 - 4,8	4,8	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	4,8 - 6,0	1,2	4,00	0	0,032	0,800	Sand/Schluff
3	6,0 - 7,0	1,0	14,00	0	0,112	2,800	Sand
4	7,0 - 8,2	1,2	5,00	0	0,040	1,000	Sand/Schluff
5	8,2 - 9,0	0,8	2,00	0	0,016	0,400	bindig
6	9,0 - 11,2	2,2	1,00	0	0,008	0,200	bindig
7	11,2 - 12,5	1,3	15,00	0	0,120	3,000	Sand
8	12,5 - 13,3	0,8	5,00	0	0,040	1,000	Sand/Schluff
9	13,3 - 14,0	0,7	18,00	0	0,120	3,300	Sand
10	14,0 - 16,8	2,8	0,00	175	0,055	1,325	bindig
11	16,8 - 18,7	1,9	7,50	0	0,060	1,500	bindig
12	18,7 - 20,0	1,3	0,00	150	0,050	1,150	bindig
13	20,0 - 21,0	1,0	0,00	100	0,040	0,800	bindig
14	21,0 - 22,5	1,5	0,00	175	0,055	1,325	bindig
15	22,5 - 26,2	3,7	7,50	0	0,060	1,500	Sand/Schluff
16	26,2 - 35,1	8,9	10,00	0	0,080	2,000	Sand/Schluff
17	35,1 - 38,0	2,9	10,00	0	0,080	2,000	Annahme: Sand/Schluff

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Bohrpfahl (klassisch)		
Schaftdurchmesser:	100 cm		
Spitzendurchmesser:	100 cm		
Minimale Pfahllänge:	34,0 m	Schaftumfang:	3,14 m
Maximale Pfahllänge:	35,0 m	Fußfläche:	0,79 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

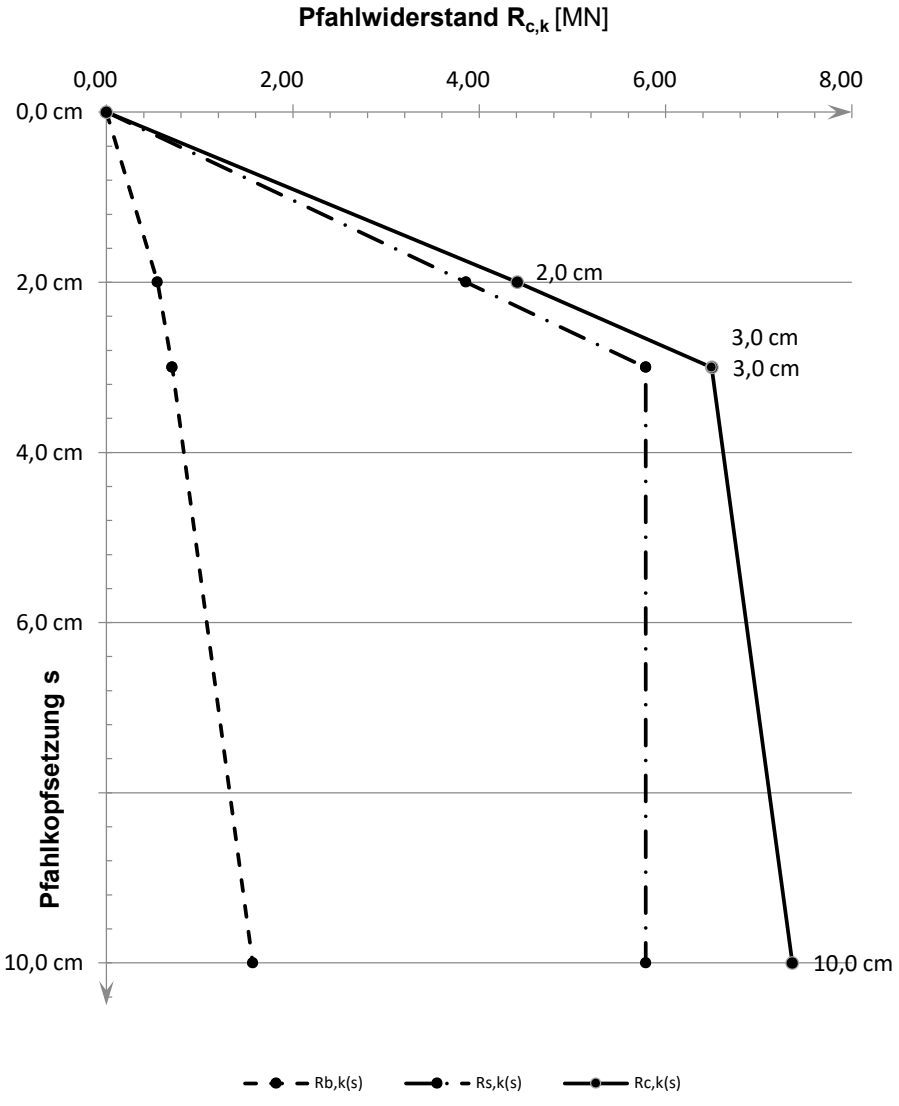
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
34,0	7,233	5,662	1,571
34,5	**7,359**	5,788	1,571
35,0	7,484	5,913	1,571

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 34,5 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	2,0 cm	3,859	0,550	4,408
s/D = 0,03	3,0 cm	5,788	0,707	6,495
s_{sg}	3,0 cm	5,788	0,707	6,495
s/D = 0,10	10,0 cm	5,788	1,571	7,359

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 2 Süd

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	4,8	4,8	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	4,8	-	5,8	1,0	7,50	0	0,075	2,625	Sand/Schluff
3	5,8	-	7,8	2,0	15,00	0	0,150	5,250	Sand
4	7,8	-	8,8	1,0	2,00	0	0,020	0,700	bindig
5	8,8	-	11,0	2,2	1,00	0	0,010	0,350	bindig
6	11,0	-	18,0	7,0	10,00	0	0,100	3,500	Sand/Schluff
7	18,0	-	20,5	2,5	0,00	100	0,040	0,800	bindig
8	20,5	-	22,0	1,5	0,00	175	0,055	1,325	bindig
9	22,0	-	25,3	3,3	7,50	0	0,075	2,625	Sand/Schluff
10	25,3	-	26,2	0,9	11,00	0	0,110	3,850	Sand/Schluff
11	26,2	-	30,1	3,9	8,00	0	0,080	2,800	Sand/Schluff
12	30,1	-	32,0	1,9	8,00	0	0,080	2,800	Annahme: Sand/Schluff

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Stahlbetonrammpfahl		
Pfahlbreite:	45 cm		
Minimale Pfahllänge:	27,5 m	Schaftumfang:	1,80 m
Maximale Pfahllänge:	28,5 m	Fußfläche:	0,20 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

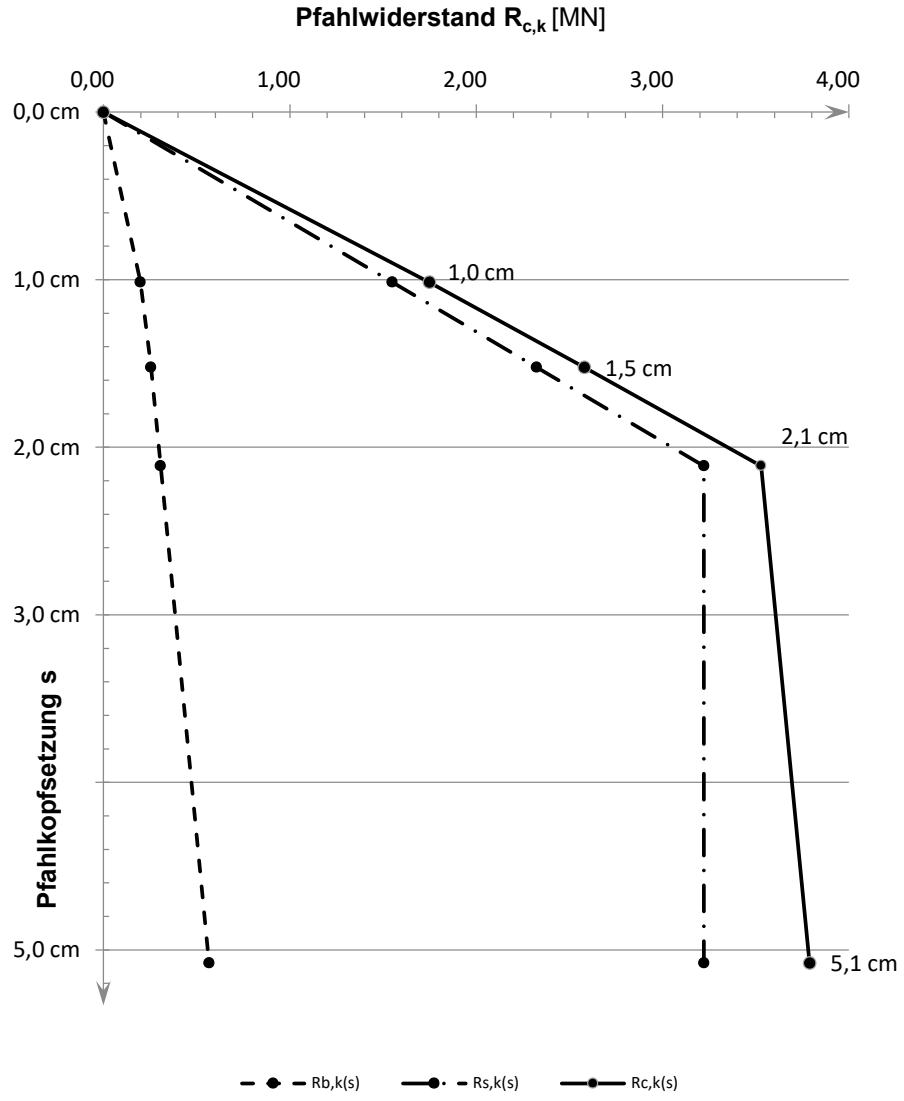
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
27,5	3,717	3,150	0,567
28,0	**3,789**	3,222	0,567
28,5	3,861	3,294	0,567

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 28,0 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,0 cm	1,550	0,198	1,748
s/D = 0,03	1,5 cm	2,325	0,255	2,580
s_{sg}	2,1 cm	3,222	0,307	3,529
s/D = 0,10	5,1 cm	3,222	0,567	3,789

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 2 Süd

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	4,8	4,8	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	4,8	-	5,8	1,0	7,50	0	0,075	2,625	Sand/Schluff
3	5,8	-	7,8	2,0	15,00	0	0,150	5,250	Sand
4	7,8	-	8,8	1,0	2,00	0	0,020	0,700	bindig
5	8,8	-	11,0	2,2	1,00	0	0,010	0,350	bindig
6	11,0	-	18,0	7,0	10,00	0	0,100	3,500	Sand/Schluff
7	18,0	-	20,5	2,5	0,00	100	0,040	0,800	bindig
8	20,5	-	22,0	1,5	0,00	175	0,055	1,325	bindig
9	22,0	-	25,3	3,3	7,50	0	0,075	2,625	Sand/Schluff
10	25,3	-	26,2	0,9	11,00	0	0,110	3,850	Sand/Schluff
11	26,2	-	30,1	3,9	8,00	0	0,080	2,800	Sand/Schluff
12	30,1	-	32,0	1,9	8,00	0	0,080	2,800	Annahme: Sand/Schluff

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Ortbetonrammpfahl VI		
Schaftdurchmesser:	51 cm		
Spitzendurchmesser:	62 cm		
Minimale Pfahllänge:	27,5 m	Schaftumfang:	1,60 m
Maximale Pfahllänge:	28,5 m	Fußfläche:	0,30 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

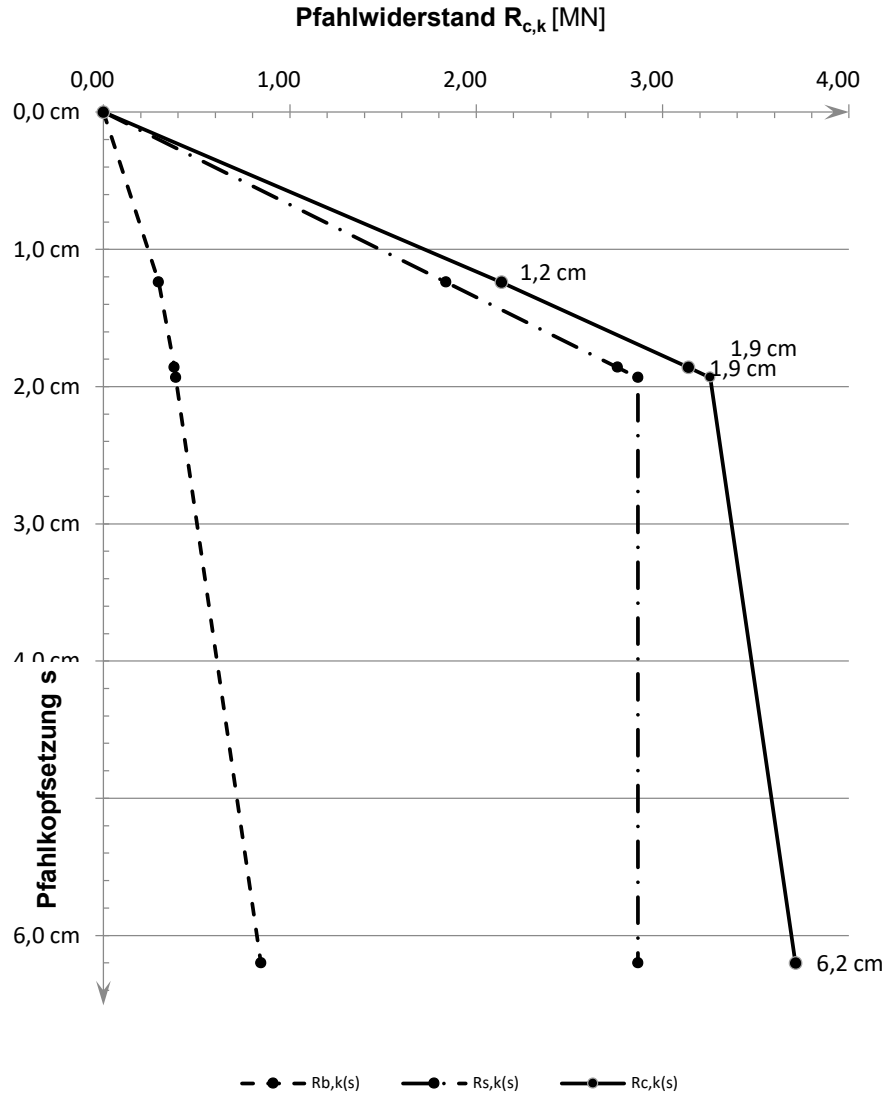
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
27,5	3,649	2,804	0,845
28,0	**3,713**	2,868	0,845
28,5	3,777	2,932	0,845

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 28,0 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,2 cm	1,839	0,296	2,135
s/D = 0,03	1,9 cm	2,758	0,380	3,139
s_{sg}	1,9 cm	2,868	0,388	3,256
s/D = 0,10	6,2 cm	2,868	0,845	3,713

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 2 Süd

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	4,8	4,8	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	4,8	-	5,8	1,0	7,50	0	0,060	1,500	Sand/Schluff
3	5,8	-	7,8	2,0	15,00	0	0,120	3,000	Sand
4	7,8	-	8,8	1,0	2,00	0	0,016	0,400	bindig
5	8,8	-	11,0	2,2	1,00	0	0,008	0,200	bindig
6	11,0	-	18,0	7,0	10,00	0	0,080	2,000	Sand/Schluff
7	18,0	-	20,5	2,5	0,00	100	0,040	0,800	bindig
8	20,5	-	22,0	1,5	0,00	175	0,055	1,325	bindig
9	22,0	-	25,3	3,3	7,50	0	0,060	1,500	Sand/Schluff
10	25,3	-	26,2	0,9	11,00	0	0,088	2,200	Sand/Schluff
11	26,2	-	30,1	3,9	8,00	0	0,064	1,600	Sand/Schluff
12	30,1	-	38,0	7,9	8,00	0	0,064	1,600	Annahme: Sand/Schluff

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Bohrpfahl (klassisch)		
Schaftdurchmesser:	100 cm		
Spitzendurchmesser:	100 cm		
Minimale Pfahllänge:	34,0 m	Schaftumfang:	3,14 m
Maximale Pfahllänge:	35,0 m	Fußfläche:	0,79 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

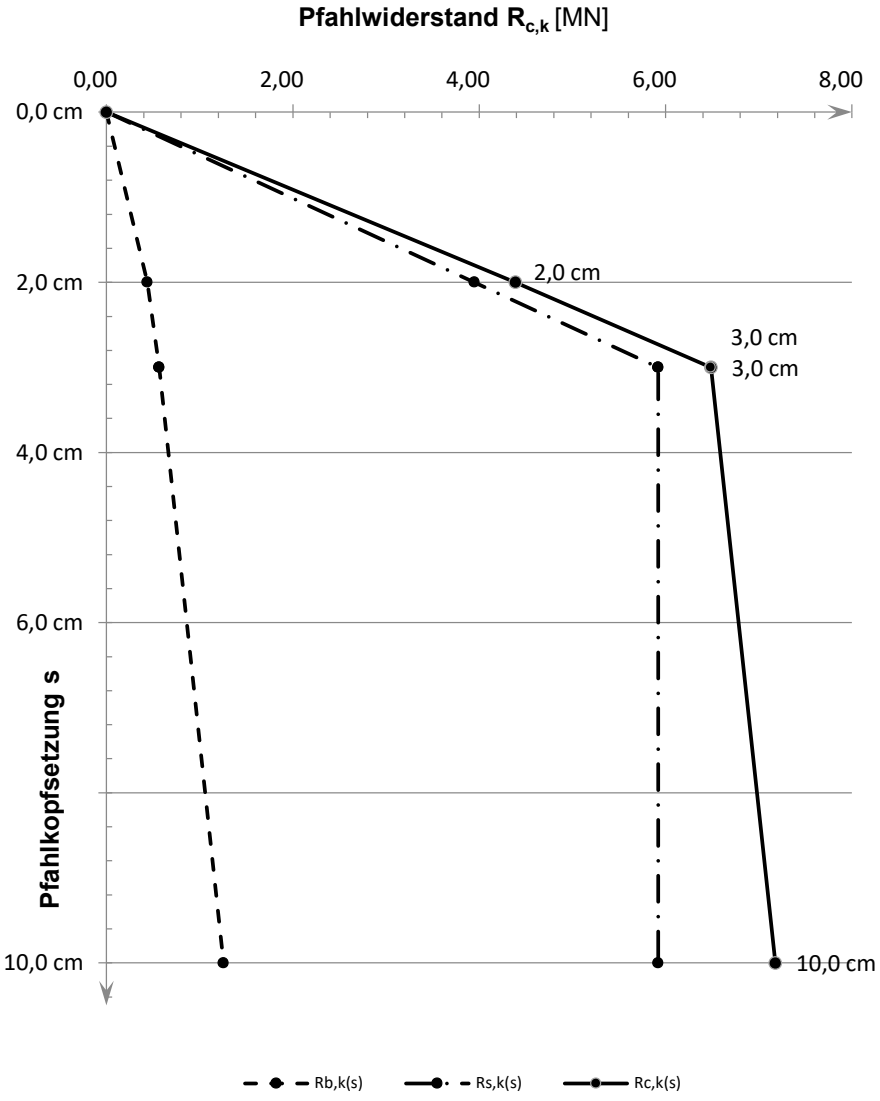
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
34,0	7,076	5,820	1,257
34,5	**7,177**	5,920	1,257
35,0	7,277	6,021	1,257

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 34,5 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	2,0 cm	3,947	0,440	4,387
s/D = 0,03	3,0 cm	5,920	0,565	6,486
s_{sg}	3,0 cm	5,920	0,565	6,486
s/D = 0,10	10,0 cm	5,920	1,257	7,177

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 2 West

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	4,7	4,7	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	4,7	-	6,0	1,3	7,50	0	0,075	2,625	Sand/Schluff
3	6,0	-	7,4	1,4	12,00	0	0,120	4,200	Sand
4	7,4	-	9,0	1,6	4,00	0	0,040	1,400	bindig
5	9,0	-	11,0	2,0	1,00	0	0,010	0,350	bindig
6	11,0	-	15,0	4,0	12,00	0	0,120	4,200	Sand/Schluff
7	15,0	-	16,3	1,3	0,00	200	0,060	1,500	bindig
8	16,3	-	18,0	1,7	10,00	0	0,100	3,500	Sand/Schluff
9	18,0	-	21,3	3,3	0,00	150	0,050	1,150	bindig
10	21,3	-	22,0	0,7	0,00	200	0,060	1,500	bindig
11	22,0	-	24,0	2,0	7,50	0	0,075	2,625	Sand/Schluff
12	24,0	-	29,0	5,0	8,00	0	0,080	2,800	Sand/Schluff
13	29,0	-	34,1	5,1	11,00	0	0,110	3,850	Sand/Schluff

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Stahlbetonrammpfahl		
Pfahlbreite:	45 cm		
Minimale Pfahllänge:	27,5 m	Schaftumfang:	1,80 m
Maximale Pfahllänge:	28,5 m	Fußfläche:	0,20 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

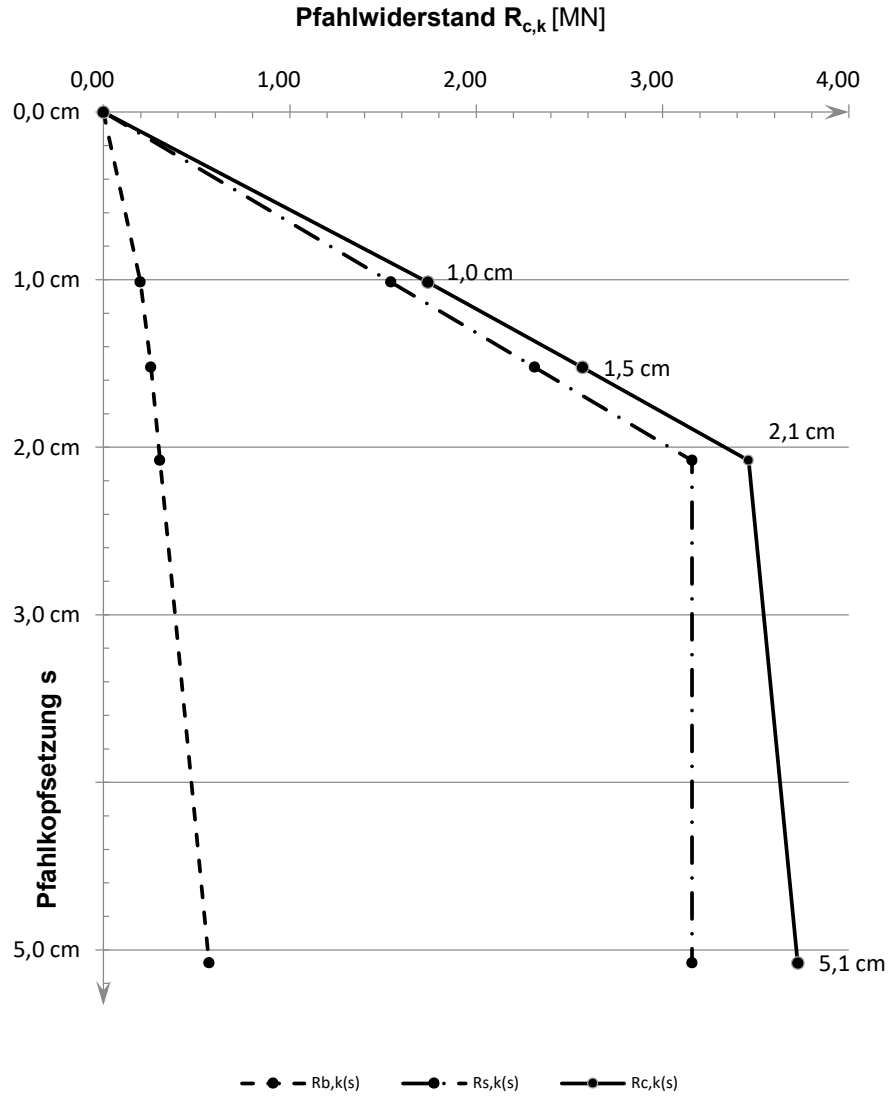
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
27,5	3,653	3,086	0,567
28,0	**3,725**	3,158	0,567
28,5	3,797	3,230	0,567

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 28,0 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,0 cm	1,543	0,198	1,741
s/D = 0,03	1,5 cm	2,314	0,255	2,569
s_{sg}	2,1 cm	3,158	0,304	3,462
s/D = 0,10	5,1 cm	3,158	0,567	3,725

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 2 West

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	4,7	4,7	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	4,7	-	6,0	1,3	7,50	0	0,075	2,625	Sand/Schluff
3	6,0	-	7,4	1,4	12,00	0	0,120	4,200	Sand
4	7,4	-	9,0	1,6	4,00	0	0,040	1,400	bindig
5	9,0	-	11,0	2,0	1,00	0	0,010	0,350	bindig
6	11,0	-	15,0	4,0	12,00	0	0,120	4,200	Sand/Schluff
7	15,0	-	16,3	1,3	0,00	200	0,060	1,500	bindig
8	16,3	-	18,0	1,7	10,00	0	0,100	3,500	Sand/Schluff
9	18,0	-	21,3	3,3	0,00	150	0,050	1,150	bindig
10	21,3	-	22,0	0,7	0,00	200	0,060	1,500	bindig
11	22,0	-	24,0	2,0	7,50	0	0,075	2,625	Sand/Schluff
12	24,0	-	29,0	5,0	8,00	0	0,080	2,800	Sand/Schluff
13	29,0	-	34,1	5,1	11,00	0	0,110	3,850	Sand/Schluff

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Ortbetonrammpfahl VI		
Schaftdurchmesser:	51 cm		
Spitzendurchmesser:	62 cm		
Minimale Pfahllänge:	27,5 m	Schaftumfang:	1,60 m
Maximale Pfahllänge:	28,5 m	Fußfläche:	0,30 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

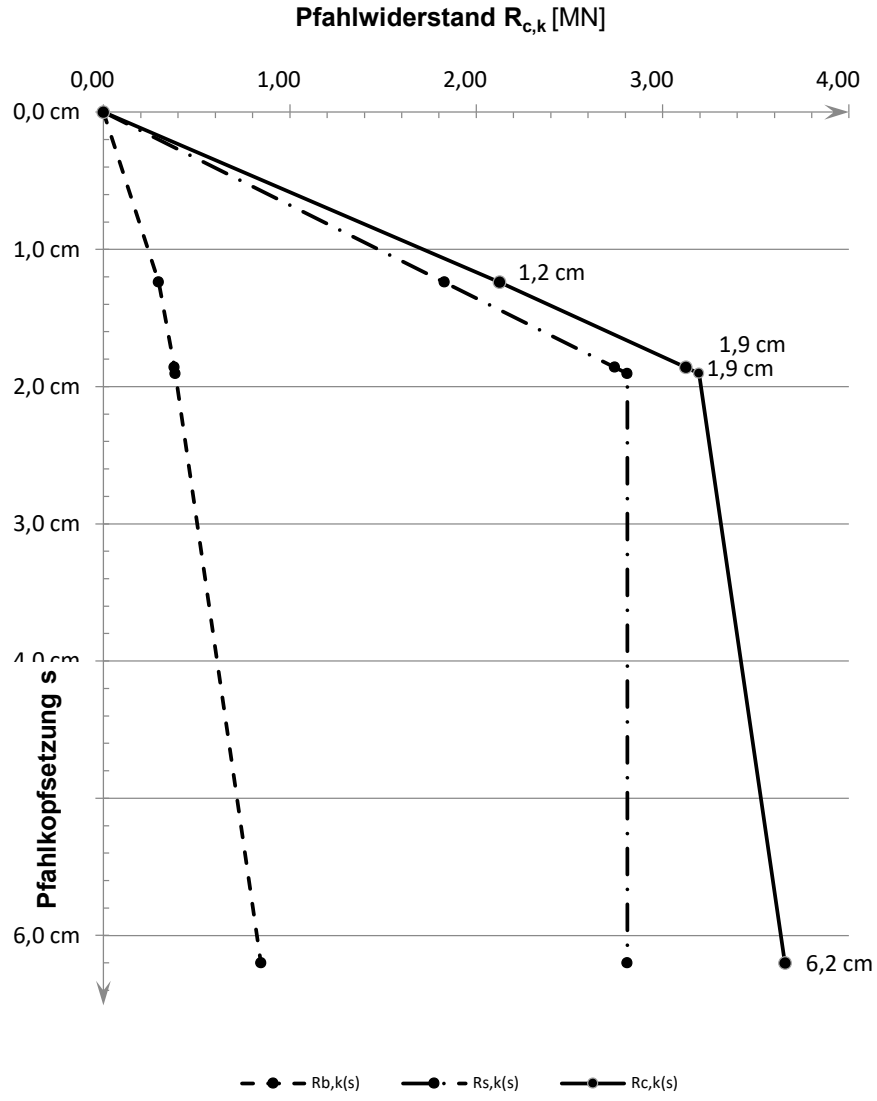
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
27,5	3,592	2,747	0,845
28,0	**3,656**	2,811	0,845
28,5	3,721	2,875	0,845

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 28,0 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,2 cm	1,829	0,296	2,125
s/D = 0,03	1,9 cm	2,744	0,380	3,124
s_{sg}	1,9 cm	2,811	0,385	3,196
s/D = 0,10	6,2 cm	2,811	0,845	3,656

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 2 West

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]	Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0 - 4,7	4,7	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	4,7 - 6,0	1,3	7,50	0	0,060	1,500	Sand/Schluff
3	6,0 - 7,4	1,4	12,00	0	0,096	2,400	Sand
4	7,4 - 9,0	1,6	4,00	0	0,032	0,800	bindig
5	9,0 - 11,0	2,0	1,00	0	0,008	0,200	bindig
6	11,0 - 15,0	4,0	12,00	0	0,096	2,400	Sand/Schluff
7	15,0 - 16,3	1,3	0,00	200	0,060	1,500	bindig
8	16,3 - 18,0	1,7	10,00	0	0,080	2,000	Sand/Schluff
9	18,0 - 21,3	3,3	0,00	150	0,050	1,150	bindig
10	21,3 - 22,0	0,7	0,00	200	0,060	1,500	bindig
11	22,0 - 24,0	2,0	7,50	0	0,060	1,500	Sand/Schluff
12	24,0 - 29,0	5,0	8,00	0	0,064	1,600	Sand/Schluff
13	29,0 - 34,1	5,1	11,00	0	0,088	2,200	Sand/Schluff
14	34,1 - 38,0	3,9	11,00	0	0,088	2,200	Annahme: Sand/Schluff

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Bohrpfahl (klassisch)		
Schaftdurchmesser:	100 cm		
Spitzendurchmesser:	100 cm		
Minimale Pfahllänge:	34,0 m	Schaftumfang:	3,14 m
Maximale Pfahllänge:	35,0 m	Fußfläche:	0,79 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

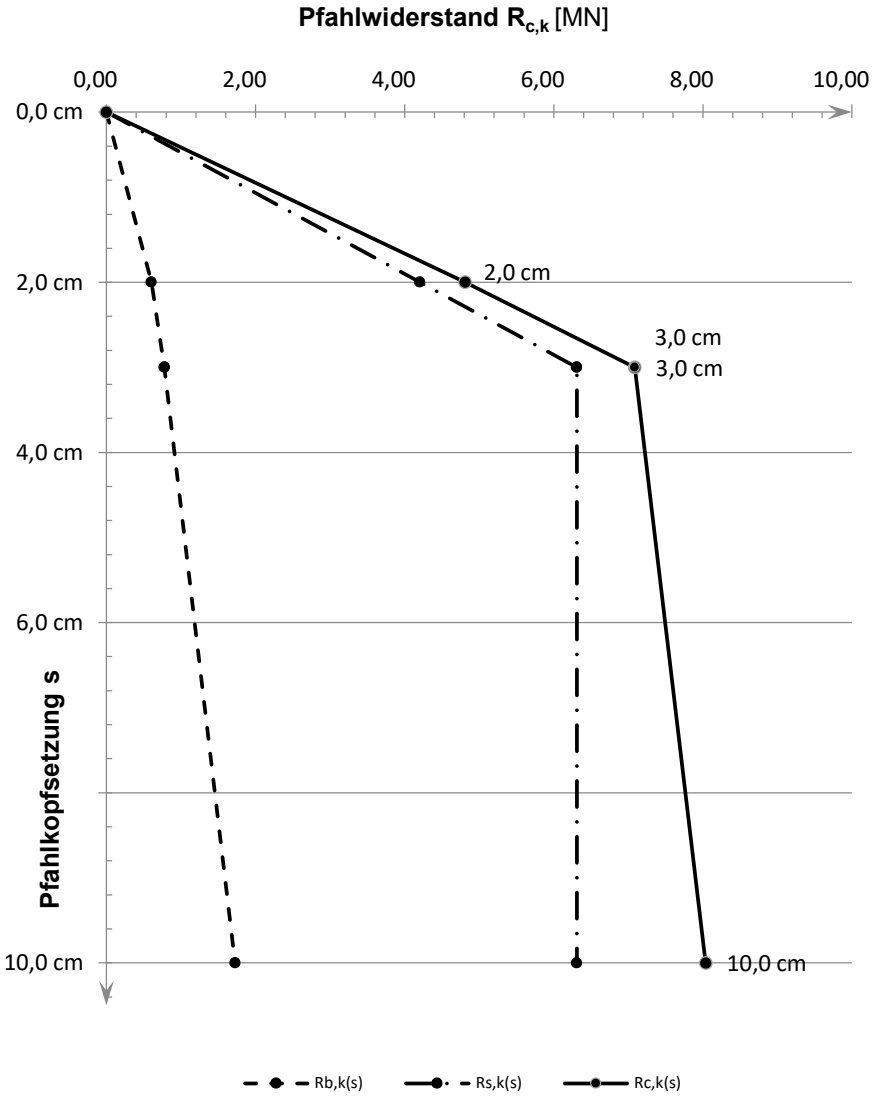
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
34,0	7,900	6,172	1,728
34,5	**8,038**	6,310	1,728
35,0	8,176	6,448	1,728

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 34,5 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	2,0 cm	4,207	0,605	4,812
s/D = 0,03	3,0 cm	6,310	0,778	7,088
s_{sg}	3,0 cm	6,310	0,778	7,088
s/D = 0,10	10,0 cm	6,310	1,728	8,038

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 3 Nord

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	3,8	3,8	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	3,8	-	5,8	2,0	6,00	0	0,060	2,100	Sand
3	5,8	-	9,2	3,4	1,00	0	0,010	0,350	bindig
4	9,2	-	16,0	6,8	0,00	200	0,060	1,500	bindig
5	16,0	-	18,3	2,3	0,00	250	0,060	1,500	bindig
6	18,3	-	19,3	1,0	15,00	0	0,150	5,250	Sand/Schluff
7	19,3	-	21,0	1,7	0,00	200	0,060	1,500	Sand/Schluff
8	21,0	-	30,2	9,2	25,00	0	0,150	8,750	Sand

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Stahlbetonrammpfahl		
Pfahlbreite:	45 cm		
Minimale Pfahllänge:	20,5 m	Schaftumfang:	1,80 m
Maximale Pfahllänge:	21,5 m	Fußfläche:	0,20 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

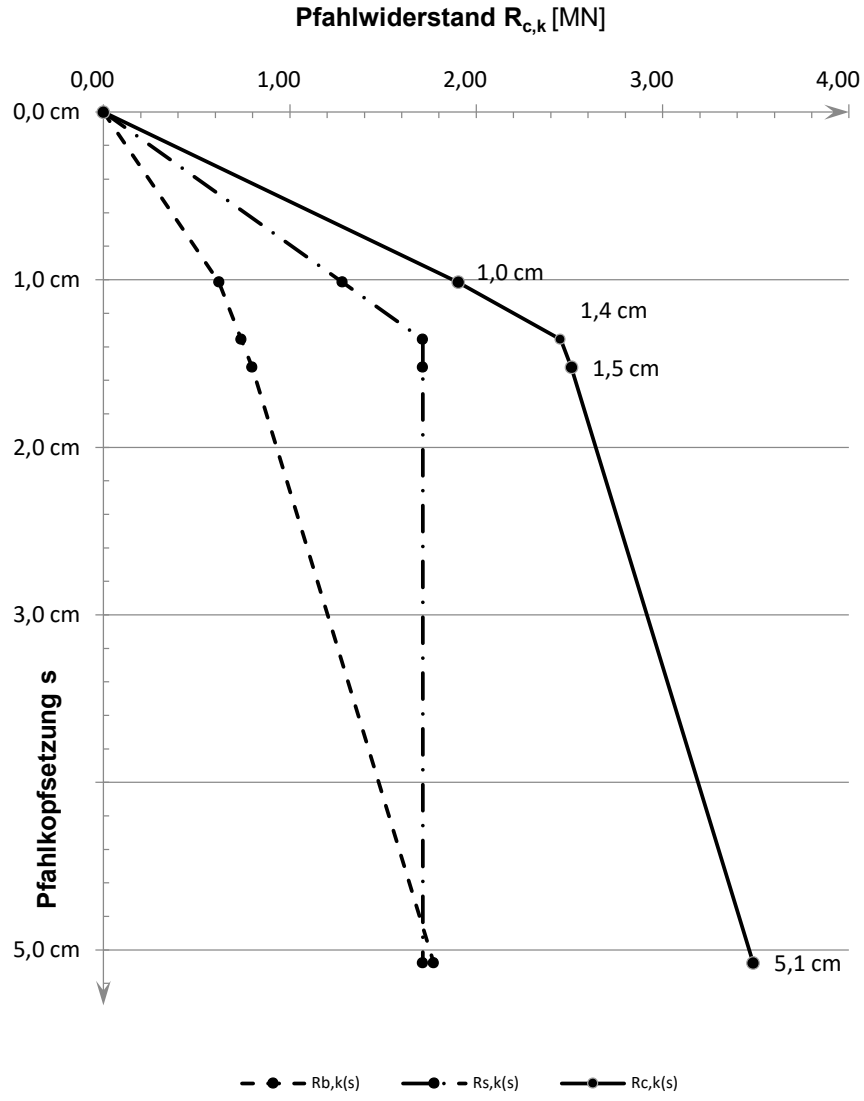
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
20,5	1,963	1,660	0,304
21,0	**3,485**	1,714	1,772
21,5	3,620	1,849	1,772

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 21,0 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,0 cm	1,283	0,620	1,903
s_{sg}	1,4 cm	1,714	0,739	2,453
s/D = 0,03	1,5 cm	1,714	0,797	2,511
s/D = 0,10	5,1 cm	1,714	1,772	3,485

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 3 Nord

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	3,8	3,8	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	3,8	-	5,8	2,0	6,00	0	0,060	2,100	Sand
3	5,8	-	9,2	3,4	1,00	0	0,010	0,350	bindig
4	9,2	-	16,0	6,8	0,00	200	0,060	1,500	bindig
5	16,0	-	18,3	2,3	0,00	250	0,060	1,500	bindig
6	18,3	-	19,3	1,0	15,00	0	0,150	5,250	Sand/Schluff
7	19,3	-	21,0	1,7	0,00	200	0,060	1,500	Sand/Schluff
8	21,0	-	30,2	9,2	25,00	0	0,150	8,750	Sand

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Ortbetonrammpfahl VI		
Schaftdurchmesser:	51 cm		
Spitzendurchmesser:	62 cm		
Minimale Pfahllänge:	20,5 m	Schaftumfang:	1,60 m
Maximale Pfahllänge:	21,5 m	Fußfläche:	0,30 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

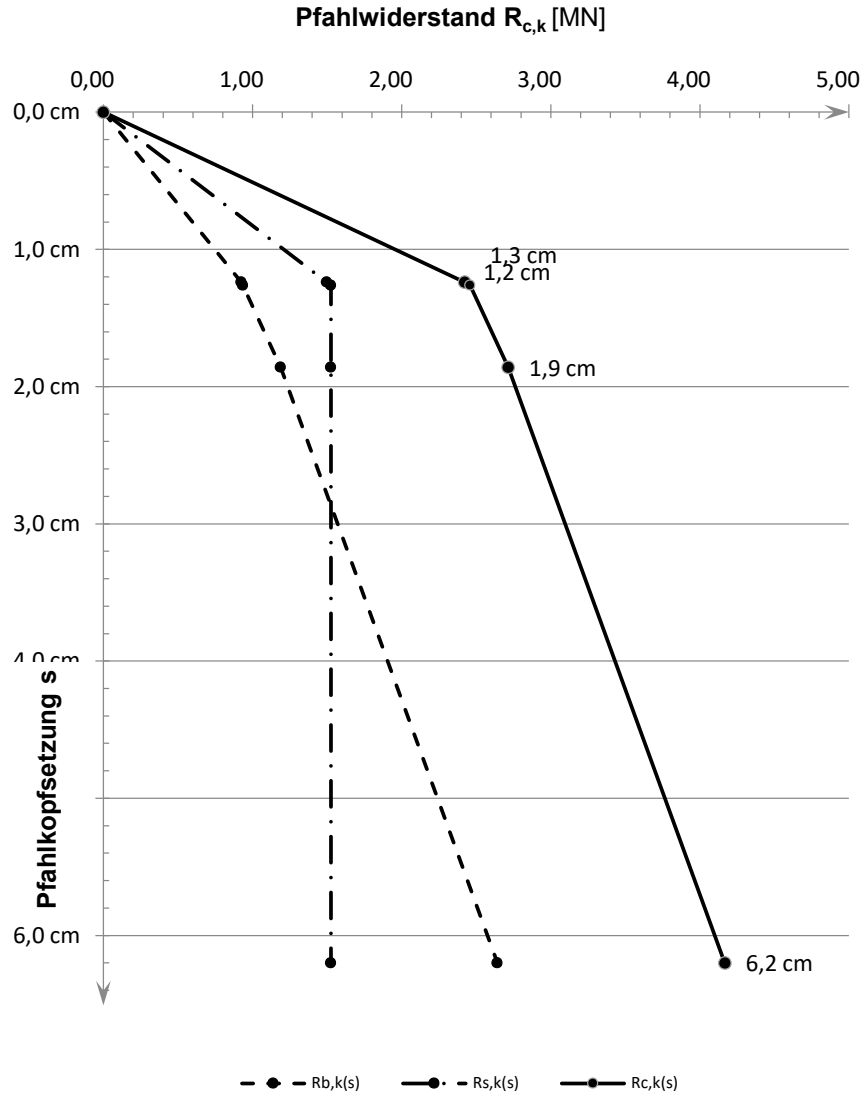
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
20,5	1,930	1,477	0,453
21,0	**4,167**	1,525	2,642
21,5	4,287	1,645	2,642

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 21,0 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,2 cm	1,498	0,925	2,423
s_{sg}	1,3 cm	1,525	0,934	2,460
s/D = 0,03	1,9 cm	1,525	1,189	2,714
s/D = 0,10	6,2 cm	1,525	2,642	4,167

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 3 Nord

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	3,8	3,8	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	3,8	-	5,8	2,0	6,00	0	0,048	1,200	Sand
3	5,8	-	9,2	3,4	1,00	0	0,008	0,200	bindig
4	9,2	-	16,0	6,8	0,00	200	0,060	1,500	bindig
5	16,0	-	18,3	2,3	0,00	250	0,060	1,500	bindig
6	18,3	-	19,3	1,0	15,00	0	0,120	3,000	Sand/Schluff
7	19,3	-	21,0	1,7	0,00	200	0,060	1,500	Sand/Schluff
8	21,0	-	30,2	9,2	25,00	0	0,120	4,000	Sand

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Bohrpfahl (klassisch)		
Schaftdurchmesser:	100 cm		
Spitzendurchmesser:	100 cm		
Minimale Pfahllänge:	24,0 m	Schaftumfang:	3,14 m
Maximale Pfahllänge:	25,0 m	Fußfläche:	0,79 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

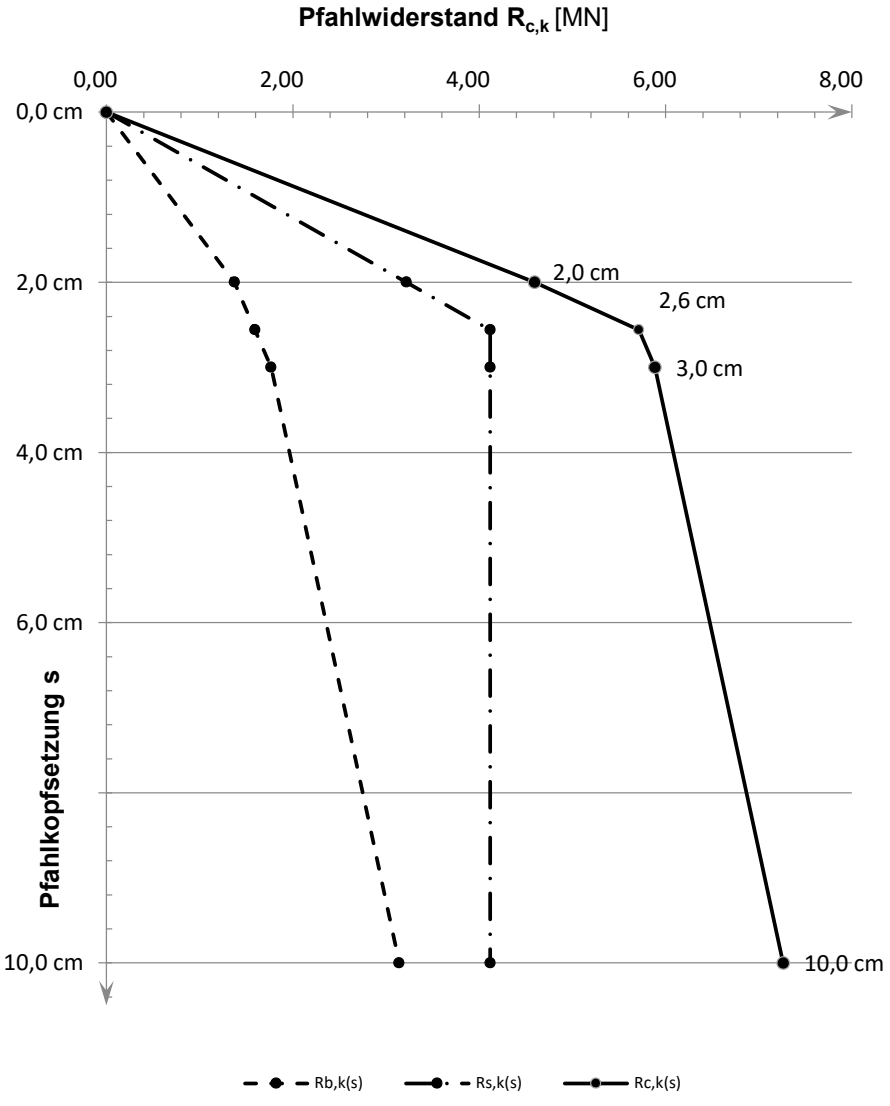
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
24,0	7,072	3,931	3,142
24,5	**7,261**	4,119	3,142
25,0	7,449	4,308	3,142

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 24,5 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	2,0 cm	3,219	1,374	4,593
s_{sg}	2,6 cm	4,119	1,594	5,713
s/D = 0,03	3,0 cm	4,119	1,767	5,886
s/D = 0,10	10,0 cm	4,119	3,142	7,261

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 3 Ost

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	3,8	3,8	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	3,8	-	5,3	1,5	6,00	0	0,060	2,100	Sand
3	5,3	-	6,1	0,8	10,00	0	0,100	3,500	Sand
4	6,1	-	8,8	2,7	0,00	100	0,040	0,800	bindig
5	8,8	-	15,4	6,6	0,00	200	0,060	1,500	bindig
6	15,4	-	16,6	1,2	0,00	250	0,060	1,500	bindig
7	16,6	-	20,2	3,6	12,00	0	0,120	4,200	Sand/Schluff
8	20,2	-	25,2	5,0	25,00	0	0,150	8,750	Sand
9	25,2	-	27,2	2,0	16,00	0	0,150	5,600	Sand/Schluff
10	27,2	-	30,1	2,9	14,00	0	0,140	4,900	Sand

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Stahlbetonrammpfahl		
Pfahlbreite:	45 cm		
Minimale Pfahllänge:	20,5 m	Schaftumfang:	1,80 m
Maximale Pfahllänge:	21,5 m	Fußfläche:	0,20 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

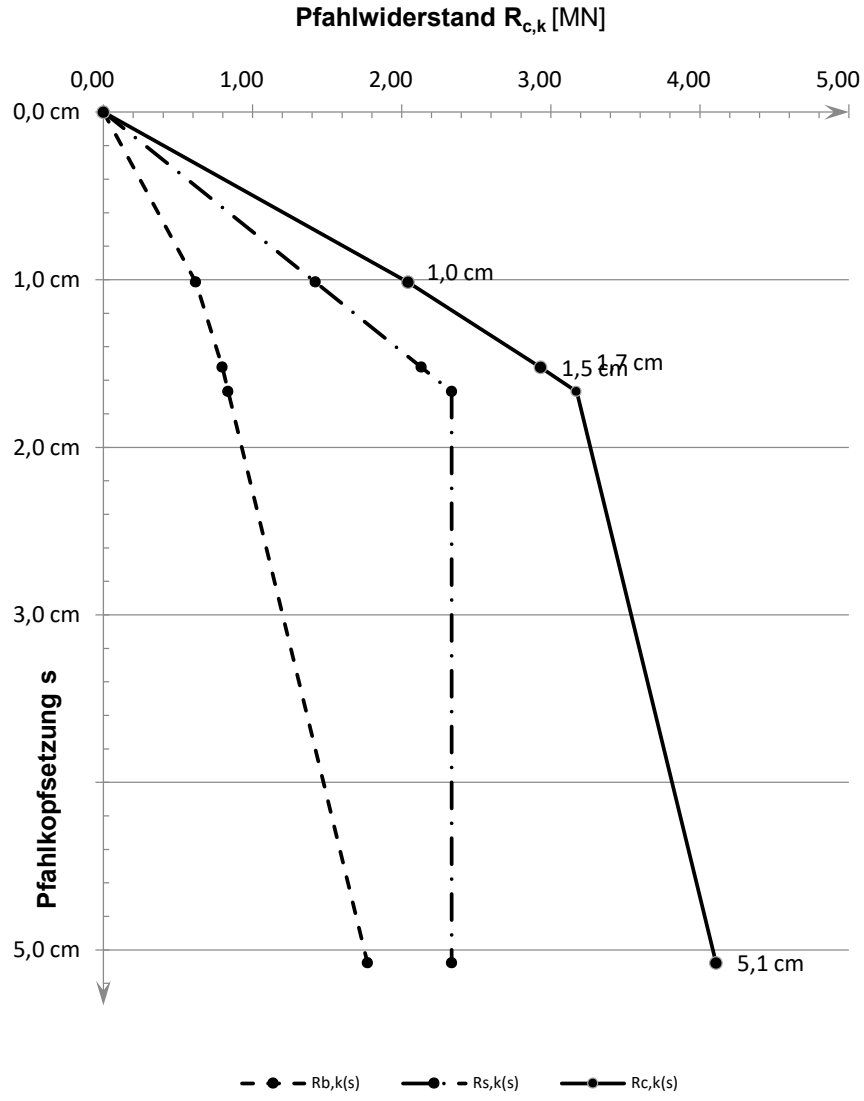
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
20,5	3,973	2,201	1,772
21,0	**4,108**	2,336	1,772
21,5	4,243	2,471	1,772

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 21,0 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,0 cm	1,422	0,620	2,042
s/D = 0,03	1,5 cm	2,133	0,797	2,931
s_{sg}	1,7 cm	2,336	0,837	3,173
s/D = 0,10	5,1 cm	2,336	1,772	4,108

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 3 Ost

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	3,8	3,8	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	3,8	-	5,3	1,5	6,00	0	0,060	2,100	Sand
3	5,3	-	6,1	0,8	10,00	0	0,100	3,500	Sand
4	6,1	-	8,8	2,7	0,00	100	0,040	0,800	bindig
5	8,8	-	15,4	6,6	0,00	200	0,060	1,500	bindig
6	15,4	-	16,6	1,2	0,00	250	0,060	1,500	bindig
7	16,6	-	20,2	3,6	12,00	0	0,120	4,200	Sand/Schluff
8	20,2	-	25,2	5,0	25,00	0	0,150	8,750	Sand
9	25,2	-	27,2	2,0	16,00	0	0,150	5,600	Sand/Schluff
10	27,2	-	30,1	2,9	14,00	0	0,140	4,900	Sand

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Ortbetonrammpfahl VI		
Schaftdurchmesser:	51 cm		
Spitzendurchmesser:	62 cm		
Minimale Pfahllänge:	20,5 m	Schaftumfang:	1,60 m
Maximale Pfahllänge:	21,5 m	Fußfläche:	0,30 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

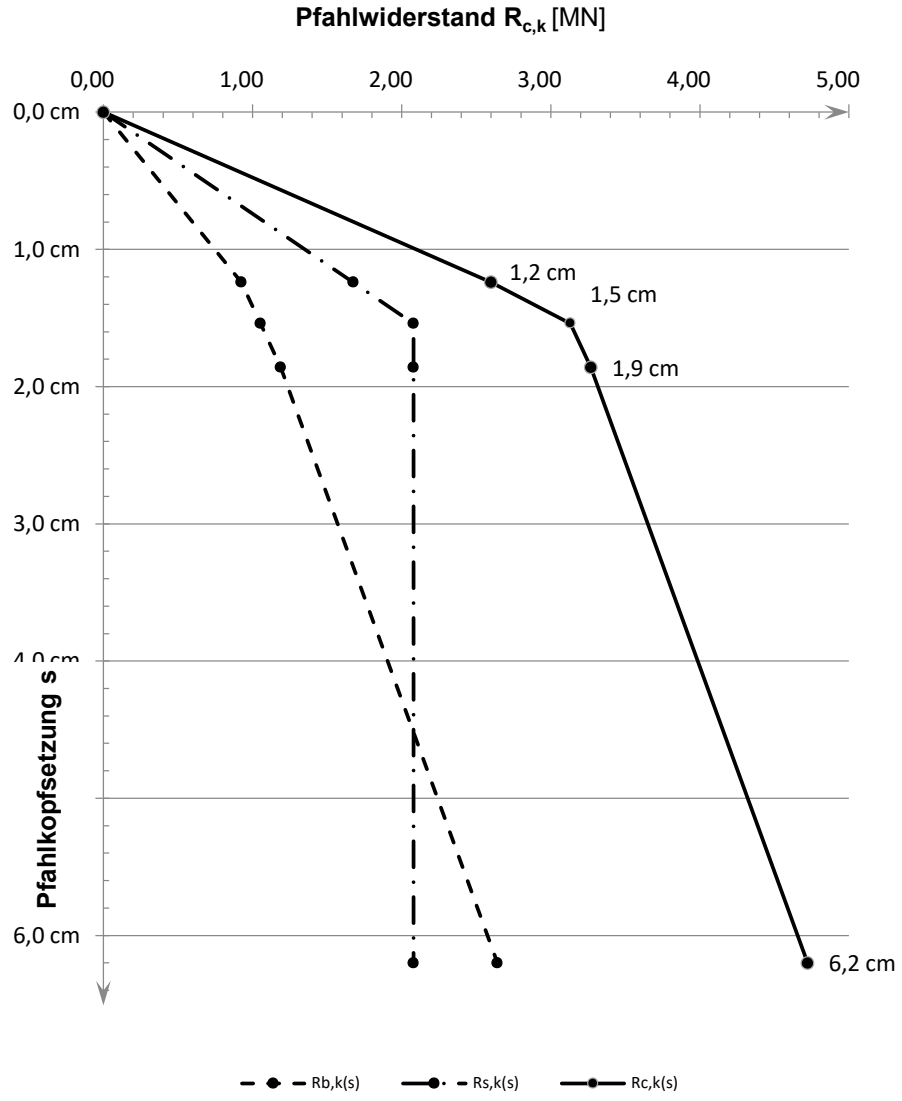
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
20,5	4,601	1,960	2,642
21,0	**4,721**	2,080	2,642
21,5	4,842	2,200	2,642

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 21,0 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,2 cm	1,675	0,925	2,599
s_{sg}	1,5 cm	2,080	1,052	3,132
s/D = 0,03	1,9 cm	2,080	1,189	3,268
s/D = 0,10	6,2 cm	2,080	2,642	4,721

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 3 Ost

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	3,8	3,8	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	3,8	-	5,3	1,5	6,00	0	0,048	1,200	Sand
3	5,3	-	6,1	0,8	10,00	0	0,080	2,000	Sand
4	6,1	-	8,8	2,7	0,00	100	0,040	0,800	bindig
5	8,8	-	15,4	6,6	0,00	200	0,060	1,500	bindig
6	15,4	-	16,6	1,2	0,00	250	0,060	1,500	bindig
7	16,6	-	20,2	3,6	12,00	0	0,096	2,400	Sand/Schluff
8	20,2	-	25,2	5,0	25,00	0	0,120	4,000	Sand
9	25,2	-	27,2	2,0	16,00	0	0,120	3,100	Sand/Schluff
10	27,2	-	30,1	2,9	14,00	0	0,112	2,800	Sand

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Bohrpfahl (klassisch)		
Schaftdurchmesser:	100 cm		
Spitzendurchmesser:	100 cm		
Minimale Pfahllänge:	24,0 m	Schaftumfang:	3,14 m
Maximale Pfahllänge:	25,0 m	Fußfläche:	0,79 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

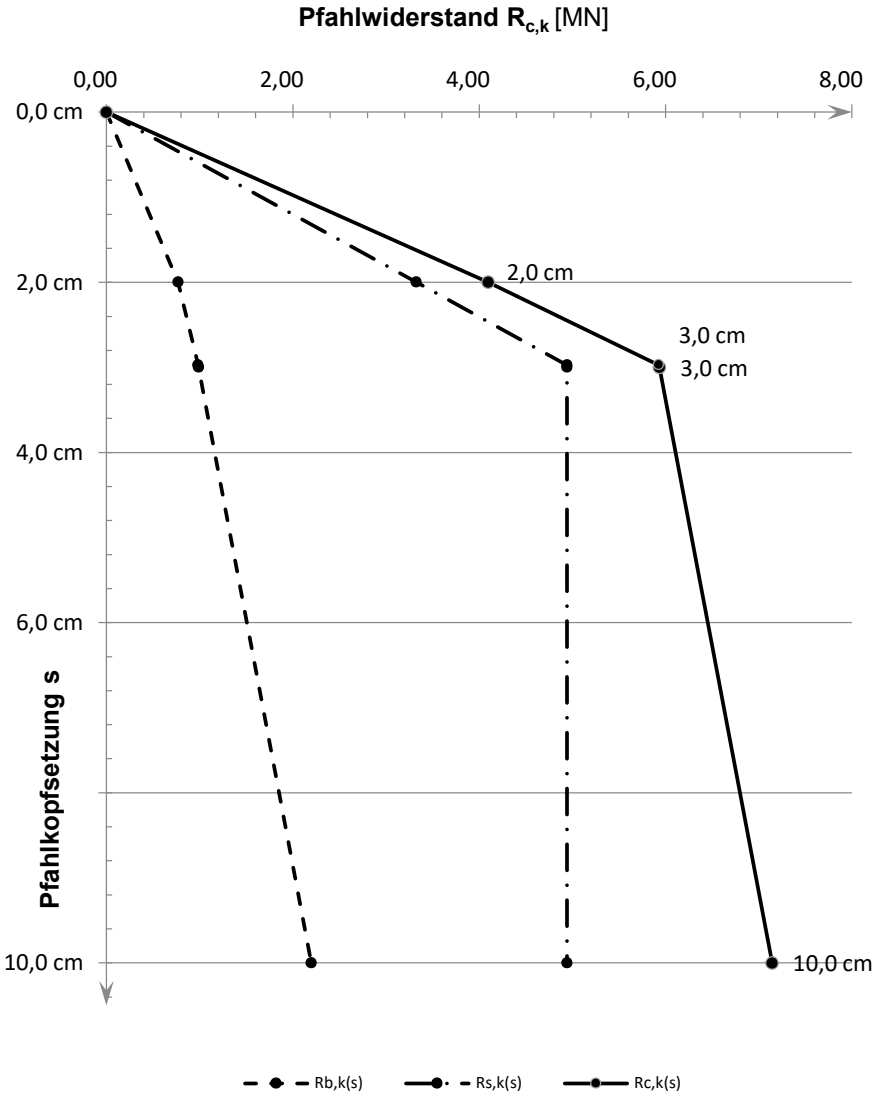
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
24,0	7,190	4,755	2,435
24,5	**7,143**	4,944	2,199
25,0	7,331	5,132	2,199

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 24,5 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	2,0 cm	3,327	0,770	4,097
s_{sg}	3,0 cm	4,944	0,983	5,927
s/D = 0,03	3,0 cm	4,944	0,990	5,933
s/D = 0,10	10,0 cm	4,944	2,199	7,143

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 3 Süd

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	3,7	3,7	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	3,7	-	5,0	1,3	10,00	0	0,100	3,500	Sand
3	5,0	-	6,2	1,2	6,00	0	0,060	2,100	Sand/Schluff
4	6,2	-	7,0	0,8	16,00	0	0,150	5,600	Sand
5	7,0	-	12,0	5,0	0,00	150	0,050	1,150	bindig
6	12,0	-	15,5	3,5	0,00	200	0,060	1,500	bindig
7	15,5	-	18,3	2,8	0,00	250	0,060	1,500	bindig
8	18,3	-	19,2	0,9	12,00	0	0,120	4,200	Sand/Schluff
9	19,2	-	25,5	6,3	25,00	0	0,150	8,750	Sand

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Stahlbetonrammpfahl		
Pfahlbreite:	45 cm		
Minimale Pfahllänge:	20,5 m	Schaftumfang:	1,80 m
Maximale Pfahllänge:	21,5 m	Fußfläche:	0,20 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

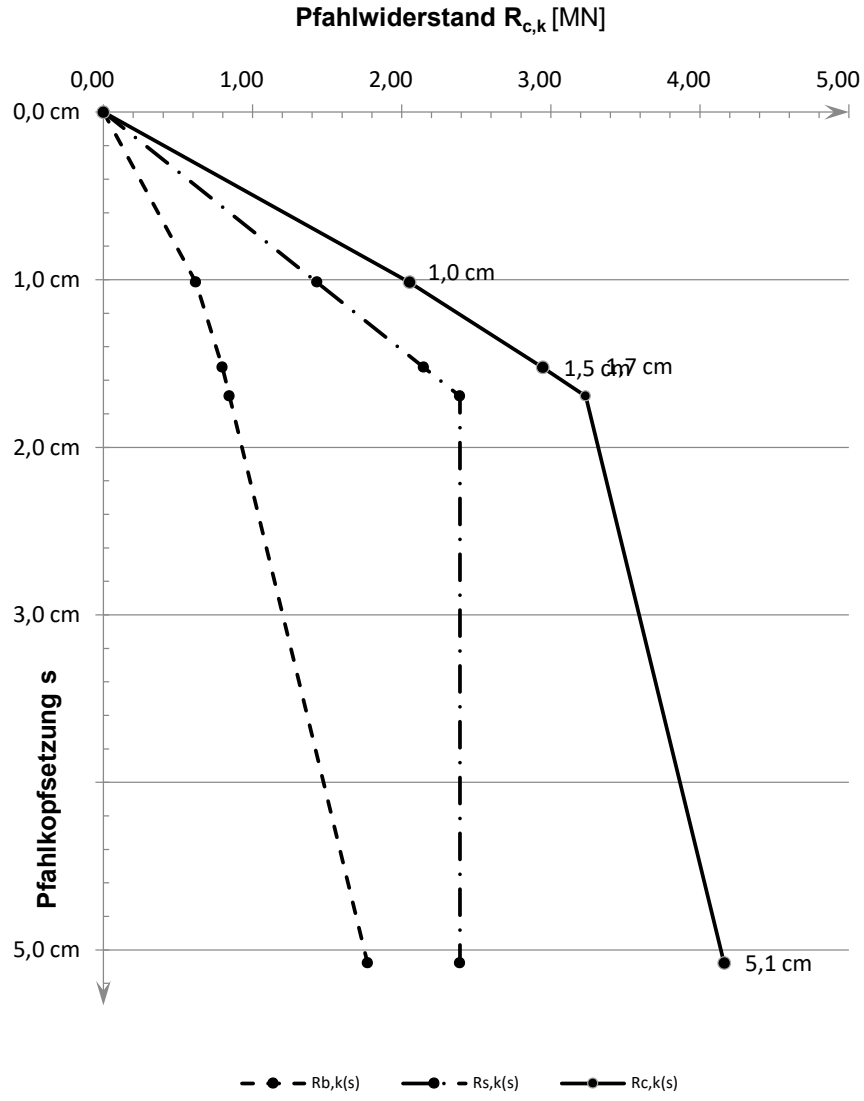
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
20,5	4,027	2,255	1,772
21,0	**4,162**	2,390	1,772
21,5	4,297	2,525	1,772

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 21,0 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,0 cm	1,432	0,620	2,052
s/D = 0,03	1,5 cm	2,148	0,797	2,945
s_{sg}	1,7 cm	2,390	0,844	3,235
s/D = 0,10	5,1 cm	2,390	1,772	4,162

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 3 Süd

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	3,7	3,7	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	3,7	-	5,0	1,3	10,00	0	0,100	3,500	Sand
3	5,0	-	6,2	1,2	6,00	0	0,060	2,100	Sand/Schluff
4	6,2	-	7,0	0,8	16,00	0	0,150	5,600	Sand
5	7,0	-	12,0	5,0	0,00	150	0,050	1,150	bindig
6	12,0	-	15,5	3,5	0,00	200	0,060	1,500	bindig
7	15,5	-	18,3	2,8	0,00	250	0,060	1,500	bindig
8	18,3	-	19,2	0,9	12,00	0	0,120	4,200	Sand/Schluff
9	19,2	-	25,5	6,3	25,00	0	0,150	8,750	Sand

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Ortbetonrammpfahl VI		
Schaftdurchmesser:	51 cm		
Spitzendurchmesser:	62 cm		
Minimale Pfahllänge:	20,5 m	Schaftumfang:	1,60 m
Maximale Pfahllänge:	21,5 m	Fußfläche:	0,30 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

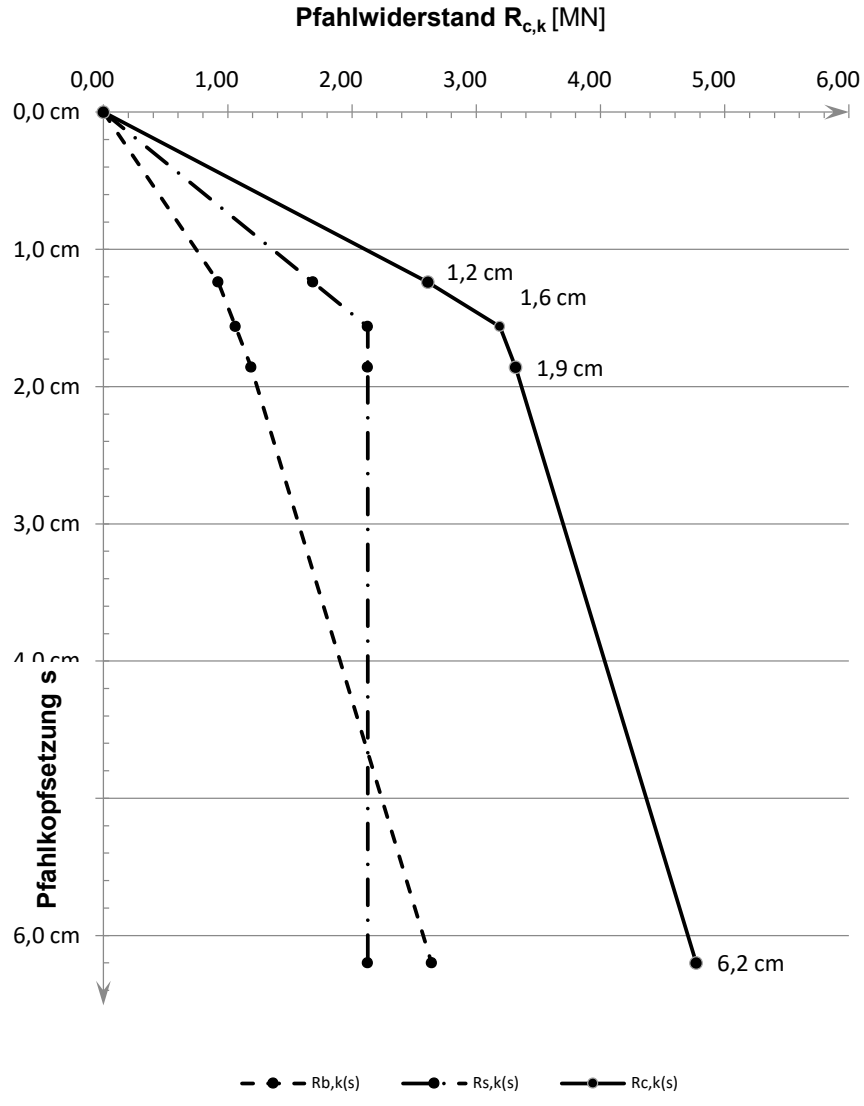
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
20,5	4,649	2,008	2,642
21,0	**4,769**	2,128	2,642
21,5	4,890	2,248	2,642

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 21,0 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,2 cm	1,687	0,925	2,612
s_{sg}	1,6 cm	2,128	1,063	3,190
s/D = 0,03	1,9 cm	2,128	1,189	3,316
s/D = 0,10	6,2 cm	2,128	2,642	4,769

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 3 Süd

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	3,7	3,7	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	3,7	-	5,0	1,3	10,00	0	0,080	2,000	Sand
3	5,0	-	6,2	1,2	6,00	0	0,048	1,200	Sand/Schluff
4	6,2	-	7,0	0,8	16,00	0	0,120	3,100	Sand
5	7,0	-	12,0	5,0	0,00	150	0,050	1,150	bindig
6	12,0	-	15,5	3,5	0,00	200	0,060	1,500	bindig
7	15,5	-	18,3	2,8	0,00	250	0,060	1,500	bindig
8	18,3	-	19,2	0,9	12,00	0	0,096	2,400	Sand/Schluff
9	19,2	-	25,5	6,3	25,00	0	0,120	4,000	Sand
10	25,5	-	30,0	4,5	25,00	0	0,120	4,000	Annahme: Sand

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Bohrpfahl (klassisch)		
Schaftdurchmesser:	100 cm		
Spitzendurchmesser:	100 cm		
Minimale Pfahllänge:	24,0 m	Schaftumfang:	3,14 m
Maximale Pfahllänge:	25,0 m	Fußfläche:	0,79 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

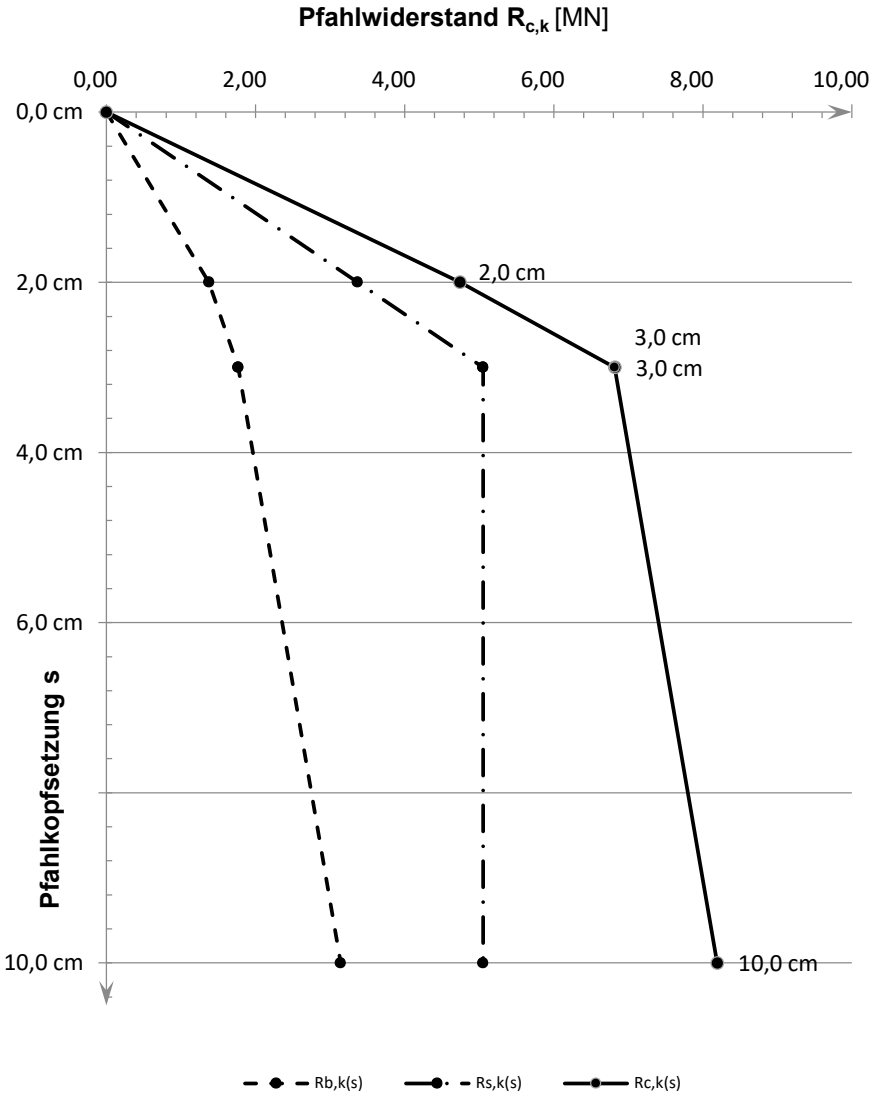
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
24,0	8,005	4,863	3,142
24,5	**8,193**	5,052	3,142
25,0	8,382	5,240	3,142

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 24,5 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	2,0 cm	3,368	1,374	4,742
s/D = 0,03	3,0 cm	5,052	1,767	6,819
s_{sg}	3,0 cm	5,052	1,767	6,819
s/D = 0,10	10,0 cm	5,052	3,142	8,193

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 3 West

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	3,8	3,8	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	3,8	-	6,2	2,4	10,00	0	0,100	3,500	Sand
3	6,2	-	6,5	0,3	3,00	0	0,030	1,050	Sand/Schluff
4	6,5	-	7,2	0,7	20,00	0	0,150	7,000	Sand
5	7,2	-	10,5	3,3	0,00	100	0,040	0,800	bindig
6	10,5	-	11,4	0,9	6,00	0	0,060	2,100	Sand/Schluff
7	11,4	-	13,0	1,6	0,00	175	0,055	1,325	bindig
8	13,0	-	16,3	3,3	0,00	200	0,060	1,500	bindig
9	16,3	-	18,3	2,0	0,00	250	0,060	1,500	bindig
10	18,3	-	30,1	11,8	25,00	0	0,150	8,750	Sand

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Stahlbetonrammpfahl		
Pfahlbreite:	45 cm		
Minimale Pfahllänge:	20,5 m	Schaftumfang:	1,80 m
Maximale Pfahllänge:	21,5 m	Fußfläche:	0,20 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

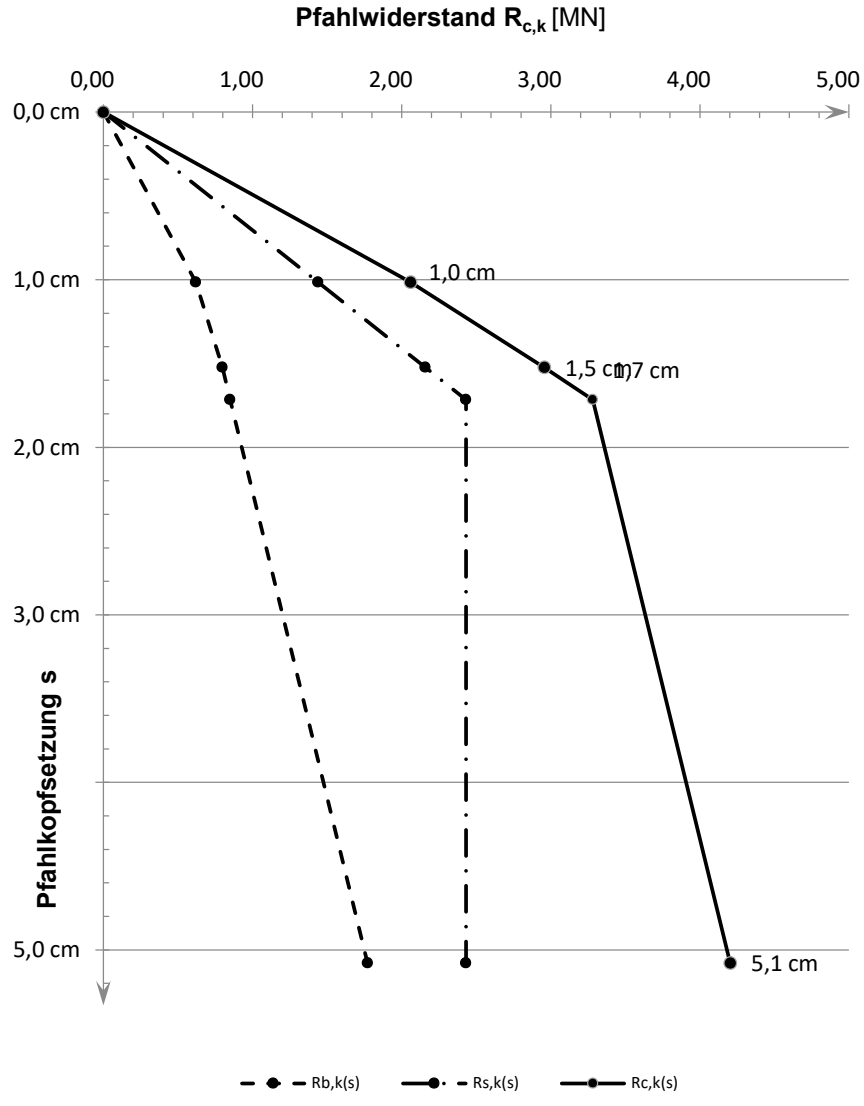
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
20,5	4,069	2,297	1,772
21,0	**4,204**	2,432	1,772
21,5	4,339	2,567	1,772

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 21,0 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,0 cm	1,439	0,620	2,059
s/D = 0,03	1,5 cm	2,159	0,797	2,956
s_{sg}	1,7 cm	2,432	0,850	3,282
s/D = 0,10	5,1 cm	2,432	1,772	4,204

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 3 West

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	3,8	3,8	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	3,8	-	6,2	2,4	10,00	0	0,100	3,500	Sand
3	6,2	-	6,5	0,3	3,00	0	0,030	1,050	Sand/Schluff
4	6,5	-	7,2	0,7	20,00	0	0,150	7,000	Sand
5	7,2	-	10,5	3,3	0,00	100	0,040	0,800	bindig
6	10,5	-	11,4	0,9	6,00	0	0,060	2,100	Sand/Schluff
7	11,4	-	13,0	1,6	0,00	175	0,055	1,325	bindig
8	13,0	-	16,3	3,3	0,00	200	0,060	1,500	bindig
9	16,3	-	18,3	2,0	0,00	250	0,060	1,500	bindig
10	18,3	-	30,1	11,8	25,00	0	0,150	8,750	Sand

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Ortbetonrammpfahl VI		
Schaftdurchmesser:	51 cm		
Spitzendurchmesser:	62 cm		
Minimale Pfahllänge:	20,5 m	Schaftumfang:	1,60 m
Maximale Pfahllänge:	21,5 m	Fußfläche:	0,30 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

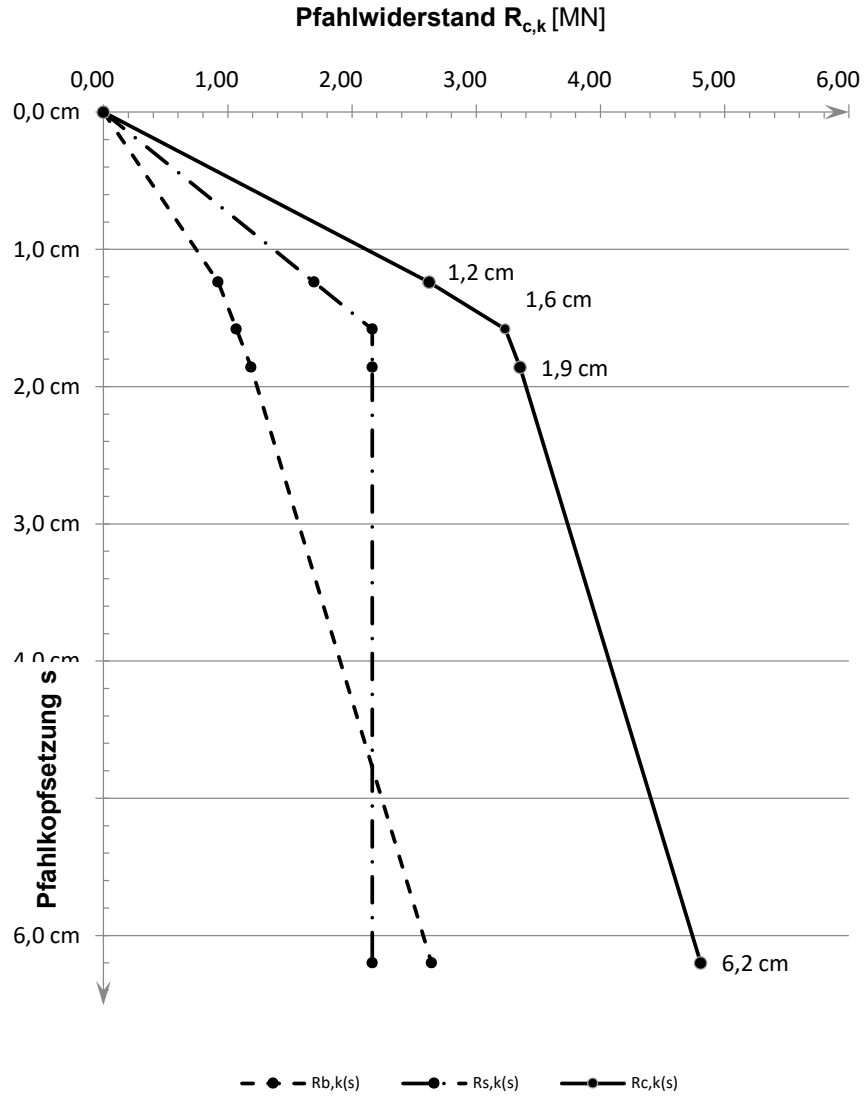
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
20,5	4,686	2,044	2,642
21,0	**4,806**	2,165	2,642
21,5	4,926	2,285	2,642

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 21,0 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,2 cm	1,696	0,925	2,621
s_{sg}	1,6 cm	2,165	1,070	3,235
s/D = 0,03	1,9 cm	2,165	1,189	3,353
s/D = 0,10	6,2 cm	2,165	2,642	4,806

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 3 West

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	3,8	3,8	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	3,8	-	6,2	2,4	10,00	0	0,080	2,000	Sand
3	6,2	-	6,5	0,3	3,00	0	0,024	0,600	Sand/Schluff
4	6,5	-	7,2	0,7	20,00	0	0,120	3,500	Sand
5	7,2	-	10,5	3,3	0,00	100	0,040	0,800	bindig
6	10,5	-	11,4	0,9	6,00	0	0,048	1,200	Sand/Schluff
7	11,4	-	13,0	1,6	0,00	175	0,055	1,325	bindig
8	13,0	-	16,3	3,3	0,00	200	0,060	1,500	bindig
9	16,3	-	18,3	2,0	0,00	250	0,060	1,500	bindig
10	18,3	-	30,1	11,8	25,00	0	0,120	4,000	Sand

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Bohrpfahl (klassisch)		
Schaftdurchmesser:	100 cm		
Spitzendurchmesser:	100 cm		
Minimale Pfahllänge:	24,0 m	Schaftumfang:	3,14 m
Maximale Pfahllänge:	25,0 m	Fußfläche:	0,79 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

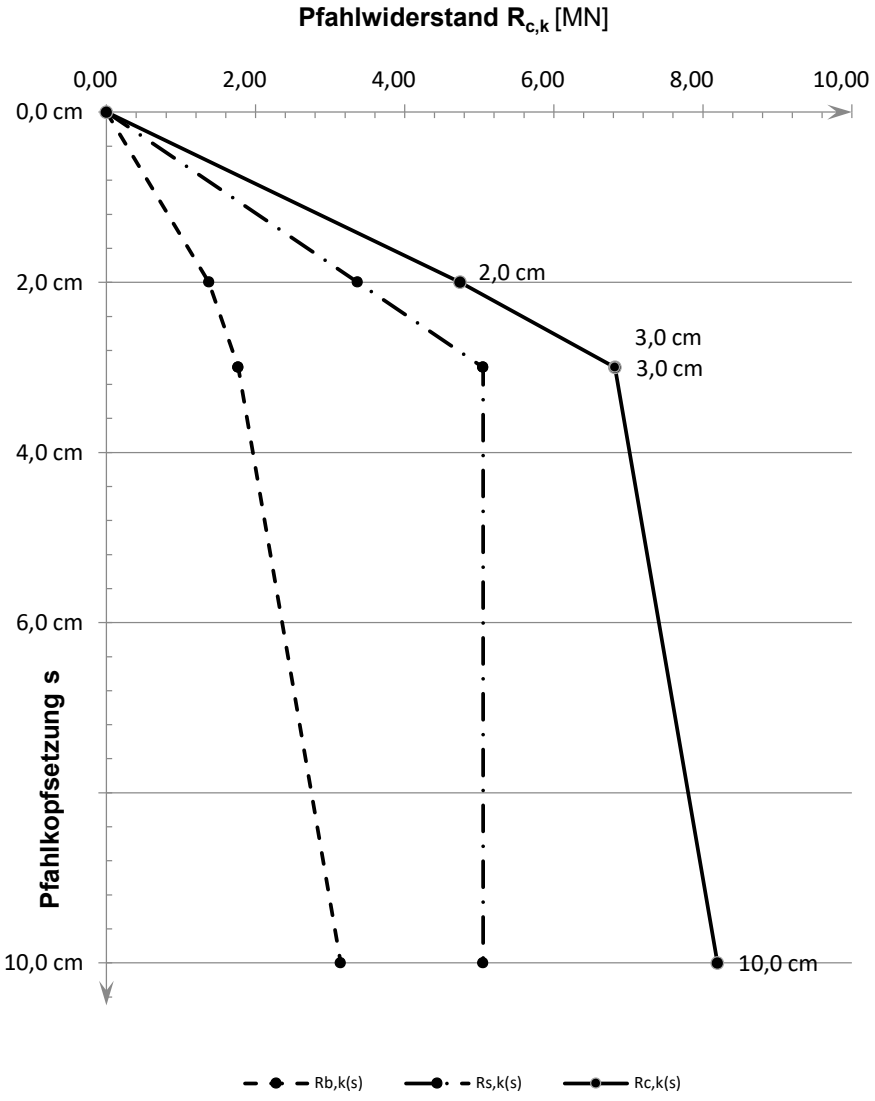
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
24,0	8,006	4,864	3,142
24,5	**8,195**	5,053	3,142
25,0	8,383	5,241	3,142

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 24,5 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	2,0 cm	3,369	1,374	4,743
s/D = 0,03	3,0 cm	5,053	1,767	6,820
s_{sg}	3,0 cm	5,053	1,767	6,820
s/D = 0,10	10,0 cm	5,053	3,142	8,195

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 4 Nord

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]	Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0 - 2,2	2,2	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	2,2 - 4,2	2,0	3,00	0	0,030	1,050	Sand/Schluff
3	4,2 - 6,2	2,0	11,00	0	0,110	3,850	Sand
4	6,2 - 7,3	1,1	0,00	100	0,040	0,800	bindig
5	7,3 - 7,7	0,4	11,00	0	0,110	3,850	Sand
6	7,7 - 9,0	1,3	15,00	0	0,150	5,250	Sand
7	9,0 - 11,5	2,5	18,00	0	0,150	6,300	Sand
8	11,5 - 15,2	3,7	22,00	0	0,150	7,700	Sand
9	15,2 - 16,0	0,8	0,00	100	0,040	0,800	bindig
10	16,0 - 19,4	3,4	13,00	0	0,130	4,550	Sand/Schluff
11	19,4 - 21,2	1,8	25,00	0	0,150	8,750	Sand
12	21,2 - 22,8	1,6	17,00	0	0,150	5,950	Sand
13	22,8 - 27,5	4,7	25,00	0	0,150	8,750	Sand
14	27,5 - 28,2	0,7	9,00	0	0,090	3,150	bindig
15	28,2 - 29,2	1,0	25,00	0	0,150	8,750	Sand

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Stahlbetonrammpfahl		
Pfahlbreite:	45 cm		
Minimale Pfahllänge:	17,0 m	Schaftumfang:	1,80 m
Maximale Pfahllänge:	18,0 m	Fußfläche:	0,20 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

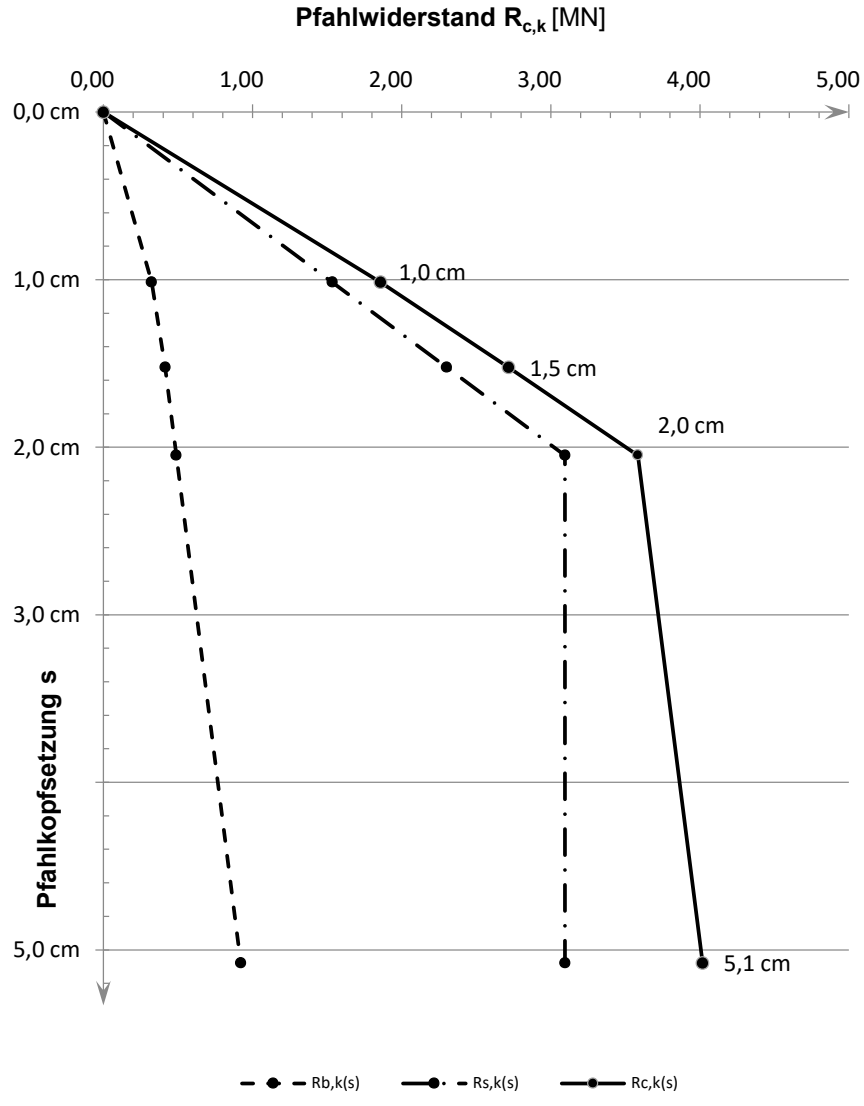
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
17,0	3,900	2,979	0,921
17,5	**4,017**	3,096	0,921
18,0	4,134	3,213	0,921

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 17,5 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,0 cm	1,535	0,322	1,858
s/D = 0,03	1,5 cm	2,303	0,415	2,717
s_{sg}	2,0 cm	3,096	0,489	3,585
s/D = 0,10	5,1 cm	3,096	0,921	4,017

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 4 Nord

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]	Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0 - 2,2	2,2	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	2,2 - 4,2	2,0	3,00	0	0,030	1,050	Sand/Schluff
3	4,2 - 6,2	2,0	11,00	0	0,110	3,850	Sand
4	6,2 - 7,3	1,1	0,00	100	0,040	0,800	bindig
5	7,3 - 7,7	0,4	11,00	0	0,110	3,850	Sand
6	7,7 - 9,0	1,3	15,00	0	0,150	5,250	Sand
7	9,0 - 11,5	2,5	18,00	0	0,150	6,300	Sand
8	11,5 - 15,2	3,7	22,00	0	0,150	7,700	Sand
9	15,2 - 16,0	0,8	0,00	100	0,040	0,800	bindig
10	16,0 - 19,4	3,4	13,00	0	0,130	4,550	Sand/Schluff
11	19,4 - 21,2	1,8	25,00	0	0,150	8,750	Sand
12	21,2 - 22,8	1,6	17,00	0	0,150	5,950	Sand
13	22,8 - 27,5	4,7	25,00	0	0,150	8,750	Sand
14	27,5 - 28,2	0,7	9,00	0	0,090	3,150	bindig
15	28,2 - 29,2	1,0	25,00	0	0,150	8,750	Sand

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Ortbetonrammpfahl VI		
Schaftdurchmesser:	51 cm		
Spitzendurchmesser:	62 cm		
Minimale Pfahllänge:	17,0 m	Schaftumfang:	1,60 m
Maximale Pfahllänge:	18,0 m	Fußfläche:	0,30 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

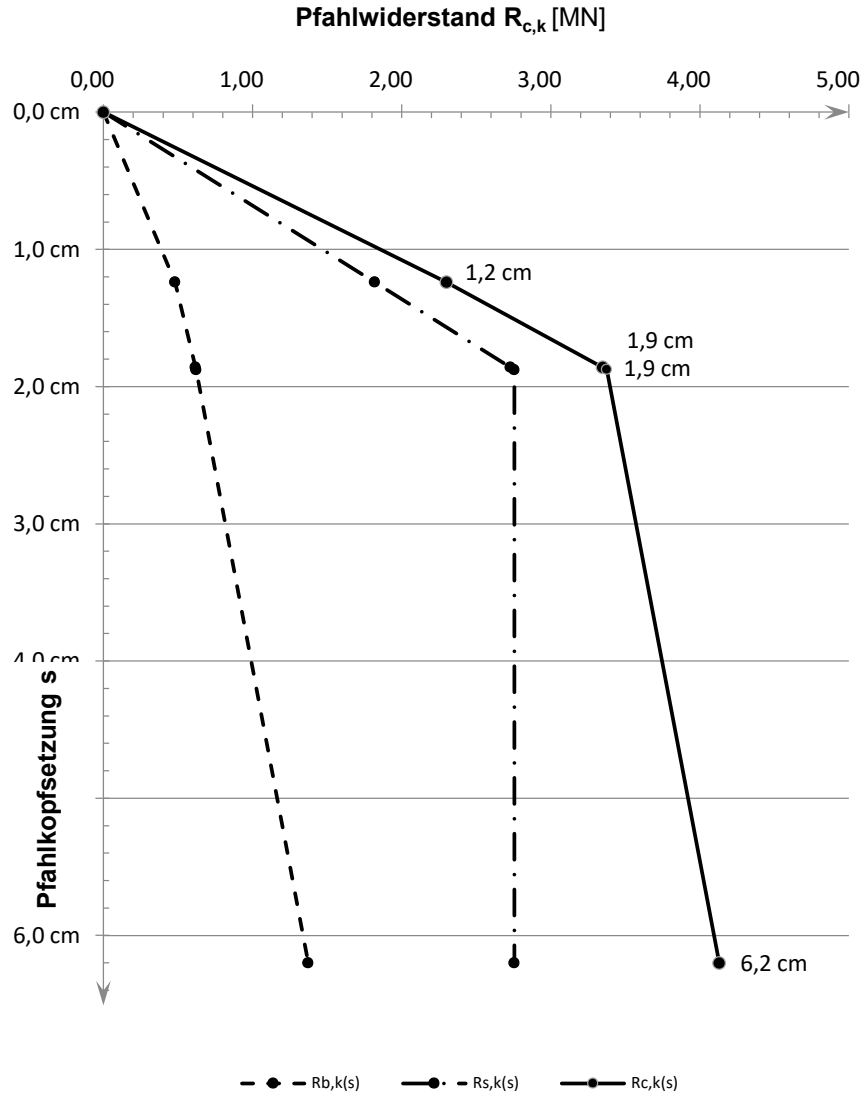
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
17,0	4,025	2,652	1,374
17,5	**4,129**	2,756	1,374
18,0	4,234	2,860	1,374

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 17,5 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,2 cm	1,820	0,481	2,300
s/D = 0,03	1,9 cm	2,730	0,618	3,348
s_{sg}	1,9 cm	2,756	0,621	3,377
s/D = 0,10	6,2 cm	2,756	1,374	4,129

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 4 Nord

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]	Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0 - 2,2	2,2	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	2,2 - 4,2	2,0	3,00	0	0,024	0,600	Sand/Schluff
3	4,2 - 6,2	2,0	11,00	0	0,088	2,200	Sand
4	6,2 - 7,3	1,1	0,00	100	0,040	0,800	bindig
5	7,3 - 7,7	0,4	11,00	0	0,088	2,200	Sand
6	7,7 - 9,0	1,3	15,00	0	0,120	3,000	Sand
7	9,0 - 11,5	2,5	18,00	0	0,120	3,300	Sand
8	11,5 - 15,2	3,7	22,00	0	0,120	3,700	Sand
9	15,2 - 16,0	0,8	0,00	100	0,040	0,800	bindig
10	16,0 - 19,4	3,4	13,00	0	0,104	2,600	Sand/Schluff
11	19,4 - 21,2	1,8	25,00	0	0,120	4,000	Sand
12	21,2 - 22,8	1,6	17,00	0	0,120	3,200	Sand
13	22,8 - 27,5	4,7	25,00	0	0,120	4,000	Sand
14	27,5 - 28,2	0,7	9,00	0	0,072	1,800	bindig
15	28,2 - 29,2	1,0	25,00	0	0,120	4,000	Sand

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Bohrpfahl (klassisch)		
Schaftdurchmesser:	100 cm		
Spitzendurchmesser:	100 cm		
Minimale Pfahllänge:	20,0 m	Schaftumfang:	3,14 m
Maximale Pfahllänge:	21,0 m	Fußfläche:	0,79 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

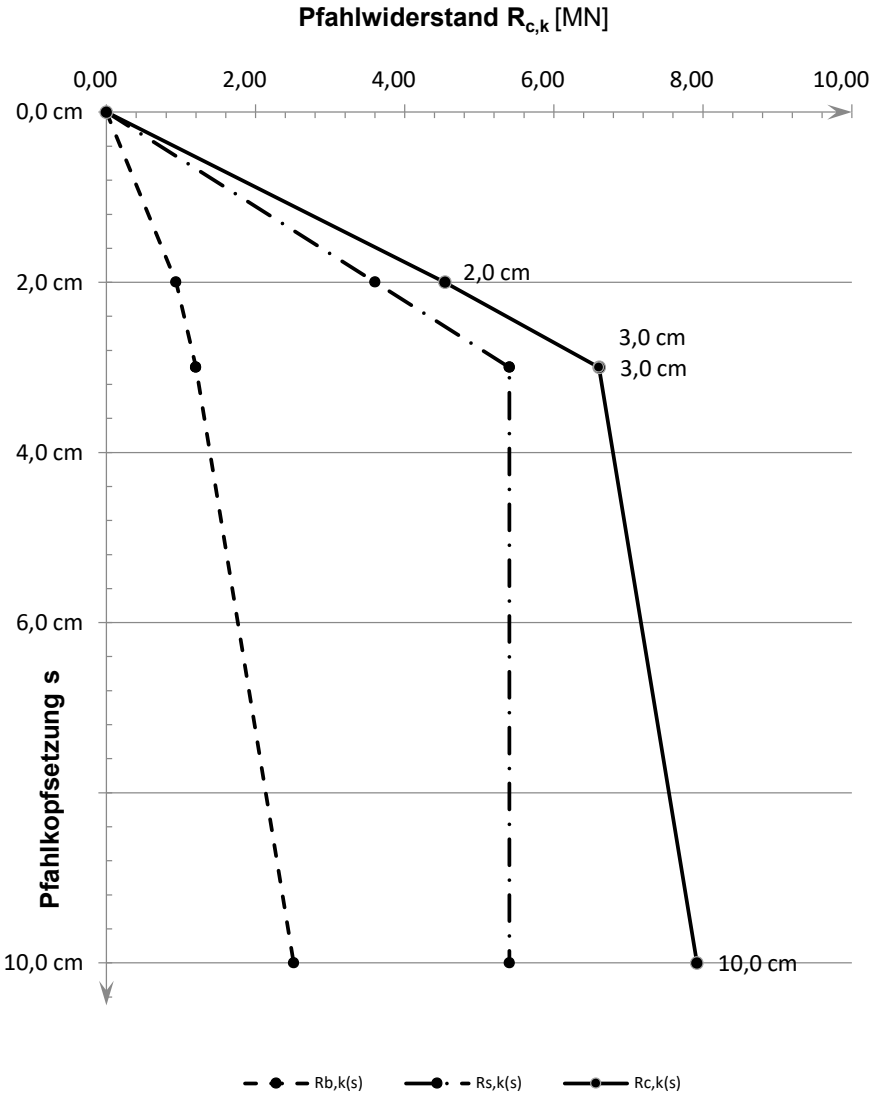
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
20,0	7,731	5,218	2,513
20,5	**7,919**	5,406	2,513
21,0	8,108	5,595	2,513

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 20,5 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	2,0 cm	3,604	0,935	4,539
s/D = 0,03	3,0 cm	5,406	1,202	6,608
s_{sg}	3,0 cm	5,406	1,202	6,608
s/D = 0,10	10,0 cm	5,406	2,513	7,919

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 4 Ost

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	2,3	2,3	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	2,3	-	3,8	1,5	2,00	0	0,020	0,700	Sand/Schluff
3	3,8	-	7,0	3,2	7,50	0	0,075	2,625	Sand
4	7,0	-	11,8	4,8	16,00	0	0,150	5,600	Sand
5	11,8	-	24,2	12,4	25,00	0	0,150	8,750	Sand
6	24,2	-	25,2	1,0	13,00	0	0,130	4,550	bindig
7	25,2	-	28,5	3,3	20,00	0	0,150	7,000	Sand/Schluff
8	28,5	-	28,9	0,4	14,00	0	0,140	4,900	Sand/Schluff

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Stahlbetonrammpfahl		
Pfahlbreite:	45 cm		
Minimale Pfahllänge:	17,0 m	Schaftumfang:	1,80 m
Maximale Pfahllänge:	18,0 m	Fußfläche:	0,20 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

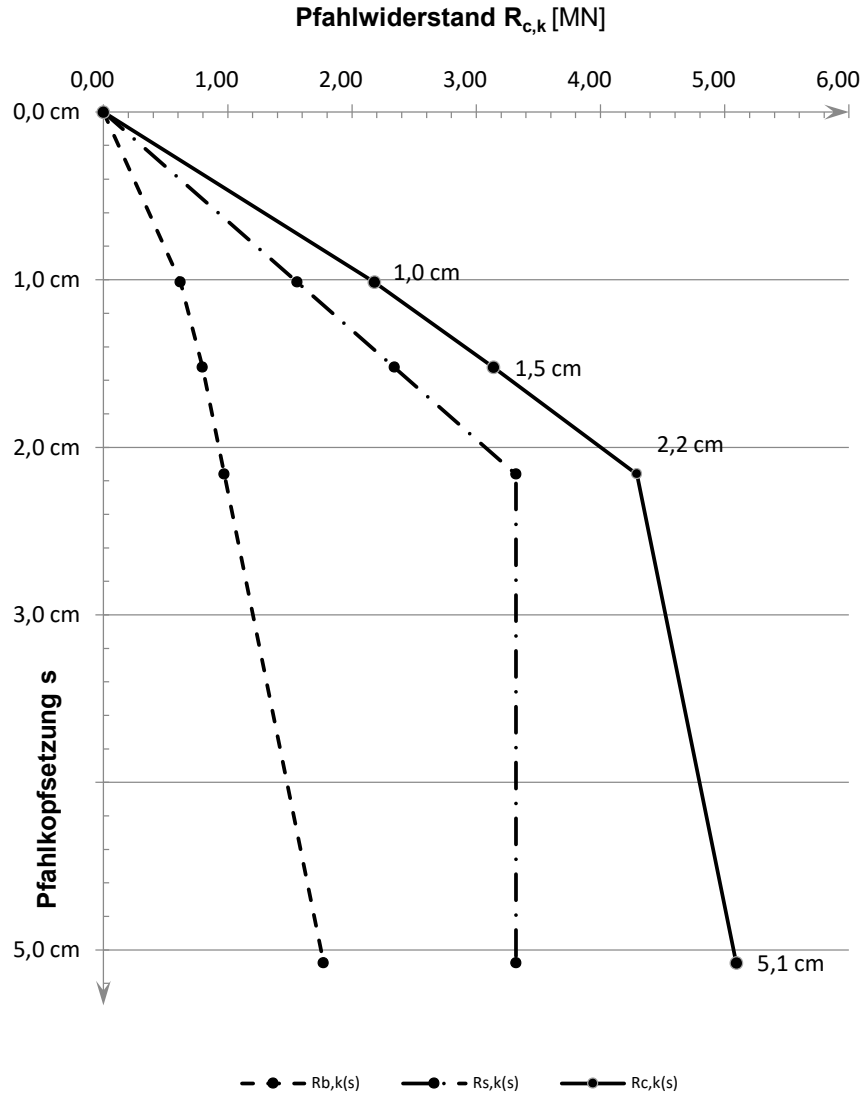
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
17,0	4,958	3,186	1,772
17,5	**5,093**	3,321	1,772
18,0	5,228	3,456	1,772

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 17,5 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,0 cm	1,561	0,620	2,181
s/D = 0,03	1,5 cm	2,342	0,797	3,139
s_{sg}	2,2 cm	3,321	0,972	4,293
s/D = 0,10	5,1 cm	3,321	1,772	5,093

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 4 Ost

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	2,3	2,3	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	2,3	-	3,8	1,5	2,00	0	0,020	0,700	Sand/Schluff
3	3,8	-	7,0	3,2	7,50	0	0,075	2,625	Sand
4	7,0	-	11,8	4,8	16,00	0	0,150	5,600	Sand
5	11,8	-	24,2	12,4	25,00	0	0,150	8,750	Sand
6	24,2	-	25,2	1,0	13,00	0	0,130	4,550	bindig
7	25,2	-	28,5	3,3	20,00	0	0,150	7,000	Sand/Schluff
8	28,5	-	28,9	0,4	14,00	0	0,140	4,900	Sand/Schluff

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Ortbetonrammpfahl VI		
Schaftdurchmesser:	51 cm		
Spitzendurchmesser:	62 cm		
Minimale Pfahllänge:	17,0 m	Schaftumfang:	1,60 m
Maximale Pfahllänge:	18,0 m	Fußfläche:	0,30 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

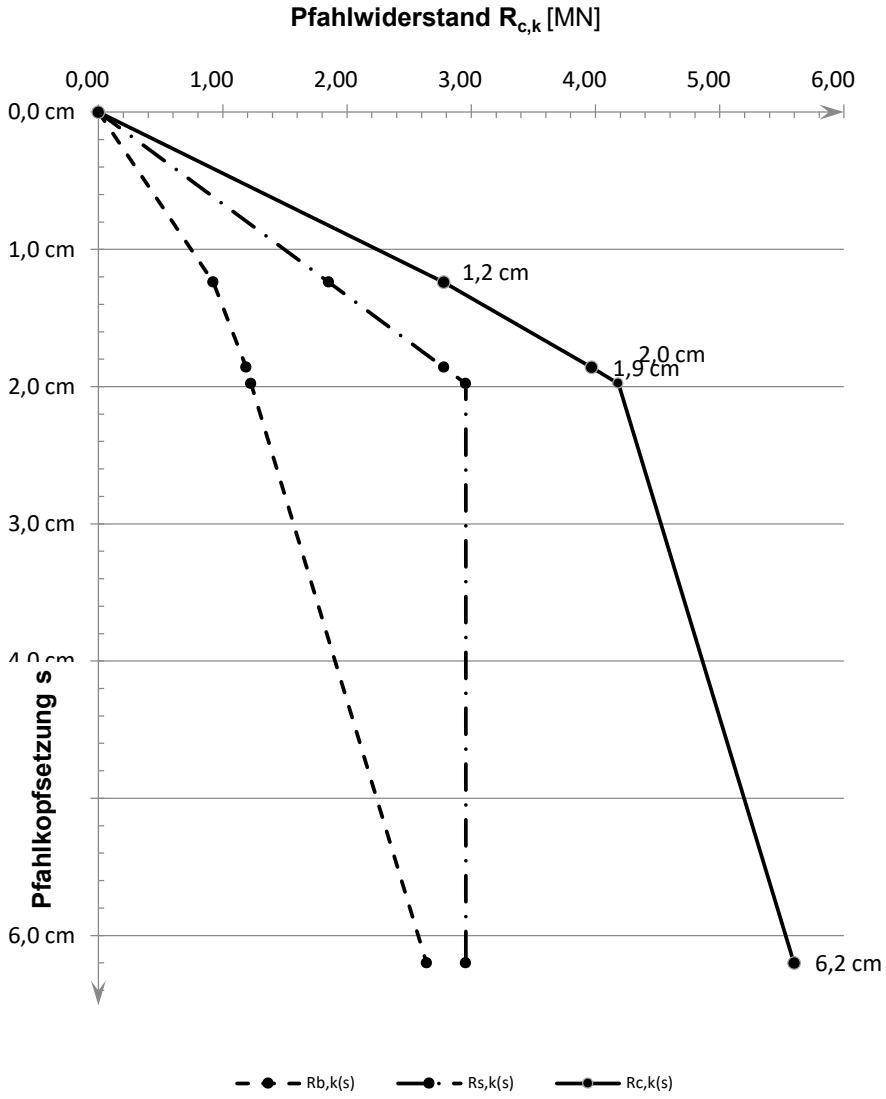
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
17,0	5,478	2,836	2,642
17,5	**5,598**	2,956	2,642
18,0	5,718	3,076	2,642

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 17,5 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,2 cm	1,853	0,925	2,778
s/D = 0,03	1,9 cm	2,780	1,189	3,968
s_{sg}	2,0 cm	2,956	1,228	4,184
s/D = 0,10	6,2 cm	2,956	2,642	5,598

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 4 Ost

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	2,3	2,3	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	2,3	-	3,8	1,5	2,00	0	0,016	0,400	Sand/Schluff
3	3,8	-	7,0	3,2	7,50	0	0,060	1,500	Sand
4	7,0	-	11,8	4,8	16,00	0	0,120	3,100	Sand
5	11,8	-	24,2	12,4	25,00	0	0,120	4,000	Sand
6	24,2	-	25,2	1,0	13,00	0	0,104	2,600	bindig
7	25,2	-	28,5	3,3	20,00	0	0,120	3,500	Sand/Schluff
8	28,5	-	28,9	0,4	14,00	0	0,112	2,800	Sand/Schluff

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Bohrpfahl (klassisch)		
Schaftdurchmesser:	100 cm		
Spitzendurchmesser:	100 cm		
Minimale Pfahllänge:	20,0 m	Schaftumfang:	3,14 m
Maximale Pfahllänge:	21,0 m	Fußfläche:	0,79 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

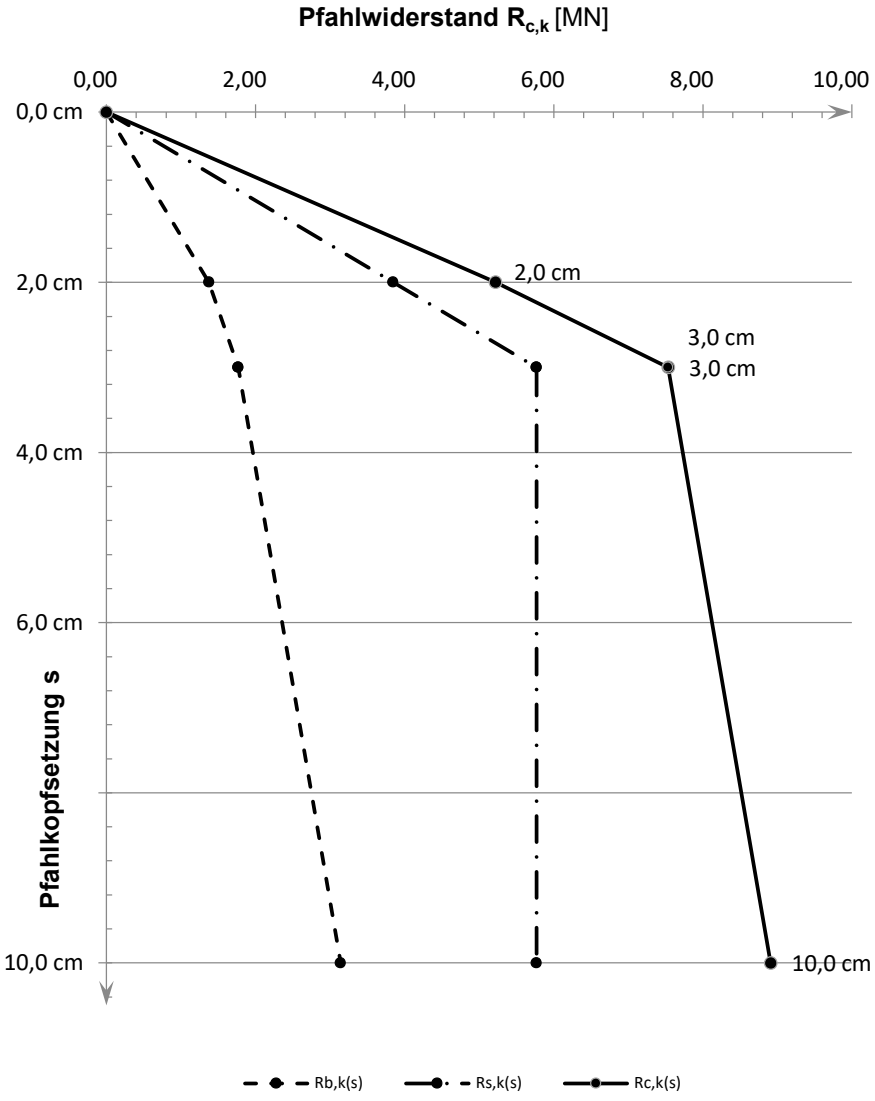
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
20,0	8,721	5,579	3,142
20,5	**8,910**	5,768	3,142
21,0	9,098	5,956	3,142

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 20,5 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	2,0 cm	3,845	1,374	5,220
s/D = 0,03	3,0 cm	5,768	1,767	7,535
s_{sg}	3,0 cm	5,768	1,767	7,535
s/D = 0,10	10,0 cm	5,768	3,142	8,910

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 4 Süd

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]	Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0 - 2,5	2,5	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	2,5 - 4,5	2,0	3,00	0	0,030	1,050	Sand/Schluff
3	4,5 - 5,5	1,0	8,00	0	0,080	2,800	Sand
4	5,5 - 7,2	1,7	4,00	0	0,040	1,400	bindig
5	7,2 - 9,0	1,8	16,00	0	0,150	5,600	Sand
6	9,0 - 10,7	1,7	25,00	0	0,150	8,750	Sand
7	10,7 - 12,2	1,5	13,00	0	0,130	4,550	Sand
8	12,2 - 14,0	1,8	25,00	0	0,150	8,750	Sand
9	14,0 - 14,2	0,2	8,00	0	0,080	2,800	Sand
10	14,2 - 15,2	1,0	4,00	0	0,040	1,400	bindig
11	15,2 - 18,5	3,3	25,00	0	0,150	8,750	Sand
12	18,5 - 20,5	2,0	10,00	0	0,100	3,500	bindig
13	20,5 - 24,3	3,8	25,00	0	0,150	8,750	Sand
14	24,3 - 28,5	4,2	0,00	200	0,060	1,500	bindig
15	28,5 - 29,8	1,3	25,00	0	0,150	8,750	Sand

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Stahlbetonrammpfahl		
Pfahlbreite:	45 cm		
Minimale Pfahllänge:	17,0 m	Schaftumfang:	1,80 m
Maximale Pfahllänge:	18,0 m	Fußfläche:	0,20 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

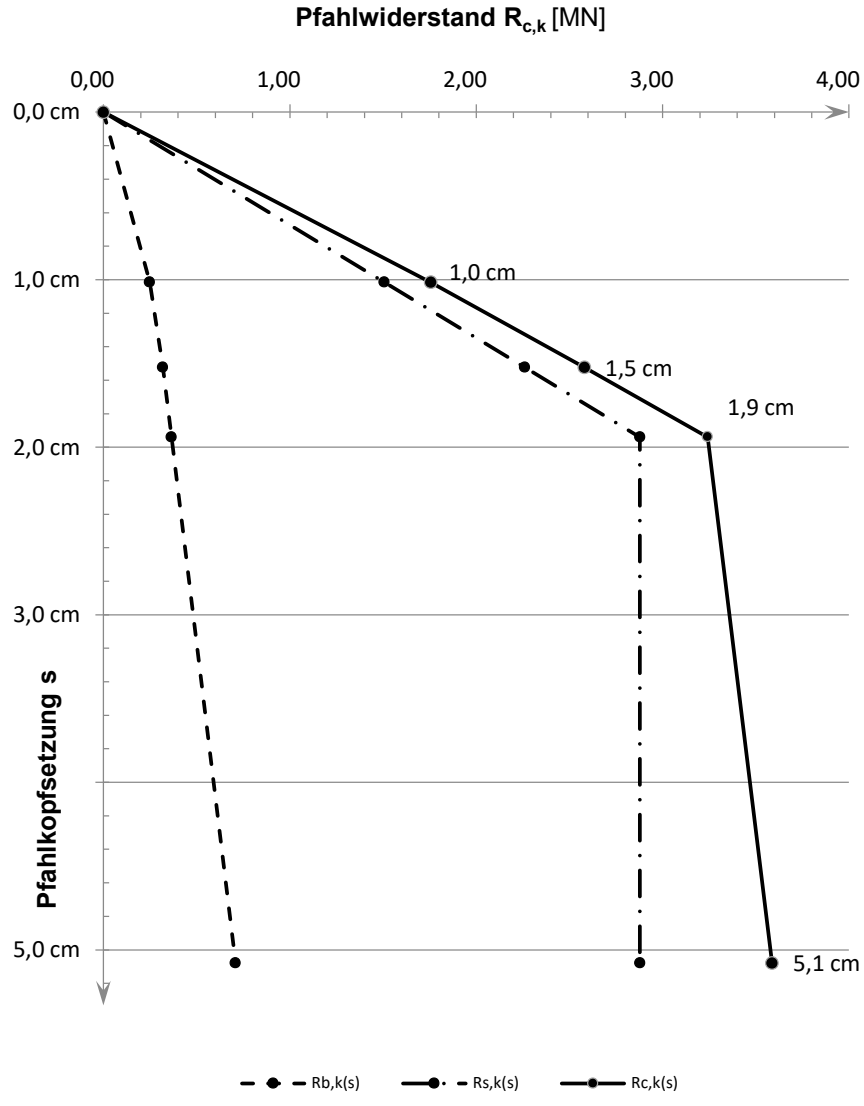
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
17,0	3,452	2,743	0,709
17,5	**3,587**	2,878	0,709
18,0	3,722	3,013	0,709

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 17,5 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,0 cm	1,507	0,248	1,755
s/D = 0,03	1,5 cm	2,261	0,319	2,580
s_{sg}	1,9 cm	2,878	0,365	3,243
s/D = 0,10	5,1 cm	2,878	0,709	3,587

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 4 Süd

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]	Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0 - 2,5	2,5	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	2,5 - 4,5	2,0	3,00	0	0,030	1,050	Sand/Schluff
3	4,5 - 5,5	1,0	8,00	0	0,080	2,800	Sand
4	5,5 - 7,2	1,7	4,00	0	0,040	1,400	bindig
5	7,2 - 9,0	1,8	16,00	0	0,150	5,600	Sand
6	9,0 - 10,7	1,7	25,00	0	0,150	8,750	Sand
7	10,7 - 12,2	1,5	13,00	0	0,130	4,550	Sand
8	12,2 - 14,0	1,8	25,00	0	0,150	8,750	Sand
9	14,0 - 14,2	0,2	8,00	0	0,080	2,800	Sand
10	14,2 - 15,2	1,0	4,00	0	0,040	1,400	bindig
11	15,2 - 18,5	3,3	25,00	0	0,150	8,750	Sand
12	18,5 - 20,5	2,0	10,00	0	0,100	3,500	bindig
13	20,5 - 24,3	3,8	25,00	0	0,150	8,750	Sand
14	24,3 - 28,5	4,2	0,00	200	0,060	1,500	bindig
15	28,5 - 29,8	1,3	25,00	0	0,150	8,750	Sand

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Ortbetonrammpfahl VI		
Schaftdurchmesser:	51 cm		
Spitzendurchmesser:	62 cm		
Minimale Pfahllänge:	17,0 m	Schaftumfang:	1,60 m
Maximale Pfahllänge:	18,0 m	Fußfläche:	0,30 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

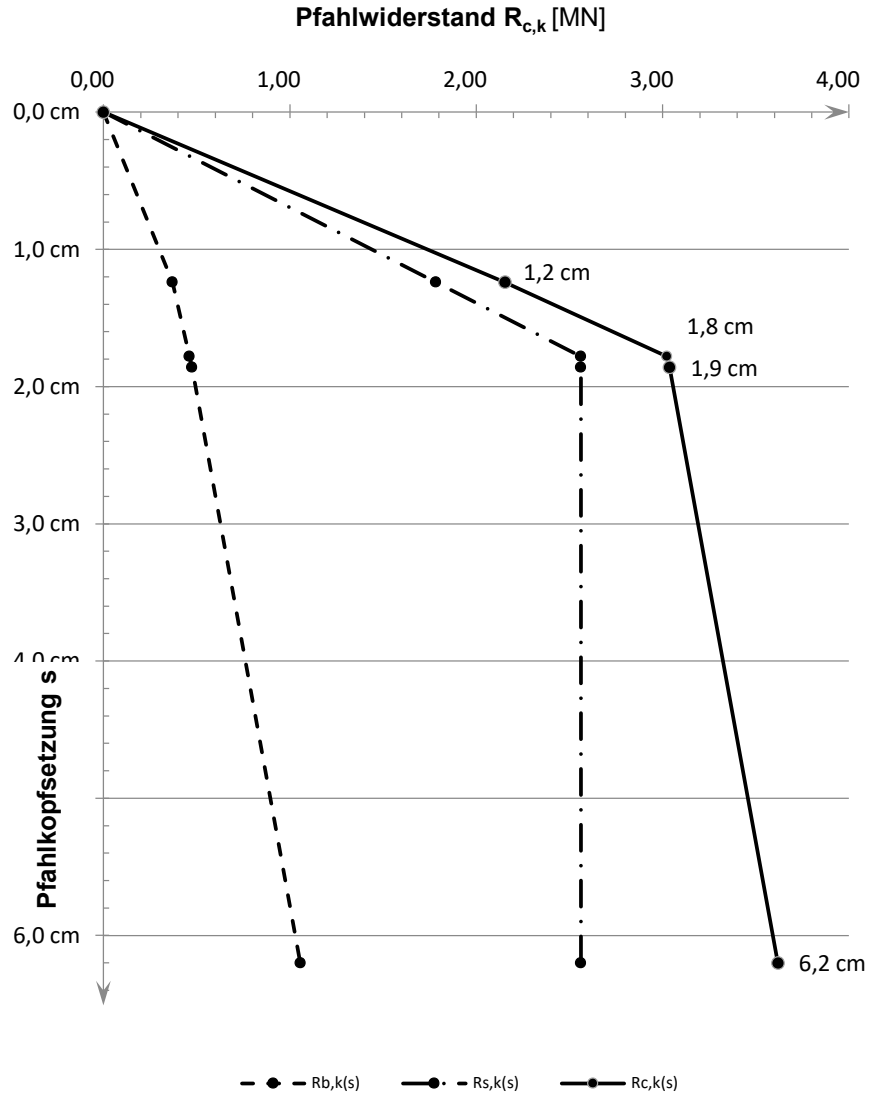
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
17,0	3,498	2,442	1,057
17,5	**3,619**	2,562	1,057
18,0	3,739	2,682	1,057

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 17,5 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,2 cm	1,784	0,370	2,154
s_{sg}	1,8 cm	2,562	0,462	3,024
s/D = 0,03	1,9 cm	2,562	0,476	3,037
s/D = 0,10	6,2 cm	2,562	1,057	3,619

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 4 Süd

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]	Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0 - 2,5	2,5	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	2,5 - 4,5	2,0	3,00	0	0,024	0,600	Sand/Schluff
3	4,5 - 5,5	1,0	8,00	0	0,064	1,600	Sand
4	5,5 - 7,2	1,7	4,00	0	0,032	0,800	bindig
5	7,2 - 9,0	1,8	16,00	0	0,120	3,100	Sand
6	9,0 - 10,7	1,7	25,00	0	0,120	4,000	Sand
7	10,7 - 12,2	1,5	13,00	0	0,104	2,600	Sand
8	12,2 - 14,0	1,8	25,00	0	0,120	4,000	Sand
9	14,0 - 14,2	0,2	8,00	0	0,064	1,600	Sand
10	14,2 - 15,2	1,0	4,00	0	0,032	0,800	bindig
11	15,2 - 18,5	3,3	25,00	0	0,120	4,000	Sand
12	18,5 - 20,5	2,0	10,00	0	0,080	2,000	bindig
13	20,5 - 24,3	3,8	25,00	0	0,120	4,000	Sand
14	24,3 - 28,5	4,2	0,00	200	0,060	1,500	bindig
15	28,5 - 29,8	1,3	25,00	0	0,120	4,000	Sand

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Bohrpfahl (klassisch)		
Schaftdurchmesser:	100 cm		
Spitzendurchmesser:	100 cm		
Minimale Pfahllänge:	20,0 m	Schaftumfang:	3,14 m
Maximale Pfahllänge:	21,0 m	Fußfläche:	0,79 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

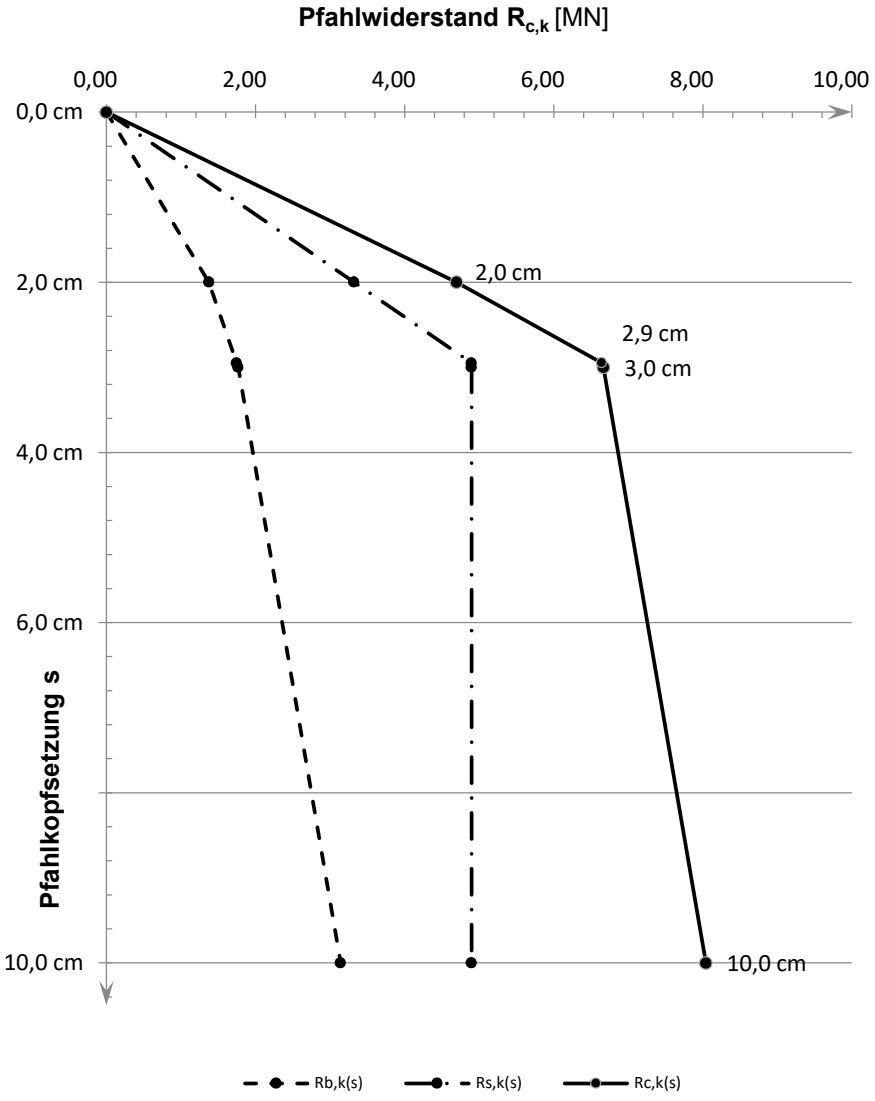
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
20,0	6,344	4,773	1,571
20,5	**8,040**	4,898	3,142
21,0	8,228	5,087	3,142

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 20,5 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	2,0 cm	3,322	1,374	4,696
s_{sg}	2,9 cm	4,898	1,747	6,646
s/D = 0,03	3,0 cm	4,898	1,767	6,666
s/D = 0,10	10,0 cm	4,898	3,142	8,040

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 4 West

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]	Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0 - 2,6	2,6	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	2,6 - 5,0	2,4	4,00	0	0,040	1,400	Sand/Schluff
3	5,0 - 6,3	1,3	13,00	0	0,130	4,550	Sand
4	6,3 - 8,0	1,7	0,00	100	0,040	0,800	bindig
5	8,0 - 11,6	3,6	17,00	0	0,150	5,950	Sand
6	11,6 - 13,8	2,2	25,00	0	0,150	8,750	Sand
7	13,8 - 16,4	2,6	12,00	0	0,120	4,200	Sand
8	16,4 - 17,0	0,6	0,00	150	0,050	1,150	bindig
9	17,0 - 21,4	4,4	18,00	0	0,150	6,300	Sand
10	21,4 - 24,6	3,2	25,00	0	0,150	8,750	Sand
11	24,6 - 25,6	1,0	10,00	0	0,100	3,500	bindig
12	25,6 - 27,0	1,4	25,00	0	0,150	8,750	Sand
13	27,0 - 28,2	1,2	7,50	0	0,075	2,625	bindig
14	28,2 - 29,4	1,2	25,00	0	0,150	8,750	Sand

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Stahlbetonrammpfahl		
Pfahlbreite:	45 cm		
Minimale Pfahllänge:	17,0 m	Schaftumfang:	1,80 m
Maximale Pfahllänge:	18,0 m	Fußfläche:	0,20 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

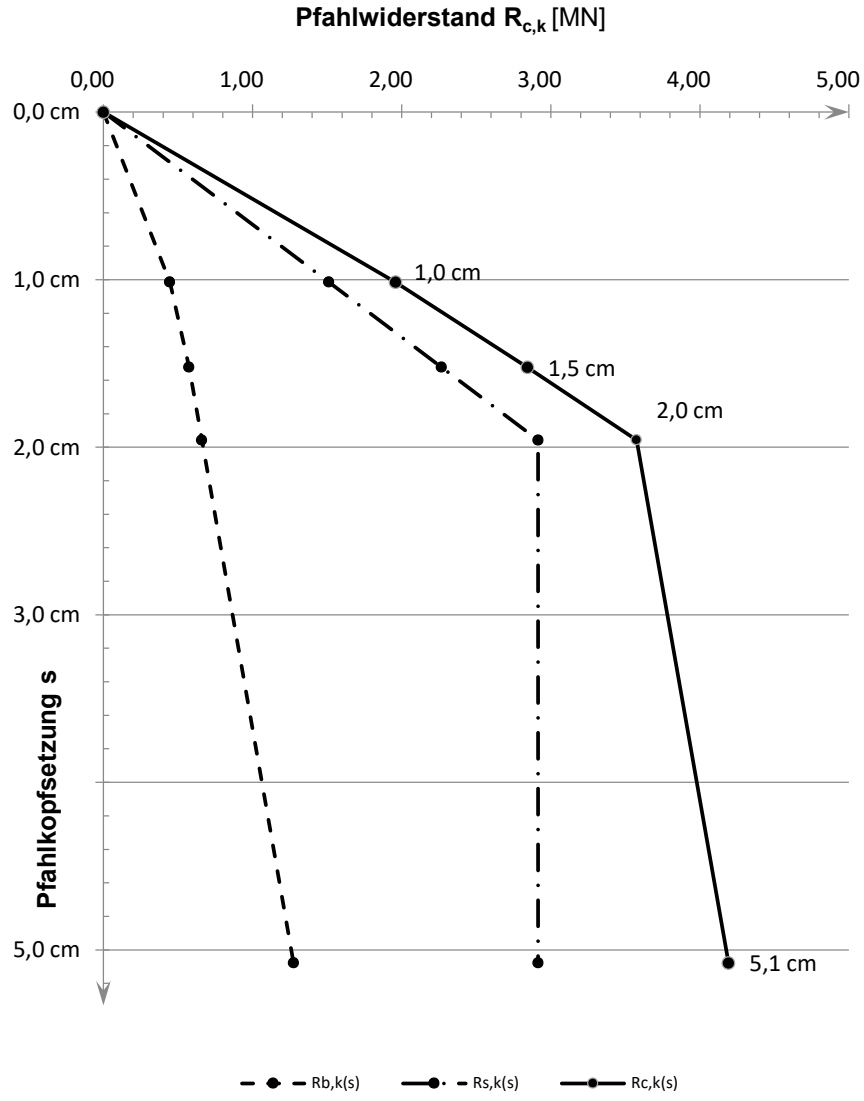
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
17,0	4,057	2,781	1,276
17,5	**4,192**	2,916	1,276
18,0	4,327	3,051	1,276

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 17,5 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,0 cm	1,512	0,447	1,959
s/D = 0,03	1,5 cm	2,269	0,574	2,843
s_{sg}	2,0 cm	2,916	0,660	3,576
s/D = 0,10	5,1 cm	2,916	1,276	4,192

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 4 West

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]	Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0 - 2,6	2,6	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	2,6 - 5,0	2,4	4,00	0	0,040	1,400	Sand/Schluff
3	5,0 - 6,3	1,3	13,00	0	0,130	4,550	Sand
4	6,3 - 8,0	1,7	0,00	100	0,040	0,800	bindig
5	8,0 - 11,6	3,6	17,00	0	0,150	5,950	Sand
6	11,6 - 13,8	2,2	25,00	0	0,150	8,750	Sand
7	13,8 - 16,4	2,6	12,00	0	0,120	4,200	Sand
8	16,4 - 17,0	0,6	0,00	150	0,050	1,150	bindig
9	17,0 - 21,4	4,4	18,00	0	0,150	6,300	Sand
10	21,4 - 24,6	3,2	25,00	0	0,150	8,750	Sand
11	24,6 - 25,6	1,0	10,00	0	0,100	3,500	bindig
12	25,6 - 27,0	1,4	25,00	0	0,150	8,750	Sand
13	27,0 - 28,2	1,2	7,50	0	0,075	2,625	bindig
14	28,2 - 29,4	1,2	25,00	0	0,150	8,750	Sand

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Ortbetonrammpfahl VI		
Schaftdurchmesser:	51 cm		
Spitzendurchmesser:	62 cm		
Minimale Pfahllänge:	17,0 m	Schaftumfang:	1,60 m
Maximale Pfahllänge:	18,0 m	Fußfläche:	0,30 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

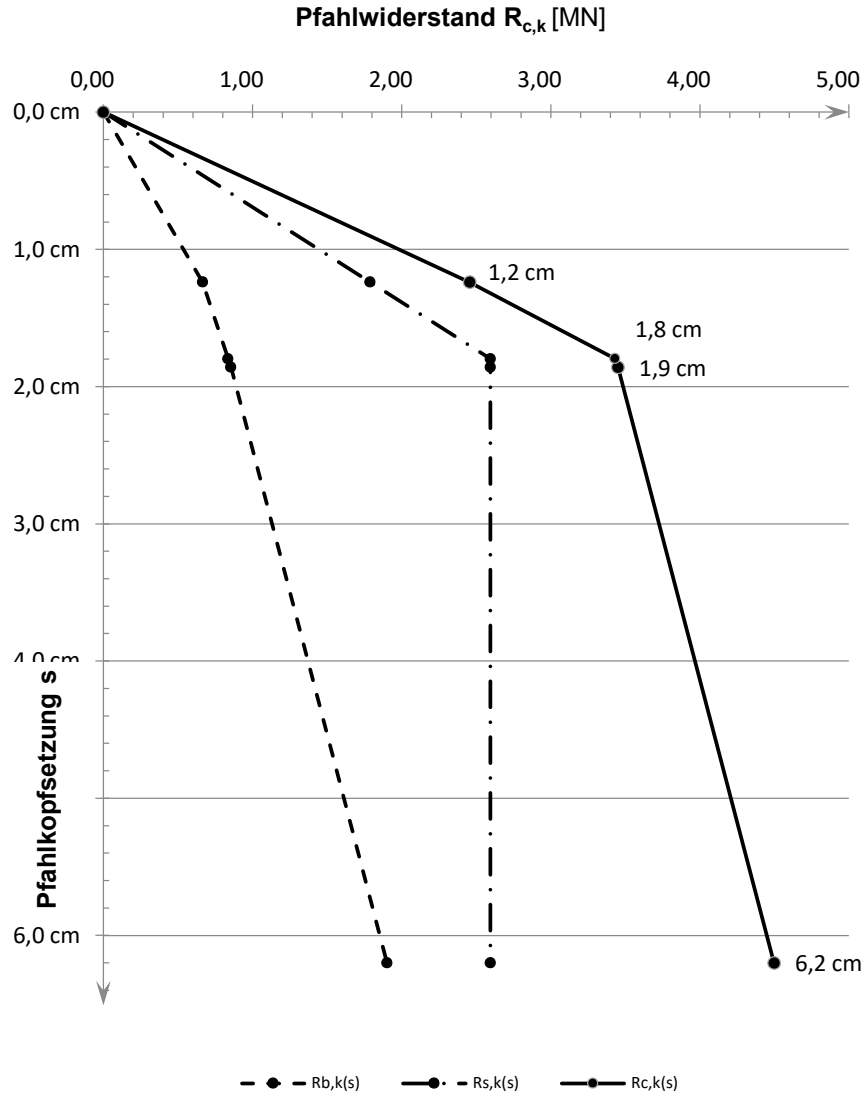
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
17,0	4,377	2,475	1,902
17,5	**4,498**	2,596	1,902
18,0	4,618	2,716	1,902

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 17,5 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,2 cm	1,790	0,666	2,456
s_{sg}	1,8 cm	2,596	0,837	3,432
s/D = 0,03	1,9 cm	2,596	0,856	3,451
s/D = 0,10	6,2 cm	2,596	1,902	4,498

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark Georgshof / 23.1098 CPT WEA 4 West

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]	Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0 - 2,6	2,6	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	2,6 - 5,0	2,4	4,00	0	0,032	0,800	Sand/Schluff
3	5,0 - 6,3	1,3	13,00	0	0,104	2,600	Sand
4	6,3 - 8,0	1,7	0,00	100	0,040	0,800	bindig
5	8,0 - 11,6	3,6	17,00	0	0,120	3,200	Sand
6	11,6 - 13,8	2,2	25,00	0	0,120	4,000	Sand
7	13,8 - 16,4	2,6	12,00	0	0,096	2,400	Sand
8	16,4 - 17,0	0,6	0,00	150	0,050	1,150	bindig
9	17,0 - 21,4	4,4	18,00	0	0,120	3,300	Sand
10	21,4 - 24,6	3,2	25,00	0	0,120	4,000	Sand
11	24,6 - 25,6	1,0	10,00	0	0,080	2,000	bindig
12	25,6 - 27,0	1,4	25,00	0	0,120	4,000	Sand
13	27,0 - 28,2	1,2	7,50	0	0,060	1,500	bindig
14	28,2 - 29,4	1,2	25,00	0	0,120	4,000	Sand

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Bohrpfahl (klassisch)		
Schaftdurchmesser:	100 cm		
Spitzendurchmesser:	100 cm		
Minimale Pfahllänge:	20,0 m	Schaftumfang:	3,14 m
Maximale Pfahllänge:	21,0 m	Fußfläche:	0,79 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

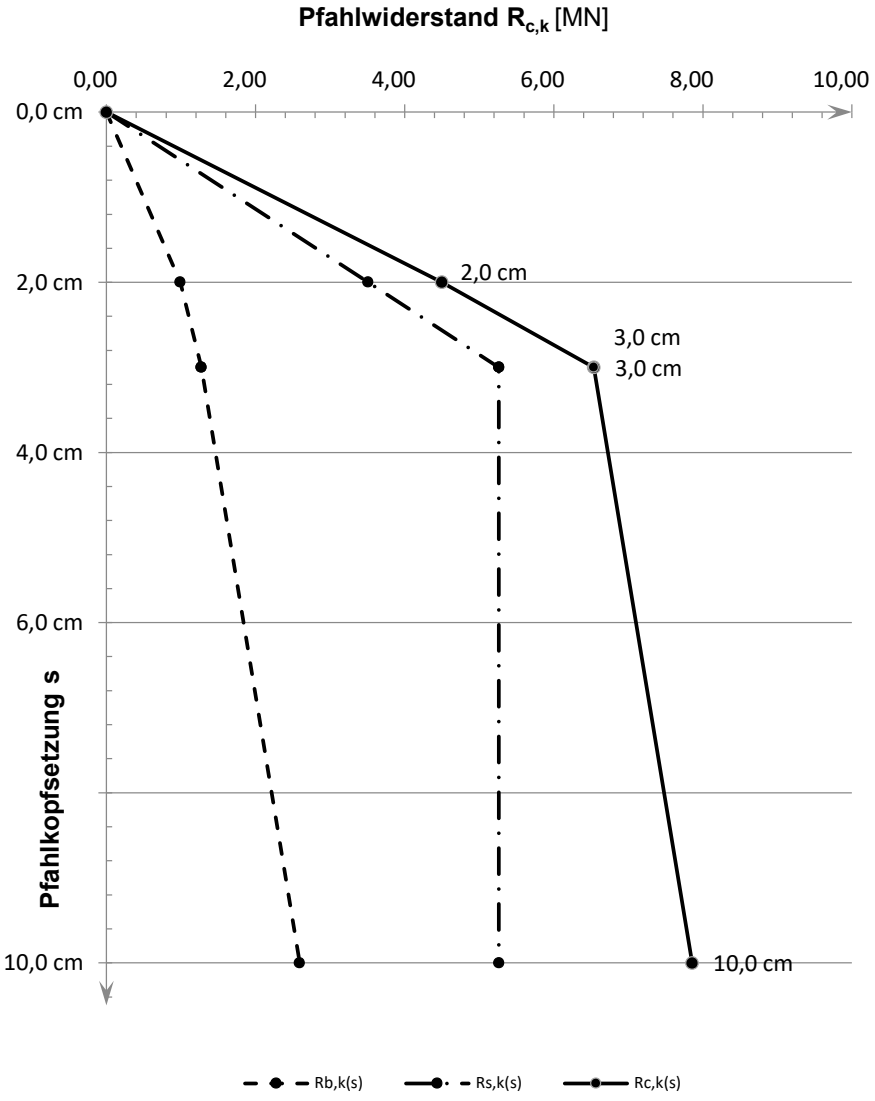
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
20,0	7,667	5,076	2,592
20,5	**7,856**	5,264	2,592
21,0	8,044	5,453	2,592

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 20,5 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	2,0 cm	3,509	0,990	4,499
s/D = 0,03	3,0 cm	5,264	1,272	6,536
s_{sg}	3,0 cm	5,264	1,272	6,536
s/D = 0,10	10,0 cm	5,264	2,592	7,856

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark WEA Verweyen / 23.1098 CPT WEA 5 Verweyen Nord

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	4,7	4,7	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	4,7	-	8,4	3,7	7,00	0	0,070	2,450	Sand/Schluff
3	8,4	-	11,4	3,0	1,00	0	0,010	0,350	bindig
4	11,4	-	13,6	2,2	0,00	100	0,040	0,800	bindig
5	13,6	-	16,6	3,0	14,00	0	0,140	4,900	bindig
6	16,6	-	26,0	9,4	25,00	0	0,150	8,750	Sand
7	26,0	-	28,7	2,7	18,00	0	0,150	6,300	Sand/Schluff

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Stahlbetonrammpfahl		
Pfahlbreite:	45 cm		
Minimale Pfahllänge:	17,5 m	Schaftumfang:	1,80 m
Maximale Pfahllänge:	18,5 m	Fußfläche:	0,20 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

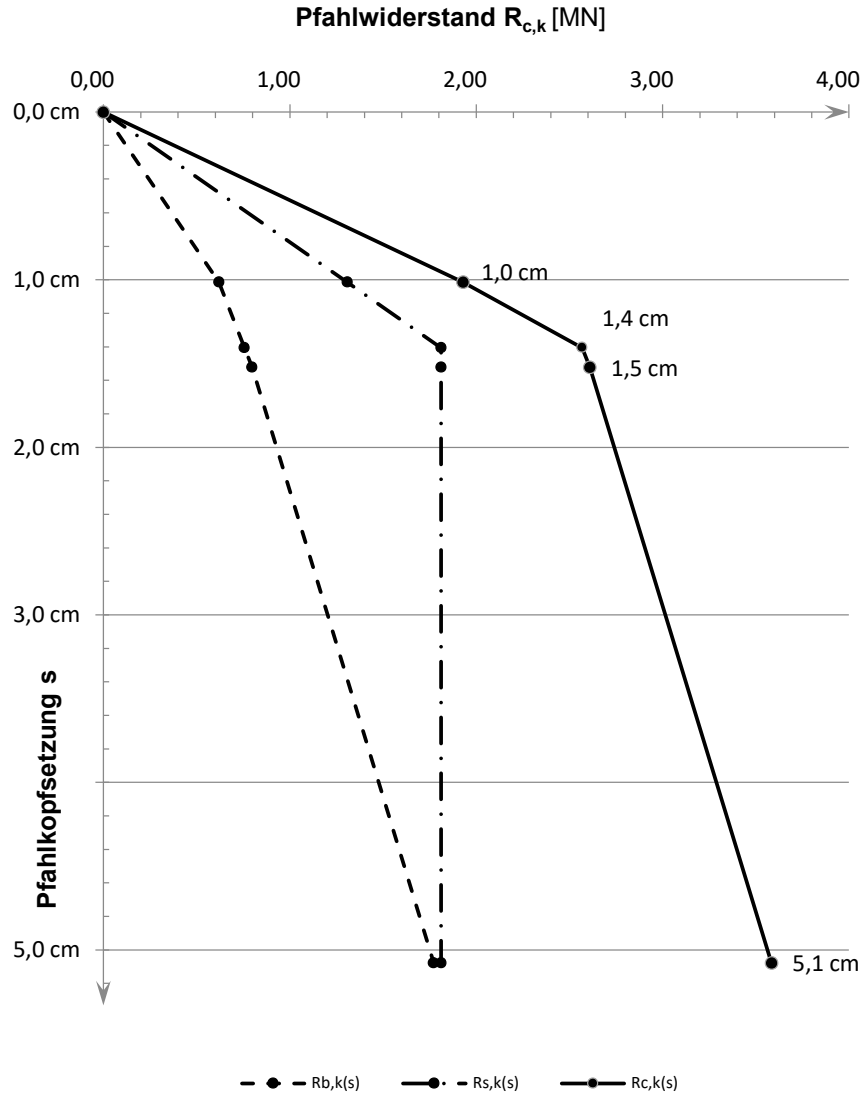
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
17,5	3,449	1,678	1,772
18,0	**3,584**	1,813	1,772
18,5	3,719	1,948	1,772

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 18,0 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,0 cm	1,309	0,620	1,929
s_{sg}	1,4 cm	1,813	0,757	2,569
s/D = 0,03	1,5 cm	1,813	0,797	2,610
s/D = 0,10	5,1 cm	1,813	1,772	3,584

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark WEA Verweyen / 23.1098 CPT WEA 5 Verweyen Nord

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	4,7	4,7	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	4,7	-	8,4	3,7	7,00	0	0,070	2,450	Sand/Schluff
3	8,4	-	11,4	3,0	1,00	0	0,010	0,350	bindig
4	11,4	-	13,6	2,2	0,00	100	0,040	0,800	bindig
5	13,6	-	16,6	3,0	14,00	0	0,140	4,900	bindig
6	16,6	-	26,0	9,4	25,00	0	0,150	8,750	Sand
7	26,0	-	28,7	2,7	18,00	0	0,150	6,300	Sand/Schluff

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Ortbetonrammpfahl VI		
Schaftdurchmesser:	51 cm		
Spitzendurchmesser:	62 cm		
Minimale Pfahllänge:	17,5 m	Schaftumfang:	1,60 m
Maximale Pfahllänge:	18,5 m	Fußfläche:	0,30 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

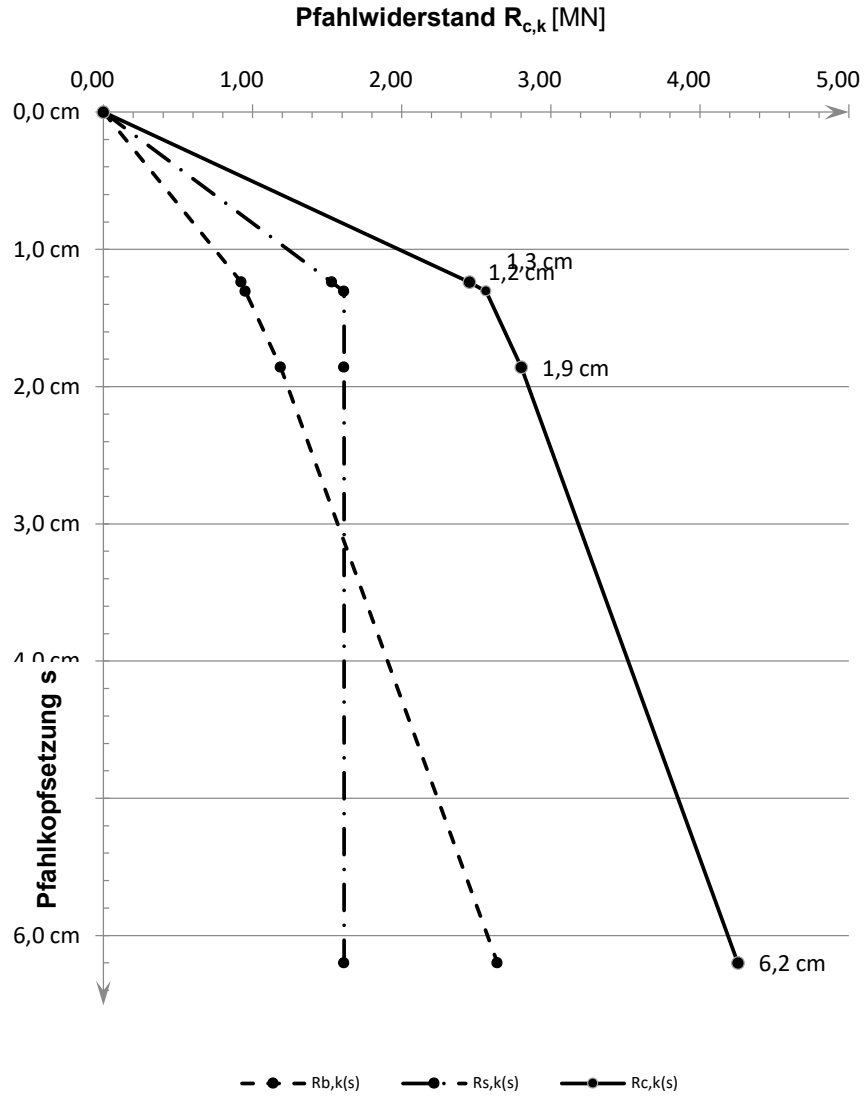
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
17,5	4,135	1,493	2,642
18,0	**4,255**	1,613	2,642
18,5	4,375	1,734	2,642

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 18,0 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,2 cm	1,531	0,925	2,456
s_{sg}	1,3 cm	1,613	0,953	2,566
s/D = 0,03	1,9 cm	1,613	1,189	2,802
s/D = 0,10	6,2 cm	1,613	2,642	4,255

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark WEA Verweyen / 23.1098 CPT WEA 5 Verweyen Nord

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	4,7	4,7	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	4,7	-	8,4	3,7	7,00	0	0,056	1,400	Sand/Schluff
3	8,4	-	11,4	3,0	1,00	0	0,008	0,200	bindig
4	11,4	-	13,6	2,2	0,00	100	0,040	0,800	bindig
5	13,6	-	16,6	3,0	14,00	0	0,112	2,800	bindig
6	16,6	-	26,0	9,4	25,00	0	0,120	4,000	Sand
7	26,0	-	28,7	2,7	18,00	0	0,120	3,300	Sand/Schluff

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Bohrpfahl (klassisch)		
Schaftdurchmesser:	100 cm		
Spitzendurchmesser:	100 cm		
Minimale Pfahllänge:	22,5 m	Schaftumfang:	3,14 m
Maximale Pfahllänge:	23,5 m	Fußfläche:	0,79 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

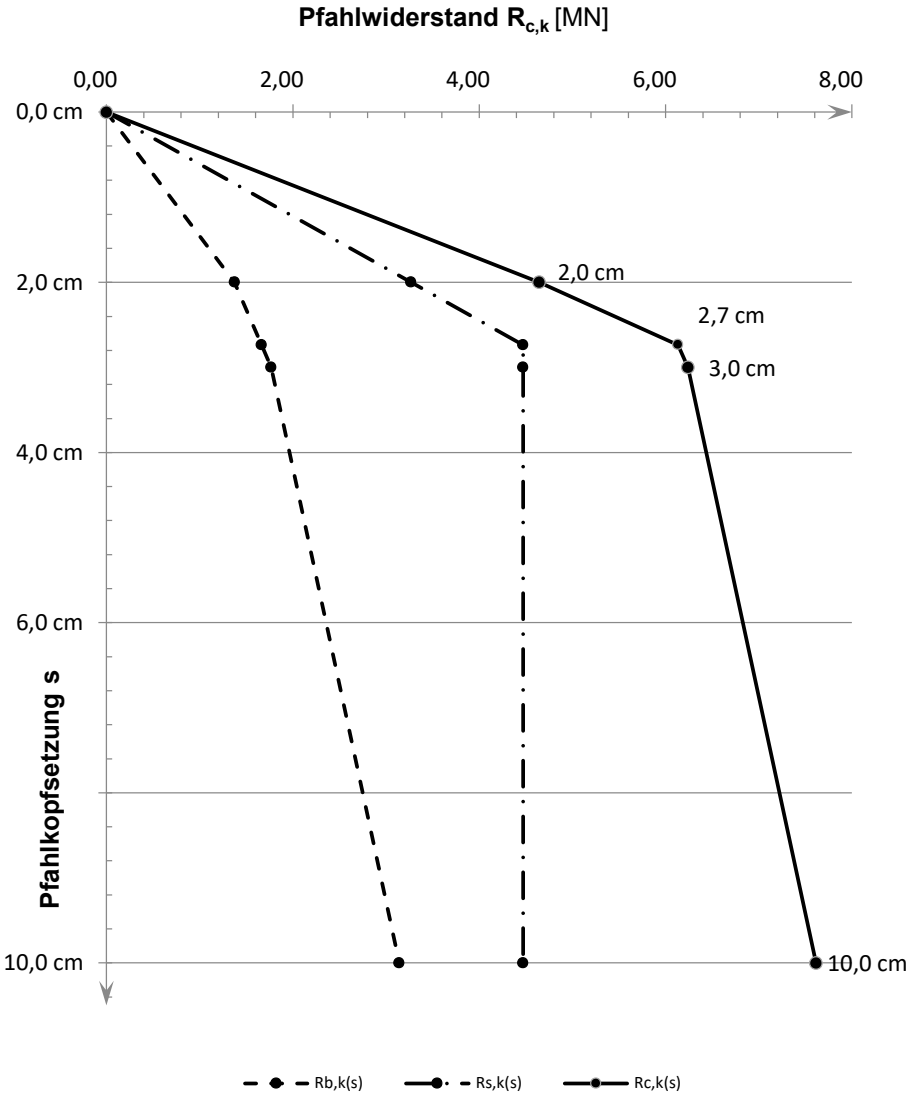
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
22,5	7,424	4,283	3,142
23,0	**7,613**	4,471	3,142
23,5	7,251	4,660	2,592

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 23,0 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	2,0 cm	3,269	1,374	4,643
s_{sg}	2,7 cm	4,471	1,663	6,134
s/D = 0,03	3,0 cm	4,471	1,767	6,238
s/D = 0,10	10,0 cm	4,471	3,142	7,613

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark WEA Verweyen / 23.1098 CPT WEA 5 Verweyen Ost

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	4,3	4,3	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	4,3	-	6,7	2,4	7,50	0	0,075	2,625	Sand/Schluff
3	6,7	-	8,0	1,3	1,00	0	0,010	0,350	bindig
4	8,0	-	8,5	0,5	6,00	0	0,060	2,100	Sand
5	8,5	-	11,5	3,0	1,00	0	0,010	0,350	bindig
6	11,5	-	13,5	2,0	0,00	100	0,040	0,800	bindig
7	13,5	-	16,8	3,3	15,00	0	0,150	5,250	Sand/Schluff
8	16,8	-	25,3	8,5	25,00	0	0,150	8,750	Sand
9	25,3	-	29,6	4,3	20,00	0	0,150	7,000	Sand/Schluff

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Stahlbetonrammpfahl		
Pfahlbreite:	45 cm		
Minimale Pfahllänge:	17,5 m	Schaftumfang:	1,80 m
Maximale Pfahllänge:	18,5 m	Fußfläche:	0,20 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

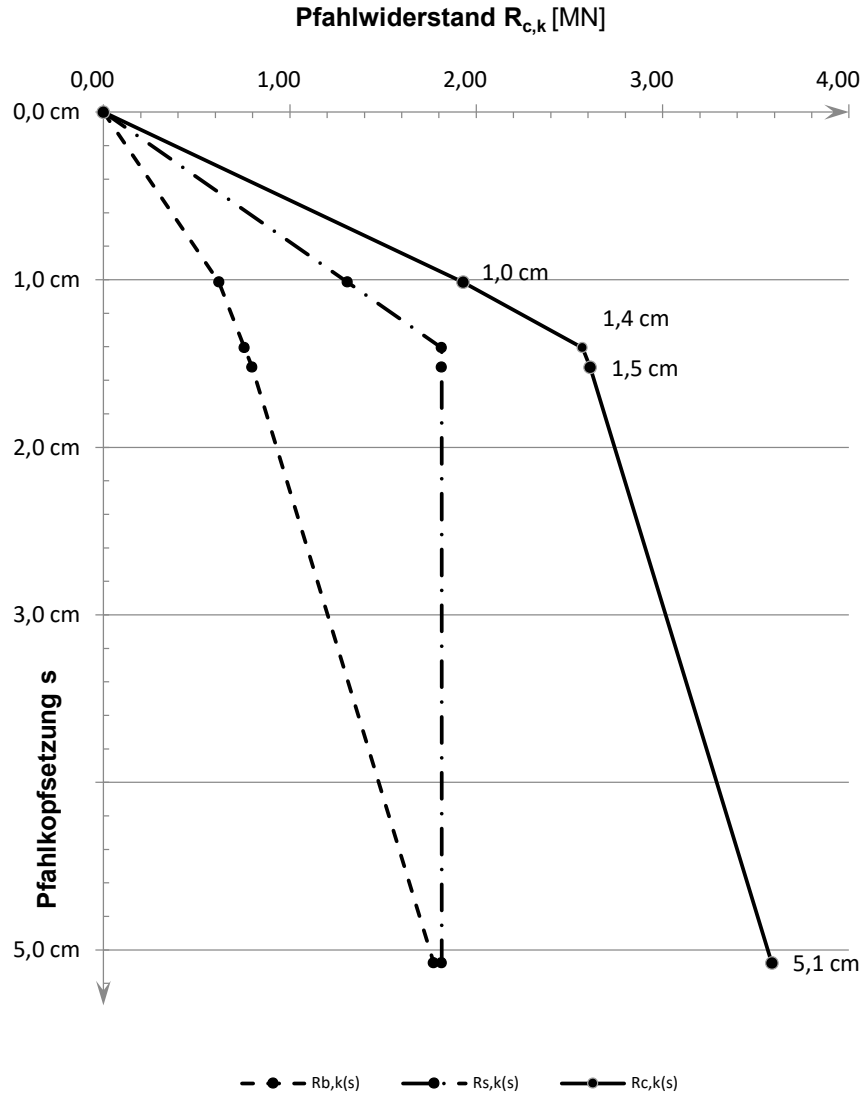
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
17,5	3,451	1,679	1,772
18,0	**3,586**	1,814	1,772
18,5	3,721	1,949	1,772

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 18,0 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,0 cm	1,309	0,620	1,930
s_{sg}	1,4 cm	1,814	0,757	2,571
s/D = 0,03	1,5 cm	1,814	0,797	2,612
s/D = 0,10	5,1 cm	1,814	1,772	3,586

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark WEA Verweyen / 23.1098 CPT WEA 5 Verweyen Ost

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	4,3	4,3	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	4,3	-	6,7	2,4	7,50	0	0,075	2,625	Sand/Schluff
3	6,7	-	8,0	1,3	1,00	0	0,010	0,350	bindig
4	8,0	-	8,5	0,5	6,00	0	0,060	2,100	Sand
5	8,5	-	11,5	3,0	1,00	0	0,010	0,350	bindig
6	11,5	-	13,5	2,0	0,00	100	0,040	0,800	bindig
7	13,5	-	16,8	3,3	15,00	0	0,150	5,250	Sand/Schluff
8	16,8	-	25,3	8,5	25,00	0	0,150	8,750	Sand
9	25,3	-	29,6	4,3	20,00	0	0,150	7,000	Sand/Schluff

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Ortbetonrammpfahl VI		
Schaftdurchmesser:	51 cm		
Spitzendurchmesser:	62 cm		
Minimale Pfahllänge:	17,5 m	Schaftumfang:	1,60 m
Maximale Pfahllänge:	18,5 m	Fußfläche:	0,30 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

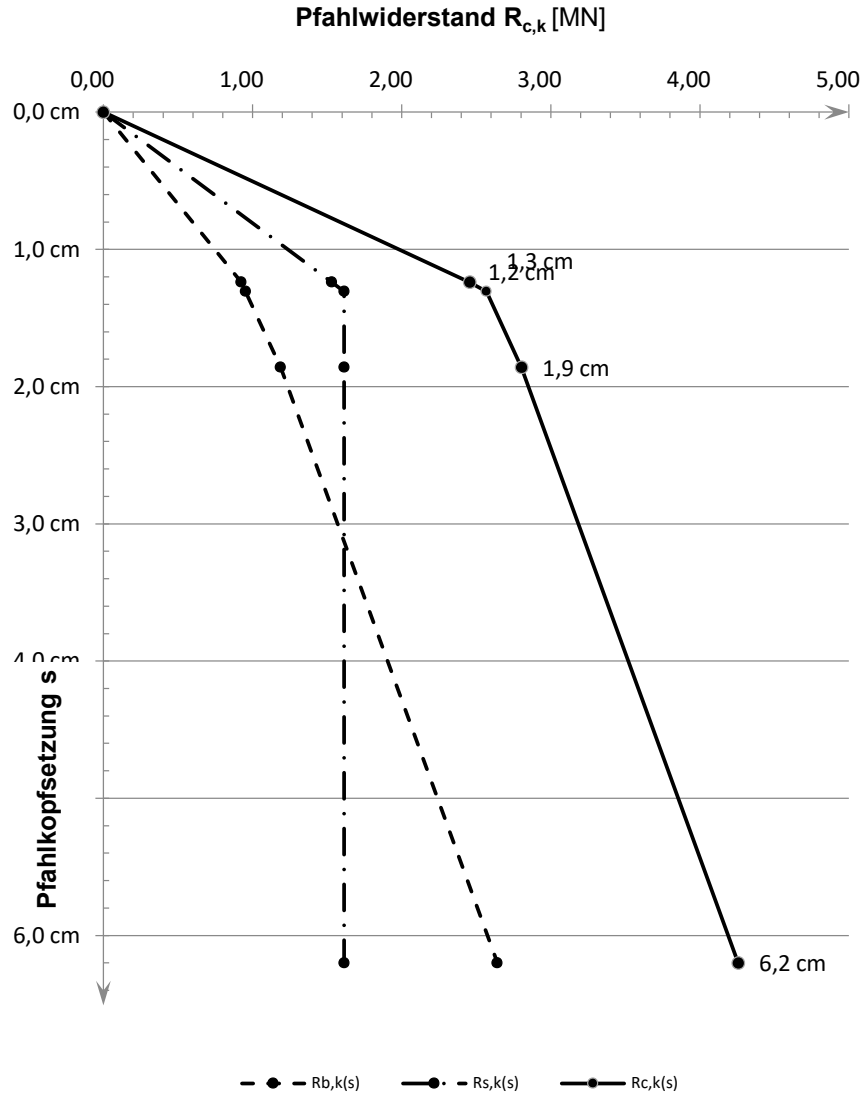
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
17,5	4,137	1,495	2,642
18,0	**4,257**	1,615	2,642
18,5	4,377	1,735	2,642

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 18,0 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,2 cm	1,532	0,925	2,456
s_{sg}	1,3 cm	1,615	0,953	2,568
s/D = 0,03	1,9 cm	1,615	1,189	2,804
s/D = 0,10	6,2 cm	1,615	2,642	4,257

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark WEA Verweyen / 23.1098 CPT WEA 5 Verweyen Ost

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	4,3	4,3	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	4,3	-	6,7	2,4	7,50	0	0,060	1,500	Sand/Schluff
3	6,7	-	8,0	1,3	1,00	0	0,008	0,200	bindig
4	8,0	-	8,5	0,5	6,00	0	0,048	1,200	Sand
5	8,5	-	11,5	3,0	1,00	0	0,008	0,200	bindig
6	11,5	-	13,5	2,0	0,00	100	0,040	0,800	bindig
7	13,5	-	16,8	3,3	15,00	0	0,120	3,000	Sand/Schluff
8	16,8	-	25,3	8,5	25,00	0	0,120	4,000	Sand
9	25,3	-	29,6	4,3	20,00	0	0,120	3,500	Sand/Schluff

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Bohrpfahl (klassisch)		
Schaftdurchmesser:	100 cm		
Spitzendurchmesser:	100 cm		
Minimale Pfahllänge:	22,5 m	Schaftumfang:	3,14 m
Maximale Pfahllänge:	23,5 m	Fußfläche:	0,79 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

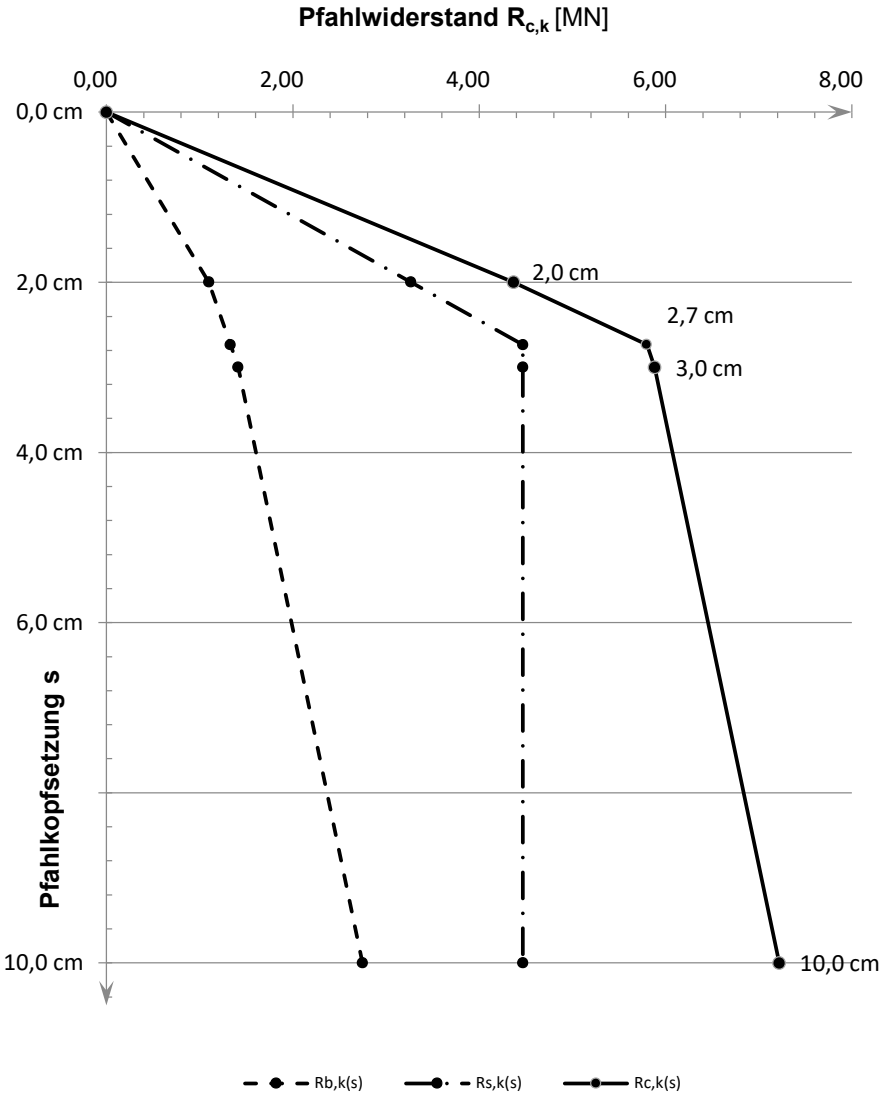
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
22,5	7,029	4,280	2,749
23,0	**7,217**	4,469	2,749
23,5	7,406	4,657	2,749

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 23,0 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	2,0 cm	3,269	1,100	4,368
s_{sg}	2,7 cm	4,469	1,330	5,799
s/D = 0,03	3,0 cm	4,469	1,414	5,882
s/D = 0,10	10,0 cm	4,469	2,749	7,217

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark WEA Verweyen / 23.1098 CPT WEA 5 Verweyen Süd

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	4,2	4,2	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	4,2	-	6,8	2,6	7,50	0	0,075	2,625	Sand/Schluff
3	6,8	-	8,2	1,4	1,00	0	0,010	0,350	bindig
4	8,2	-	8,8	0,6	16,00	0	0,150	5,600	Sand
5	8,8	-	12,0	3,2	1,00	0	0,010	0,350	bindig
6	12,0	-	13,3	1,3	0,00	100	0,040	0,800	bindig
7	13,3	-	15,4	2,1	15,00	0	0,150	5,250	Sand
8	15,4	-	17,3	1,9	16,00	0	0,150	5,600	Sand
9	17,3	-	24,8	7,5	25,00	0	0,150	8,750	Sand
10	24,8	-	28,0	3,2	25,00	0	0,150	8,750	Annahme: Sand

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Stahlbetonrammpfahl		
Pfahlbreite:	45 cm		
Minimale Pfahllänge:	17,5 m	Schaftumfang:	1,80 m
Maximale Pfahllänge:	18,5 m	Fußfläche:	0,20 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

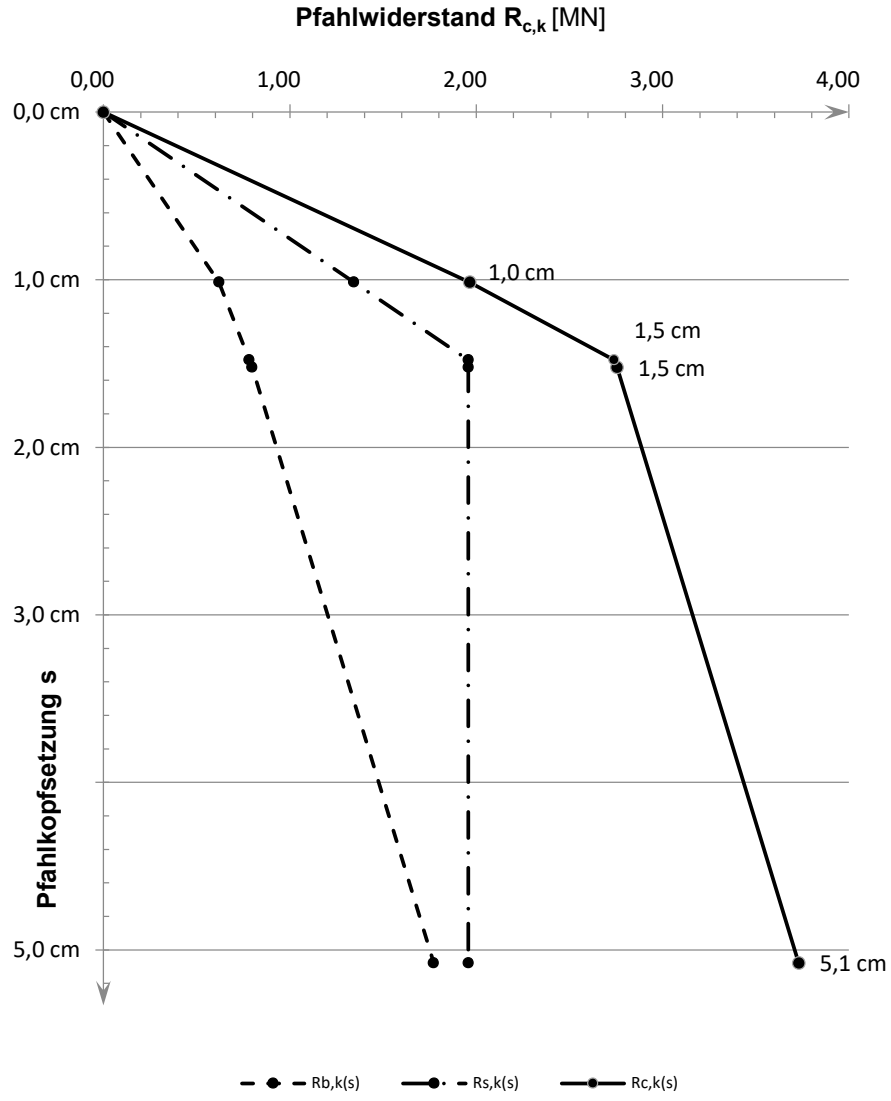
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
17,5	3,595	1,823	1,772
18,0	**3,730**	1,958	1,772
18,5	3,865	2,093	1,772

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 18,0 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,0 cm	1,345	0,620	1,965
s_{sg}	1,5 cm	1,958	0,782	2,740
s/D = 0,03	1,5 cm	1,958	0,797	2,756
s/D = 0,10	5,1 cm	1,958	1,772	3,730

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark WEA Verweyen / 23.1098 CPT WEA 5 Verweyen Süd

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	4,2	4,2	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	4,2	-	6,8	2,6	7,50	0	0,075	2,625	Sand/Schluff
3	6,8	-	8,2	1,4	1,00	0	0,010	0,350	bindig
4	8,2	-	8,8	0,6	16,00	0	0,150	5,600	Sand
5	8,8	-	12,0	3,2	1,00	0	0,010	0,350	bindig
6	12,0	-	13,3	1,3	0,00	100	0,040	0,800	bindig
7	13,3	-	15,4	2,1	15,00	0	0,150	5,250	Sand
8	15,4	-	17,3	1,9	16,00	0	0,150	5,600	Sand
9	17,3	-	24,8	7,5	25,00	0	0,150	8,750	Sand
10	24,8	-	28,0	3,2	25,00	0	0,150	8,750	Annahme: Sand

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Ortbetonrammpfahl VI		
Schaftdurchmesser:	51 cm		
Spitzendurchmesser:	62 cm		
Minimale Pfahllänge:	17,5 m	Schaftumfang:	1,60 m
Maximale Pfahllänge:	18,5 m	Fußfläche:	0,30 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

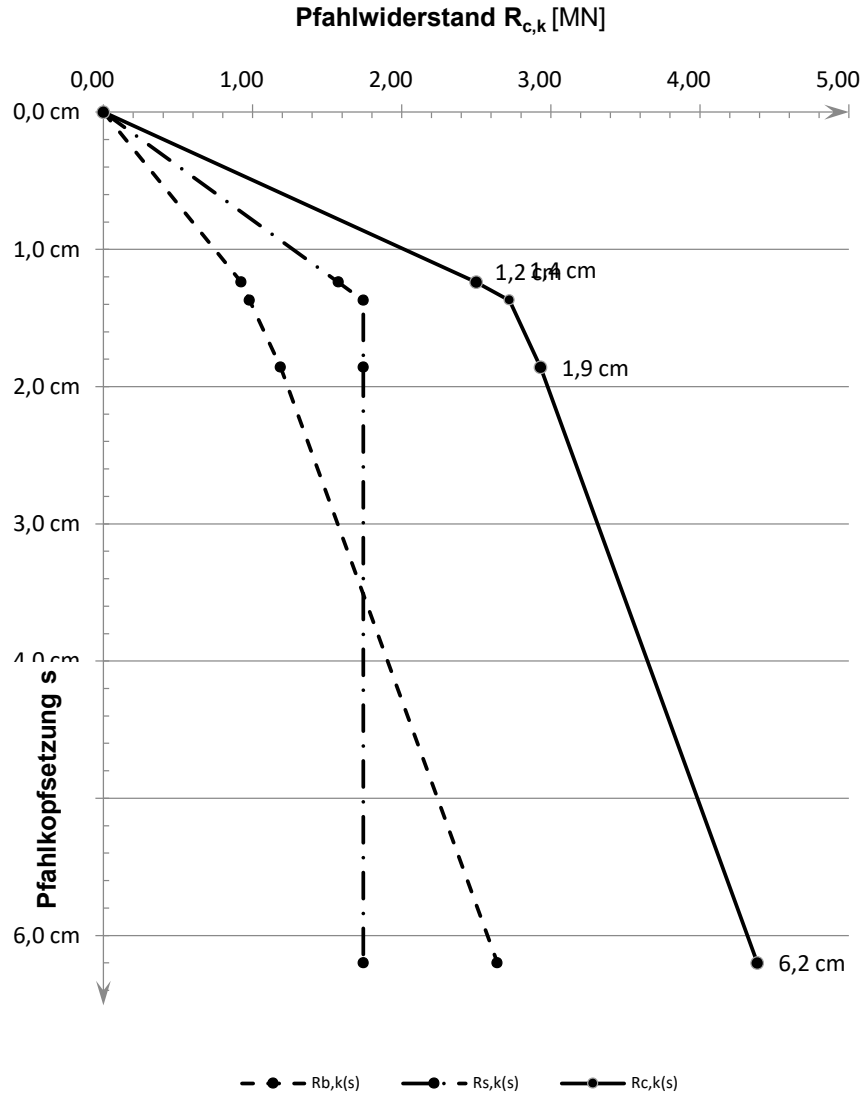
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
17,5	4,265	1,623	2,642
18,0	**4,385**	1,743	2,642
18,5	4,505	1,863	2,642

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 18,0 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,2 cm	1,576	0,925	2,501
s_{sg}	1,4 cm	1,743	0,981	2,724
s/D = 0,03	1,9 cm	1,743	1,189	2,932
s/D = 0,10	6,2 cm	1,743	2,642	4,385

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark WEA Verweyen / 23.1098 CPT WEA 5 Verweyen Süd

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	4,2	4,2	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	4,2	-	6,8	2,6	7,50	0	0,060	1,500	Sand/Schluff
3	6,8	-	8,2	1,4	1,00	0	0,008	0,200	bindig
4	8,2	-	8,8	0,6	16,00	0	0,120	3,100	Sand
5	8,8	-	12,0	3,2	1,00	0	0,008	0,200	bindig
6	12,0	-	13,3	1,3	0,00	100	0,040	0,800	bindig
7	13,3	-	15,4	2,1	15,00	0	0,120	3,000	Sand
8	15,4	-	17,3	1,9	16,00	0	0,120	3,100	Sand
9	17,3	-	24,8	7,5	25,00	0	0,120	4,000	Sand
10	24,8	-	28,0	3,2	25,00	0	0,120	4,000	Annahme: Sand

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Bohrpfahl (klassisch)		
Schaftdurchmesser:	100 cm		
Spitzendurchmesser:	100 cm		
Minimale Pfahllänge:	22,5 m	Schaftumfang:	3,14 m
Maximale Pfahllänge:	23,5 m	Fußfläche:	0,79 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

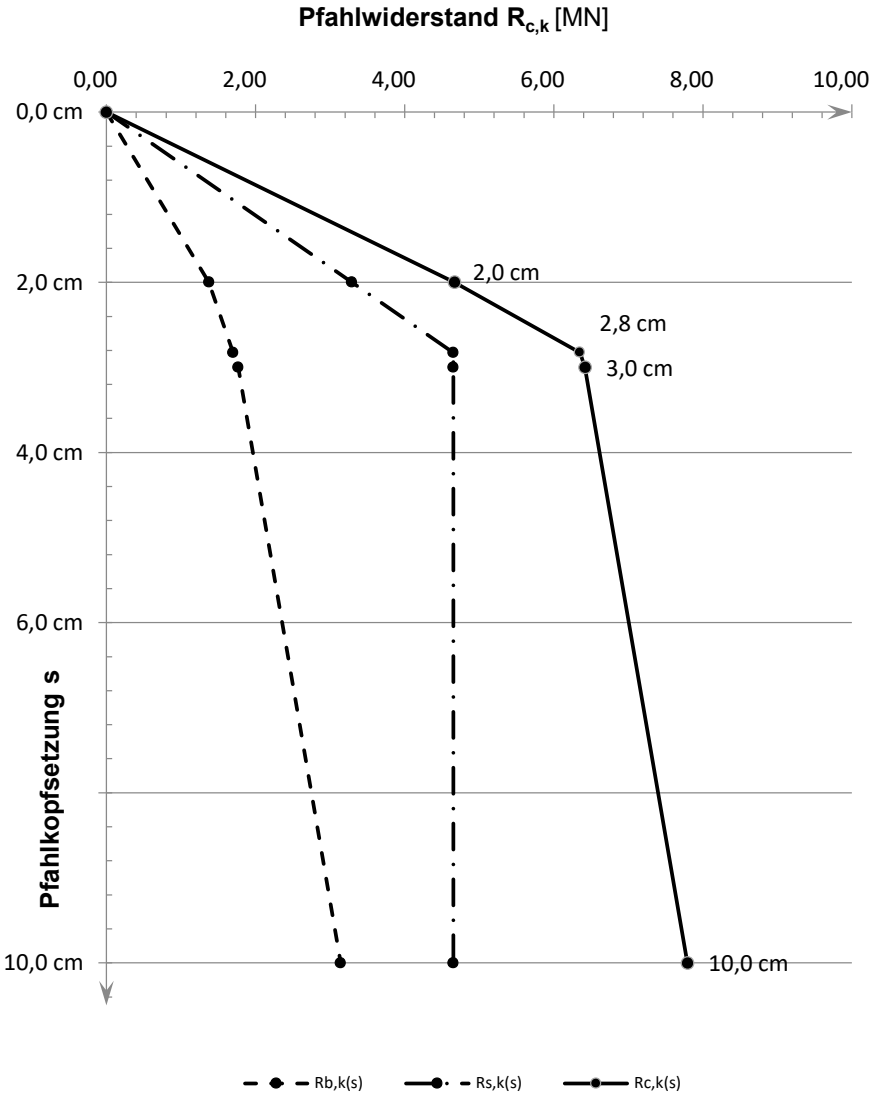
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
22,5	7,605	4,464	3,142
23,0	**7,794**	4,652	3,142
23,5	7,982	4,841	3,142

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 23,0 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	2,0 cm	3,292	1,374	4,667
s_{sg}	2,8 cm	4,652	1,699	6,351
s/D = 0,03	3,0 cm	4,652	1,767	6,419
s/D = 0,10	10,0 cm	4,652	3,142	7,794

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark WEA Verweyen / 23.1098 CPT WEA 5 Verweyen West

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	4,8	4,8	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	4,8	-	6,4	1,6	4,00	0	0,040	1,400	Sand/Schluff
3	6,4	-	7,3	0,9	1,00	0	0,010	0,350	bindig
4	7,3	-	8,5	1,2	7,50	0	0,075	2,625	Sand/Schluff
5	8,5	-	11,6	3,1	1,00	0	0,010	0,350	bindig
6	11,6	-	14,2	2,6	0,00	100	0,040	0,800	bindig
7	14,2	-	15,0	0,8	16,00	0	0,150	5,600	Sand
8	15,0	-	16,8	1,8	20,00	0	0,150	7,000	Sand
9	16,8	-	28,3	11,5	28,00	0	0,150	9,800	Sand

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Stahlbetonrammpfahl		
Pfahlbreite:	45 cm		
Minimale Pfahllänge:	17,5 m	Schaftumfang:	1,80 m
Maximale Pfahllänge:	18,5 m	Fußfläche:	0,20 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

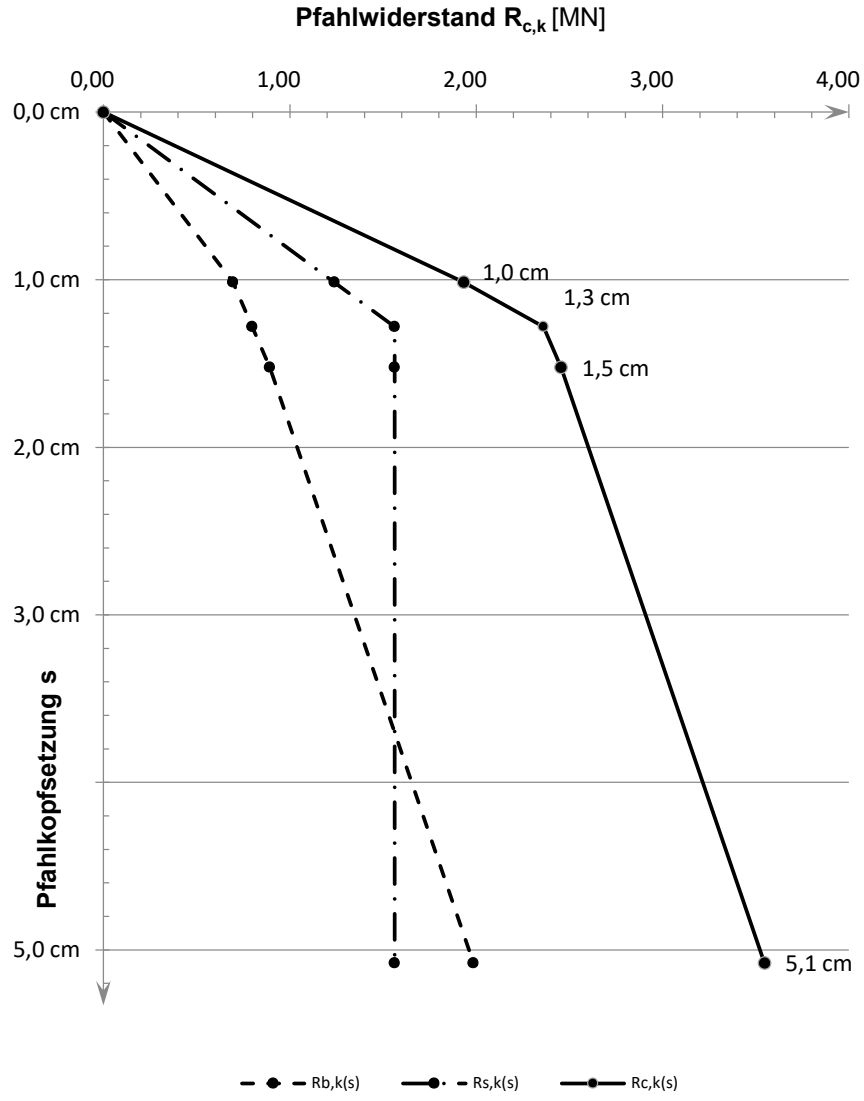
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
17,5	3,412	1,427	1,985
18,0	**3,547**	1,562	1,985
18,5	3,682	1,697	1,985

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 18,0 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	1,0 cm	1,238	0,695	1,933
s_{sg}	1,3 cm	1,562	0,798	2,361
s/D = 0,03	1,5 cm	1,562	0,893	2,455
s/D = 0,10	5,1 cm	1,562	1,985	3,547

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark WEA Verweyen / 23.1098 CPT WEA 5 Verweyen West

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	4,8	4,8	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	4,8	-	6,4	1,6	4,00	0	0,040	1,400	Sand/Schluff
3	6,4	-	7,3	0,9	1,00	0	0,010	0,350	bindig
4	7,3	-	8,5	1,2	7,50	0	0,075	2,625	Sand/Schluff
5	8,5	-	11,6	3,1	1,00	0	0,010	0,350	bindig
6	11,6	-	14,2	2,6	0,00	100	0,040	0,800	bindig
7	14,2	-	15,0	0,8	16,00	0	0,150	5,600	Sand
8	15,0	-	16,8	1,8	20,00	0	0,150	7,000	Sand
9	16,8	-	28,3	11,5	28,00	0	0,150	9,800	Sand

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Ortbetonrammpfahl VI		
Schaftdurchmesser:	51 cm		
Spitzendurchmesser:	62 cm		
Minimale Pfahllänge:	17,5 m	Schaftumfang:	1,60 m
Maximale Pfahllänge:	18,5 m	Fußfläche:	0,30 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

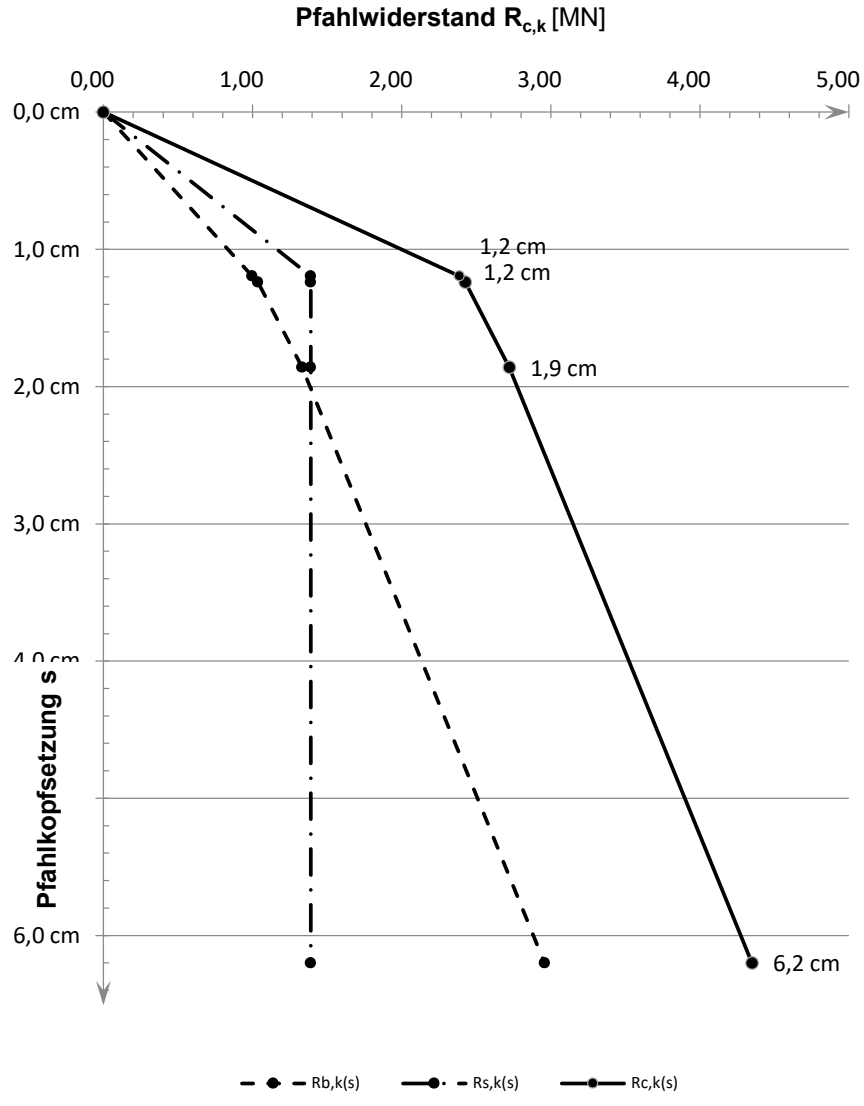
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
17,5	4,229	1,271	2,959
18,0	**4,349**	1,391	2,959
18,5	4,470	1,511	2,959

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 18,0 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s_{sg}	1,2 cm	1,391	0,998	2,389
s/D = 0,02	1,2 cm	1,391	1,036	2,426
s/D = 0,03	1,9 cm	1,391	1,331	2,722
s/D = 0,10	6,2 cm	1,391	2,959	4,349

Widerstandsetzungslinie



Projekt: Windpark WEA Verweyen / 23.1098 CPT WEA 5 Verweyen West

Baugrund

S-Nr. Schicht	Tiefe [m]			Dicke [m]	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k\ (0,1)}$ [MN/m²]	Bezeichnung
1	0,0	-	4,8	4,8	0,00	0	0,000	0,000	nicht tragfähig
2	4,8	-	6,4	1,6	4,00	0	0,032	0,800	Sand/Schluff
3	6,4	-	7,3	0,9	1,00	0	0,008	0,200	bindig
4	7,3	-	8,5	1,2	7,50	0	0,060	1,500	Sand/Schluff
5	8,5	-	11,6	3,1	1,00	0	0,008	0,200	bindig
6	11,6	-	14,2	2,6	0,00	100	0,040	0,800	bindig
7	14,2	-	15,0	0,8	16,00	0	0,120	3,100	Sand
8	15,0	-	16,8	1,8	20,00	0	0,120	3,500	Sand
9	16,8	-	28,3	11,5	28,00	0	0,120	4,000	Sand

Pfahlgeometrie

Pfahlbezeichnung:	Bohrpfahl (klassisch)		
Schaftdurchmesser:	100 cm		
Spitzendurchmesser:	100 cm		
Minimale Pfahllänge:	22,5 m	Schaftumfang:	3,14 m
Maximale Pfahllänge:	23,5 m	Fußfläche:	0,79 m²

Pfahlwiderstände R_{1k} (längenabhängig)

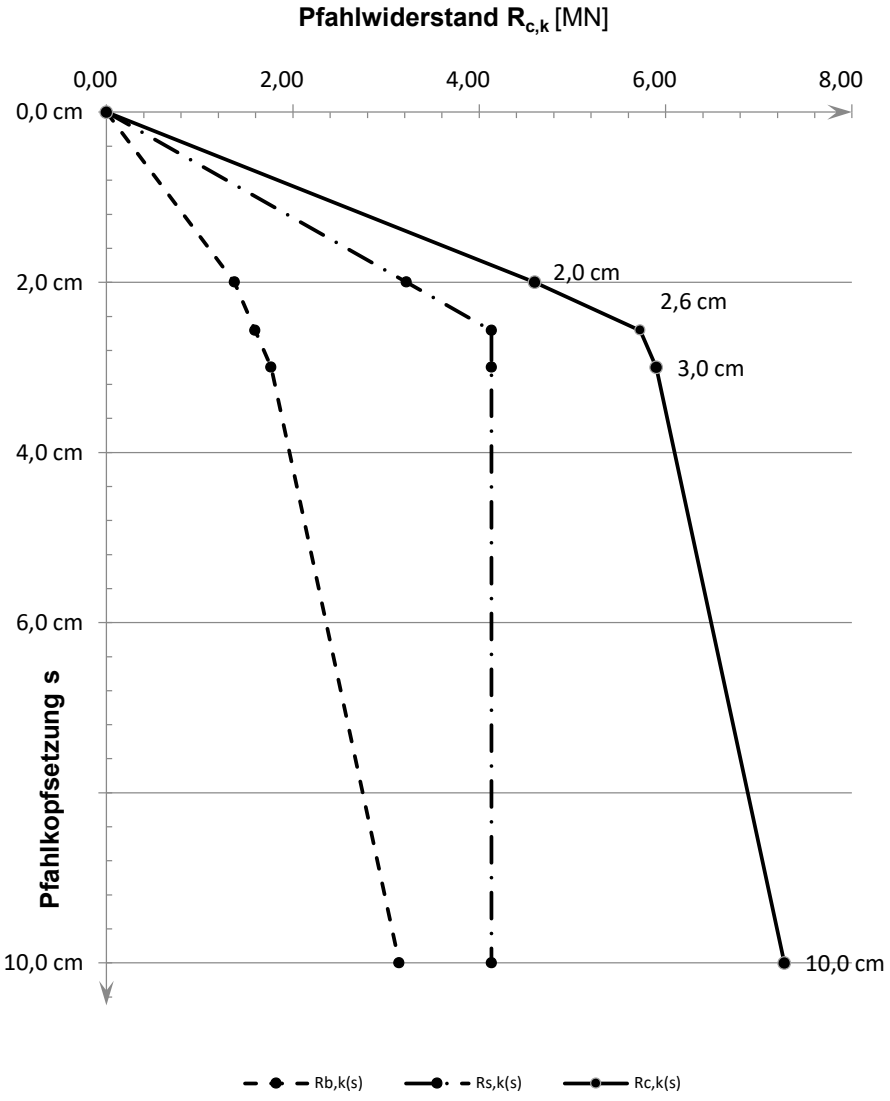
Pfahllänge [m]	$R_{c,k}$ [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	$R_{b,k}$ [MN]
22,5	7,085	3,943	3,142
23,0	**7,273**	4,132	3,142
23,5	7,462	4,320	3,142

Pfahlwiderstände (setzungsabhängig)

Die Berechnung erfolgt für eine Pfahllänge von 23,0 m

Bezogene Setzung	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s/D = 0,02	2,0 cm	3,221	1,374	4,595
s_{sg}	2,6 cm	4,132	1,597	5,729
s/D = 0,03	3,0 cm	4,132	1,767	5,899
s/D = 0,10	10,0 cm	4,132	3,142	7,273

Widerstandsetzungslinie



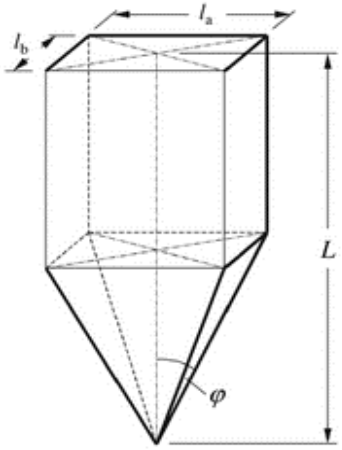
Projekt:	Auftraggeber:	Projektnummer:	SBI SCHMITZ + BEILKE INGENIEURE GMBH
Repowering Windpark Georgshof	**Vulhop + Becker GmbH & Co. KG, Rastede**	**_23/1098**	
Art:		Datum:	**Anlage 10.3.1**
Nachweis Abheben des Bodenblockes für Zugpfahlgruppen (Var. C)		**23.10.2023**	Blatt 1

Bedingung für den Grenzzustand UPL:

$$G_{dst,k} \cdot \gamma_{G,dst} + Q_{dst,rep} \cdot \gamma_{Q,dst} \leq G_{stb,k} + G_{E,k} \cdot \gamma_{G,stb}$$

Eingabewerte:

Länge der Zugpfähle (Startwert)	L =	20,5	in m	
größere Rastermaß einer Pfahlgruppe	l_a =	8,96	in m	(3 x 1,8 m)
kleinere Rastermaß einer Pfahlgruppe	l_b =	3,37	in m	*)
Anzahl der Zugpfähle	n_z =	3		
gemittelte Wichte	γ =	10	in kN/m³	
Anpassungsfaktor	ηz =	0,80		
Reibungswinkel	φ =	32,5	in °	



Bemessungssituation		P	
Sicherheitsbeiwerte	$\gamma_{G,stb}$ =	0,95	
	$\gamma_{G,dst}$ =	1,05	
	$\gamma_{Q,dst}$ =	1,50	
	$G_{stb,k}$ =	0	in kN
nach $G_{dst,k}$ auflösen?		Nein	
nach $Q_{dst,k}$ auflösen?		Ja	

***) = $d_{Fuß}$ + t x tan φ**

t = Dicke der gut tragfähigen Schicht

Anmerkung: wird im Regelfall nicht angesetzt

Aufnehmbare Lasten (bezogen auf die Zugpfahlgruppe):

Länge L [m]	$G_{stb,k}$ [kN]	$G_{E,k}$ [kN]	$G_{dst,k}$ [kN]	$Q_{dst,k}$ [kN]	für Einzelpfahl: $Q_{dst,k,Einzel}$ [kN]
20,5	0	11226	0	7110	2370
21,0	0	11589	0	7339	2446
21,5	0	11951	0	7569	2523
22,0	0	12313	0	7798	2599
22,5	0	12676	0	8028	2676
23,0	0	13038	0	8257	2752
23,5	0	13400	0	8487	2829
24,0	0	13763	0	8716	2905
24,5	0	14125	0	8946	2982
25,0	0	14487	0	9175	3058
25,5	0	14850	0	9405	3135

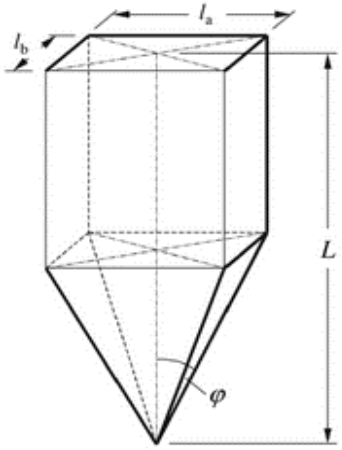
Projekt:	Auftraggeber:	Projektnummer:	SBI SCHMITZ + BEILKE INGENIEURE GMBH
Repowering Windpark Georgshof	**Vulhop + Becker GmbH & Co. KG, Rastede**	**_23/1098**	
Art:		Datum:	**Anlage 10.1.1**
Nachweis Abheben des Bodenblockes für Zugpfahlgruppen (Var. A)		**23.10.2023**	Blatt 1

Bedingung für den Grenzzustand UPL:

$$G_{dst,k} \cdot \gamma_{G,dst} + Q_{dst,rep} \cdot \gamma_{Q,dst} \leq G_{stb,k} + G_{E,k} \cdot \gamma_{G,stb}$$

Eingabewerte:

Länge der Zugpfähle (Startwert)	L =	17,5	in m	
größere Rastermaß einer Pfahlgruppe	l_a =	6,55	in m	(3 x 1,8 m)
kleinere Rastermaß einer Pfahlgruppe	l_b =	1,61	in m	*)
Anzahl der Zugpfähle	n_z =	3		
gemittelte Wichte	γ =	10	in kN/m³	
Anpassungsfaktor	ηz =	0,80		
Reibungswinkel	φ =	32,5	in °	



Bemessungssituation		P	
Sicherheitsbeiwerte	$\gamma_{G,stb}$ =	0,95	
	$\gamma_{G,dst}$ =	1,05	
	$\gamma_{Q,dst}$ =	1,50	
	$G_{stb,k}$ =	0	in kN

***) = $d_{Fuß}$ + t x tan φ**

t = Dicke der gut tragfähigen Schicht

Anmerkung: wird im Regelfall nicht angesetzt

nach $G_{dst,k}$ auflösen?	Nein
nach $Q_{dst,k}$ auflösen?	Ja

Aufnehmbare Lasten (bezogen auf die Zugpfahlgruppe):

Länge L [m]	$G_{stb,k}$ [kN]	$G_{E,k}$ [kN]	$G_{dst,k}$ [kN]	$Q_{dst,k}$ [kN]	für Einzelpfahl: $Q_{dst,k,Einzel}$ [kN]
17,5	0	3536	0	2239	746
18,0	0	3662	0	2320	773
18,5	0	3789	0	2400	800
19,0	0	3916	0	2480	827
19,5	0	4042	0	2560	853
20,0	0	4169	0	2640	880
20,5	0	4295	0	2720	907
21,0	0	4422	0	2800	933
21,5	0	4548	0	2881	960
22,0	0	4675	0	2961	987
22,5	0	4801	0	3041	1014

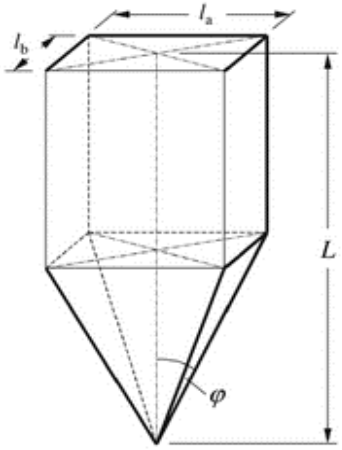
Projekt:	Auftraggeber:	Projektnummer:	SBI SCHMITZ + BEILKE INGENIEURE GMBH
Repowering Windpark Georgshof	**Vulhop + Becker GmbH & Co. KG, Rastede**	**_23/1098**	
Art:		Datum:	**Anlage 10.2.1**
Nachweis Abheben des Bodenblockes für Zugpfahlgruppen (Var. B)		**23.10.2023**	Blatt 1

Bedingung für den Grenzzustand UPL:

$$G_{dst,k} \cdot \gamma_{G,dst} + Q_{dst,rep} \cdot \gamma_{Q,dst} \leq G_{stb,k} + G_{E,k} \cdot \gamma_{G,stb}$$

Eingabewerte:

Länge der Zugpfähle (Startwert)	L =	10	in m	
größere Rastermaß einer Pfahlgruppe	l_a =	2,33	in m	(3 x 1,8 m)
kleinere Rastermaß einer Pfahlgruppe	l_b =	2,02	in m	*)
Anzahl der Zugpfähle	n_z =	3		
gemittelte Wichte	γ =	9	in kN/m³	
Anpassungsfaktor	ηz =	0,80		
Reibungswinkel	φ =	37,5	in °	



Bemessungssituation		P	
Sicherheitsbeiwerte	$\gamma_{G,stb}$ =	0,95	
	$\gamma_{G,dst}$ =	1,05	
	$\gamma_{Q,dst}$ =	1,50	
	$G_{stb,k}$ =	0	in kN

***) = $d_{Fuß}$ + t x tan φ**

t = Dicke der gut tragfähigen Schicht

Anmerkung: wird im Regelfall nicht angesetzt

nach $G_{dst,k}$ auflösen?	Nein
nach $Q_{dst,k}$ auflösen?	Ja

Aufnehmbare Lasten (bezogen auf die Zugpfahlgruppe):

Länge L [m]	$G_{stb,k}$ [kN]	$G_{E,k}$ [kN]	$G_{dst,k}$ [kN]	$Q_{dst,k}$ [kN]	für Einzelpfahl: $Q_{dst,k,Einzel}$ [kN]
10,0	0	880	0	558	186
10,5	0	931	0	590	197
11,0	0	982	0	622	207
11,5	0	1033	0	654	218
12,0	0	1084	0	686	229
12,5	0	1135	0	719	240
13,0	0	1185	0	751	250
13,5	0	1236	0	783	261
14,0	0	1287	0	815	272
14,5	0	1338	0	847	282
15,0	0	1389	0	880	293

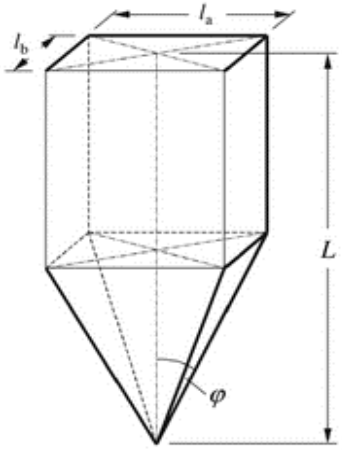
Projekt:	Auftraggeber:	Projektnummer:	SBI SCHMITZ + BEILKE INGENIEURE GMBH
Repowering Windpark Georgshof	**Vulhop + Becker GmbH & Co. KG, Rastede**	**_23/1098**	
Art:		Datum:	**Anlage 10.2.2**
Nachweis Abheben des Bodenblockes für Zugpfahlgruppen (Var. B)		**23.10.2023**	Blatt 1

Bedingung für den Grenzzustand UPL:

$$G_{dst,k} \cdot \gamma_{G,dst} + Q_{dst,rep} \cdot \gamma_{Q,dst} \leq G_{stb,k} + G_{E,k} \cdot \gamma_{G,stb}$$

Eingabewerte:

Länge der Zugpfähle (Startwert)	L =	13	in m	
größere Rastermaß einer Pfahlgruppe	l_a =	4,64	in m	(3 x 1,8 m)
kleinere Rastermaß einer Pfahlgruppe	l_b =	2,07	in m	*)
Anzahl der Zugpfähle	n_z =	3		
gemittelte Wichte	γ =	9	in kN/m³	
Anpassungsfaktor	ηz =	0,80		
Reibungswinkel	φ =	37,5	in °	



Bemessungssituation		P	
Sicherheitsbeiwerte	$\gamma_{G,stb}$ =	0,95	
	$\gamma_{G,dst}$ =	1,05	
	$\gamma_{Q,dst}$ =	1,50	
	$G_{stb,k}$ =	0	in kN

***) = $d_{Fuß}$ + t x tan φ**

t = Dicke der gut tragfähigen Schicht

Anmerkung: wird im Regelfall nicht angesetzt

nach $G_{dst,k}$ auflösen?	Nein
nach $Q_{dst,k}$ auflösen?	Ja

Aufnehmbare Lasten (bezogen auf die Zugpfahlgruppe):

Länge L [m]	$G_{stb,k}$ [kN]	$G_{E,k}$ [kN]	$G_{dst,k}$ [kN]	$Q_{dst,k}$ [kN]	für Einzelpfahl: $Q_{dst,k,Einzel}$ [kN]
13,0	0	2239	0	1418	473
13,5	0	2343	0	1484	495
14,0	0	2447	0	1550	517
14,5	0	2550	0	1615	538
15,0	0	2654	0	1681	560
15,5	0	2758	0	1747	582
16,0	0	2862	0	1812	604
16,5	0	2965	0	1878	626
17,0	0	3069	0	1944	648
17,5	0	3173	0	2009	670
18,0	0	3276	0	2075	692

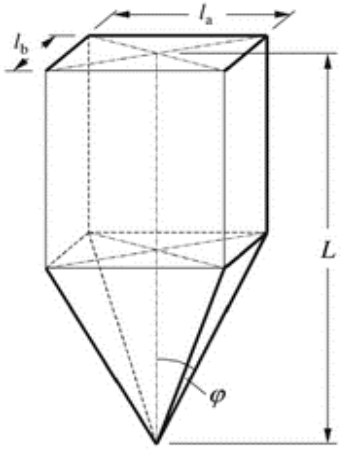
Projekt:	Auftraggeber:	Projektnummer:	SBI SCHMITZ + BEILKE INGENIEURE GMBH
Repowering Windpark Georgshof	**Vulhop + Becker GmbH & Co. KG, Rastede**	**_23/1098**	
Art:		Datum:	**Anlage 10.2.3**
Nachweis Abheben des Bodenblockes für Zugpfahlgruppen (Var. B)		**23.10.2023**	Blatt 1

Bedingung für den Grenzzustand UPL:

$$G_{dst,k} \cdot \gamma_{G,dst} + Q_{dst,rep} \cdot \gamma_{Q,dst} \leq G_{stb,k} + G_{E,k} \cdot \gamma_{G,stb}$$

Eingabewerte:

Länge der Zugpfähle (Startwert)	L =	13,5	in m	
größere Rastermaß einer Pfahlgruppe	l_a =	5,02	in m	(3 x 1,8 m)
kleinere Rastermaß einer Pfahlgruppe	l_b =	2,07	in m	*)
Anzahl der Zugpfähle	n_z =	3		
gemittelte Wichte	γ =	9	in kN/m³	
Anpassungsfaktor	ηz =	0,80		
Reibungswinkel	φ =	37,5	in °	



Bemessungssituation		P	
Sicherheitsbeiwerte	$\gamma_{G,stb}$ =	0,95	
	$\gamma_{G,dst}$ =	1,05	
	$\gamma_{Q,dst}$ =	1,50	
	$G_{stb,k}$ =	0	in kN

***) = $d_{Fuß}$ + t x tan φ**

t = Dicke der gut tragfähigen Schicht

Anmerkung: wird im Regelfall nicht angesetzt

nach $G_{dst,k}$ auflösen?	Nein
nach $Q_{dst,k}$ auflösen?	Ja

Aufnehmbare Lasten (bezogen auf die Zugpfahlgruppe):

Länge L [m]	$G_{stb,k}$ [kN]	$G_{E,k}$ [kN]	$G_{dst,k}$ [kN]	$Q_{dst,k}$ [kN]	für Einzelpfahl: $Q_{dst,k,Einzel}$ [kN]
13,5	0	2501	0	1584	528
14,0	0	2613	0	1655	552
14,5	0	2725	0	1726	575
15,0	0	2837	0	1797	599
15,5	0	2950	0	1868	623
16,0	0	3062	0	1939	646
16,5	0	3174	0	2010	670
17,0	0	3286	0	2081	694
17,5	0	3398	0	2152	717
18,0	0	3511	0	2223	741
18,5	0	3623	0	2295	765

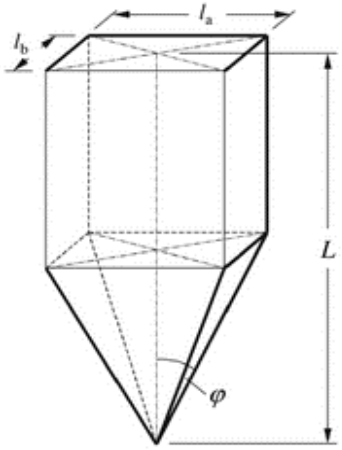
Projekt:	Auftraggeber:	Projektnummer:	SBI SCHMITZ + BEILKE INGENIEURE GMBH
Repowering Windpark Georgshof	**Vulhop + Becker GmbH & Co. KG, Rastede**	**_23/1098**	
Art:		Datum:	**Anlage 10.3.1**
Nachweis Abheben des Bodenblockes für Zugpfahlgruppen (Var. C)		**23.10.2023**	Blatt 1

Bedingung für den Grenzzustand UPL:

$$G_{dst,k} \cdot \gamma_{G,dst} + Q_{dst,rep} \cdot \gamma_{Q,dst} \leq G_{stb,k} + G_{E,k} \cdot \gamma_{G,stb}$$

Eingabewerte:

Länge der Zugpfähle (Startwert)	L =	20,5	in m	
größere Rastermaß einer Pfahlgruppe	l_a =	8,96	in m	(3 x 1,8 m)
kleinere Rastermaß einer Pfahlgruppe	l_b =	3,37	in m	*)
Anzahl der Zugpfähle	n_z =	3		
gemittelte Wichte	γ =	10	in kN/m³	
Anpassungsfaktor	ηz =	0,80		
Reibungswinkel	φ =	32,5	in °	



Bemessungssituation		P	
Sicherheitsbeiwerte	$\gamma_{G,stb}$ =	0,95	
	$\gamma_{G,dst}$ =	1,05	
	$\gamma_{Q,dst}$ =	1,50	
	$G_{stb,k}$ =	0	in kN

*) = $d_{Fuß}$ + t x tan φ

t = Dicke der gut tragfähigen Schicht

Anmerkung: wird im Regelfall nicht angesetzt

nach $G_{dst,k}$ auflösen?	Nein
nach $Q_{dst,k}$ auflösen?	Ja

Aufnehmbare Lasten (bezogen auf die Zugpfahlgruppe):

Länge L [m]	$G_{stb,k}$ [kN]	$G_{E,k}$ [kN]	$G_{dst,k}$ [kN]	$Q_{dst,k}$ [kN]	für Einzelpfahl: $Q_{dst,k,Einzel}$ [kN]
20,5	0	11226	0	7110	2370
21,0	0	11589	0	7339	2446
21,5	0	11951	0	7569	2523
22,0	0	12313	0	7798	2599
22,5	0	12676	0	8028	2676
23,0	0	13038	0	8257	2752
23,5	0	13400	0	8487	2829
24,0	0	13763	0	8716	2905
24,5	0	14125	0	8946	2982
25,0	0	14487	0	9175	3058
25,5	0	14850	0	9405	3135

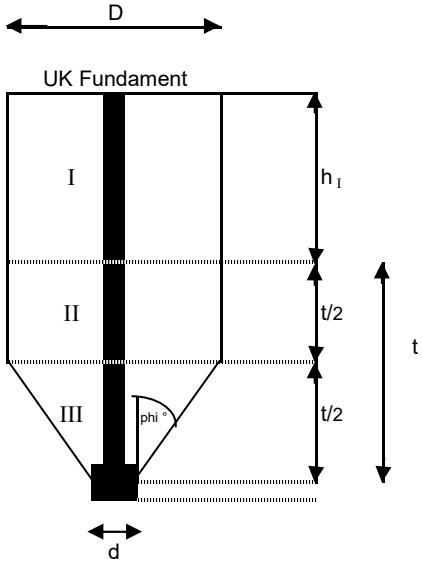
Standsicherheitsuntersuchung nach Franke

Reaktionsgewicht des Erdkegels

Einzelpfahl

Standort : WEA 4

Pfahlart : 45/45 cm



	Eingabe:
Pfahllänge ab OK DS [m] =	17,0
Fundamenttiefe [m] =	0,0
	Ausgabe:
Wirksame Länge [m] =	17,0

mäßig tragf. Schicht Eingabe:

Wichte γ_I [kN/m³] =	8,0
h_I [m] =	8,0

tragfähige Schicht Eingabe:

Wichte γ_{II} [kN/m³] =	11,0
Reibungswinkel φ ° =	32,5
t [m] =	9,0

	Eingabe:
Fußdurchmesser [m] =	0,50

$D = d + t * \tan \varphi$ °

D= 6,23 [m] nur für Ermittlung der Kubaturbreite

$G_I = 0{,}25 * D^2 * \pi * h_I * \gamma_I$

G_I = 1953 [kN]

$G_{II} = 0{,}25 * D^2 * \pi * h_{II} * \gamma_{II}$

G_{II} = 1511 [kN]

$G_{III} = 1/3 * \pi * h_{III} * [R^2 + R * r + r^2] * \gamma_{II}$

G_{III} = 547 [kN]

$G_{ges} = G_I + G_{II} + G_{III}$

G_{ges} = 4011 [kN]

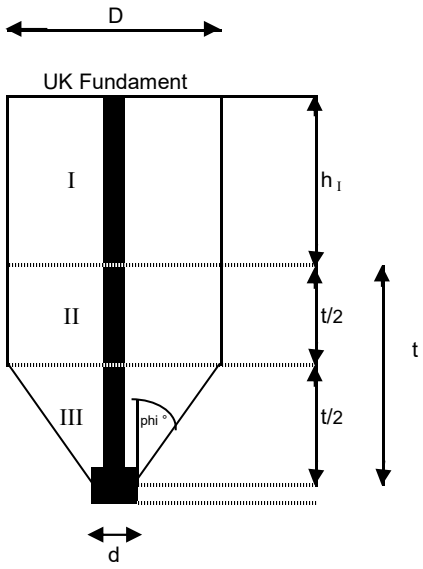
Standsicherheitsuntersuchung nach Franke

Reaktionsgewicht des Erdkegels

Einzelpfahl

Standort : WEA 4

Pfahlart : 45/45 cm



	Eingabe:
Pfahllänge ab OK DS [m] =	17,5
Fundamenttiefe [m] =	0,0
	Ausgabe:
Wirksame Länge [m] =	17,5

mäßig tragf. Schicht	Eingabe:
Wichte γ_I [kN/m³] =	8,0
h_I [m] =	8,0

tragfähige Schicht	Eingabe:
Wichte γ_{II} [kN/m³] =	11,0
Reibungswinkel φ ° =	32,5
t [m] =	9,5

	Eingabe:
Fußdurchmesser [m] =	0,50

$D = d + t * \tan \varphi$ °

D= 6,55 [m] nur für Ermittlung der Kubaturbreite

$G_I = 0{,}25 * D^2 * \pi * h_I * \gamma_I$

G_I = 2158 [kN]

$G_{II} = 0{,}25 * D^2 * \pi * h_{II} * \gamma_{II}$

G_{II} = 1762 [kN]

$G_{III} = 1/3 * \pi * h_{III} * [R^2 + R * r + r^2] * \gamma_{II}$

G_{III} = 635 [kN]

$G_{ges} = G_I + G_{II} + G_{III}$

G_{ges} = 4555 [kN]

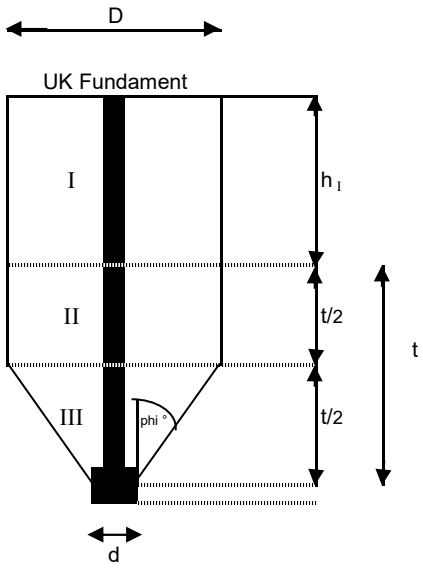
Standsicherheitsuntersuchung nach Franke

Reaktionsgewicht des Erdkegels

Einzelpfahl

Standort : WEA 4

Pfahlart : 45/45 cm



	Eingabe:
Pfahllänge ab OK DS [m] =	18,0
Fundamenttiefe [m] =	0,0
	Ausgabe:
Wirksame Länge [m] =	18,0

mäßig tragf. Schicht Eingabe:

Wichte γ_I [kN/m³] =	8,0
h_I [m] =	8,0

tragfähige Schicht Eingabe:

Wichte γ_{II} [kN/m³] =	11,0
Reibungswinkel φ ° =	32,5
t [m] =	10,0

	Eingabe:
Fußdurchmesser [m] =	0,50

$D = d + t * \tan \varphi$ °

D= 6,87 [m] nur für Ermittlung der Kubaturbreite

$G_I = 0{,}25 * D^2 * \pi * h_I * \gamma_I$

G_I = 2373 [kN]

$G_{II} = 0{,}25 * D^2 * \pi * h_{II} * \gamma_{II}$

G_{II} = 2039 [kN]

$G_{III} = 1/3 * \pi * h_{III} * [R^2 + R * r + r^2] * \gamma_{II}$

G_{III} = 733 [kN]

$G_{ges} = G_I + G_{II} + G_{III}$

G_{ges} = 5145 [kN]

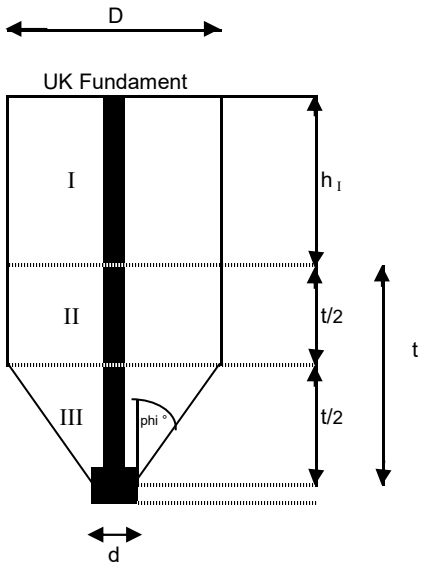
Standsicherheitsuntersuchung nach Franke

Reaktionsgewicht des Erdkegels

Einzelpfahl

Standort : WEA 4

Pfahlart : Vibrex 51er



	Eingabe:
Pfahllänge ab OK DS [m] =	17,0
Fundamenttiefe [m] =	0,0
	Ausgabe:
Wirksame Länge [m] =	17,0

gering tragf. Schicht	Eingabe:
Wichte γ_I [kN/m³] =	8,0
h_I [m] =	8,0

tragfähige Schicht	Eingabe:
Wichte γ_{II} [kN/m³] =	11,0
Reibungswinkel φ ° =	32,5
t [m] =	9,0

	Eingabe:
Fußdurchmesser [m] =	0,62

$D = d + t * \tan \varphi$ °

D= 6,35 [m] nur für Ermittlung der Kubaturbreite

$G_I = 0{,}25 * D^2 * \pi * h_I * \gamma_I$

G_I = 2029 [kN]

$G_{II} = 0{,}25 * D^2 * \pi * h_{II} * \gamma_{II}$

G_{II} = 1569 [kN]

$G_{III} = 1/3 * \pi * h_{III} * [R^2 + R * r + r^2] * \gamma_{II}$

G_{III} = 579 [kN]

$G_{ges} = G_I + G_{II} + G_{III}$

G_{ges} = 4178 [kN]

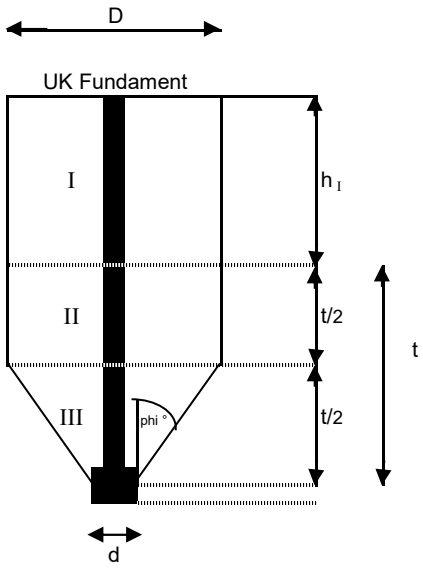
Standsicherheitsuntersuchung nach Franke

Reaktionsgewicht des Erdkegels

Einzelpfahl

Standort : WEA 4

Pfahlart : Vibrex 51er



	Eingabe:
Pfahllänge ab OK DS [m] =	17,5
Fundamenttiefe [m] =	0,0
	Ausgabe:
Wirksame Länge [m] =	17,5

gering tragf. Schicht Eingabe:

Wichte γ_I [kN/m³] =	8,0
h_I [m] =	8,0

tragfähige Schicht Eingabe:

Wichte γ_{II} [kN/m³] =	11,0
Reibungswinkel φ ° =	32,5
t [m] =	9,5

	Eingabe:
Fußdurchmesser [m] =	0,62

$D = d + t * \tan \varphi$ °

D= 6,67 [m] nur für Ermittlung der Kubaturbreite

$G_I = 0{,}25 * D^2 * \pi * h_I * \gamma_I$

G_I = 2238 [kN]

$G_{II} = 0{,}25 * D^2 * \pi * h_{II} * \gamma_{II}$

G_{II} = 1827 [kN]

$G_{III} = 1/3 * \pi * h_{III} * [R^2 + R * r + r^2] * \gamma_{II}$

G_{III} = 671 [kN]

$G_{ges} = G_I + G_{II} + G_{III}$

G_{ges} = 4735 [kN]

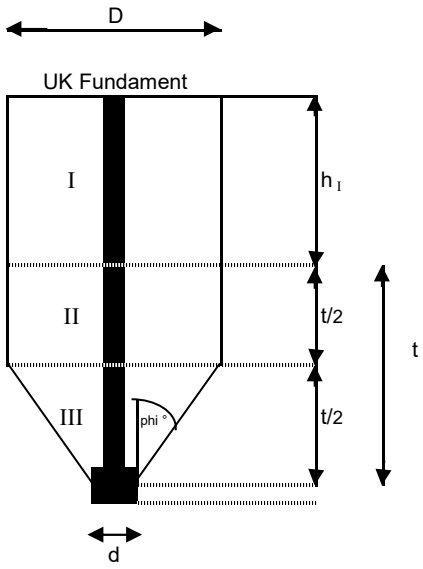
Standsicherheitsuntersuchung nach Franke

Reaktionsgewicht des Erdkegels

Einzelpfahl

Standort : WEA 4

Pfahlart : Vibrex 51er



	Eingabe:
Pfahllänge ab OK DS [m] =	18,0
Fundamenttiefe [m] =	0,0
	Ausgabe:
Wirksame Länge [m] =	18,0

gering tragf. Schicht Eingabe:

Wichte γ_I [kN/m³] =	8,0
h_I [m] =	8,0

tragfähige Schicht Eingabe:

Wichte γ_{II} [kN/m³] =	11,0
Reibungswinkel φ ° =	32,5
t [m] =	10,0

	Eingabe:
Fußdurchmesser [m] =	0,62

$D = d + t * \tan \varphi$ °

D= 6,99 [m] nur für Ermittlung der Kubaturbreite

$G_I = 0{,}25 * D^2 * \pi * h_I * \gamma_I$

G_I = 2456 [kN]

$G_{II} = 0{,}25 * D^2 * \pi * h_{II} * \gamma_{II}$

G_{II} = 2111 [kN]

$G_{III} = 1/3 * \pi * h_{III} * [R^2 + R * r + r^2] * \gamma_{II}$

G_{III} = 772 [kN]

$G_{ges} = G_I + G_{II} + G_{III}$

G_{ges} = 5339 [kN]

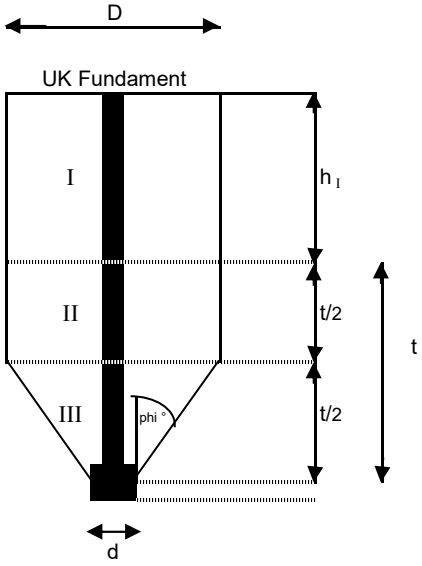
Standsicherheitsuntersuchung nach Franke

Reaktionsgewicht des Erdkegels

Einzelpfahl

Standort : WEA 4

Pfahlart : Franki 56er



	Eingabe:
Pfahllänge ab OK DS [m] =	10,0
Fundamenttiefe [m] =	0,0
	Ausgabe:
Wirksame Länge [m] =	10,0

gering tragf. Schicht Eingabe:

Wichte γ_I [kN/m³] =	8,0
h_I [m] =	8,0

tragfähige Schicht Eingabe:

Wichte γ_{II} [kN/m³] =	11,0
Reibungswinkel φ ° =	37,5
t [m] =	2,0

	Eingabe:
Fußdurchmesser [m] =	0,80

$D = d + t * \tan \varphi$ °

D= 2,33 [m] nur für Ermittlung der Kubaturbreite

$G_I = 0{,}25 * D^2 * \pi * h_I * \gamma_I$

G_I = 274 [kN]

$G_{II} = 0{,}25 * D^2 * \pi * h_{II} * \gamma_{II}$

G_{II} = 47 [kN]

$G_{III} = 1/3 * \pi * h_{III} * [R^2 + R * r + r^2] * \gamma_{II}$

G_{III} = 23 [kN]

$G_{ges} = G_I + G_{II} + G_{III}$

G_{ges} = 344 [kN]

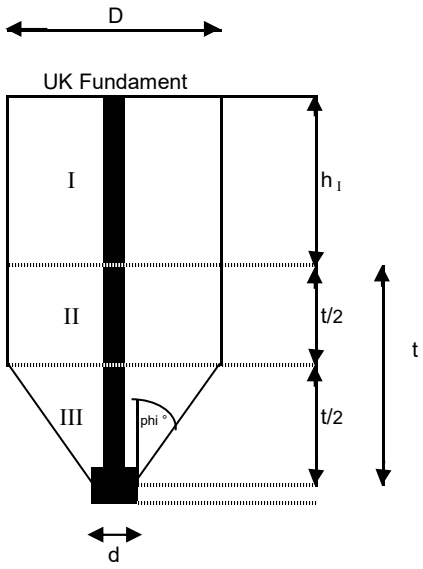
Standsicherheitsuntersuchung nach Franke

Reaktionsgewicht des Erdkegels

Einzelpfahl

Standort : WEA 4

Pfahlart : Franki 56er



	Eingabe:
Pfahllänge ab OK DS [m] =	10,5
Fundamenttiefe [m] =	0,0
	Ausgabe:
Wirksame Länge [m] =	10,5

gering tragf. Schicht Eingabe:

Wichte γ_I [kN/m³] =	8,0
h_I [m] =	8,0

tragfähige Schicht Eingabe:

Wichte γ_{II} [kN/m³] =	11,0
Reibungswinkel φ ° =	37,5
t [m] =	2,5

	Eingabe:
Fußdurchmesser [m] =	0,80

$D = d + t * \tan \varphi$ °

D= 2,72 [m] nur für Ermittlung der Kubaturbreite

$G_I = 0{,}25 * D^2 * \pi * h_I * \gamma_I$

G_I = 371 [kN]

$G_{II} = 0{,}25 * D^2 * \pi * h_{II} * \gamma_{II}$

G_{II} = 80 [kN]

$G_{III} = 1/3 * \pi * h_{III} * [R^2 + R * r + r^2] * \gamma_{II}$

G_{III} = 37 [kN]

$G_{ges} = G_I + G_{II} + G_{III}$

G_{ges} = 488 [kN]

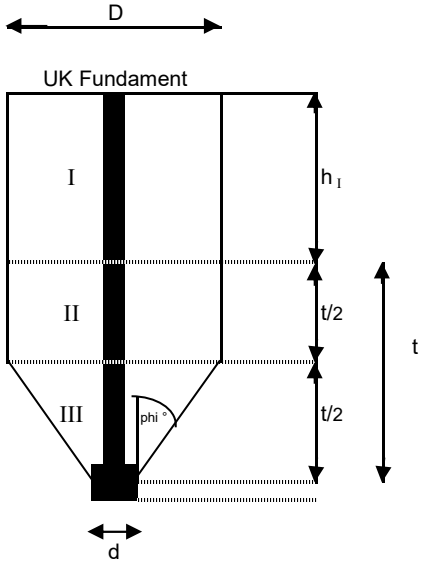
Standsicherheitsuntersuchung nach Franke

Reaktionsgewicht des Erdkegels

Einzelpfahl

Standort : WEA 4

Pfahlart : Franki 56er



	Eingabe:
Pfahllänge ab OK DS [m] =	11,0
Fundamenttiefe [m] =	0,0
	Ausgabe:
Wirksame Länge [m] =	11,0

gering tragf. Schicht Eingabe:

Wichte γ_I [kN/m³] =	8,0
h_I [m] =	8,0

tragfähige Schicht Eingabe:

Wichte γ_{II} [kN/m³] =	11,0
Reibungswinkel φ ° =	37,5
t [m] =	3,0

	Eingabe:
Fußdurchmesser [m] =	0,80

$D = d + t * \tan \varphi$ °

D= 3,10 [m] nur für Ermittlung der Kubaturbreite

$G_I = 0{,}25 * D^2 * \pi * h_I * \gamma_I$

G_I = 484 [kN]

$G_{II} = 0{,}25 * D^2 * \pi * h_{II} * \gamma_{II}$

G_{II} = 125 [kN]

$G_{III} = 1/3 * \pi * h_{III} * [R^2 + R * r + r^2] * \gamma_{II}$

G_{III} = 55 [kN]

$G_{ges} = G_I + G_{II} + G_{III}$

G_{ges} = 663 [kN]

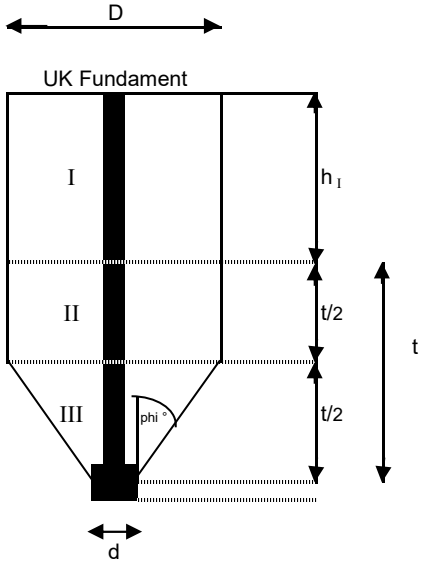
Standsicherheitsuntersuchung nach Franke

Reaktionsgewicht des Erdkegels

Einzelpfahl

Standort : WEA 4

Pfahlart : Franki 56er



	Eingabe:
Pfahllänge ab OK DS [m] =	11,5
Fundamenttiefe [m] =	0,0
	Ausgabe:
Wirksame Länge [m] =	11,5

gering tragf. Schicht Eingabe:

Wichte γ_I [kN/m³] =	8,0
h_I [m] =	8,0

tragfähige Schicht Eingabe:

Wichte γ_{II} [kN/m³] =	11,0
Reibungswinkel φ ° =	37,5
t [m] =	3,5

	Eingabe:
Fußdurchmesser [m] =	0,80

$D = d + t * \tan \varphi$ °

D= 3,49 [m] nur für Ermittlung der Kubaturbreite

$G_I = 0{,}25 * D^2 * \pi * h_I * \gamma_I$

G_I = 611 [kN]

$G_{II} = 0{,}25 * D^2 * \pi * h_{II} * \gamma_{II}$

G_{II} = 184 [kN]

$G_{III} = 1/3 * \pi * h_{III} * [R^2 + R * r + r^2] * \gamma_{II}$

G_{III} = 79 [kN]

$G_{ges} = G_I + G_{II} + G_{III}$

G_{ges} = 873 [kN]

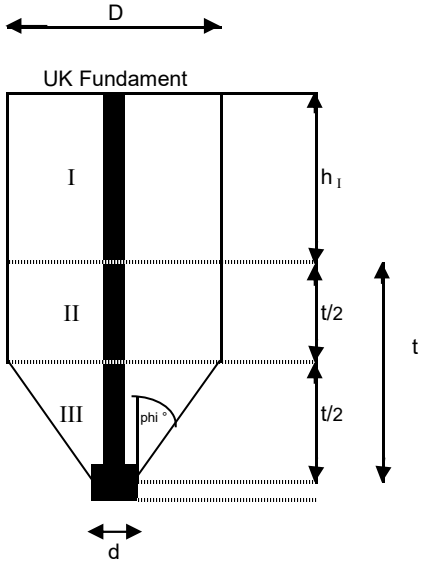
Standsicherheitsuntersuchung nach Franke

Reaktionsgewicht des Erdkegels

Einzelpfahl

Standort : WEA 4

Pfahlart : Franki 56er



	Eingabe:
Pfahllänge ab OK DS [m] =	12,0
Fundamenttiefe [m] =	0,0
	Ausgabe:
Wirksame Länge [m] =	12,0

gering tragf. Schicht Eingabe:

Wichte γ_I [kN/m³] =	8,0
h_I [m] =	8,0

tragfähige Schicht Eingabe:

Wichte γ_{II} [kN/m³] =	11,0
Reibungswinkel φ ° =	37,5
t [m] =	4,0

	Eingabe:
Fußdurchmesser [m] =	0,80

$D = d + t * \tan \varphi$ °

D= 3,87 [m] nur für Ermittlung der Kubaturbreite

$G_I = 0{,}25 * D^2 * \pi * h_I * \gamma_I$

G_I = 753 [kN]

$G_{II} = 0{,}25 * D^2 * \pi * h_{II} * \gamma_{II}$

G_{II} = 259 [kN]

$G_{III} = 1/3 * \pi * h_{III} * [R^2 + R * r + r^2] * \gamma_{II}$

G_{III} = 108 [kN]

$G_{ges} = G_I + G_{II} + G_{III}$

G_{ges} = 1119 [kN]

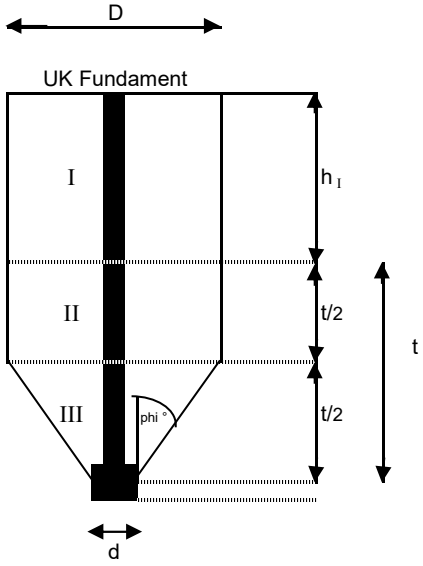
Standsicherheitsuntersuchung nach Franke

Reaktionsgewicht des Erdkegels

Einzelpfahl

Standort : WEA 4

Pfahlart : Franki 56er



	Eingabe:
Pfahllänge ab OK DS [m] =	12,5
Fundamenttiefe [m] =	0,0
	Ausgabe:
Wirksame Länge [m] =	12,5

gering tragf. Schicht Eingabe:

Wichte γ_I [kN/m³] =	8,0
h_I [m] =	8,0

tragfähige Schicht Eingabe:

Wichte γ_{II} [kN/m³] =	11,0
Reibungswinkel φ ° =	37,5
t [m] =	4,5

	Eingabe:
Fußdurchmesser [m] =	0,80

$D = d + t * \tan \varphi$ °

D= 4,25 [m] nur für Ermittlung der Kubaturbreite

$G_I = 0{,}25 * D^2 * \pi * h_I * \gamma_I$

G_I = 909 [kN]

$G_{II} = 0{,}25 * D^2 * \pi * h_{II} * \gamma_{II}$

G_{II} = 352 [kN]

$G_{III} = 1/3 * \pi * h_{III} * [R^2 + R * r + r^2] * \gamma_{II}$

G_{III} = 143 [kN]

$G_{ges} = G_I + G_{II} + G_{III}$

G_{ges} = 1404 [kN]

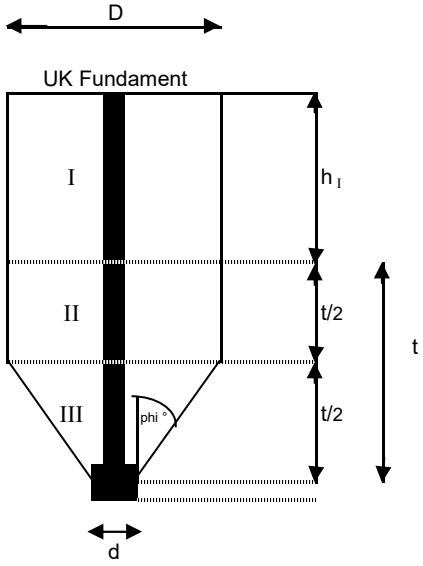
Standsicherheitsuntersuchung nach Franke

Reaktionsgewicht des Erdkegels

Einzelpfahl

Standort : WEA 4

Pfahlart : Franki 56er



	Eingabe:
Pfahllänge ab OK DS [m] =	13,0
Fundamenttiefe [m] =	0,0
	Ausgabe:
Wirksame Länge [m] =	13,0

gering tragf. Schicht Eingabe:

Wichte γ_I [kN/m³] =	8,0
h_I [m] =	8,0

tragfähige Schicht Eingabe:

Wichte γ_{II} [kN/m³] =	11,0
Reibungswinkel φ ° =	37,5
t [m] =	5,0

	Eingabe:
Fußdurchmesser [m] =	0,80

$D = d + t * \tan \varphi$ °

D= 4,64 [m] nur für Ermittlung der Kubaturbreite

$G_I = 0{,}25 * D^2 * \pi * h_I * \gamma_I$

G_I = 1081 [kN]

$G_{II} = 0{,}25 * D^2 * \pi * h_{II} * \gamma_{II}$

G_{II} = 464 [kN]

$G_{III} = 1/3 * \pi * h_{III} * [R^2 + R * r + r^2] * \gamma_{II}$

G_{III} = 186 [kN]

$G_{ges} = G_I + G_{II} + G_{III}$

G_{ges} = 1731 [kN]

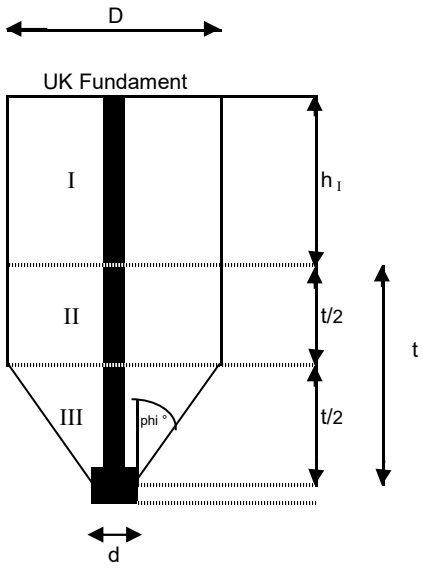
Standsicherheitsuntersuchung nach Franke

Reaktionsgewicht des Erdkegels

Einzelpfahl

Standort : WEA 4

Pfahlart : Franki 56er



	Eingabe:
Pfahllänge ab OK DS [m] =	13,5
Fundamenttiefe [m] =	0,0
	Ausgabe:
Wirksame Länge [m] =	13,5

gering tragf. Schicht Eingabe:

Wichte γ_I [kN/m³] =	8,0
h_I [m] =	8,0

tragfähige Schicht Eingabe:

Wichte γ_{II} [kN/m³] =	11,0
Reibungswinkel φ ° =	37,5
t [m] =	5,5

	Eingabe:
Fußdurchmesser [m] =	0,80

$D = d + t * \tan \varphi$ °

D= 5,02 [m] nur für Ermittlung der Kubaturbreite

$G_I = 0{,}25 * D^2 * \pi * h_I * \gamma_I$

G_I = 1267 [kN]

$G_{II} = 0{,}25 * D^2 * \pi * h_{II} * \gamma_{II}$

G_{II} = 599 [kN]

$G_{III} = 1/3 * \pi * h_{III} * [R^2 + R * r + r^2] * \gamma_{II}$

G_{III} = 236 [kN]

$G_{ges} = G_I + G_{II} + G_{III}$

G_{ges} = 2102 [kN]

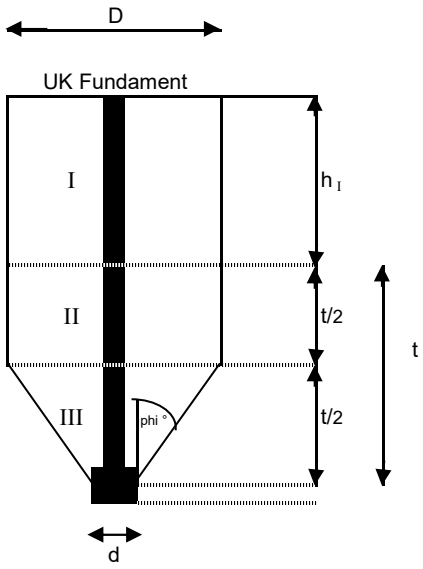
Standsicherheitsuntersuchung nach Franke

Reaktionsgewicht des Erdkegels

Einzelpfahl

Standort : WEA 4

Pfahlart : Großbohrpfahl



	Eingabe:
Pfahllänge ab OK DS [m] =	20,0
Fundamenttiefe [m] =	0,0
	Ausgabe:
Wirksame Länge [m] =	20,0

gering tragf. Schicht Eingabe:

Wichte γ_I [kN/m³] =	8,0
h_I [m] =	8,0

tragfähige Schicht Eingabe:

Wichte γ_{II} [kN/m³] =	11,0
Reibungswinkel φ ° =	32,5
t [m] =	12,0

	Eingabe:
Fußdurchmesser [m] =	1,00

$D = d + t * \tan \varphi$ °

D= 8,64 [m] nur für Ermittlung der Kubaturbreite

$G_I = 0{,}25 * D^2 * \pi * h_I * \gamma_I$

G_I = 3757 [kN]

$G_{II} = 0{,}25 * D^2 * \pi * h_{II} * \gamma_{II}$

G_{II} = 3874 [kN]

$G_{III} = 1/3 * \pi * h_{III} * [R^2 + R * r + r^2] * \gamma_{II}$

G_{III} = 1458 [kN]

$G_{ges} = G_I + G_{II} + G_{III}$

G_{ges} = 9088 [kN]

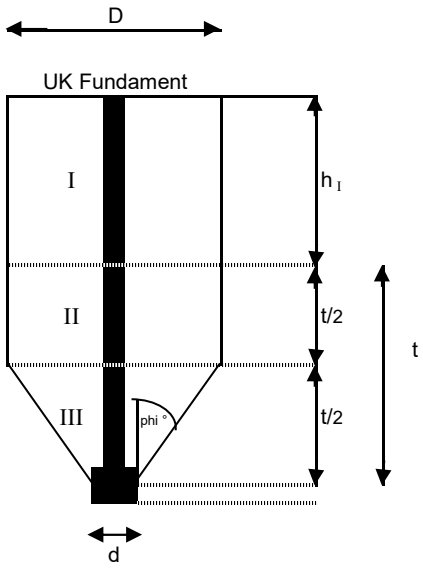
Standsicherheitsuntersuchung nach Franke

Reaktionsgewicht des Erdkegels

Einzelpfahl

Standort : WEA 4

Pfahlart : Franki



	Eingabe:
Pfahllänge ab OK DS [m] =	20,5
Fundamenttiefe [m] =	0,0
	Ausgabe:
Wirksame Länge [m] =	20,5

gering tragf. Schicht Eingabe:

Wichte γ_I [kN/m³] =	8,0
h_I [m] =	8,0

tragfähige Schicht Eingabe:

Wichte γ_{II} [kN/m³] =	11,0
Reibungswinkel φ ° =	32,5
t [m] =	12,5

	Eingabe:
Fußdurchmesser [m] =	1,00

$D = d + t * \tan \varphi$ °

D= 8,96 [m] nur für Ermittlung der Kubaturbreite

$G_I = 0{,}25 * D^2 * \pi * h_I * \gamma_I$

G_I = 4038 [kN]

$G_{II} = 0{,}25 * D^2 * \pi * h_{II} * \gamma_{II}$

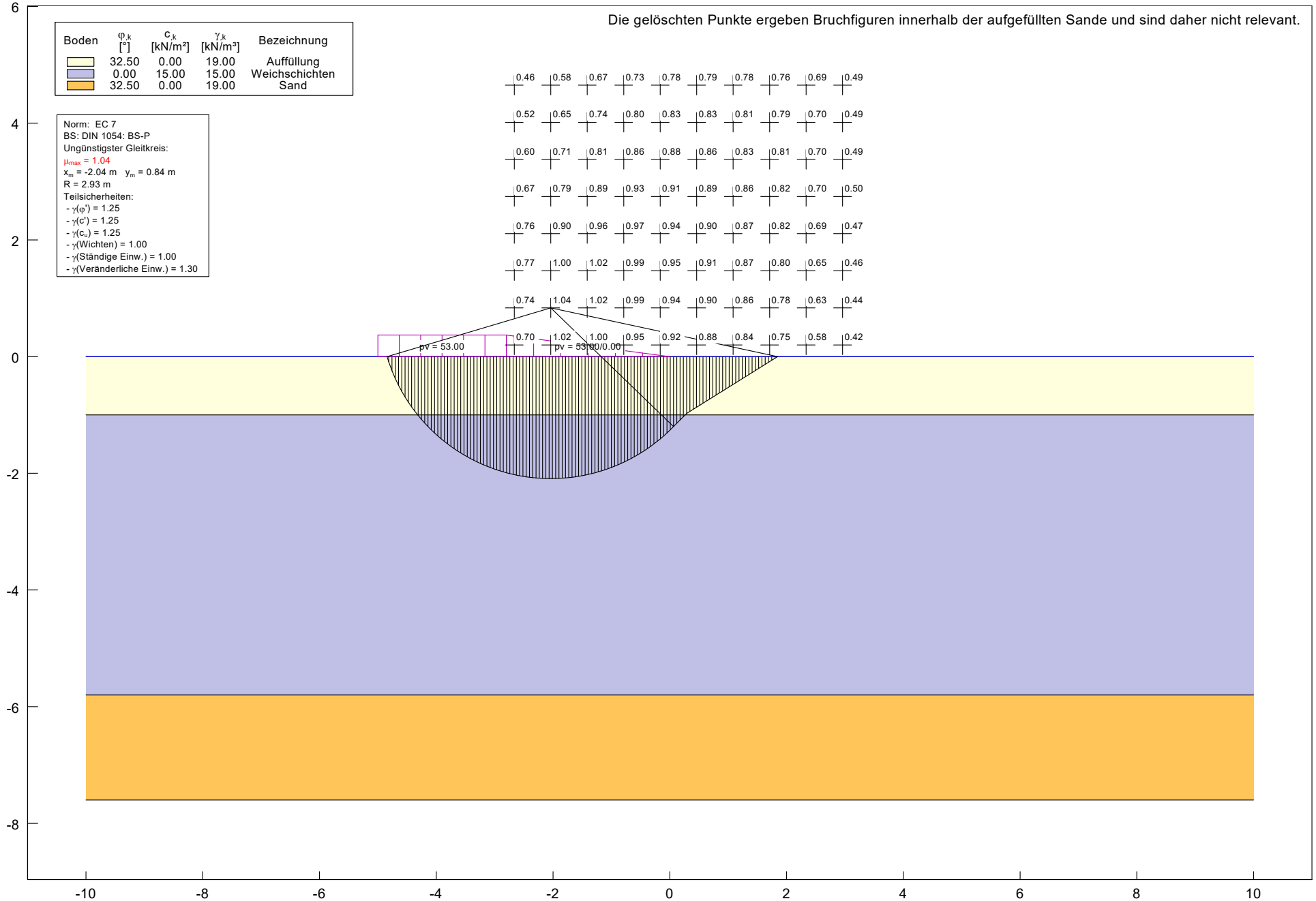
G_{II} = 4338 [kN]

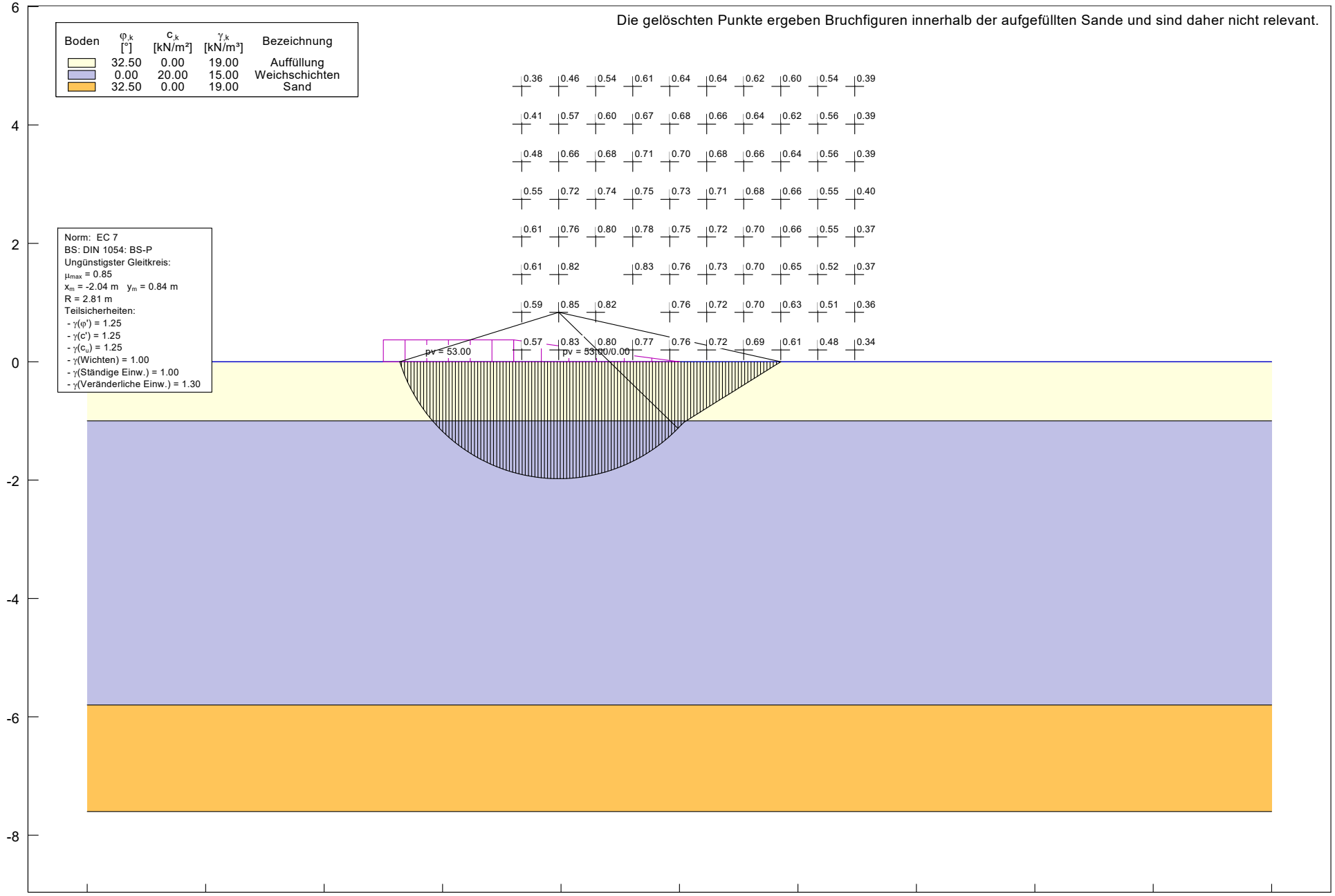
$G_{III} = 1/3 * \pi * h_{III} * [R^2 + R * r + r^2] * \gamma_{II}$

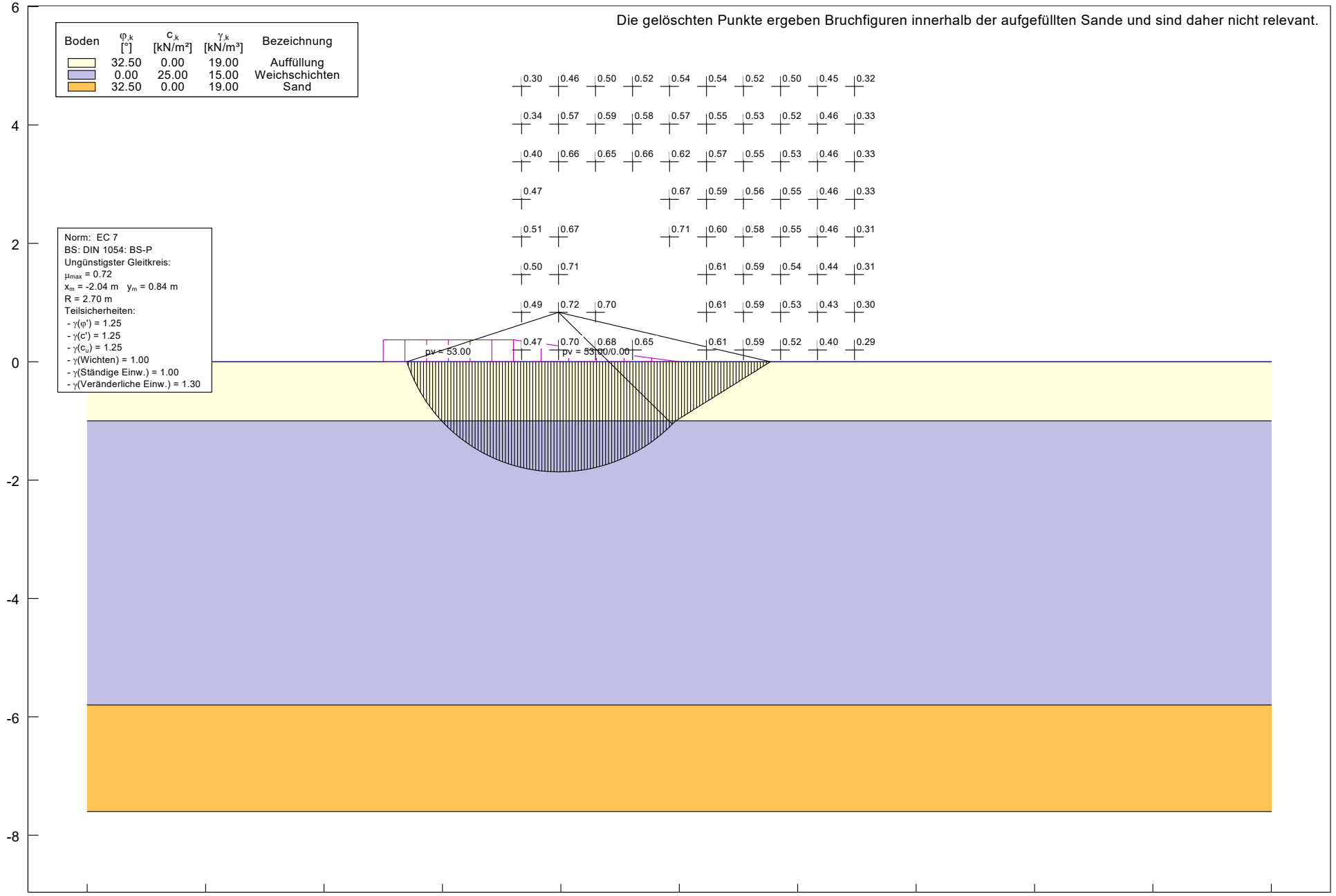
G_{III} = 1625 [kN]

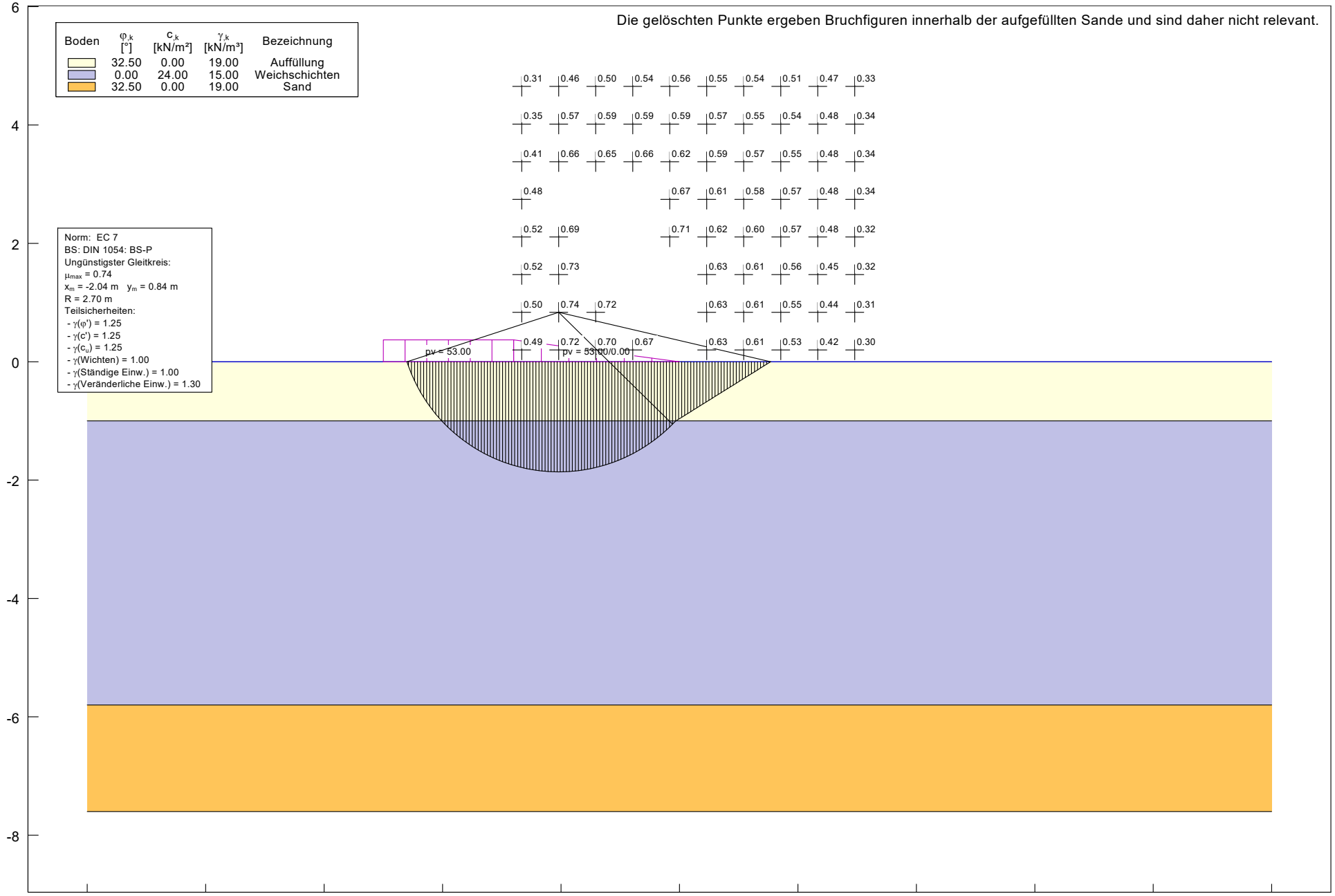
$G_{ges} = G_I + G_{II} + G_{III}$

G_{ges} = 10002 [kN]


Die gelöschten Punkte ergeben Bruchfiguren innerhalb der aufgefüllten Sande und sind daher nicht relevant.
Boden | φ,k [°] | c,k [kN/m²] | γ,k [kN/m³] | Bezeichnung
32.50 | 0.00 | 19.00 | Auffüllung
0.00 | 15.00 | 15.00 | Weichschichten
32.50 | 0.00 | 19.00 | Sand
Norm: EC 7
BS: DIN 1054: BS-P
Ungünstigster Gleitkreis:
μmax = 1.04
xm = -2.04 m ym = 0.84 m
R = 2.93 m
Teilsicherheiten:
- γ(φ') = 1.25
- γ(c') = 1.25
- γ(cu) = 1.25
- γ(Wichten) = 1.00
- γ(Ständige Einw.) = 1.00
- γ(Veränderliche Einw.) = 1.30
0.46 0.58 0.67 0.73 0.78 0.79 0.78 0.76 0.69 0.49
0.52 0.65 0.74 0.80 0.83 0.83 0.81 0.79 0.70 0.49
0.60 0.71 0.81 0.86 0.88 0.86 0.83 0.81 0.70 0.49
0.67 0.79 0.89 0.93 0.91 0.89 0.86 0.82 0.70 0.50
0.76 0.90 0.96 0.97 0.94 0.90 0.87 0.82 0.69 0.47
0.77 1.00 1.02 0.99 0.95 0.91 0.87 0.80 0.65 0.46
0.74 1.04 1.02 0.99 0.94 0.90 0.86 0.78 0.63 0.44
0.70 1.02 1.00 0.95 0.92 0.88 0.84 0.75 0.58 0.42
pv = 53.00
pv = 53.00/0.00
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
-8
-6
-4
-2
0
2
4
6
8
10


Die gelöschten Punkte ergeben Bruchfiguren innerhalb der aufgefüllten Sande und sind daher nicht relevant.
Boden | φ,k [°] | c,k [kN/m²] | γ,k [kN/m³] | Bezeichnung
32.50 | 0.00 | 19.00 | Auffüllung
0.00 | 20.00 | 15.00 | Weichschichten
32.50 | 0.00 | 19.00 | Sand
Norm: EC 7
BS: DIN 1054: BS-P
Ungünstigster Gleitkreis:
μmax = 0.85
xm = -2.04 m ym = 0.84 m
R = 2.81 m
Teilsicherheiten:
- γ(φ') = 1.25
- γ(c') = 1.25
- γ(cu) = 1.25
- γ(Wichten) = 1.00
- γ(Ständige Einw.) = 1.00
- γ(Veränderliche Einw.) = 1.30
pv = 53.00
pv = 53.00/0.00
0.36 0.46 0.54 0.61 0.64 0.64 0.62 0.60 0.54 0.39
0.41 0.57 0.60 0.67 0.68 0.66 0.64 0.62 0.56 0.39
0.48 0.66 0.68 0.71 0.70 0.68 0.66 0.64 0.56 0.39
0.55 0.72 0.74 0.75 0.73 0.71 0.68 0.66 0.55 0.40
0.61 0.76 0.80 0.78 0.75 0.72 0.70 0.66 0.55 0.37
0.61 0.82 0.83 0.76 0.73 0.70 0.65 0.52 0.37
0.59 0.85 0.82 0.76 0.72 0.70 0.63 0.51 0.36
0.57 0.83 0.80 0.77 0.76 0.72 0.69 0.61 0.48 0.34
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-10 -8 -6 -4 -2 0 2 4 6 8 10


Die gelöschten Punkte ergeben Bruchfiguren innerhalb der aufgefüllten Sande und sind daher nicht relevant.
Boden | φ,k [°] | c,k [kN/m²] | γ,k [kN/m³] | Bezeichnung
32.50 | 0.00 | 19.00 | Auffüllung
0.00 | 25.00 | 15.00 | Weichschichten
32.50 | 0.00 | 19.00 | Sand
Norm: EC 7
BS: DIN 1054: BS-P
Ungünstigster Gleitkreis:
μmax = 0.72
xm = -2.04 m ym = 0.84 m
R = 2.70 m
Teilsicherheiten:
- γ(φ') = 1.25
- γ(c') = 1.25
- γ(cu) = 1.25
- γ(Wichten) = 1.00
- γ(Ständige Einw.) = 1.00
- γ(Veränderliche Einw.) = 1.30
pv = 53.00
pv = 53.00/0.00
0.30 0.46 0.50 0.52 0.54 0.54 0.52 0.50 0.45 0.32
0.34 0.57 0.59 0.58 0.57 0.55 0.53 0.52 0.46 0.33
0.40 0.66 0.65 0.66 0.62 0.57 0.55 0.53 0.46 0.33
0.47 0.67 0.59 0.56 0.55 0.46 0.33
0.51 0.67 0.71 0.60 0.58 0.55 0.46 0.31
0.50 0.71 0.61 0.59 0.54 0.44 0.31
0.49 0.72 0.70 0.61 0.59 0.53 0.43 0.30
0.47 0.70 0.68 0.65 0.61 0.59 0.52 0.40 0.29
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-10 -8 -6 -4 -2 0 2 4 6 8 10


Die gelöschten Punkte ergeben Bruchfiguren innerhalb der aufgefüllten Sande und sind daher nicht relevant.
Boden | φ,k [°] | c,k [kN/m²] | γ,k [kN/m³] | Bezeichnung
32.50 | 0.00 | 19.00 | Auffüllung
0.00 | 24.00 | 15.00 | Weichschichten
32.50 | 0.00 | 19.00 | Sand
Norm: EC 7
BS: DIN 1054: BS-P
Ungünstigster Gleitkreis:
μmax = 0.74
xm = -2.04 m ym = 0.84 m
R = 2.70 m
Teilsicherheiten:
- γ(φ') = 1.25
- γ(c') = 1.25
- γ(cu) = 1.25
- γ(Wichten) = 1.00
- γ(Ständige Einw.) = 1.00
- γ(Veränderliche Einw.) = 1.30
pv = 53.00
pv = 53.00/0.00
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
-8
-6
-4
-2
0
2
4
6
8
10

1 Allgemeine Daten

1.1 Einstellungen

Benutzername	Andres Flügel, F2E
Kunde	Windpark Georgshof GmbH & Co KG
Projektname	Georgshof III
Referenznummer	2023-D-061-P2-R1
Software	Wake2e 3.11.5.5
	WEA-Bibliothek Version 7.421.0
Koordinatensystem	Gauß-Krüger (Deutschland), Bessel (3°-Streifen)
Abstand der relevanten WEA	8.0D

1.2 Filter-Einstellungen

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

1.3 Standortbesichtigung

Datum der Besichtigung	04.06.2023
Durchgeführt von	Dietmar Hahm für F2E
Ermittelte Geländekategorie	II
Orografisch relevante Struktur	Nein

Copyright © 2024 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Das vorliegende Dokument wurde automatisch erstellt und nicht durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG geprüft. Das Dokument stellt daher keine schriftliche Stellungnahme oder vergleichbare schriftliche Aussage zur Standorteignung von WEA im Sinne der DIBt- oder IEC-Richtlinien für Windenergieanlagen dar. Für Aussagen, die auf Grundlage dieses Dokuments getroffen werden, wird durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG daher keine Haftung übernommen.

2 Eingabedaten

2.1 Umgebungsturbulenzintensitäten

Methode Rauigkeitsdaten für jeden WEA-Standort aus den Landnutzungsdaten
Datensatz European Environment Agency; CORINE Land Cover (CLC) 2018, Version 20; June 2019; Copenhagen, Denmark.
Höhendaten "USGS EROS Archive - Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global" by Earth Resources Observation and Science (EROS) Center - July 30, 2018

2.2 Windparkkonfiguration

Tabelle 2.2.1: Windparkkonfiguration

WEA							Koordinaten		Datensatz-Nr.	
	Nr.	Bezeichnung	WEA-Typ	P_N [MW]	z_{hub} [m]	D [m]	Ost	Nord	Wind	Turbulenz
	1	425	ENERCON E-70 E4 2.3MW	2.3	64	71	2595853	5945316	4	—
	2	516	ENERCON E-70 E4 2.3MW	2.3	64	71	2595173	5945132	4	—
	3	517	ENERCON E-70 E4 2.3MW	2.3	64	71	2595132	5944724	4	—
	4	612	ENERCON E-70 E4 2.3MW	2.3	64	71	2594720	5945289	4	—
	5	613	ENERCON E-70 E4 2.3MW	2.3	64	71	2594718	5944706	4	—
	6	615	ENERCON E-70 E4 2.3MW	2.3	64	71	2594842	5944477	4	—
	7	708	ENERCON E-70 E4 2.3MW	2.3	64	71	2593535	5944595	4	—
	8	EA049	ENERCON E-66 15.66	1.5	67	66	2593982	5943921	4	—
	9	EA052	ENERCON E-66 15.66	1.5	67	66	2593768	5943971	4	—
	11	EA098	ENERCON E-70 E4 2.3MW	2.3	64	71	2592741	5945447	2	—
	12	EA108	ENERCON E-70 E4 2.3MW	2.3	64	71	2592622	5945809	1	—

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Copyright © 2024 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Das vorliegende Dokument wurde automatisch erstellt und nicht durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG geprüft. Das Dokument stellt daher keine schriftliche Stellungnahme oder vergleichbare schriftliche Aussage zur Standorteignung von WEA im Sinne der DIBt- oder IEC-Richtlinien für Windenergieanlagen dar. Für Aussagen, die auf Grundlage dieses Dokuments getroffen werden, wird durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG daher keine Haftung übernommen.

Tabelle 2.2.1: Windparkkonfiguration

WEA							Koordinaten		Datensatz-Nr.	
	Nr.	Bezeichnung	WEA-Typ	P_N [MW]	z_{hub} [m]	D [m]	Ost	Nord	Wind	Turbulenz
	13	410	ENERCON E-101 3.05MW	3.05	135	101	2596156	5945332	4	—
	14	520	ENERCON E-70 E4 2.3MW	2.3	113	71	2595100	5944514	4	—
	15	630	ENERCON E-92 2.35MW	2.35	138	92	2594925	5944907	4	—
	16	706	ENERCON E-70 E4 2.3MW	2.3	85	71	2593520	5944845	4	—
	17	420	ENERCON E-101 3.05MW	3.05	135	101	2596060	5945016	4	—
	18	M03	ENERCON E-101 3.05MW	3.05	135	101	2593780	5944296	4	—
	19	M04	ENERCON E-70 E4 2.3MW	2.3	64	71	2593972	5944555	4	—
	20	M02	ENERCON E-82 E2 2.3MW	2.3	108	82	2593226	5944185	4	—
	21	M06	ENERCON E-82 E2 2.3MW	2.3	108	82	2593503	5943972	4	—
	22	703	ENERCON E-70 E4 2.3MW	2.3	64	71	2593037	5945339	2	—
	23	Georgshof I. WEA 401	ENERCON E-40 5.40 500kW	0.5	50	40.3	2593640	5945697	2	—
	24	Georgshof I. WEA 401	ENERCON E-40 5.40 500kW	0.5	50	40.3	2593698	5945492	2	—
	25	Georgshof I. WEA 401	ENERCON E-40 5.40 500kW	0.5	50	40.3	2593814	5945072	4	—
	26	Georgshof II. WEA 10	ENERCON E-101 3.05MW	3.05	135	101	2593961	5945561	4	—
	27	Georgshof II. WEA 10	ENERCON E-101 3.05MW	3.05	135	101	2593904	5945261	4	—
	28	Georgshof II. WEA 10	ENERCON E-101 3.05MW	3.05	135	101	2593914	5944959	4	—
	29	Georgshof II. WEA 10	ENERCON E-101 3.05MW	3.05	135	101	2594242	5945123	4	—
	30	Georgshof III. WEA 0	ENERCON E-138 EP3 E3 4.26MW OM0s	4.26	111	138.25	2593479	5946172	1	—
	31	Georgshof III. WEA 0	ENERCON E-138 EP3 E3 4.26MW OM0s	4.26	111	138.25	2593615	5945915	2	—
	32	Georgshof III. WEA 0	ENERCON E-138 EP3 E3 4.26MW OM0s	4.26	111	138.25	2594114	5945851	3	—

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Copyright © 2024 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Das vorliegende Dokument wurde automatisch erstellt und nicht durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG geprüft. Das Dokument stellt daher keine schriftliche Stellungnahme oder vergleichbare schriftliche Aussage zur Standorteignung von WEA im Sinne der DIBt- oder IEC-Richtlinien für Windenergieanlagen dar. Für Aussagen, die auf Grundlage dieses Dokuments getroffen werden, wird durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG daher keine Haftung übernommen.

Tabelle 2.2.1: Windparkkonfiguration

WEA							Koordinaten		Datensatz-Nr.	
	Nr.	Bezeichnung	WEA-Typ	P_N [MW]	z_{hub} [m]	D [m]	Ost	Nord	Wind	Turbulenz
	33	Georgshof III. WEA 0	ENERCON E-138 EP3 E3 4.26MW OM0s	4.26	111	138.25	2594240	5945431	4	—
	34	WEA Verweyen	ENERCON E-138 EP3 E3 4.26MW OM0s	4.26	111	138.25	2593933	5946136	3	—
	35	SML1	ENERCON E-101 3.05MW	3.05	135.4	101	2594278	5944716	4	—
	36	SML2	ENERCON E-101 3.05MW	3.05	99	101	2594496	5944478	4	—
	37	SML3	ENERCON E-101 3.05MW	3.05	135.4	101	2594096	5944232	4	—

2.3 Auslegungswerte

Tabelle 2.3.1: WEA-Auslegung

	Nr.	Richtlinie	WZ	I_{amb}	I_{des}	τ_{design}	v_{ave}	k	α_{min}	α_{max}	φ	ρ	v_{50}
	2	—	—	Charakteristisch	2	—	—	—	—	—	—	—	—
	4	—	—	Charakteristisch	2	—	—	—	—	—	—	—	—
	5	—	—	Charakteristisch	2	—	—	—	—	—	—	—	—
	7	—	—	Charakteristisch	2	—	—	—	—	—	—	—	—
	11	—	—	Charakteristisch	2	—	—	—	—	—	—	—	—
	12	—	—	Charakteristisch	2	—	—	—	—	—	—	—	—
	15	—	—	Charakteristisch	2	—	—	—	—	—	—	—	—
	16	—	—	Charakteristisch	2	—	—	—	—	—	—	—	—
	19	—	—	Charakteristisch	2	—	—	—	—	—	—	—	—
	22	—	—	Charakteristisch	2	—	—	—	—	—	—	—	—

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Copyright © 2024 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Das vorliegende Dokument wurde automatisch erstellt und nicht durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG geprüft. Das Dokument stellt daher keine schriftliche Stellungnahme oder vergleichbare schriftliche Aussage zur Standorteignung von WEA im Sinne der DIBt- oder IEC-Richtlinien für Windenergieanlagen dar. Für Aussagen, die auf Grundlage dieses Dokuments getroffen werden, wird durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG daher keine Haftung übernommen.

Tabelle 2.3.1: WEA-Auslegung

	Nr.	Richtlinie	WZ	I_{amb}	I_{des}	τ_{design}	v_{ave}	k	α_{min}	α_{max}	φ	ρ	v_{50}
	23	—	—	Charakteristisch	1	—	—	—	—	—	—	—	—
	24	—	—	Charakteristisch	1	—	—	—	—	—	—	—	—
	25	—	—	Charakteristisch	1	—	—	—	—	—	—	—	—
	26	—	—	Charakteristisch	2	—	—	—	—	—	—	—	—
	27	—	—	Charakteristisch	2	—	—	—	—	—	—	—	—
	28	—	—	Charakteristisch	2	—	—	—	—	—	—	—	—
	29	—	—	Charakteristisch	2	—	—	—	—	—	—	—	—
	30	DIBt 2012	WZ S	Repräsentativ	5	25	7.8	2	0.05	0.2	8	1.225	37.5
	31	DIBt 2012	WZ S	Repräsentativ	5	25	7.8	2	0.05	0.2	8	1.225	37.5
	32	DIBt 2012	WZ S	Repräsentativ	5	25	7.8	2	0.05	0.2	8	1.225	37.5
	33	DIBt 2012	WZ S	Repräsentativ	5	25	7.8	2	0.05	0.2	8	1.225	37.5
	34	DIBt 2012	WZ S	Repräsentativ	5	25	7.8	2	0.05	0.2	8	1.225	37.5
	35	—	—	Charakteristisch	2	—	—	—	—	—	—	—	—
	36	—	—	Charakteristisch	2	—	—	—	—	—	—	—	—

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

WEA		Auslegungswerte für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																											
Id	Turbulenzkategorie	Alle	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
1	DIBt 1993	20.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	DIBt 2004	—	42.0	34.5	30.0	27.0	24.9	23.3	22.0	21.0	20.2	19.5	18.9	18.4	18.0	17.6	17.3	17.0	16.7	16.5	16.3	16.1	15.9	15.8	15.6	15.5	15.3	15.2	15.1
5	IEC Ed.3/4 A	—	41.9	34.4	29.9	26.9	24.8	23.2	22.0	21.0	20.1	19.5	18.9	18.4	18.0	17.6	17.3	17.0	16.7	16.5	16.3	16.1	15.9	15.7	15.6	15.4	15.3	15.2	15.1

Copyright © 2024 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Das vorliegende Dokument wurde automatisch erstellt und nicht durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG geprüft. Das Dokument stellt daher keine schriftliche Stellungnahme oder vergleichbare schriftliche Aussage zur Standorteignung von WEA im Sinne der DIBt- oder IEC-Richtlinien für Windenergieanlagen dar. Für Aussagen, die auf Grundlage dieses Dokuments getroffen werden, wird durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG daher keine Haftung übernommen.

2.4 Winddaten

Quelle Externe Datei
Dateiname info_se_georgshof_iii_rev1_hma.csv

Tabelle 2.4.1: Wind-Datensatz "Wind 1"

	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Mittelwerte über alle Richtungen			Koordinaten des Referenzpunkts	
A [m/s]	7.16	6.89	7.71	8.19	8.21	7.85	8.55	9.27	9.09	8.67	8.33	7.98	A [m/s]	8.40	Aus der Eingabedatei	Höhe über Grund [m]	110.2
k [-]	2.092	2.244	2.6	2.908	3.057	2.779	2.814	3.143	2.725	2.193	2.201	2.111	k [-]	2.510	Aus der Eingabedatei	Rechts	3395080
Häufigkeit (100%=1)	0.05	0.047	0.056	0.07	0.075	0.062	0.081	0.148	0.129	0.106	0.096	0.08	v_{ave} [m/s]	7.46	Aus der Eingabedatei	Hoch	5946415

Tabelle 2.4.2: Wind-Datensatz "Wind 2"

	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Mittelwerte über alle Richtungen			Koordinaten des Referenzpunkts	
A [m/s]	7.11	6.84	7.71	8.21	8.24	7.84	8.55	9.28	9.08	8.67	8.34	7.94	A [m/s]	8.40	Aus der Eingabedatei	Höhe über Grund [m]	110.2
k [-]	2.092	2.244	2.6	2.908	3.057	2.779	2.814	3.143	2.725	2.193	2.201	2.111	k [-]	2.510	Aus der Eingabedatei	Rechts	3395209
Häufigkeit (100%=1)	0.05	0.047	0.056	0.07	0.075	0.062	0.081	0.148	0.129	0.106	0.096	0.08	v_{ave} [m/s]	7.45	Aus der Eingabedatei	Hoch	5946149

Tabelle 2.4.3: Wind-Datensatz "Wind 3"

	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Mittelwerte über alle Richtungen			Koordinaten des Referenzpunkts	
A [m/s]	7.08	6.79	7.75	8.2	8.23	7.85	8.55	9.28	9.05	8.65	8.3	7.94	A [m/s]	8.39	Aus der Eingabedatei	Höhe über Grund [m]	110.2
k [-]	2.096	2.248	2.604	2.912	3.057	2.779	2.814	3.143	2.725	2.193	2.201	2.115	k [-]	2.511	Aus der Eingabedatei	Rechts	3395701
Häufigkeit (100%=1)	0.05	0.047	0.056	0.07	0.075	0.062	0.081	0.148	0.129	0.106	0.096	0.08	v_{ave} [m/s]	7.44	Aus der Eingabedatei	Hoch	5946054

Copyright © 2024 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Das vorliegende Dokument wurde automatisch erstellt und nicht durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG geprüft. Das Dokument stellt daher keine schriftliche Stellungnahme oder vergleichbare schriftliche Aussage zur Standorteignung von WEA im Sinne der DIBt- oder IEC-Richtlinien für Windenergieanlagen dar. Für Aussagen, die auf Grundlage dieses Dokuments getroffen werden, wird durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG daher keine Haftung übernommen.

Tabelle 2.4.4: Wind-Datensatz "Wind 4"

	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW
A [m/s]	7.02	6.8	7.74	8.24	8.24	7.84	8.57	9.33	9.03	8.63	8.3	7.89
k [-]	2.096	2.248	2.604	2.912	3.057	2.779	2.814	3.143	2.725	2.189	2.201	2.115
Häufigkeit (100%=1)	0.05	0.047	0.056	0.07	0.075	0.062	0.081	0.148	0.129	0.106	0.096	0.08

Mittelwerte über alle Richtungen		
A [m/s]	8.39	Aus der Eingabedatei
k [-]	2.510	Aus der Eingabedatei
v_{ave} [m/s]	7.44	Aus der Eingabedatei

Koordinaten des Referenzpunkts	
Höhe über Grund [m]	110.2
Rechts	3395813
Hoch	5945639

2.5 Berechnungsvarianten

Tabelle 2.5.1: Berechnungsvarianten

Id	Beschriftung	BBS-Gruppe	Wöhlerlinien-Koeffizient	Einfluss der Orografie ignorieren	Ergebnisse im Abschnitt
1	Situation vor dem Zubau	1	Projekt-Vorgabewert	Nein	3.1
2	Situation nach dem Zubau	1	Projekt-Vorgabewert	Nein	3.2

2.6 Betriebsbeschränkungen (BBS)

Für die einzelnen definierten BBS zwischen jeweils zwei WEA sind Alternativen möglich: Für einen reduzierten Betrieb kann alternativ auch eine Abschaltung vorgesehen werden. Eine Abschaltung kann alternativ auch auf die andere beteiligte WEA übertragen werden (wenn die Abschaltung für die windaufwärts gelegene WEA definiert wurde, kann alternativ die windabwärts gelegene WEA abgeschaltet werden und umgekehrt). Die entsprechenden Alternativen sind in weiteren Tabellen nachfolgend dargestellt. Es ist dabei nicht erforderlich alle alternativen BBS einer Tabelle zu wählen. Für jede definierte BBS zwischen zwei WEA muss aber eine der aufgeführten Alternativen umgesetzt werden.

2.6.1 BBS-Gruppe 1

Tabelle 2.6.1.1: Betriebsbeschränkungen der BBS-Gruppe 1 - Übersicht (A=Abschaltung, R=Eingeschränkter Betrieb)

	Windaufwärts gelegene WEA		Zu schützende WEA		Windgeschwindigkeitsbereiche [m/s]																										
Nr.	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Lfd. Nr.	Bezeichnung	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
1	31	Georgshof III. WEA 0	23	Georgshof I. WEA 401	A																										

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Copyright © 2024 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Das vorliegende Dokument wurde automatisch erstellt und nicht durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG geprüft. Das Dokument stellt daher keine schriftliche Stellungnahme oder vergleichbare schriftliche Aussage zur Standorteignung von WEA im Sinne der DIBt- oder IEC-Richtlinien für Windenergieanlagen dar. Für Aussagen, die auf Grundlage dieses Dokuments getroffen werden, wird durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG daher keine Haftung übernommen.

Tabelle 2.6.1.1: Betriebsbeschränkungen der BBS-Gruppe 1 - Übersicht (A=Abschaltung, R=Eingeschränkter Betrieb)

	Windaufwärts gelegene WEA		Zu schützende WEA		Windgeschwindigkeitsbereiche [m/s]																								
Nr.	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Lfd. Nr.	Bezeichnung	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
2	28	Georgshof II. WEA 10	25		A																										

Tabelle 2.6.1.2: Betriebsbeschränkungen der BBS-Gruppe 1 - Details

	Beschränkte WEA		Zu schützende WEA		Beschränkungen						
Nr.	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Abschaltung	Betriebsmodus	β [°]	γ_{start} [°]	γ_{stop} [°]	v_{start} [m/s]	v_{stop} [m/s]
1	31	Georgshof III. WEA 0	23	Georgshof I. WEA 401	X	-	-	324.3	24.9	v-in	v-out
2	28	Georgshof II. WEA 10	25		X	-	-	118.4	160.8	v-in	v-out

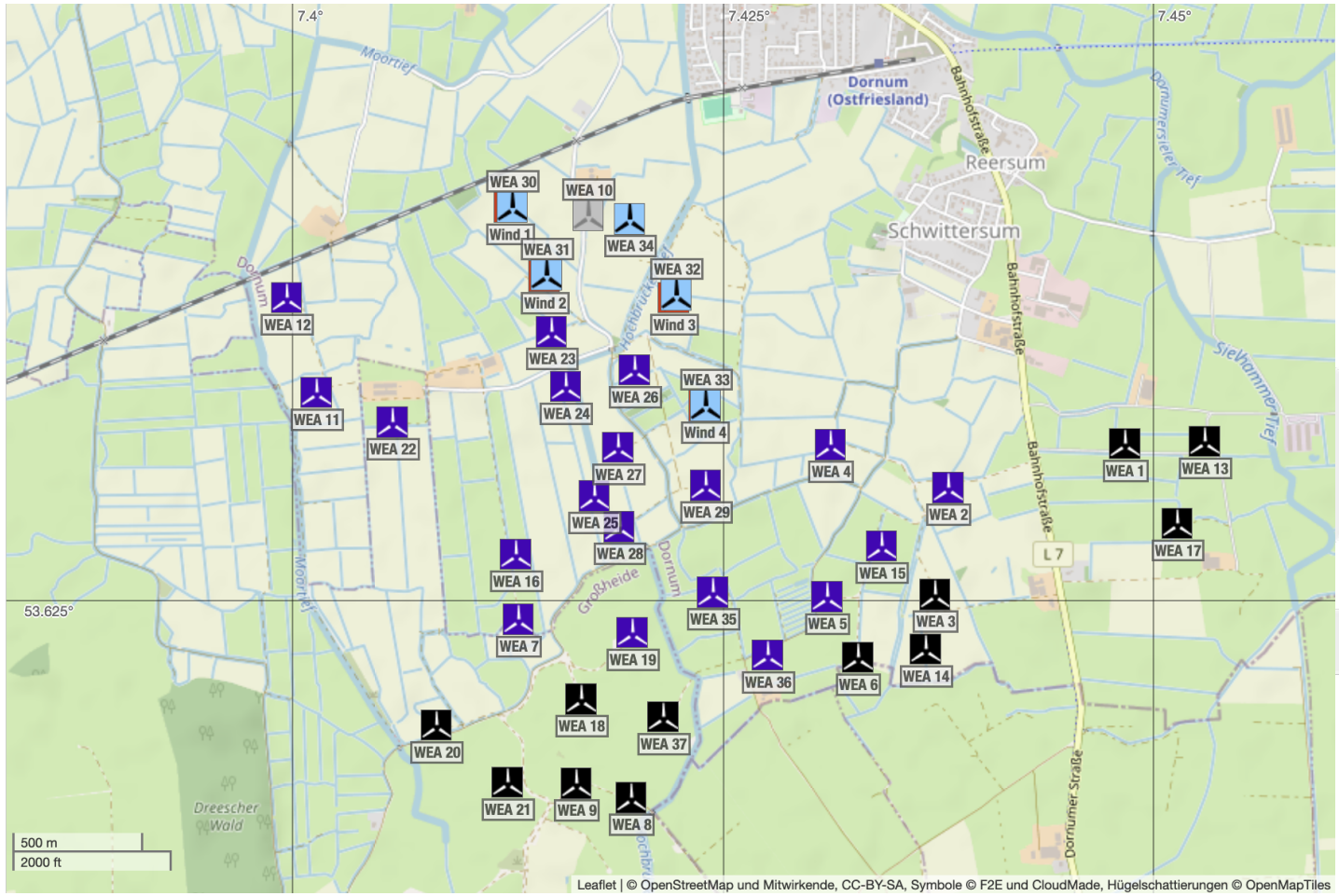
Tabelle 2.6.1.3: Betriebsbeschränkungen der BBS-Gruppe 1 - Alternative A - Details

	Beschränkte WEA		Zu schützende WEA		Beschränkungen						
Nr.	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Abschaltung	Betriebsmodus	β [°]	γ_{start} [°]	γ_{stop} [°]	v_{start} [m/s]	v_{stop} [m/s]
1	23	Georgshof I. WEA 401	23	Georgshof I. WEA 401	X	-	-	324.3	24.9	v-in	v-out
2	25	Georgshof I. WEA 401	25		X	-	-	118.4	160.8	v-in	v-out

Copyright © 2024 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Das vorliegende Dokument wurde automatisch erstellt und nicht durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG geprüft. Das Dokument stellt daher keine schriftliche Stellungnahme oder vergleichbare schriftliche Aussage zur Standorteignung von WEA im Sinne der DIBt- oder IEC-Richtlinien für Windenergieanlagen dar. Für Aussagen, die auf Grundlage dieses Dokuments getroffen werden, wird durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG daher keine Haftung übernommen.

2.7 Karte des Windparks



Copyright © 2024 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Das vorliegende Dokument wurde automatisch erstellt und nicht durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG geprüft. Das Dokument stellt daher keine schriftliche Stellungnahme oder vergleichbare schriftliche Aussage zur Standorteignung von WEA im Sinne der DIBt- oder IEC-Richtlinien für Windenergieanlagen dar. Für Aussagen, die auf Grundlage dieses Dokuments getroffen werden, wird durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG daher keine Haftung übernommen.

2.8 Abstände zwischen aktiven Windenergieanlagen

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

WEA			Nachbar 1		Nachbar 2		Nachbar 3		Nachbar 4		Nachbar 5	
	Nr.	Bezeichnung	Nr.	Entfernung	Nr.	Entfernung	Nr.	Entfernung	Nr.	Entfernung	Nr.	Entfernung
	2	516	15	3.64	3	5.78	4	6.75	33	7.09	14	8.76
	4	612	33	3.62	15	4.71	29	5.01	32	5.98	2	6.75
	5	613	15	3.14	36	3.15	6	3.67	35	4.36	3	5.84
	7	708	16	3.53	18	3.83	28	5.20	19	6.18	20	6.26
	11	EA098	22	4.44	12	5.37	31	7.17	30	7.48	34	9.96
	12	EA108	11	5.37	30	6.73	31	7.22	22	8.83	34	9.77
	15	630	3	3.89	5	4.06	2	4.72	36	6.01	14	6.06
	16	706	7	3.53	28	4.06	27	5.61	18	6.01	33	6.71
	19	M04	18	3.19	35	3.42	37	3.43	28	4.04	36	5.24
	22	703	11	4.44	31	5.90	30	6.82	27	8.62	32	8.63
	23	Georgshof I. WEA 401	31	1.59	26	3.45	32	3.60	30	3.63	34	3.82
	24	Georgshof I. WEA 401	26	2.69	27	3.06	31	3.12	33	3.95	32	3.97
	25	Georgshof I. WEA 401	28	1.49	27	2.07	33	4.03	29	4.27	26	5.06
	26	Georgshof II. WEA 10	33	2.23	32	2.37	27	3.02	31	3.58	34	4.16
	27	Georgshof II. WEA 10	33	2.72	28	2.99	26	3.02	29	3.61	32	4.53
	28	Georgshof II. WEA 10	27	2.99	29	3.63	25	3.74	33	4.15	35	4.33
	29	Georgshof II. WEA 10	33	2.23	27	3.61	28	3.63	35	4.05	26	5.15
	30	Georgshof III. WEA 0	31	2.10	34	3.29	32	5.15	33	7.68	26	7.71
	31	Georgshof III. WEA 0	30	2.10	34	2.80	32	3.64	26	4.90	23	5.44
	32	Georgshof III. WEA 0	34	2.44	33	3.17	26	3.25	31	3.64	30	5.15

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Copyright © 2024 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Das vorliegende Dokument wurde automatisch erstellt und nicht durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG geprüft. Das Dokument stellt daher keine schriftliche Stellungnahme oder vergleichbare schriftliche Aussage zur Standorteignung von WEA im Sinne der DIBt- oder IEC-Richtlinien für Windenergieanlagen dar. Für Aussagen, die auf Grundlage dieses Dokuments getroffen werden, wird durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG daher keine Haftung übernommen.

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

WEA			Nachbar 1		Nachbar 2		Nachbar 3		Nachbar 4		Nachbar 5	
	Nr.	Bezeichnung	Nr.	Entfernung	Nr.	Entfernung	Nr.	Entfernung	Nr.	Entfernung	Nr.	Entfernung
	33	Georgshof III. WEA 0	26	3.05	29	3.05	32	3.17	27	3.73	34	5.56
	34	WEA Verweyen	32	2.44	31	2.80	30	3.29	33	5.56	26	5.70
	35	SML1	36	3.20	29	4.05	28	4.33	19	4.87	37	5.12
	36	SML2	35	3.20	5	4.48	37	4.65	6	4.87	15	6.59

Copyright © 2024 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Das vorliegende Dokument wurde automatisch erstellt und nicht durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG geprüft. Das Dokument stellt daher keine schriftliche Stellungnahme oder vergleichbare schriftliche Aussage zur Standorteignung von WEA im Sinne der DIBt- oder IEC-Richtlinien für Windenergieanlagen dar. Für Aussagen, die auf Grundlage dieses Dokuments getroffen werden, wird durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG daher keine Haftung übernommen.

3 Ergebnisse

Tabelle 3.1: Nachweis durch einen Vergleich der Windbedingungen - Ergebnisübersicht

WEA-Eigenschaften					Ermüdungslast						Extremlast			Hinweise
	Nr.	WEA-Typ	D [m]	z_{hub} [m]	I_{eff}	α	φ	ρ	v	Σ	v_{50}	Σ	Gesamt-ergebnis	Einfluss durch Neuplanung
	2	ENERCON E-70 E4 2.3MW	71	64	✓	—	—	—	—	—	—	—	✓	
	4	ENERCON E-70 E4 2.3MW	71	64	✓	—	—	—	—	—	—	—	✓	
	5	ENERCON E-70 E4 2.3MW	71	64	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	7	ENERCON E-70 E4 2.3MW	71	64	✓	—	—	—	—	—	—	—	✓	
	11	ENERCON E-70 E4 2.3MW	71	64	✓	—	—	—	—	—	—	—	✓	
	12	ENERCON E-70 E4 2.3MW	71	64	✓	—	—	—	—	—	—	—	✓	
	15	ENERCON E-92 2.35MW	92	138	✓	—	—	—	—	—	—	—	✓	
	16	ENERCON E-70 E4 2.3MW	71	85	✓	—	—	—	—	—	—	—	✓	
	19	ENERCON E-70 E4 2.3MW	71	64	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	22	ENERCON E-70 E4 2.3MW	71	64	✓	—	—	—	—	—	—	—	✓	
	23	ENERCON E-40 5.40 500kW	40.3	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	24	ENERCON E-40 5.40 500kW	40.3	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	25	ENERCON E-40 5.40 500kW	40.3	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	26	ENERCON E-101 3.05MW	101	135	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	27	ENERCON E-101 3.05MW	101	135	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	28	ENERCON E-101 3.05MW	101	135	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	29	ENERCON E-101 3.05MW	101	135	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	30	ENERCON E-138 EP3 E3 4.26MW OM0s	138.25	111	—	—	—	—	✓	—	—	—	—	

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Copyright © 2024 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Das vorliegende Dokument wurde automatisch erstellt und nicht durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG geprüft. Das Dokument stellt daher keine schriftliche Stellungnahme oder vergleichbare schriftliche Aussage zur Standorteignung von WEA im Sinne der DIBt- oder IEC-Richtlinien für Windenergieanlagen dar. Für Aussagen, die auf Grundlage dieses Dokuments getroffen werden, wird durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG daher keine Haftung übernommen.

Tabelle 3.1: Nachweis durch einen Vergleich der Windbedingungen - Ergebnisübersicht

WEA-Eigenschaften					Ermüdungslast						Extremlast			Hinweise
	Nr.	WEA-Typ	D [m]	z_{hub} [m]	I_{eff}	α	φ	ρ	v	Σ	v_{50}	Σ	Gesamt-ergebnis	Einfluss durch Neuplanung
	31	ENERCON E-138 EP3 E3 4.26MW OM0s	138.25	111	—	—	—	—	✓	—	—	—	—	
	32	ENERCON E-138 EP3 E3 4.26MW OM0s	138.25	111	—	—	—	—	✓	—	—	—	—	
	33	ENERCON E-138 EP3 E3 4.26MW OM0s	138.25	111	—	—	—	—	✓	—	—	—	—	
	34	ENERCON E-138 EP3 E3 4.26MW OM0s	138.25	111	—	—	—	—	✓	—	—	—	—	
	35	ENERCON E-101 3.05MW	101	135.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	36	ENERCON E-101 3.05MW	101	99	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

Legende: ✓ - erfüllt, — - nicht erfüllt, ! - Bewertung nicht möglich, —- Bewertung nicht erforderlich

3.1 Situation vor dem Zubau

BBS definiert Ja
Einfluss der Orografie bewerten Ja
Ist Vorherfall Ja

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

WEA				Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																											
	Nr.	Bezeichnung	m	Alle	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	2	516	10	—	32.3	27.5	24.6	22.8	21.5	20.1	19.0	18.2	17.7	16.0	14.6	13.4	12.7	12.1	11.6	11.1	10.7	10.4	10.3	10.2	10.2	10.2	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
	4	612	10	—	31.5	26.8	24.1	22.5	21.4	20.4	18.7	17.8	17.2	14.4	13.4	12.6	12.0	11.5	11.1	10.8	10.4	10.2	10.1	10.1	10.1	10.1	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
	5	613	10	—	40.8	35.6	32.4	31.0	29.9	28.6	25.9	24.6	23.8	18.7	16.5	14.4	13.4	12.6	12.0	11.5	11.1	10.7	10.6	10.5	10.5	10.4	10.4	10.2	10.2	10.2	10.2
	7	708	10	—	35.3	30.4	27.3	25.6	24.3	22.9	20.8	19.7	18.8	16.9	15.2	13.1	12.1	11.5	11.0	10.6	10.3	10.1	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
	11	EA098	10	—	30.0	25.7	23.1	21.4	20.1	19.0	18.1	17.3	16.6	15.8	14.1	12.4	11.7	11.2	10.8	10.5	10.2	10.0	10.0	10.0	10.0	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Copyright © 2024 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Das vorliegende Dokument wurde automatisch erstellt und nicht durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG geprüft. Das Dokument stellt daher keine schriftliche Stellungnahme oder vergleichbare schriftliche Aussage zur Standorteignung von WEA im Sinne der DIBt- oder IEC-Richtlinien für Windenergieanlagen dar. Für Aussagen, die auf Grundlage dieses Dokuments getroffen werden, wird durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG daher keine Haftung übernommen.

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

WEA				Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																										
	Nr.	Bezeichnung	m	Alle	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	12	EA108	10	—	28.2	23.7	21.0	19.2	17.9	16.8	15.9	15.1	14.4	13.8	12.7	11.7	11.2	10.9	10.5	10.3	10.1	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9
	15	630	10	—	32.4	28.2	25.5	23.8	22.5	21.5	20.6	19.9	19.3	18.8	16.8	14.0	12.8	11.9	11.3	10.8	10.4	10.0	9.7	9.5	9.4	9.3	9.3	9.2	9.2	9.2	9.2
	16	706	10	—	34.2	29.7	27.0	25.3	24.0	22.9	21.6	20.8	20.1	19.2	17.0	13.9	12.5	11.6	10.9	10.4	10.0	9.8	9.7	9.7	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.7
	19	M04	10	—	40.5	**35.5**	**32.5**	**31.3**	**30.3**	**29.0**	**26.1**	**24.7**	**23.7**	17.1	15.3	13.8	12.9	12.1	11.5	11.1	10.7	10.5	10.4	10.4	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3
	22	703	10	—	29.8	25.2	22.3	20.5	19.1	18.1	17.3	16.8	16.4	16.1	14.8	12.9	12.2	11.6	11.2	10.8	10.5	10.2	10.1	10.1	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	9.9	9.9
	23	Georgshof I. WEA 401	10	18.6	34.2	29.9	27.3	26.1	**25.0**	**23.7**	21.1	19.6	18.4	14.1	13.0	12.2	11.7	11.2	10.9	10.6	10.4	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	—	—	—	—
	24	Georgshof I. WEA 401	10	**23.4**	**42.2**	**37.1**	**34.0**	**32.6**	**31.4**	**29.8**	**26.4**	**24.6**	**23.2**	16.0	14.0	12.7	11.9	11.3	10.9	10.7	10.4	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	—	—	—	—
	25	Georgshof I. WEA 401	10	**28.2**	**52.7**	**45.5**	**41.0**	**38.9**	**37.0**	**34.7**	**30.4**	**28.3**	**26.8**	18.4	16.2	14.2	13.0	12.1	11.4	10.9	10.6	10.3	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	—	—	—	—
	26	Georgshof II. WEA 10	10	—	36.5	32.1	29.4	**28.3**	**27.4**	**26.1**	**23.4**	**22.1**	**21.2**	14.9	13.2	12.1	11.4	10.8	10.3	9.9	9.6	9.3	9.2	9.1	9.1	9.1	9.1	—	—	—	—
	27	Georgshof II. WEA 10	10	—	39.4	34.3	**31.2**	**29.9**	**28.8**	**27.4**	**24.5**	**23.0**	**22.1**	15.6	13.8	12.6	11.7	11.0	10.5	10.1	9.7	9.4	9.3	9.2	9.1	9.1	9.1	—	—	—	—
	28	Georgshof II. WEA 10	10	—	37.5	32.1	28.9	**27.3**	**26.0**	**24.5**	21.7	20.4	19.4	15.1	13.7	12.3	11.6	11.1	10.7	10.3	10.0	9.7	9.6	9.5	9.4	9.4	9.3	—	—	—	—
	29	Georgshof II. WEA 10	10	—	36.2	31.4	28.5	**27.1**	**26.1**	**24.9**	**22.4**	**21.3**	**20.6**	15.2	13.8	12.8	12.1	11.5	11.0	10.6	10.2	9.9	9.7	9.5	9.4	9.4	9.3	—	—	—	—
	35	SML1	10	—	36.8	32.0	29.1	**27.7**	**26.6**	**25.2**	**22.5**	**21.2**	20.2	16.6	15.1	13.2	12.3	11.6	11.1	10.6	10.2	9.9	9.7	9.6	9.5	9.4	9.3	—	—	—	—
	36	SML2	10	—	36.6	31.4	28.2	26.6	**25.4**	**24.1**	21.7	20.5	19.8	16.0	14.4	12.9	12.2	11.7	11.3	11.0	10.7	10.5	10.4	10.3	10.3	10.3	10.3	—	—	—	—

Copyright © 2024 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Das vorliegende Dokument wurde automatisch erstellt und nicht durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG geprüft. Das Dokument stellt daher keine schriftliche Stellungnahme oder vergleichbare schriftliche Aussage zur Standorteignung von WEA im Sinne der DIBt- oder IEC-Richtlinien für Windenergieanlagen dar. Für Aussagen, die auf Grundlage dieses Dokuments getroffen werden, wird durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG daher keine Haftung übernommen.

3.2 Situation nach dem Zubau

BBS definiert Ja
Einfluss der Orografie bewerten Ja
Ist Vorherfall Nein

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

WEA				Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																											
	Nr.	Bezeichnung	m	Alle	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	2	516	10	—	32.4	27.6	24.6	22.9	21.5	20.1	19.0	18.2	17.7	16.0	14.6	13.5	12.7	12.2	11.7	11.2	10.8	10.5	10.4	10.4	10.3	10.3	10.3	10.2	10.2	10.2	10.1
	4	612	10	—	32.3	28.8	25.5	23.3	21.9	20.6	18.9	18.0	17.3	14.7	13.7	12.9	12.3	11.9	11.5	11.1	10.8	10.6	10.5	10.4	10.3	10.3	10.3	10.2	10.2	10.2	10.0
	5	613	10	—	40.8	35.6	32.4	31.0	29.9	28.6	25.9	24.6	23.8	18.7	16.5	14.5	13.4	12.6	12.0	11.5	11.1	10.8	10.7	10.6	10.5	10.5	10.4	10.2	10.2	10.2	10.2
	7	708	10	—	35.3	30.4	27.3	25.6	24.3	22.9	20.8	19.7	18.8	16.9	15.2	13.1	12.2	11.5	11.0	10.6	10.3	10.1	10.1	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
	11	EA098	10	—	30.2	26.0	23.3	21.5	20.1	19.1	18.1	17.3	16.6	15.8	14.2	12.4	11.7	11.2	10.8	10.5	10.3	10.0	10.0	10.0	10.0	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9
	12	EA108	10	—	28.5	24.2	21.4	19.5	18.1	16.9	16.0	15.2	14.5	13.8	12.7	11.8	11.3	10.9	10.6	10.3	10.1	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9
	15	630	10	—	32.5	28.2	25.6	23.8	22.5	21.5	20.6	19.9	19.3	18.8	16.8	14.0	12.8	12.0	11.4	10.9	10.4	10.0	9.8	9.7	9.5	9.4	9.4	9.3	9.3	9.3	9.2
	16	706	10	—	34.2	29.8	27.0	25.3	24.1	22.9	21.6	20.8	20.1	19.2	17.0	13.9	12.5	11.6	10.9	10.4	10.0	9.8	9.7	9.7	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.7
	19	M04	10	—	40.5	35.5	32.5	31.3	30.3	29.0	26.1	24.7	23.7	17.1	15.3	13.8	12.9	12.1	11.5	11.1	10.7	10.5	10.4	10.4	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3
	22	703	10	—	30.1	25.7	22.7	20.7	19.3	18.2	17.4	16.8	16.4	16.1	14.8	13.0	12.2	11.6	11.2	10.8	10.5	10.2	10.1	10.1	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	9.9	9.9
	23	Georgshof I. WEA 401	10	18.7	35.3	31.9	28.6	26.7	25.3	23.8	21.2	19.7	18.5	14.5	13.3	12.5	11.9	11.4	11.0	10.7	10.5	10.3	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	—	—	—	—
	24	Georgshof I. WEA 401	10	23.4	42.4	37.5	34.2	32.7	31.5	29.8	26.4	24.6	23.2	16.1	14.2	12.9	12.1	11.5	11.1	10.7	10.5	10.3	10.3	10.2	10.2	10.2	10.2	—	—	—	—
	25	Georgshof I. WEA 401	10	28.2	52.7	45.5	41.0	38.9	37.0	34.7	30.4	28.3	26.8	18.4	16.2	14.2	13.0	12.1	11.4	10.9	10.6	10.3	10.3	10.2	10.2	10.2	10.2	—	—	—	—

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Copyright © 2024 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Das vorliegende Dokument wurde automatisch erstellt und nicht durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG geprüft. Das Dokument stellt daher keine schriftliche Stellungnahme oder vergleichbare schriftliche Aussage zur Standorteignung von WEA im Sinne der DIBt- oder IEC-Richtlinien für Windenergieanlagen dar. Für Aussagen, die auf Grundlage dieses Dokuments getroffen werden, wird durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG daher keine Haftung übernommen.

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

WEA				Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																										
	Nr.	Bezeichnung	m	Alle	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	26	Georgshof II. WEA 10	10	—	40.5	40.5	36.0	32.4	29.6	27.0	24.1	22.6	21.5	16.3	14.5	13.1	12.1	11.2	10.6	10.1	9.8	9.5	9.4	9.3	9.2	9.2	9.2	—	—	—	—
	27	Georgshof II. WEA 10	10	—	39.7	35.5	32.1	30.3	29.0	27.5	24.5	23.1	22.1	15.7	14.0	12.7	11.9	11.2	10.6	10.2	9.8	9.5	9.3	9.3	9.2	9.2	9.2	—	—	—	—
	28	Georgshof II. WEA 10	10	—	37.5	32.3	29.0	27.3	26.0	24.5	21.7	20.4	19.4	15.1	13.8	12.4	11.6	11.1	10.7	10.3	10.0	9.7	9.6	9.5	9.5	9.4	9.4	—	—	—	—
	29	Georgshof II. WEA 10	10	—	39.3	38.3	33.6	30.0	27.5	25.4	22.8	21.5	20.7	15.7	14.2	13.1	12.3	11.7	11.2	10.8	10.4	10.0	9.8	9.7	9.6	9.5	9.4	—	—	—	—
	30	Georgshof III. WEA 0	10	—	41.1	42.9	38.2	33.8	30.0	25.6	22.7	20.6	18.6	16.6	14.9	13.5	12.3	11.5	10.9	10.5	10.1	9.9	9.9	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	—
	31	Georgshof III. WEA 0	10	—	41.2	42.0	36.8	32.3	28.5	24.4	21.8	20.0	18.3	16.5	15.1	14.0	13.2	12.5	11.9	11.5	11.1	10.7	10.6	10.4	10.2	10.1	10.0	10.0	9.9	9.9	—
	32	Georgshof III. WEA 0	10	—	40.4	38.4	34.3	31.7	30.2	28.8	26.0	24.7	23.8	17.5	15.7	14.5	13.5	12.8	12.1	11.6	11.2	10.8	10.6	10.5	10.4	10.2	10.1	10.1	10.0	10.0	—
	33	Georgshof III. WEA 0	10	—	43.0	37.6	34.2	32.6	31.4	29.9	26.8	25.3	24.4	17.5	15.7	14.5	13.6	12.9	12.3	11.9	11.4	11.1	10.9	10.7	10.6	10.5	10.4	10.2	10.2	10.2	—
	34	WEA Verweyen	10	—	38.6	39.2	34.9	31.0	27.6	23.8	21.4	19.7	18.1	16.5	15.2	14.1	13.3	12.6	12.0	11.5	11.1	10.7	10.5	10.4	10.3	10.2	10.1	10.0	10.0	10.0	—
	35	SML1	10	—	36.8	32.0	29.1	27.7	26.6	25.2	22.5	21.2	20.2	16.6	15.1	13.2	12.3	11.6	11.1	10.7	10.3	9.9	9.7	9.6	9.5	9.4	9.4	—	—	—	—
	36	SML2	10	—	36.6	31.4	28.2	26.6	25.4	24.1	21.7	20.5	19.8	16.0	14.4	12.9	12.2	11.7	11.3	11.0	10.7	10.5	10.4	10.3	10.3	10.3	10.3	—	—	—	—

Tabelle 3.2.2: Extremwerte der Turbulenzintensität auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]

WEA				Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																										
	Nr.	Bezeichnung	m	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	2	516	10	39.1	33.3	29.6	27.5	25.8	23.8	22.4	21.3	20.6	18.7	17.2	14.9	14.0	13.4	12.9	12.4	12.0	11.8	11.7	11.6	11.5	11.4	11.3	11.3	11.2	11.1	11.1

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Copyright © 2024 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Das vorliegende Dokument wurde automatisch erstellt und nicht durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG geprüft. Das Dokument stellt daher keine schriftliche Stellungnahme oder vergleichbare schriftliche Aussage zur Standorteignung von WEA im Sinne der DIBt- oder IEC-Richtlinien für Windenergieanlagen dar. Für Aussagen, die auf Grundlage dieses Dokuments getroffen werden, wird durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG daher keine Haftung übernommen.

Tabelle 3.2.2: Extremwerte der Turbulenzintensität auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]

WEA				Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																										
	Nr.	Bezeichnung	m	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	4	612	10	38.3	34.3	30.2	27.7	26.4	25.0	22.7	21.5	20.6	17.1	15.7	14.0	13.3	12.8	12.4	12.0	11.8	11.5	11.4	11.4	11.3	11.3	11.3	11.0	11.0	11.0	11.0
	5	613	10	49.6	43.0	39.1	37.4	36.0	34.3	30.7	29.0	27.9	24.8	22.2	18.2	16.4	15.2	14.3	13.5	13.0	12.5	12.3	12.1	11.9	11.8	11.7	11.6	11.5	11.4	11.4
	7	708	10	43.9	37.9	34.3	32.6	31.2	29.7	26.7	25.3	24.3	23.3	20.7	16.8	15.1	13.9	13.0	12.5	12.1	11.8	11.7	11.6	11.5	11.5	11.4	11.3	11.3	11.3	11.3
	11	EA098	10	37.7	32.5	29.2	27.0	25.3	24.1	23.1	22.4	21.7	21.2	19.1	16.0	14.6	13.7	13.0	12.4	11.9	11.6	11.4	11.2	11.1	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
	12	EA108	10	35.3	30.1	26.9	24.8	23.2	22.0	21.1	20.3	19.7	19.2	17.5	15.1	14.0	13.2	12.6	12.1	11.8	11.4	11.3	11.2	11.1	11.1	11.1	11.1	11.1	11.1	11.1
	15	630	10	38.0	32.9	29.7	27.5	25.9	24.7	23.8	23.0	22.3	21.8	19.5	16.1	14.6	13.5	12.7	12.1	11.6	11.2	11.0	10.9	10.8	10.6	10.6	10.5	10.4	10.4	10.3
	16	706	10	42.0	36.5	33.0	30.6	28.9	27.5	26.5	25.7	24.9	24.4	21.7	17.7	15.9	14.6	13.7	13.0	12.4	11.9	11.7	11.4	11.3	11.1	11.0	10.9	10.8	10.8	10.7
	19	M04	10	48.0	41.6	37.9	36.2	34.9	33.2	29.7	28.1	27.0	19.1	17.0	15.6	14.6	13.8	13.2	12.7	12.3	12.0	11.9	11.7	11.7	11.6	11.5	11.3	11.3	11.3	11.3
	22	703	10	35.8	30.8	27.7	25.6	24.1	22.9	22.0	21.3	20.6	20.1	18.1	15.1	13.8	12.9	12.2	11.7	11.5	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3
	23	Georgshof I. WEA 401	10	46.2	40.0	36.3	34.6	33.3	31.7	28.4	26.8	25.8	18.6	16.6	15.3	14.4	13.6	13.0	12.6	12.2	11.8	11.7	11.6	11.5	11.4	11.4	—	—	—	—
	24	Georgshof I. WEA 401	10	54.8	47.8	43.7	41.9	40.5	38.6	34.4	32.5	31.2	21.5	18.9	17.1	15.8	14.8	14.1	13.4	12.9	12.5	12.3	12.1	12.0	11.8	11.7	—	—	—	—
	25	Georgshof I. WEA 401	10	68.2	59.8	54.9	53.0	51.4	49.0	43.6	41.1	39.5	26.2	22.6	20.2	18.4	17.1	16.0	15.1	14.4	13.9	13.5	13.3	13.0	12.8	12.6	—	—	—	—
	26	Georgshof II. WEA 10	10	46.6	47.4	42.0	37.1	34.1	32.4	29.0	27.3	26.3	19.0	17.3	15.8	14.7	13.8	13.0	12.5	12.0	11.5	11.3	11.0	10.8	10.6	10.3	—	—	—	—
	27	Georgshof II. WEA 10	10	47.0	40.9	37.3	35.7	34.4	32.8	29.3	27.6	26.5	18.5	16.2	14.8	13.7	12.9	12.2	11.7	11.3	11.0	10.8	10.6	10.5	10.4	10.3	—	—	—	—
	28	Georgshof II. WEA 10	10	45.1	39.3	35.7	34.2	33.0	31.4	28.0	26.5	25.4	17.6	15.6	14.1	13.0	12.2	11.6	11.1	10.8	10.5	10.5	10.4	10.4	10.3	10.3	—	—	—	—
	29	Georgshof II. WEA 10	10	45.3	46.9	41.5	36.6	32.5	29.0	26.0	24.6	23.6	18.8	17.0	15.6	14.4	13.5	12.8	12.1	11.6	11.2	10.9	10.7	10.6	10.6	10.5	—	—	—	—

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Copyright © 2024 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Das vorliegende Dokument wurde automatisch erstellt und nicht durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG geprüft. Das Dokument stellt daher keine schriftliche Stellungnahme oder vergleichbare schriftliche Aussage zur Standorteignung von WEA im Sinne der DIBt- oder IEC-Richtlinien für Windenergieanlagen dar. Für Aussagen, die auf Grundlage dieses Dokuments getroffen werden, wird durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG daher keine Haftung übernommen.

Tabelle 3.2.2: Extremwerte der Turbulenzintensität auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]

WEA				Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																										
	Nr.	Bezeichnung	m	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	30	Georgshof III. WEA 0	10	50.4	52.4	46.5	41.1	36.5	31.2	27.9	25.5	23.2	21.1	19.1	17.5	16.2	15.1	14.3	13.6	13.0	12.5	12.2	11.9	11.6	11.3	11.0	11.0	11.0	11.0	—
	31	Georgshof III. WEA 0	10	47.2	49.2	43.5	38.5	34.1	29.1	26.0	23.7	21.6	19.5	17.7	16.1	14.9	13.9	13.1	12.6	12.2	11.8	11.6	11.4	11.3	11.1	10.9	10.9	10.9	10.9	—
	32	Georgshof III. WEA 0	10	47.8	43.7	38.7	36.0	34.6	33.0	29.5	27.9	26.8	19.1	17.0	15.6	14.5	13.8	13.1	12.6	12.2	11.9	11.7	11.6	11.5	11.4	11.3	10.7	10.7	10.7	—
	33	Georgshof III. WEA 0	10	49.1	42.6	38.8	37.1	35.8	34.1	30.5	28.8	27.7	19.4	17.2	15.7	14.6	13.8	13.1	12.6	12.1	11.8	11.6	11.5	11.4	11.3	11.2	10.8	10.8	10.8	—
	34	WEA Verweyen	10	45.7	46.7	41.3	36.6	32.6	28.0	25.1	23.1	21.1	19.3	17.6	16.2	15.1	14.2	13.5	12.9	12.4	12.0	11.8	11.5	11.3	11.1	10.9	10.8	10.8	10.8	—
	35	SML1	10	45.8	39.7	36.1	34.5	33.3	31.7	28.3	26.7	25.7	19.5	17.7	15.0	13.8	12.9	12.3	11.8	11.4	11.1	10.9	10.8	10.7	10.6	10.6	—	—	—	—
	36	SML2	10	43.5	37.8	34.3	32.8	31.7	30.1	26.9	25.4	24.4	19.5	17.5	14.7	13.5	12.6	12.0	11.5	11.2	11.0	10.9	10.8	10.8	10.7	10.7	—	—	—	—

Tabelle 3.2.3: Eigenschaften und Windbedingungen der jeweiligen WEA

WEA-Eigenschaften						Nächste WEA		Ergebnisse														
	Nr.	WEA-Typ	z_{hub} [m]	D [m]	BBS	Abstand in D	Nr.	Geschützt durch BBS	m [-]	Komplex	α_n [-]	φ [°]	ρ [kg/m³]	WZ	v_{50} GK2 [m/s]	v_{50} GK1 [m/s]	A [m/s]	A ρkorr. [m/s]	k [-]	v_{ave} [m/s]	v_{ave} ρkorr. [m/s]
	2	ENERCON E-70 E4 2.3MW	64	71	Nein	3.639	15	Nein	10	Nein	0.13	0.1	1.250	4 / III	40.4	44.2	7.84	7.92	2.418	6.95	7.02
	4	ENERCON E-70 E4 2.3MW	64	71	Nein	3.62	33	Nein	10	Nein	0.13	0.1	1.250	4 / III	40.4	44.2	7.84	7.92	2.418	6.95	7.02
	5	ENERCON E-70 E4 2.3MW	64	71	Nein	3.136	15	Nein	10	Nein	0.13	0.1	1.251	4 / III	40.4	44.2	7.84	7.92	2.418	6.95	7.02
	7	ENERCON E-70 E4 2.3MW	64	71	Nein	3.527	16	Nein	10	Nein	0.13	0.1	1.251	4 / III	40.4	44.2	7.84	7.92	2.418	6.95	7.02
	11	ENERCON E-70 E4 2.3MW	64	71	Nein	4.437	22	Nein	10	Nein	0.13	0.1	1.250	4 / III	40.4	44.2	7.85	7.93	2.418	6.96	7.03
	12	ENERCON E-70 E4 2.3MW	64	71	Nein	5.367	11	Nein	10	Nein	0.13	0.1	1.250	4 / III	40.4	44.2	7.86	7.94	2.418	6.97	7.04

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Copyright © 2024 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Das vorliegende Dokument wurde automatisch erstellt und nicht durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG geprüft. Das Dokument stellt daher keine schriftliche Stellungnahme oder vergleichbare schriftliche Aussage zur Standorteignung von WEA im Sinne der DIBt- oder IEC-Richtlinien für Windenergieanlagen dar. Für Aussagen, die auf Grundlage dieses Dokuments getroffen werden, wird durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG daher keine Haftung übernommen.

Tabelle 3.2.3: Eigenschaften und Windbedingungen der jeweiligen WEA

WEA-Eigenschaften						Nächste WEA		Ergebnisse													
	Nr.	WEA-Typ	z_{hub} [m]	D [m]	BBS	Abstand in D	Nr.	Geschützt durch BBS	m [-]	Komplex	α_n [-]	φ [°]	ρ [kg/m³]	WZ	v_{50} GK2 [m/s]	v_{50} GK1 [m/s]	A [m/s]	A ρkorr [m/s]	k [-]	v_{ave} [m/s]	v_{ave} ρkorr [m/s]
	15	ENERCON E-92 2.35MW	138	92	Nein	3.891	3	Nein	10	Nein	0.12	0.0	1.241	4 / III	45.7	48.5	8.61	8.67	2.51	7.64	7.69
	16	ENERCON E-70 E4 2.3MW	85	71	Nein	3.527	7	Nein	10	Nein	0.13	0.1	1.248	4 / III	42.3	45.8	8.12	8.2	2.46	7.21	7.27
	19	ENERCON E-70 E4 2.3MW	64	71	Nein	3.192	18	Nein	10	Nein	0.13	0.1	1.251	4 / III	40.4	44.2	7.84	7.92	2.418	6.95	7.02
	22	ENERCON E-70 E4 2.3MW	64	71	Nein	4.437	11	Nein	10	Nein	0.13	0.1	1.250	4 / III	40.4	44.2	7.85	7.93	2.418	6.96	7.03
	23	ENERCON E-40 5.40 500kW	50	40.3	Nein	1.587	31	Ja	10	Nein	0.14	0.2	1.252	4 / III	38.8	42.9	7.6	7.61	2.39	6.74	6.74
	24	ENERCON E-40 5.40 500kW	50	40.3	Nein	2.692	26	Nein	10	Nein	0.14	0.1	1.252	4 / III	38.8	42.9	7.6	7.61	2.39	6.74	6.74
	25	ENERCON E-40 5.40 500kW	50	40.3	Nein	1.494	28	Ja	10	Nein	0.14	0.1	1.252	4 / III	38.8	42.9	7.59	7.59	2.39	6.73	6.73
	26	ENERCON E-101 3.05MW	135	101	Nein	2.226	33	Nein	10	Nein	0.12	0.0	1.242	4 / III	45.5	48.4	8.59	8.65	2.51	7.62	7.67
	27	ENERCON E-101 3.05MW	135	101	Nein	2.723	33	Nein	10	Nein	0.12	0.1	1.242	4 / III	45.5	48.4	8.59	8.65	2.51	7.62	7.67
	28	ENERCON E-101 3.05MW	135	101	Ja	2.991	27	Nein	10	Nein	0.12	0.0	1.242	4 / III	45.5	48.4	8.59	8.65	2.51	7.62	7.67
	29	ENERCON E-101 3.05MW	135	101	Nein	2.227	33	Nein	10	Nein	0.12	0.1	1.241	4 / III	45.5	48.4	8.59	8.65	2.51	7.62	7.67
	30	ENERCON E-138 EP3 E3 4.26MW OM0s	111	138.25	Nein	2.103	31	Nein	10	Nein	0.12	0.0	1.244	4 / III	44.1	47.3	8.4	8.47	2.51	7.46	7.52
	31	ENERCON E-138 EP3 E3 4.26MW OM0s	111	138.25	Ja	2.103	30	Nein	10	Nein	0.12	0.1	1.245	4 / III	44.1	47.3	8.4	8.46	2.51	7.45	7.51
	32	ENERCON E-138 EP3 E3 4.26MW OM0s	111	138.25	Nein	2.442	34	Nein	10	Nein	0.12	0.1	1.244	4 / III	44.1	47.3	8.39	8.45	2.511	7.44	7.5
	33	ENERCON E-138 EP3 E3 4.26MW OM0s	111	138.25	Nein	3.047	26	Nein	10	Nein	0.12	0.0	1.244	4 / III	44.1	47.3	8.39	8.45	2.51	7.44	7.5
	34	ENERCON E-138 EP3 E3 4.26MW OM0s	111	138.25	Nein	2.442	32	Nein	10	Nein	0.12	0.0	1.245	4 / III	44.1	47.3	8.39	8.45	2.511	7.44	7.5
	35	ENERCON E-101 3.05MW	135.4	101	Nein	3.195	36	Nein	10	Nein	0.12	0.0	1.242	4 / III	45.5	48.4	8.59	8.65	2.51	7.63	7.68

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Copyright © 2024 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Das vorliegende Dokument wurde automatisch erstellt und nicht durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG geprüft. Das Dokument stellt daher keine schriftliche Stellungnahme oder vergleichbare schriftliche Aussage zur Standorteignung von WEA im Sinne der DIBt- oder IEC-Richtlinien für Windenergieanlagen dar. Für Aussagen, die auf Grundlage dieses Dokuments getroffen werden, wird durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG daher keine Haftung übernommen.

Tabelle 3.2.3: Eigenschaften und Windbedingungen der jeweiligen WEA

WEA-Eigenschaften						Nächste WEA		Ergebnisse													
	Nr.	WEA-Typ	z_{hub} [m]	D [m]	BBS	Abstand in D	Nr.	Geschützt durch BBS	m [-]	Komplex	α_n [-]	φ [°]	ρ [kg/m³]	WZ	v_{50} GK2 [m/s]	v_{50} GK1 [m/s]	A [m/s]	A ρkorr. [m/s]	k [-]	v_{ave} [m/s]	v_{ave} ρkorr. [m/s]
	36	ENERCON E-101 3.05MW	99	101	Nein	3.195	35	Nein	10	Nein	0.12	0.1	1.247	4 / III	43.3	46.6	8.28	8.35	2.488	7.34	7.41

Copyright © 2024 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Das vorliegende Dokument wurde automatisch erstellt und nicht durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG geprüft. Das Dokument stellt daher keine schriftliche Stellungnahme oder vergleichbare schriftliche Aussage zur Standorteignung von WEA im Sinne der DIBt- oder IEC-Richtlinien für Windenergieanlagen dar. Für Aussagen, die auf Grundlage dieses Dokuments getroffen werden, wird durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG daher keine Haftung übernommen.

4 Legende

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

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

Copyright © 2024 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Das vorliegende Dokument wurde automatisch erstellt und nicht durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG geprüft. Das Dokument stellt daher keine schriftliche Stellungnahme oder vergleichbare schriftliche Aussage zur Standorteignung von WEA im Sinne der DIBt- oder IEC-Richtlinien für Windenergieanlagen dar. Für Aussagen, die auf Grundlage dieses Dokuments getroffen werden, wird durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG daher keine Haftung übernommen.

5 Abkürzungen und Formelzeichen

WEA	Windenergieanlage
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
IEC	Internationale Elektrotechnische Kommission
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
NTM	Normales Windturbulenzmodell
DLC	Auslegungslastfall
PD	Potsdam-Datum
ETRS89	Europäisches Terrestrisches Referenzsystem 1989
UTM	Universale Transversale Mercator Projektion
WGS84	World Geodetic System 1984
WZ	Windzone
BBS	Betriebsbeschränkung
LR	Lastrechnung
GK	Geländekategorie
üNN	über Normal-Null

D	Rotordurchmesser	[m]
z_{hub}	Nabenhöhe der WEA	[m]
P_N	Nennleistung der WEA	[MW]
c_T	Schubbeiwert des Rotors	[-]
C_{ct}	Turbulenzstrukturparameter	[-]
I_{eff}	Effektive Turbulenzintensität	[-]
A	Skalierungsparameter der Weibull-Verteilung	[m/s]
k	Formparameter der Weibull-Verteilung	[-]
h	Höhe über Grund	[m]
m	Wöhlerlinienkoeffizient	[-]
v	Windgeschwindigkeit	[m/s]
v_{ave}	Jahresmittel der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe	[m/s]
v_{ref}	Referenz-Windgeschwindigkeit (Auslegungswert für v_{50})	[m/s]
v_{50}	10-min-Mittel der extremen Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren	[m/s]
v_r	Nennwindgeschwindigkeit der WEA	[m/s]
v_{in}	Einschaltwingeschwindigkeit der WEA	[m/s]
v_{out}	Abschaltwingeschwindigkeit der WEA	[m/s]
Σ	Summe	[-]
α	Höhenexponent des vertikalen Windgeschwindigkeitsprofils	[-]
α_n	Höhenexponent des vertikalen Windgeschwindigkeitsprofils für neutrale Schichtung	[-]
φ	Neigung der Anströmung	[°]
β	Blattwinkelverstellung	[°]
γ_{start}	Startwinkel der BBS	[°]
γ_{stop}	Endwinkel der BBS	[°]
v_{start}	Startwindgeschwindigkeit der BBS	[m/s]
v_{stop}	Endwindgeschwindigkeit der BBS	[m/s]
ρ	Mittlere Luftdichte	[kg/m^3]
τ_{design}	Entwurfslebensdauer in Jahren	[a]
	Altgrad (Vollkreis = 360°)	[°]

Copyright © 2024 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Das vorliegende Dokument wurde automatisch erstellt und nicht durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG geprüft. Das Dokument stellt daher keine schriftliche Stellungnahme oder vergleichbare schriftliche Aussage zur Standorteignung von WEA im Sinne der DIBt- oder IEC-Richtlinien für Windenergieanlagen dar. Für Aussagen, die auf Grundlage dieses Dokuments getroffen werden, wird durch die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG daher keine Haftung übernommen.

16.1.5 Anlagenwartung

Siehe Anlage

Anlagen:

- 7.1.2._D0788324_2.1 Wartungsplan.pdf

Wartungsplan

Übersicht über die Wartungstätigkeiten

ENERCON Windenergieanlagen

ENERCON
ENERGIE FÜR DIE WELT

Freigabe: 2021-10-07 12:08

Herausgeber

ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Deutschland
Telefon: +49 4941 927-0 ▪ Telefax: +49 4941 927-109
E-Mail: info@enercon.de ▪ Internet: http://www.enercon.de
Geschäftsführer: Momme Janssen, Jost Backhaus, Dr. Martin Prillmann, Jörg Scholle
Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 411
Ust.Id.-Nr.: DE 181 977 360

Urheberrechtshinweis

Die Inhalte dieses Dokuments sind urheberrechtlich sowie hinsichtlich der sonstigen geistigen Eigentumsrechte durch nationale und internationale Gesetze und Verträge geschützt. Die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments liegen bei der ENERCON GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.

Die ENERCON GmbH räumt dem Verwender das Recht ein, zu Informationszwecken für den eigenen, rein unternehmensinternen Gebrauch Kopien und Abschriften dieses Dokuments zu erstellen; weitergehende Nutzungsrechte werden dem Verwender durch die Bereitstellung dieses Dokuments nicht eingeräumt. Jegliche sonstige Vervielfältigung, Veränderung, Verbreitung, Veröffentlichung, Weitergabe, Überlassung an Dritte und/oder Verwertung der Inhalte dieses Dokuments ist – auch auszugsweise – ohne vorherige, ausdrückliche und schriftliche Zustimmung der ENERCON GmbH untersagt, sofern und soweit nicht zwingende gesetzliche Vorschriften ein Solches gestatten.

Dem Verwender ist es untersagt, für das in diesem Dokument wiedergegebene Know-how oder Teile davon gewerbliche Schutzrechte gleich welcher Art anzumelden.

Sofern und soweit die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments nicht bei der ENERCON GmbH liegen, hat der Verwender die Nutzungsbestimmungen des jeweiligen Rechteinhabers zu beachten.

Geschützte Marken

Alle in diesem Dokument ggf. genannten Marken- und Warenzeichen sind geistiges Eigentum der jeweiligen eingetragenen Inhaber; die Bestimmungen des anwendbaren Kennzeichen- und Markenrechts gelten uneingeschränkt.

Änderungsvorbehalt

Die ENERCON GmbH behält sich vor, dieses Dokument und den darin beschriebenen Gegenstand jederzeit ohne Vorankündigung zu ändern, insbesondere zu verbessern und zu erweitern, sofern und soweit vertragliche Vereinbarungen oder gesetzliche Vorgaben dem nicht entgegenstehen.

Dokumentinformation

Dokument-ID	D0788324/2.1-de
Vermerk	Originaldokument

Datum	**Sprache**	**DCC**	**Werk / Abteilung**
2021-10-06	de	DC	WRD Management Support GmbH / Technische Redaktion

Freigabe: 2021-10-07 12:08

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 4

2 Bereichsübergreifend 5

3 Bereich Rotorblatt 6

4 Bereich Gondel 7

5 Bereich Mittelspannungsschaltanlage und Transformator 9

6 Bereich Fundament und Turm 10

Freigabe: 2021-10-07 12:08

1 Einleitung

Das Dokument gibt einen Überblick über die Wartungstätigkeiten, die an ENERCON Windenergieanlagen durchgeführt werden müssen. Die Wartungstätigkeiten müssen regelmäßig durchgeführt werden. Die Intervalle ergeben sich aus Herstellervorgaben, örtlichen Vorschriften und klimatischen Besonderheiten.

Zum Planen und Durchführen von Wartungstätigkeiten muss die Wartungsanleitung der Windenergieanlage, insbesondere die darin enthaltenen Sicherheitshinweise, beachtet werden.

Dieses Dokument beschreibt auch optionale Komponenten. Je nach Windenergieanlagentyp und gewählter Ausstattung kann die tatsächliche Ausführung von den hier beschriebenen Inhalten abweichen.

Freigabe: 2021-10-07 12:08

2 Bereichsübergreifend

Tab. 1: Wartungtätigkeiten bereichsübergreifend

Komponente	Wartungstätigkeit
Anschlagpunkte	An allen Anschlagpunkten wird eine Sichtprüfung auf Beschädigungen durchgeführt.
Befeuerung	Eine Sicht- und Funktionsprüfung der Befeuerung wird durchgeführt.
Beschilderung	Eine Sichtprüfung der Beschilderung auf Vollständigkeit und Unversehrtheit wird durchgeführt.
Blitzschutzsystem	Eine Sichtprüfung des Blitzschutzsystems wird durchgeführt.
Erdungsanlage	Eine Sichtprüfung aller Potenzialausgleichsleitungen wird durchgeführt. Dabei wird auch der feste Sitz aller Potenzialausgleichsleitungen geprüft. Der Erdungswiderstand wird gemessen.
Notabschaltungen	Die Funktion aller Not-Halt-Einrichtungen und Notabschaltungen wird geprüft.
Notbeleuchtung	Eine Sicht- und Funktionsprüfung der Notbeleuchtung im Turmfuß, Turm und Maschinenhaus wird durchgeführt.
Schaltschränke	Eine Sichtprüfung aller Schaltschränke außen und innen wird durchgeführt. Die Erdungsanbindung wird geprüft. Eine Funktionsprüfung der Schaltschranklüfter (falls vorhanden) wird durchgeführt.
Sicherheitssteigleiter	Die Sicherheitssteigleiter wird geprüft.
Verbandkasten	Eine Sichtprüfung der Verbandkästen in Turmfuß und Maschinenhaus wird durchgeführt.
Windenergieanlage	In allen Bereichen der Windenergieanlage wird eine allgemeine Sichtprüfung durchgeführt. Es wird auf Auffälligkeiten und Schäden geprüft, wie z. B. lose Anbauteile, lose Kabel, beschädigte Verkleidungen.

Freigabe: 2021-10-07 12:08

3 Bereich Rotorblatt

Tab. 2: Wartungtätigkeiten Rotorblatt

Komponente	Wartungstätigkeit
Rotorblatt	Eine Sichtprüfung des Rotorblatts wird durchgeführt.
Blattheizung	Eine Sicht- und Funktionsprüfung der Blattheizung wird durchgeführt.

Freigabe: 2021-10-07 12:08

4 Bereich Gondel

Tab. 3: Wartungtätigkeiten Gondel

Komponente	Wartungstätigkeit
Azimutantrieb	Eine Sicht- und Funktionsprüfung der Azimutantriebe wird durchgeführt.
Azimutlager	Das Azimutlager wird auf Laufgeräusche und Vibrationen geprüft. Eine Sichtprüfung von Zahnkranz, Dichtung und Fettauffangeinrichtungen wird durchgeführt. Die Schmierstoffeinrichtungen werden geprüft und nach Bedarf aufgefüllt.
Blattflanschlager	Die Blattflanschlager werden auf Laufgeräusche und Vibrationen geprüft. Eine Sichtprüfung von Zahnkranz, Dichtung und Fettauffangeinrichtungen wird durchgeführt. Die Schmierstoffeinrichtungen werden geprüft und nach Bedarf aufgefüllt.
Blattverstellantrieb	Eine Sicht- und Funktionsprüfung der Blattverstellantriebe wird durchgeführt.
Blattverstellsystem	Eine Funktionsprüfung des Blattverstellsystems wird durchgeführt. Eine Funktionsprüfung des Not-Blattverstellsystems wird durchgeführt.
Generator	Eine Sichtprüfung des Generators wird durchgeführt.
Generatorkühlung	Eine Sichtprüfung der Generatorkühlung wird durchgeführt.
Gussteile	Eine Sichtprüfung der Gussteile (z. B. Maschinenträger und Nabe) auf Beschädigungen wird durchgeführt.
Kabelverdrillschalter	Eine Sichtprüfung von Halterungen, Anschlüssen und Zahnrad des Kabelverdrillschalters wird durchgeführt. Eine Funktionsprüfung des Kabelverdrillschalters wird durchgeführt.
Kran Gondel	Eine Sicht- und Funktionsprüfung des Krans Gondel wird durchgeführt.
Rotorarretierung	Eine Sicht- und Funktionsprüfung der Rotorarretierung inklusive aller Komponenten, Anschlüsse und Leitungen wird durchgeführt.
Rotorhaltebremse	Eine Sicht- und Funktionsprüfung der Rotorhaltebremse inklusive aller Komponenten, Anschlüsse und Leitungen wird durchgeführt.
Rotorlager	Eine Sichtprüfung der zugänglichen Bereiche der Rotorlager wird durchgeführt. Eine Sichtprüfung von Dichtung und Fettauffangeinrichtungen wird durchgeführt.

Freigabe: 2021-10-07 12:08

Komponente	Wartungstätigkeit
	Das Schmiersystem wird geprüft. Die Rotorlager werden auf Laufgeräusche und Vibrationen geprüft.
Schleifringübertrager	Eine Sicht- und Funktionsprüfung des Schleifringübertragers wird durchgeführt.
Überdrehzahlschalter	Eine Funktionsprüfung der Überdrehzahlschalter wird durchgeführt.
Windmessgerät	Eine Sichtprüfung des Windmessgeräts/der Windmessgeräte wird durchgeführt.

Freigabe: 2021-10-07 12:08

5 Bereich Mittelspannungsschaltanlage und Transformator

Tab. 4: Wartungtätigkeiten Mittelspannungsschaltanlage und Transformator

Komponente	Wartungstätigkeit
Mittelspannungsschaltanlage	Eine Sichtprüfung der Mittelspannungsschaltanlage wird durchgeführt.
Transformator	Eine Sichtprüfung des Transformators wird durchgeführt. Das korrekte Auslösen der Mittelspannungsschaltanlage wird geprüft. Ölproben werden entnommen.

Freigabe: 2021-10-07 12:08

6 Bereich Fundament und Turm

Tab. 5: Wartungtätigkeiten Fundament und Turm

Komponente	Wartungstätigkeit
Aufstiegshilfe	Eine Sicht- und Funktionsprüfung der Aufstiegshilfe wird durchgeführt.
Fundament	Eine Sichtprüfung der Erdauflast wird durchgeführt. Eine Sichtprüfung des Fundaments innen und außen wird durchgeführt. Eine Sichtprüfung der Anschlussfahnen der Fundamenterder wird durchgeführt.
Turm	Eine Sichtprüfung des Turms wird durchgeführt. Eine Sichtprüfung der Schraubverbindungen wird durchgeführt.
Turmkühlung	Eine Sichtprüfung der Turmkühlung wird durchgeführt.

Freigabe: 2021-10-07 12:08

16.1.6 Zuwegung, Kabelverbindung, Kranstellfläche

Siehe Anlage

Anlagen:

- 12.7.1.1.D02396735_3.0_de_Techn. Spezifikation_Zuwegung und Baustellenflächen E-138 EP3 E3 111 m Hybrid-Stahlturm.pdf
- WEA Verweyen E-138 mit NH 111m-Detaiplan A3.pdf

Technische Spezifikation

Zuwegung und Baustellenflächen

ENERCON Windenergieanlage
E-138 EP3 E3

111 m Hybrid-Stahlturm

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2022-06-28 12:49

Herausgeber

ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Deutschland
Telefon: +49 4941 927-0 ▪ Telefax: +49 4941 927-109
E-Mail: info@enercon.de ▪ Internet: http://www.enercon.de
Geschäftsführer: Dr. Jürgen Zeschky, Jost Backhaus, Dr. Martin Prillmann, Jörg Scholle
Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 411
Ust.Id.-Nr.: DE 181 977 360

Urheberrechtshinweis

Die Inhalte dieses Dokuments sind urheberrechtlich sowie hinsichtlich der sonstigen geistigen Eigentumsrechte durch nationale und internationale Gesetze und Verträge geschützt. Die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments liegen bei der ENERCON GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.

Die ENERCON GmbH räumt dem Verwender das Recht ein, zu Informationszwecken für den eigenen, rein unternehmensinternen Gebrauch Kopien und Abschriften dieses Dokuments zu erstellen; weitergehende Nutzungsrechte werden dem Verwender durch die Bereitstellung dieses Dokuments nicht eingeräumt. Jegliche sonstige Vervielfältigung, Veränderung, Verbreitung, Veröffentlichung, Weitergabe, Überlassung an Dritte und/oder Verwertung der Inhalte dieses Dokuments ist – auch auszugsweise – ohne vorherige, ausdrückliche und schriftliche Zustimmung der ENERCON GmbH untersagt, sofern und soweit nicht zwingende gesetzliche Vorschriften ein Solches gestatten.

Dem Verwender ist es untersagt, für das in diesem Dokument wiedergegebene Know-how oder Teile davon gewerbliche Schutzrechte gleich welcher Art anzumelden.

Sofern und soweit die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments nicht bei der ENERCON GmbH liegen, hat der Verwender die Nutzungsbestimmungen des jeweiligen Rechteinhabers zu beachten.

Geschützte Marken

Alle in diesem Dokument ggf. genannten Marken- und Warenzeichen sind geistiges Eigentum der jeweiligen eingetragenen Inhaber; die Bestimmungen des anwendbaren Kennzeichen- und Markenrechts gelten uneingeschränkt.

Änderungsvorbehalt

Die ENERCON GmbH behält sich vor, dieses Dokument und den darin beschriebenen Gegenstand jederzeit ohne Vorankündigung zu ändern, insbesondere zu verbessern und zu erweitern, sofern und soweit vertragliche Vereinbarungen oder gesetzliche Vorgaben dem nicht entgegenstehen.

Dokumentinformation

Dokument-ID	D02396735/3.0-de
Vermerk	Originaldokument
Vertraulichkeit	NUR ZUR PROJEKT-INTERNEN VERWENDUNG

Datum	**Sprache**	**DCC**	**Werk / Abteilung**
2022-06-23	de	EC	ENERCON Global GmbH / Site Logistics & Processes

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2022-06-28 12:49

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2022-06-28 12:49

Mitgeltende Dokumente

Der aufgeführte Dokumenttitel ist der Titel des Sprachoriginals, ggf. ergänzt um eine Übersetzung dieses Titels in Klammern. Die Titel von übergeordneten Normen und Richtlinien werden im Sprachoriginal oder in der englischen Übersetzung angegeben. Die Dokument-ID bezeichnet stets das Sprachoriginal. Enthält die Dokument-ID keinen Revisionsstand, gilt der jeweils neueste Revisionsstand des Dokuments. Diese Liste enthält ggf. Dokumente zu optionalen Komponenten.

Dokument-ID	Dokument
D02108591	Baustellenordnung
D02141655	Nutzung von Flächen auf dem Fundament

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2022-06-28 12:49

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 8

2 Montage der Windenergieanlage 9
2.1 Anlieferung des Turms und der WEA-Komponenten 9
2.2 Montage des Turms 9
2.3 Montage der Gondel 9

3 Krantechnik 10
3.1 Eingesetzte Krantechnik 10
3.2 Aufbau des Krans mit Gittermast 10

4 Transport und Logistik 11
4.1 Generelles 11
4.2 Aufbau- und Logistikkonzept 11

5 Zuwegung 12
5.1 Trassierung 12
5.1.1 Kreuzungs- und Kurvenbereiche 14
5.1.2 Kuppen, Wannen und Steigungen 15
5.1.3 Lichtraumprofil 17
5.2 Aufbau der Zuwegung 18
5.2.1 Seitliches Gefälle: Scheitel und Überhöhung 18
5.2.2 Klassifizierung der Straßen 19
5.2.3 Anforderungen 20
5.2.4 Untergrund und Oberbau 21
5.2.4.1 Verdichtungs- und Tragfähigkeitsanforderungen 21
5.2.4.2 Untergrund und Erdreich 23
5.2.4.3 Tragschicht 23
5.2.4.4 Deckschicht 23

6 Baustellenflächen 25
6.1 Arbeitsbereich am WEA-Standort 25
6.1.1 Baufläche 28
6.1.1.1 Material 29
6.1.1.2 Baugrund und Erdreich 29
6.1.1.3 Kranstellfläche 30
6.1.1.4 Montagefläche 31
6.1.1.5 Lagerfläche 33
6.1.1.6 Arbeitsebene (falls erforderlich) 33
6.1.2 WEA-Standorte in Waldgebieten 34
6.2 Kranauslegermontagefläche 35

Technische Änderungen vorbehalten.
Freigabe: 2022-06-28 12:49

6.3 Optionale Rotorblattlagerfläche im Windpark 36
6.4 Zentrale Anlaufstelle 37

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2022-06-28 12:49

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzungen

CM	Construction Manager (Gesamtbauleiter)
GOK	Geländeoberkante
GPM	General Project Manager (Gesamtprojektleiter)
GST	Großraum- und Schwertransport
WEA	Windenergieanlage

Größen, Einheiten, Formeln

D_{Pr}	Verdichtungsgrad nach Proctorversuch
E_{V1}	Errechneter Verformungsmodul des ersten Belastungszyklus eines statischen Plattendruckversuchs
E_{V2}	Errechneter Verformungsmodul des zweiten Belastungszyklus eines statischen Plattendruckversuchs

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2022-06-28 12:49

1 Einleitung

Sorgfältige Planung und Ausführung der Baustelleninfrastruktur sind die Basis für die wirtschaftliche Abwicklung der Baustelle. Die Transportwege und Baustellenflächen im Windpark müssen einen sicheren und wirtschaftlichen Baustellenverkehr gewährleisten. Eine störungsfreie Funktionalität ist über den gesamten Nutzungszeitraum sicherzustellen.

Abweichungen aus dieser Spezifikation können sich auf das Aufbau- und Logistikkonzept auswirken. Dies führt zu Mehrkosten, längeren Bauzeiten und ggf. Verzögerungen im Projektverlauf. Sollte es zu Abweichungen von den hier beschriebenen Standards kommen, sind diese mit dem ENERCON GPM abzustimmen. Die daraus entstehenden Mehrkosten gehen zu Lasten des Auftraggebers.

Diese Spezifikation gilt für den Transport sowie Aufbau mit einem Standard-Großkran einer WEA mit der Turmbezeichnung:

- E-138 EP3 E3-HST-111-FB-C-01

Diese Spezifikation beschreibt die Anforderungen an Zuwegung und Baustellenflächen für die Windpark-Infrastruktur. Neben diesen Informationen müssen auch die folgenden Dokumente in die Planung einbezogen werden.

- Fundamentdatenblatt der zutreffenden Gründungsvariante des Turmtyps
- Technische Beschreibung des Turmtyps
- Datenblätter zu Gewichten und Abmessungen des Turmtyps, der Gondel und der Rotorblätter
- D02108591 „Baustellenordnung“

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2022-06-28 12:49

2 Montage der Windenergieanlage

Der Aufbau der WEA erfolgt in mehreren Abschnitten. Diese Abschnitte sind der Fundamentbau, ggf. die Tiefgründung, Aufbau und Montage des Turms und der Gondel. Um wirtschaftlich in kurzer Zeit die Fertigstellung der WEA zu ermöglichen, werden je nach Windparkgröße projektbezogene Aufbaukonzepte entwickelt. Somit können die Arbeitsschritte, wie in den folgenden Unterkapiteln beschrieben, parallel im Windpark durchgeführt werden.

2.1 Anlieferung des Turms und der WEA-Komponenten

Die Anlieferung erfolgt abhängig vom Aufbaukonzept auf die dafür vorgesehene Baustellenfläche. Die Turm-Anlagenkomponenten werden vorab geliefert. Die Lagerung erfolgt nach einem festgelegten Stauplan. Die benötigten Flächen sind exakt nach dieser Spezifikation zu dimensionieren und zu errichten.

2.2 Montage des Turms

Abhängig vom Turmtyp und Aufbaukonzept kann die Montage auf verschiedene Art erfolgen. Je nach Turmtyp kann eine Vormontage nötig sein. Dies geschieht in einem separaten Gewerk direkt auf der vorgesehenen Stellfläche. Die vormontierten Sektionen werden auf der Baufläche zwischengelagert oder direkt nach der Vormontage montiert. Die Turmmontage erfolgt je nach Aufbaukonzept und Turm mit geeigneter Krantechhnik.

Ein projektspezifisches Aufbau- und Logistikkonzept kann durch den ENERCON GPM erstellt werden.

2.3 Montage der Gondel

Die Gondel-Komponenten werden direkt zu den vorgesehenen Stellflächen angeliefert (z. B. Montagefläche). Nach Abschluss der Vormontage wird die vormontierte Gondel mit der einzusetzenden Krantechnik eingehoben und auf dem Turm montiert.

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2022-06-28 12:49

3 Krantechnik

3.1 Eingesetzte Krantechnik

Die Auswahl der jeweiligen Krantypen erfolgt bei der Planung des Windparkkonzepts. Die maximale Bodenpressung unterhalb der Kranketten bzw. Kranpratzen wird mit Lastverteilungsplatten begrenzt. Die maximal zulässige Bodenpressung ist durch geotechnische Berechnungen nachzuweisen. Beim Einsatz von Raupenkrantechnik ist es u. a. möglich eingerüstet von Standort zu Standort fahren. Dazu müssen vorab auf der Krantrasse die Tragfähigkeit des Bodens und das Lichtraumprofil geprüft werden.

3.2 Aufbau des Krans mit Gittermast

Zur Anlagenerrichtung wird ein Kran mit Gittermast verwendet. Diese Krantechnik stellt besondere Anforderungen an die Kranstellfläche und benötigt ausreichend Platz zur Gittermastmontage. Das Grundgerät und die einzelnen Kranteile (z. B. Gittermaststücke, Ballast, Anbauteile) werden in der benötigten Anzahl von LKW-Transporten in den Windpark geliefert. Die Anzahl der LKW-Transporte ist abhängig von Krantyp und Mastlänge. Der Aufbau des Krans mit Gittermast erfolgt in folgenden Einzelschritten:

- Anlieferung des Grundgeräts inklusive Hilfskrane
- Ausrichtung des Grundgeräts auf der Kranstellfläche
- Positionierung Superlift-Ballast
- Gittermastmontage

Für die Gittermastmontage wird die vorhandene Zuwegung zur Kranstellfläche genutzt. Ist diese nicht nutzbar, ist eine temporäre Behelfsstraße erforderlich.

Die technischen Rahmenbedingungen zur Kran- und Auslegermontage werden im Laufe dieses Dokuments erläutert.

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2022-06-28 12:49

4 Transport und Logistik

4.1 Generelles

Für den Aufbau einer WEA wird eine große Anzahl von Schwertransporten benötigt. Diese Schwertransporte sind für die Anlieferung der Turmkomponenten, der Anlagenkomponenten, der Krantechnik, für Baugrundverbesserungsmaßnahmen und den Fundamentbau nötig. Diese zum Teil genehmigungspflichtigen Schwertransporte dürfen eine maximale Achslast von 12 t nicht überschreiten. Bei öffentlichen Straßen sind die Vorgaben der Behörden maßgeblich.

4.2 Aufbau- und Logistikkonzept

Für größere Windparks, aber auch für WEA an Standorten mit besonderen Anforderungen (z. B. Industriegelände, Deichstandorte, Bergstandorte), werden spezielle Aufbau- und Logistikkonzepte angewendet. Um eine optimale Projektabwicklung zu ermöglichen, sind die örtlichen Gegebenheiten direkt in das Konzept einzubinden. Je nach WEA-Typ, Aufbau- und Logistikkonzept werden zusätzliche Flächen benötigt z. B. eine Logistikfläche und/oder Rotorblattlagerfläche. Die logistischen Mehrkosten trägt der Auftraggeber. Vertraglich vereinbarte Termine müssen ggf. vom Auftragnehmer angepasst werden.

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2022-06-28 12:49

5 Zuwegung

Die Zuwegung innerhalb des Windparks ist ein integraler Bestandteil zur Versorgung der jeweiligen WEA-Standorte mit Material. Weiterhin gewährleistet die Zuwegung die Kranbewegungen im Windpark. Die Zuwegung dient über den gesamten Projektverlauf als Zufahrt für alle Transportarten. Daneben wird die Zuwegung auch für den Service und den Rückbau der WEA benötigt. Das Zuwegungs- und Baustellenflächenkonzept sowie die Bauausführung werden entsprechend dieser Spezifikation ausgelegt.

Eine unzureichende Bemessung oder Dimensionierung der Zuwegung kann die Logistik- und Aufbaukosten während des Projektverlaufs erheblich erhöhen.

5.1 Trassierung

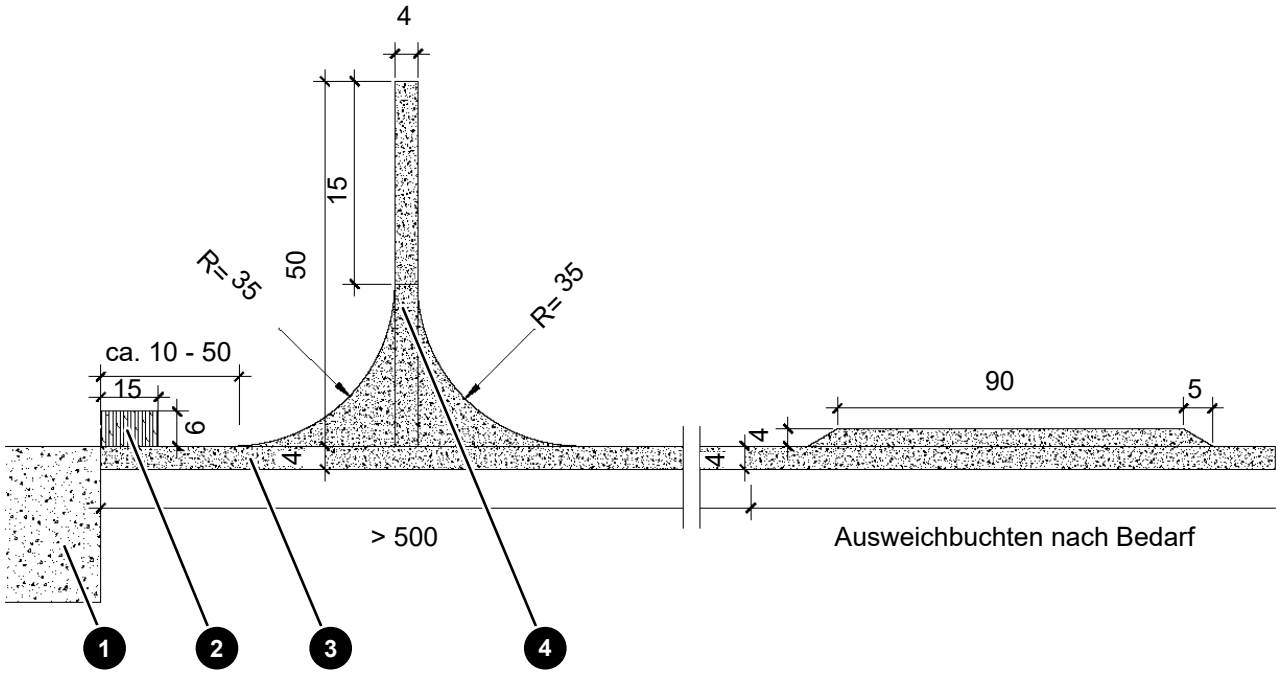


Abb. 1: Trassierungselemente (alle Maßangaben in Meter)

1	Kranstellfläche	2	Parkfläche
3	Zuwegung	4	Wendefläche

Der Einsatz von Groß- und Schwerlasttransporten stellt besondere Anforderungen an die interne Windpark-Zuwegung, an Kreuzungs- und Kurvenbereiche, die Windparkeinfahrten und die öffentlichen Straßen.

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2022-06-28 12:49

Trassierungselemente

Größtenteils werden zur Komponentenanlieferung Transportkombinationen mit Überbreite und hohem Gesamtgewicht eingesetzt. Aufgrund des enormen Transportaufwands und der Transportkosten wird die Trassierung der Windpark-internen Zuwegungen kurz und geradlinig geplant. Die Streckenführung wird so gewählt, dass ein Rückwärtsfahren von Schwertransporten im beladenen Zustand vermieden wird. Befinden sich WEA-Standorte in einer Sackgassenlage, deren Zuwegung eine Länge von 500 m überschreitet, werden diese mit einer Wendefläche für Leertransporte versehen. Die Wendefläche hat eine Länge von min. 50 m. Je nach Örtlichkeit können Wendeflächen auch in kürzeren Abständen (unter 500 m) nötig sein. Diese Notwendigkeit wird durch den ENERCON GPM festgelegt. Auf längeren Zuwegungen werden Ausweichmöglichkeiten bzw. Parkbuchten in ausreichender Anzahl und Länge in Absprache mit dem ENERCON GPM eingeplant.

Ausweichmöglichkeiten ermöglichen einen flüssigen Verkehrsfluss im Begegnungsverkehr und werden ebenso für freie Rettungswege bzw. Rettungsgassen benötigt.

Windparkeinfahrt

Bei Windparkeinfahrten von öffentlichen Straßen ist es empfehlenswert die ersten 50 m der Einfahrt zu asphaltieren. Somit wird eine Reifenselbstreinigung des Baustellenverkehrs ermöglicht. Je nach Anzahl der Zufahrten zum Windpark und der Anzahl der in den Park einfahrenden LKW können auch andere Optionen, wie Radwaschanlagen, geprüft werden. Die Notwendigkeit ist je nach den örtlichen Gegebenheiten in Absprache mit dem ENERCON GPM zu prüfen.

Bei der Einfahrt von öffentlichen Straßen müssen mögliche behördliche Auflagen beachtet werden!

Parkplätze für Langtransporte

Im Windpark oder in unmittelbarer Nähe müssen eine oder mehrere Flächen ausgewiesen werden, auf denen mindestens 3 Langtransporte zwischengeparkt werden können. Damit wird gewährleistet, dass wartende Transportfahrzeuge den übrigen Baustellenverkehr nicht behindern. Zu den Langtransporten zählen Transporte von Rotorblättern oder Stahlsektionen von Türmen. Als Flächen eignen sich z. B. Ausweichbuchten.

Hindernisse im Trassenverlauf

Sind im Trassenverlauf besondere Hindernisse zu queren, werden diese für den überlaufenden Verkehr deutlich sichtbar gemacht. Bei Überquerungen von Leitungen (z. B. Pipelines, Gasleitungen) erfolgt vorab eine Untersuchung zur Überfahrbarkeit. Das Untersuchungsergebnis wird dem ENERCON GPM zur Einsicht vorgelegt. Ebenfalls wird eine Genehmigung vom Leitungsbetreiber für das Überfahren eingeholt. Leitungen sind durch spezielle Überbauten konstruktiv zu sichern. Um einen Kontakt mit dem Baustellenverkehr zu vermeiden, werden unterquerte Freileitungen deutlich mit Höhenbegrenzungsmarkierungen gekennzeichnet (z. B. durch Holzgestelle).

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2022-06-28 12:49

5.1.1 Kreuzungs- und Kurvenbereiche

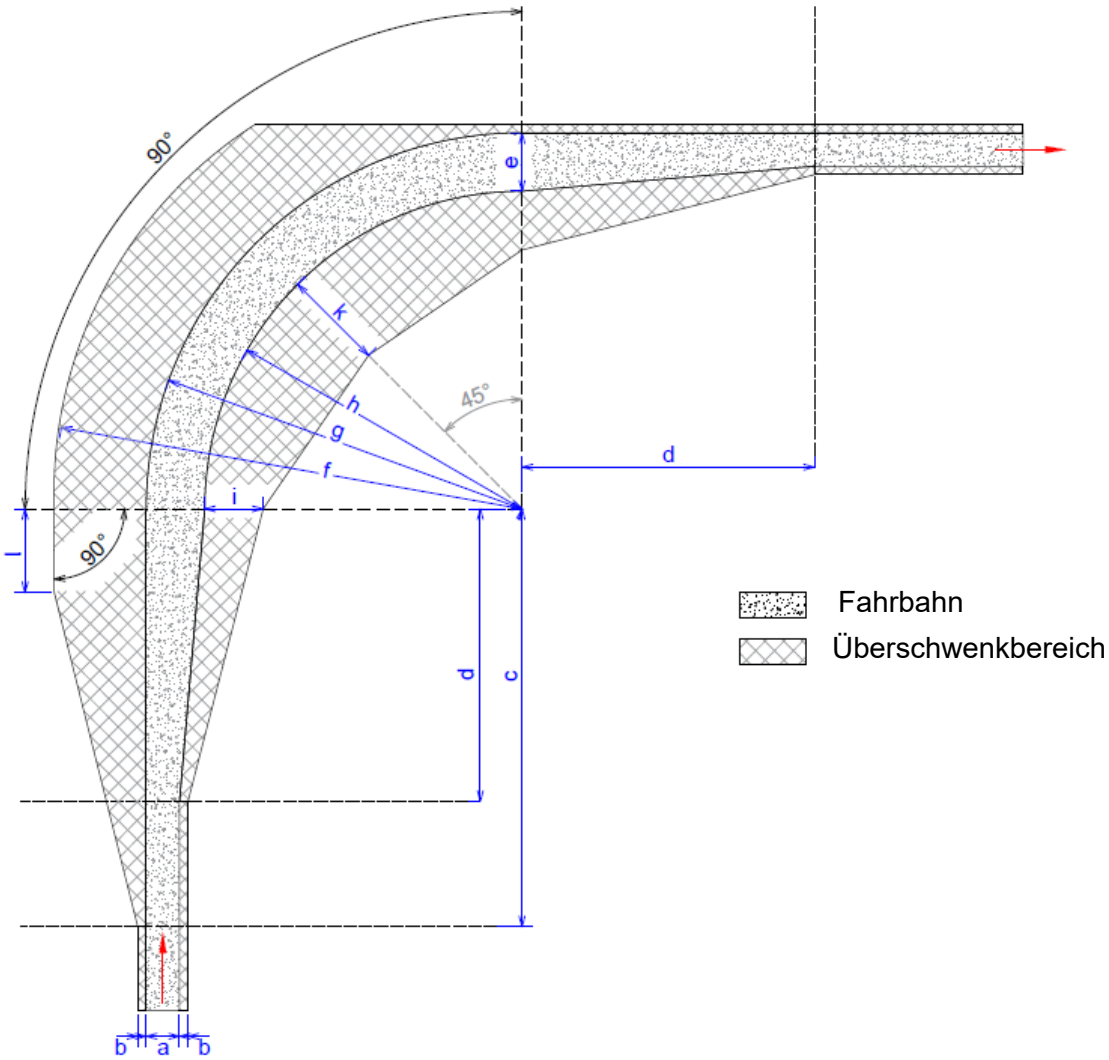


Abb. 2: 90-Grad-Kurve (Konstruktionsschema)

	90-Grad-Kurve	60-Grad-Kurve			90-Grad-Kurve	60-Grad-Kurve	
a	4 m		Befahrbare Breite der Fahrbahn auf Geraden	b	1 m		Seitlicher Überschwenkbereich inkl. Sicherheitsabstand
c	50 m		Start Kurveneinfahrt äußerer Überschwenkbereich	d	40 m		Start Kurveneinfahrt innerer Überschwenkbereich
e	7 m		Befahrbare Breite der Fahrbahn in Kurven	f	53 m	52 m	Außenradius äußerer Überschwenkbereich
g	45 m	45 m	Kurvenaußenradius	h	38 m	38 m	Kurveninnenradius
i	8 m	7 m	Maß 1 innerer Überschwenkbereich	k	14 m	10 m	Maß 2 innerer Überschwenkbereich
l	5 m	5 m	Maß 3 äußerer Überschwenkbereich				

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2022-06-28 12:49

Maßgebend für die Dimensionierung der Kurven ist die längste Transportkombination. Die Kurven und Überschwenkbereiche werden gemäß den in der Zeichnung angegebenen Maßen konstruktiv realisiert. Wenn diese Vorgabe aufgrund der örtlichen Gegebenheiten nicht eingehalten werden kann, muss zwingend mit dem ENERCON GPM Rücksprache über eine Alternativlösung gehalten werden.

Überschwenkbereiche

Transportkombinationen mit Tiefbett und/oder ausschwenkender Ladung müssen Kurven problemlos durchfahren können. Dazu müssen Hindernisse in den Überschwenkbereichen entfernt werden, wenn diese Hindernisse eine bestimmte Höhe überschreiten.

- Hindernisse im inneren Überschwenkbereich dürfen max. 0,15 m über das Niveau der Fahrbahn ragen.
- Hindernisse im äußeren Überschwenkbereich dürfen max. 1,25 m über das Niveau der Fahrbahn ragen.

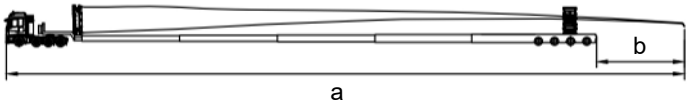


Abb. 3: Blatttransport Überhang

a	78 m	b	5-10 m

5.1.2 Kuppen, Wannen und Steigungen

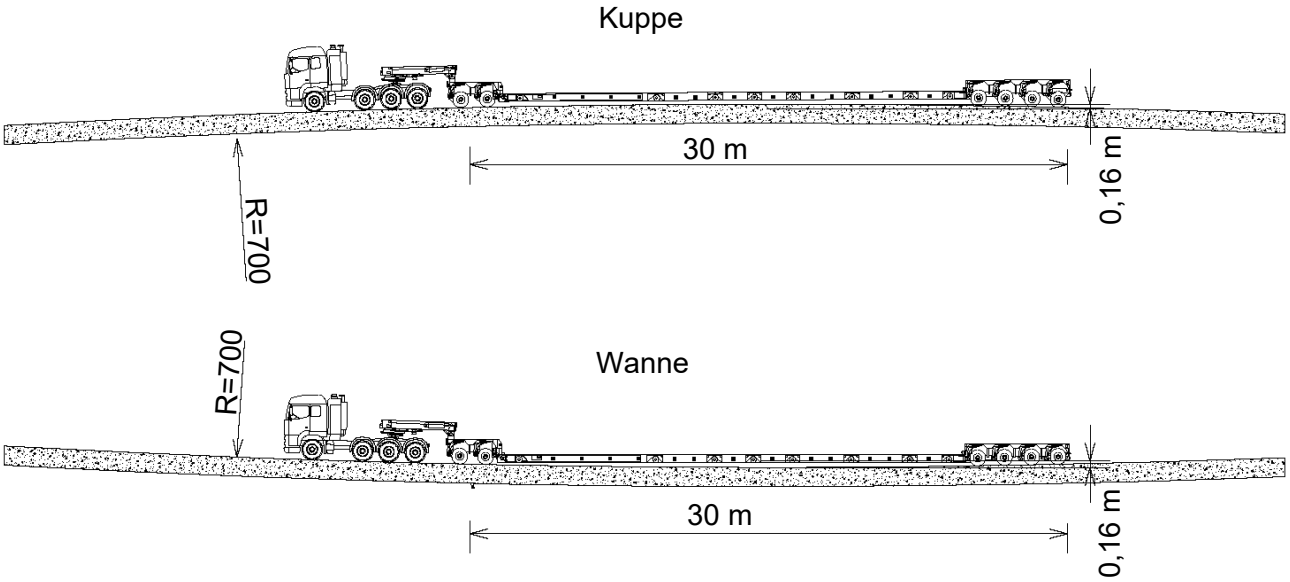


Abb. 4: Kuppe und Wanne, R=700 m

Für die Komponentenanlieferung werden Fahrzeuge mit einer Gesamtlänge von bis zu 78 m eingesetzt. Für diese überlangen Transportkombinationen dürfen die Zuwegungen einen Kuppen- und Wannenhalbmesser von 700 m nicht unterschreiten. Somit wird ein Aufsetzen verhindert z. B. bei Tiefbett-Transportkombination.

Technische Änderungen vorbehalten.
Freigabe: 2022-06-28 12:49

In speziellen Fällen kann der Radius auf R=400 m verkleinert werden. Dies erfordert jedoch den Einsatz spezieller Transportkombinationen, die das Tiefbett auf eine Höhe von min. 45 cm anheben können. Der R=400 m entspricht einer Überhöhung (Kuppe) bzw. einer Absenkung (Wanne) von 0,26 m auf einer Länge von 30 m.

Bei der Verwendung von Kuppen und Wannen in der Trassierung mit Radien zwischen R=700 m bis R=400 m ist mit dem ENERCON GPM Rücksprache zu halten.

Steigungen bzw. Gefälle

Steigungen bzw. Gefälle auf der Zuwegung können nur bis zu einer max. Steigung von ≤12 % durch GST bewältigt werden. Ab einer Steigung von 7 % wird eine gebundene Tragdeckschicht (z. B. Asphalt, Beton) verbaut. Dadurch wird eine kraftschlüssige Traktion der Transportfahrzeuge ermöglicht. Im Einzelfall können Zughilfen erforderlich sein (Standorte im Hügelland, Gebirge). Dies wird vorab im Detail mit dem ENERCON GPM geklärt. Der ENERCON GPM muss die wirtschaftlichen und terminlichen Auswirkungen bewerten, die vom Auftraggeber zu tragen sind.

Tab. 1: Anforderungen an das Längsprofil der Zuwegung

Parameter	Anforderung
Steigungen/Gefälle bei ungebundener Deckschicht	≤ 7 %
Steigungen/Gefälle bei gebundener Deckschicht	≤ 12 %
Steigungen innerhalb Kurven mit Seitenneigung	≤ 4 %
Bodenfreiheit der Transportfahrzeuge	0,10 m
Radius Bergkuppe/Talsohle	700 m

Diese Werte sind nur in Vorwärtsrichtung gültig. Bei Rückwärtsfahrten ist mit dem ENERCON GPM Rücksprache zu halten.

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2022-06-28 12:49

5.1.3 Lichtraumprofil

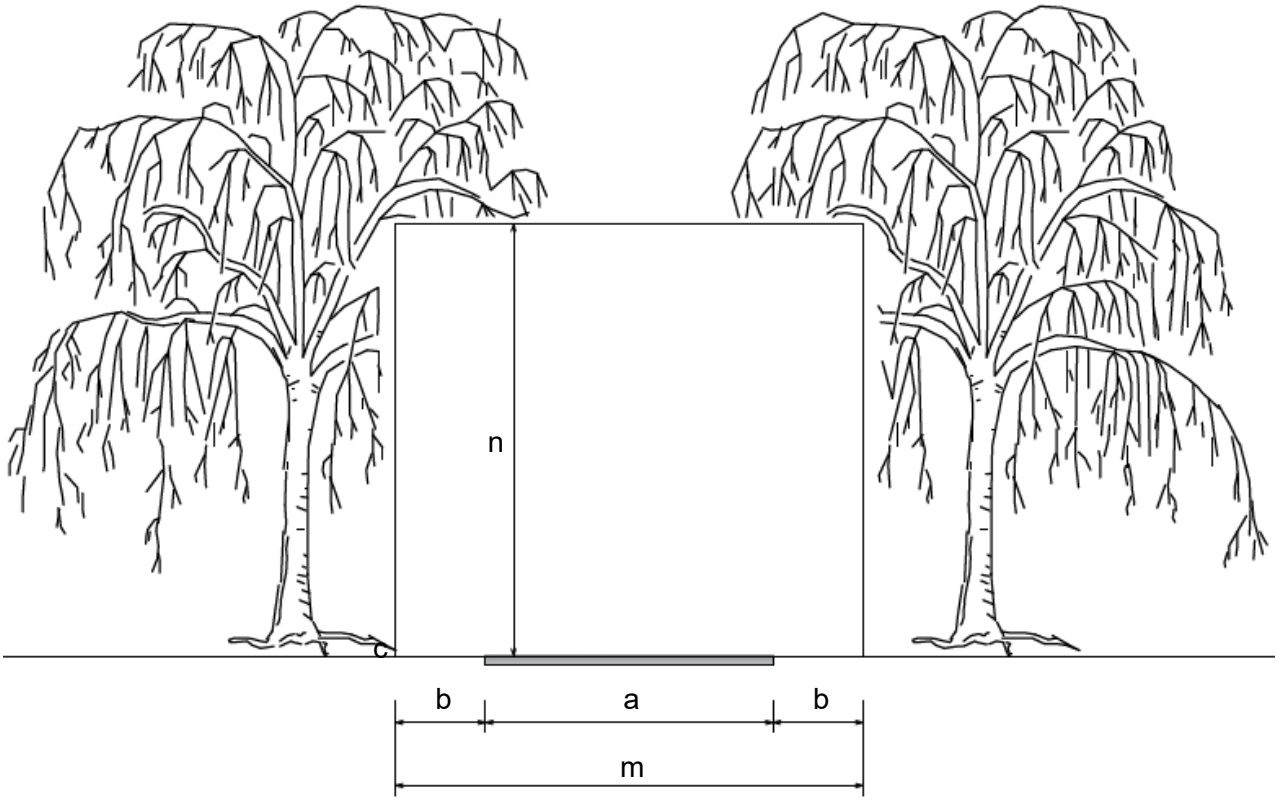


Abb. 5: Lichtraumprofil

a	4 m	Befahrbare Breite der Fahrbahn auf Geraden	b	1 m	Seitlicher Überschwenkbereich inkl. Sicherheitsabstand
m	6 m	Lichte Durchfahrtsbreite	n	4,6-6 m	Lichte Durchfahrtshöhe

Für die GST muss ein bestimmtes Lichtraumprofil oberhalb der Zuwegung vorhanden sein. Mit der Einhaltung dieses Lichtraumprofils wird die ungehinderte Durchfahrt aller Transporte auf der Zuwegung sichergestellt. Dieser Bereich muss während der Baumaßnahme frei von Hindernissen aller Art gehalten werden, z. B. von Bauwerken, Versorgungsleitungen, Masten, Bäumen und Ästen.

Das Lichtraumprofil kann je nach Land, Fahrzeugtechnik oder Anlieferungskonzept variieren. Sollte das vorgegebene Lichtraumprofil nicht umsetzbar sein, ist Rücksprache mit dem ENERCON GPM über eine Alternativlösung zu halten.

Technische Änderungen vorbehalten.
Freigabe: 2022-06-28 12:49
NUR ZUR PROJEKT-INTERNEN VERWENDUNG

5.2 Aufbau der Zuwegung

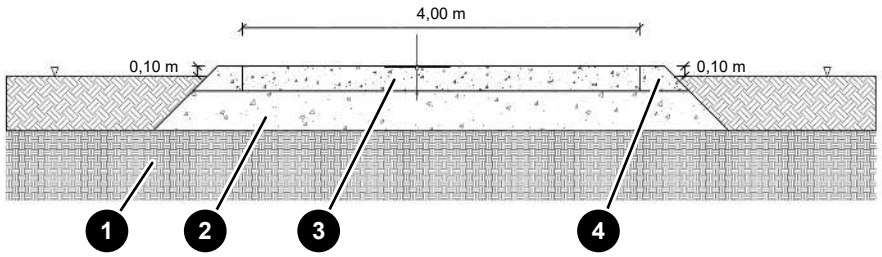


Abb. 6: Schematischer Aufbau der Zuwegung

1	Tragfähiger Untergrund	2	Tragschicht
3	Deckschicht	4	Seitenbereich (Bankett)

Die Deckschicht wird mit einer Querneigung oder einem Dachprofil profiliert. Somit ist eine Entwässerung zur Seite sichergestellt. Eine befahrbare Breite von 4 m ist sicherzustellen. Der Seitenbereich (Bankett) ist abhängig vom Lastabtragungswinkel der Tragschicht und Baugrund zu konstruieren.

Der tatsächliche konstruktive Aufbau wird anhand der vorherrschenden Bodenverhältnisse vom Straßenplaner bemessen und festgelegt und vor der Ausführung mit dem ENERCON GPM abgestimmt. Dabei ist eine befahrbare Breite der Zuwegung von 4 m sicherzustellen. Um den Lastabtrag zu gewährleisten, kann es zu einem verbreiterten Ausbau kommen.

5.2.1 Seitliches Gefälle: Scheitel und Überhöhung

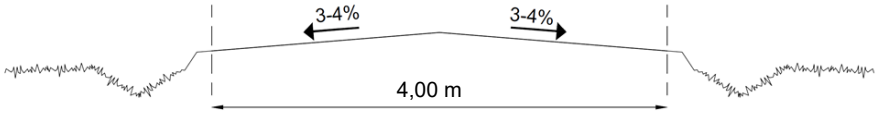


Abb. 7: Querneigung

Die Straßenoberfläche muss mit einer Überhöhung (abhängig von geraden oder gekrümmten Abschnitten) mit einer Neigung von 3-4 % gestaltet werden. Diese Querneigung der Straße sorgt dafür, dass Regenwasser von der Straßenoberfläche abfließt und verhindert Erosion, Schlaglochbildung und Spurrinnen. Ist die Oberfläche der Straße gepflastert (Beton oder Asphalt), sollte ein Quergefälle von 2 % ausreichen, um die Entwässerung der Plattform zu gewährleisten. Auf geraden Straßen wird die seitliche Neigung als Überhöhung angelegt.

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2022-06-28 12:49

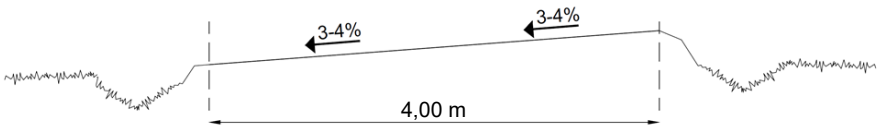


Abb. 8: Gefälle in Kurven

In Kurven wird eine seitliche Neigung in Form einer Überhöhung angebracht, um den Verkehrsteilnehmern das Befahren der Kurve zu erleichtern. Durch die Überhöhung wird die gesamte Straßenoberfläche in eine Richtung geneigt, sodass Wasser über die Straßenbreite als Schwallwasser zum Straßenrand abfließt.

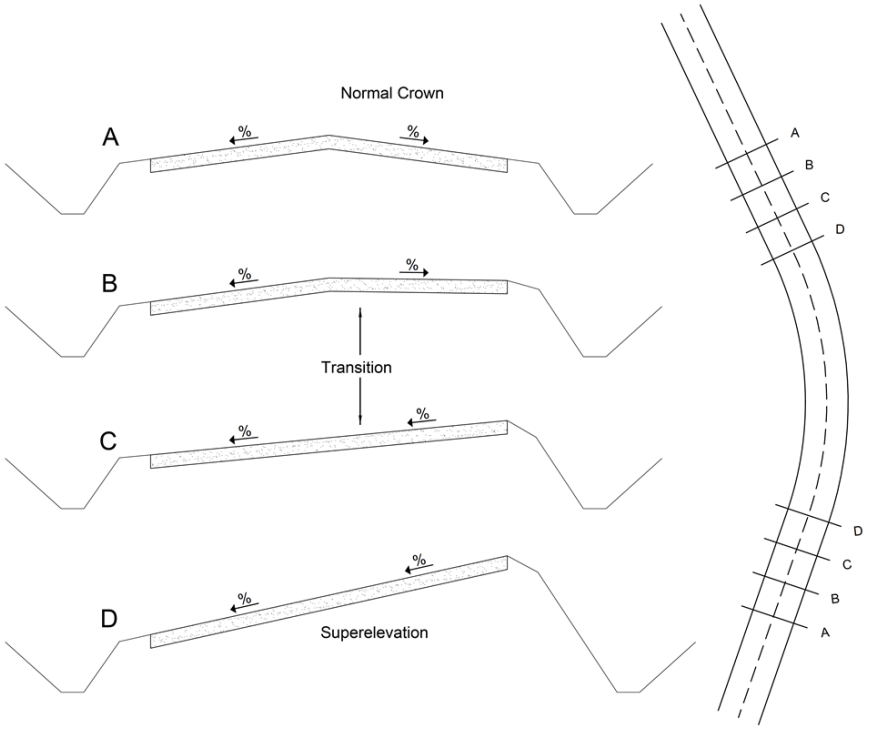


Abb. 9: Übergänge in Kurven

Beim Übergang von einem geraden Abschnitt zu einem Kurvenabschnitt muss der normale Scheitelquerschnitt herausgenommen werden und in einen überhöhten Querschnitt übergehen. Diese Form sollte über die gesamte Länge des Kurvenabschnitts gleichmäßig beibehalten werden. Sobald der Kurvenabschnitt beendet ist und ein neuer gerader Abschnitt beginnt, ist wieder ein sanfter seitlicher Neigungsübergang erforderlich. Dadurch kann die Oberfläche von der Überhöhung (höherer Punkt des Querschnitts an der Außenseite der Kurve) zur Kuppe (höherer Punkt des Querschnitts auf der Straßenachse) übergehen.

5.2.2 Klassifizierung der Straßen

Innerhalb des Windparks werden 3 Straßentypen nach dem Ausgangszustand der Straße und den für den Bau erforderlichen Arbeiten unterschieden:

Technische Änderungen vorbehalten.
Freigabe: 2022-06-28 12:49

Bestehende Straßen in gutem Zustand

Bereits gebaute Straßen innerhalb des Windparks mit guten Oberflächen- und Querschnittbedingungen (ausreichende Tragfähigkeit, Seitenneigung und Rauheit) und einer befahrbaren Breite von mdst. 4 m. Bei Erfüllung dieser Parameter sind für diese Straßen keine zusätzlichen Arbeiten erforderlich. Die gängigen Erhaltungsarbeiten für das Straßennetz nach Beginn der Installationsphase sind obligatorisch.

Bestehende auszubauende Straßen

Bereits gebaute Straßen innerhalb des Windparks, die die Anforderungen an die Oberfläche, den Querschnitt oder die befahrbare Breite nicht erfüllen. Für diese Straßen sind zusätzliche Arbeiten zur Verbesserung der Straßenbedingungen erforderlich. Durch die Nutzung der vorhandenen Straßenplattform wird der Umfang der auszuführenden Arbeiten deutlich reduziert.

Neue Straßen

Neu zu bauende Straßen auf natürlichem Grund. Bei diesen Straßen müssen sämtliche Bauarbeiten durchgeführt werden:

- Rodung
- Planierung
- Abtragen des Mutterbodens
- Erdarbeiten
- Angleichung der Schichten
- usw.

Alle 3 Straßentypen müssen die Anforderungen an Form, Festigkeit und Tragfähigkeit aus diesem Dokument erfüllen.

5.2.3 Anforderungen

Erkundung

Die bauliche Gestaltung der Zufahrtsstraße hängt von der Beschaffenheit des Untergrunds und der zu erwartenden Verkehrsbelastung ab. Der Baugrund muss durch Baugrunderkundungsbohrungen und Sondierungen ausreichend untersucht werden. Die Anzahl und die Tiefe der Sondierungen müssen vom geotechnischen Sachverständigen in Abhängigkeit von der Untergrundstruktur festgelegt werden. Der zu erwartende Schwerlastverkehr muss für jeden relevanten Straßenabschnitt abgeschätzt werden. Bei dieser Schätzung sind die Schwerverkehrsbelastungen pro WEA zu berücksichtigen, die durch den Bau der Straße und der befestigten Flächen, die Anlieferung der WEA-Teile und die Montage der WEA entstehen. Zudem muss auch die Anzahl der auf dem jeweiligen Straßenabschnitt betriebenen WEA berücksichtigt werden. Auf der Grundlage der Ergebnisse der Bodenuntersuchungen und der Verkehrsprognose wird die bauliche Gestaltung der Zufahrtsstraße festgelegt.

Gebrauchstauglichkeit

Die Zufahrtswege werden unter Berücksichtigung der zu erwartenden Verkehrsbelastungen mit ausreichender Tragfähigkeit angelegt, sodass sie während der gesamten Nutzungsdauer benutzbar bleiben. Die Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit muss auch bei starken Regenfällen erhalten bleiben. Es ist darauf zu achten, dass die obere

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2022-06-28 12:49

Deckschicht dauerhaft frei von Schlaglöchern bleibt. Die maximale Spurrinnentiefe ist auf 7,5 cm begrenzt. Die Gestaltung der Baustellenbereiche muss auch eine Entwässerung der Zufahrtswege vorsehen. Bei Schneefall und Vereisung ist durch den Einsatz von Streu- und Räumdiensten für sichere Fahrverhältnisse zu sorgen.

Schneeräum- und Streudienst sind Aufgabe des Windparkbetreibers.

Die Ausführungsplanung sowie alle Vorgaben zur Prüfung, Untersuchungen, Auswertungen und Nachweise sind dem ENERCON GPM unaufgefordert zur Prüfung vorzulegen.

5.2.4 Untergrund und Oberbau

Um einen sicheren, funktionalen und kostengünstigen Verkehr während der Bauphase zu gewährleisten, müssen die folgenden geometrischen Anforderungen an den Straßenbau erfüllt werden:

Tab. 2: Mindestanforderungen an die Zuwegung

Parameter	Anforderung
Befahrbare Breite der Zuwegung	4 m
Maximal zulässige Spurrillentiefe	7,5 cm
Seitenneigung der Zuwegung speziell in Kurven und an Steigungen	3-4 %
Seitenneigung der Zuwegung (nur auf geraden Strecken mit flacher Steigung/flachem Gefälle)	≤5 %
Maximales Seitengefälle der Zuwegung (Kurvenabschnitte)	≤4 %
Höhe der Straßenoberfläche über dem natürlichen Boden	10 cm

5.2.4.1 Verdichtungs- und Tragfähigkeitsanforderungen

Um einen sicheren, funktionsfähigen und kostengünstigen Transport während der Bauphase zu gewährleisten, müssen folgende Anforderungen an die Tragfähigkeit der Straße erfüllt werden:

Tab. 3: Mindestanforderungen an die Zuwegung

Parameter	Anforderung
Maximale Achslast	12 t
Maximales Gesamtgewicht der Transportkombination	160 t
Deckschicht Verformungsmodul	$E_{V2} \geq 100$ MN/m²
Deckschicht Proctordichte	$D_{Pr} \geq 100$ %

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2022-06-28 12:49

Parameter	Anforderung
Tragschicht Verformungsmodul (falls erforderlich)	$E_{V2} \geq 80$ MN/m²
Tragschicht Proctordichte	$D_{Pr} \geq 100$ %
Verhältnis E_{V2} / E_{V1}	≤ 2,3

Die Baufirma muss die vorgegebenen Verformungsmodule für jede eingebaute Schicht prüfen und dokumentieren. Werden die vorgegebenen Werte nicht erreicht, sind Verbesserungsmaßnahmen zu ergreifen. Ein statischer Plattendruckversuch an jeder eingebauten Schicht wird generell empfohlen.

Die geforderten Werte des zweiten Verformungsmoduls (E_{V2}) und des Verhältnisses E_{V2} / E_{V1} entsprechen den nach der deutschen Norm DIN 18134 durchgeführten Plattendruckversuchen. In diesem Dokument sind verschiedene Aspekte der zu erfüllenden Prüfung zusammengefasst, wie z. B. Plattendurchmesser, maximaler Druck, Belastungsstufen, EV-Berechnungsformel usw. Plattenbelastungsprüfungen, die nach verschiedenen Normen durchgeführt wurden, sind nicht direkt vergleichbar.

Je nach geotechnischem Gutachten muss auf der Zufahrtsstraße alle 200 bis 500 m ein statischer Plattendruckversuch durchgeführt werden. Statische Plattendruckversuche müssen auch an Übergängen von bestehenden Straßen zu Baustraßen, an Kreuzungen und Einmündungen durchgeführt werden.

Für bestehende Straßen in gutem Zustand wird empfohlen, die Tragfähigkeit der Straße durch Plattendruckversuche zu prüfen, wobei die gleichen Anforderungen wie für die anderen Straßentypen gelten.

Folgende Punkte sind zu prüfen und die Ergebnisse zu protokollieren:

- Aufbau der Zuwegung (Material und Einbaustärke)
- Ausreichende Verdichtung des Baumaterials
- Tragfähigkeit der Zuwegung
- Tragfähigkeit von Brücken
- Tragfähigkeit von Durchlässen und Verrohrungen
- Abstände zu Gräben, Vertiefungen und Gewässern
- Abstände zu Kabeltrassen und Freileitungen
- Überfahrbarkeit von verlegten Leitungen (z. B. Pipelines)

Es kann sinnvoll sein (lange Verkehrswege, schlechter Baugrund), die Zuwegung nicht auf Grundlage der vorgebenden Verformungsmodule, sondern aufgrund der Verkehrsbelastung unter Berücksichtigung der Achsübergänge zu bemessen.

Eine befahrbare Breite der Zuwegung von 4,0 m ist sicherzustellen. Je nach Lastabtrag und Baugrund kann ein verbreiterter Ausbau nötig sein.

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2022-06-28 12:49

5.2.4.2 Untergrund und Erdreich

Der tragfähige Baugrund ist die Grundlage für die Aufnahme der hohen Flächenpressungen, die durch außergewöhnliche Belastungen und die eingesetzten Kräne entstehen. Deshalb müssen der Oberboden und eventuelle Weichschichten bis zum Erreichen der ersten tragfähigen Schicht des natürlichen Bodens ausgehoben werden. Sind bindige und organische Böden nicht tragfähig, werden diese ausgetauscht oder durch Schichten aus geeignetem, verdichtetem Füllmaterial (z. B. Sand) ersetzt. Alternativ können auch andere technische Verfahren eingesetzt werden (z. B. Verpressen, Geogitter).

Die Tragfähigkeit des Untergrunds muss nachgewiesen werden. Der benötigte Lastausbreitungswinkel der geplanten Zuwegung wird beim Auskoffern der Straßenbreite mit einbezogen.

5.2.4.3 Tragschicht

Die Tragschicht der Zufahrtswege innerhalb des Windparks besteht aus losem Material wie Sand, Kies, Moräne, Schotter oder einer Mischung der genannten Materialien.

Der Anteil der feinen Gesteinskörnung darf 6 % der Gesamtmenge nicht überschreiten.

Das Schottermaterial für die Tragschicht enthält im Allgemeinen größere Steine und einen viel geringeren Anteil an Ton oder Feinmaterial als das Schottermaterial für die Deckschicht. Dies ist notwendig, um die für Tragschichten erforderliche Festigkeit und gute Entwässerungseigenschaften zu erreichen. In gleicher Weise benötigt Tragschichtmaterial niedrige Werte des Plastizitätsindexes.

Die Verkehrslasten werden über diese Tragschicht auf den Untergrund übertragen. Die Tragschicht muss den klimatischen und mechanischen Belastungen standhalten. Das verwendete Material muss für den Straßenbau zugelassen sein. Die Sieblinie des verwendeten Materials muss den jeweils gültigen nationalen Vorschriften entsprechen. Die Eignung des Materials muss vor dem Einbau durch Vorlage von gültigen Prüfzeugnissen nachgewiesen werden. Die erforderliche Tragfähigkeit wird durch eine abgestufte Korngrößenverteilung gewährleistet und ist mit dem geotechnischen Sachverständigen abzustimmen.

Ziegelbruch wird als Schüttgut für die Tragschicht nicht genutzt. Das Material wird durch Feuchtigkeit zerrieben und verliert seine Festigkeit.

Die fachgerechte Verdichtung der Tragschicht ist lagenweise sicherzustellen.

5.2.4.4 Deckschicht

Material Der Anteil der feinen Gesteinskörnung darf 10 % der Gesamtmenge nicht überschreiten. Das Schottermaterial für die Deckschicht enthält im Allgemeinen eine feinere Gesteinskörnung, als der Schotter für die Tragschicht. Eine zu grobe Gesteinskörnung erschwert die Instandhaltung und führt zu einer rauen Fahrbahnoberfläche. Ein höherer Feinkornanteil und ein höherer Plastizitätsindex sind ebenfalls erforderlich, um der Deckschicht eine bindende Eigenschaft und eine glat-

Technische Änderungen vorbehalten.
Freigabe: 2022-06-28 12:49

te Fahrbahn zu verschaffen. Um den Beanspruchungen durch hohe Verkehrslasten gerecht zu werden, muss die Deckschicht schichtweise richtig verdichtet werden.

Die Sieblinie der eingebauten Materialien muss den jeweils gültigen länderspezifischen Vorschriften entsprechen. Die Eignung der Materialien muss vor dem Einbau durch aktuelle Prüfzeugnisse nachgewiesen werden. Die Deckschicht wird möglichst gleichmäßig mit einer Mindestüberhöhung von 10 cm gegenüber dem angrenzenden Gelände eingebaut. Die Mindestschichtdicke beträgt 25 cm.

Deckschicht

Weist die Zuwegung eine Steigung von 7 % bis max. 12 % auf, wird die Deckschicht hydraulisch oder bituminös gebunden. Die Deckschicht ermöglicht einen kraftschlüssigen Verbund zum überfahrenden GST und verhindert das Durchdrehen der Räder.

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2022-06-28 12:49

6 Baustellenflächen

6.1 Arbeitsbereich am WEA-Standort

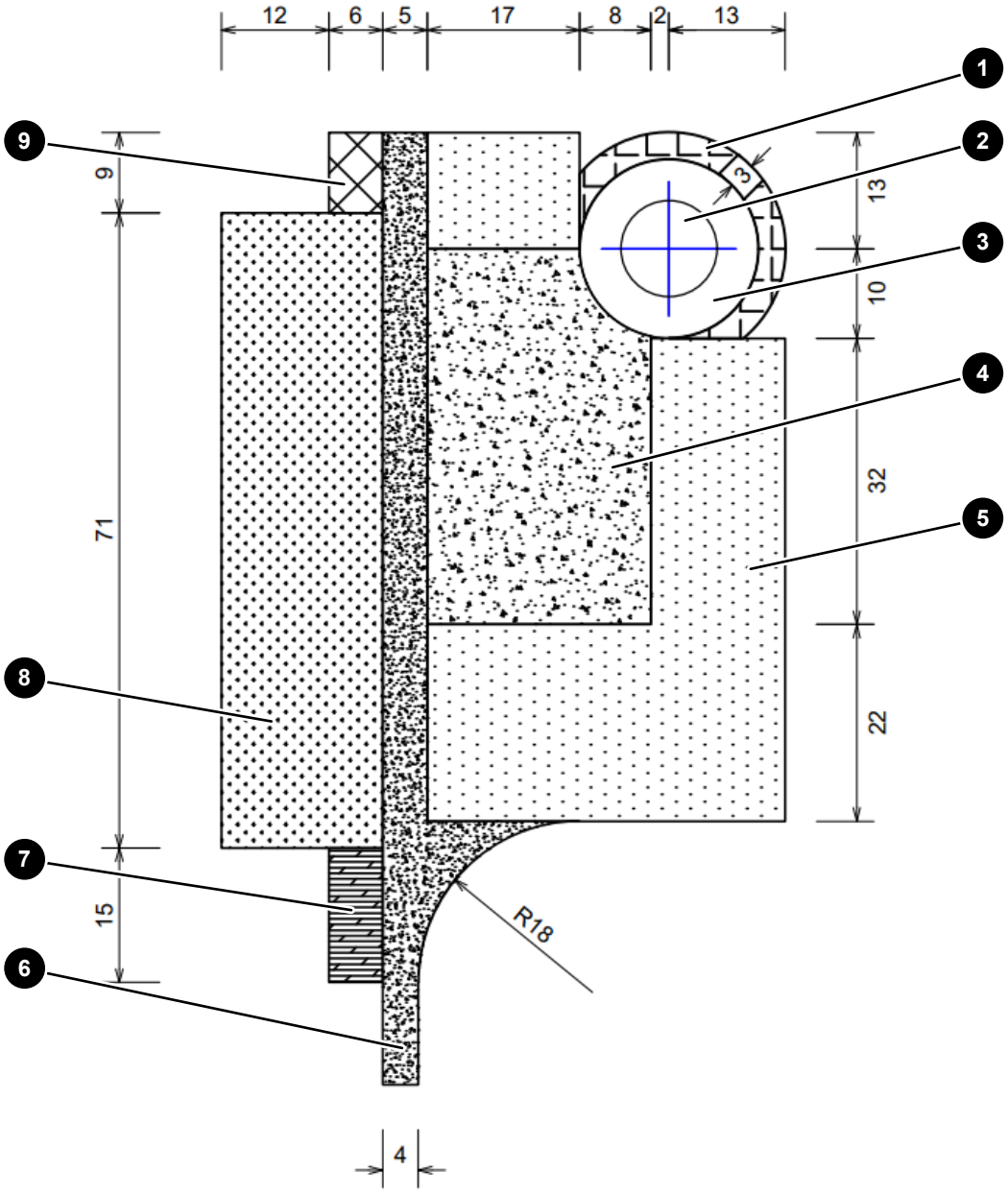


Abb. 10: Arbeitsbereich am WEA-Standort, Baumaß (alle Maßangaben in Meter)

1	Arbeitsbereich	2	Turm
3	Fundament	4	Kranstellfläche
5	Montagefläche	6	Zuwegung
7	Parkfläche	8	Lagerfläche
9	Müllsammelplatz		

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2022-06-28 12:49

Im Arbeitsbereich am Standort der zu errichtenden WEA werden unterschiedliche Tätigkeiten durchgeführt. Dies reicht vom Fundamentbau bis hin zum Aufsetzen der Gondel auf den Turm. Der Arbeitsbereich besteht aus verschiedenen Baustellenflächen zur Montage und Lagerung von WEA-Komponenten, für die unterschiedliche Anforderungen gelten. Ausreichend groß dimensionierte und tragfähige Baustellenflächen sind daher für einen sicheren und wirtschaftlichen Projektablauf zwingend notwendig.

Fundament auf GOK ohne Erdauflast

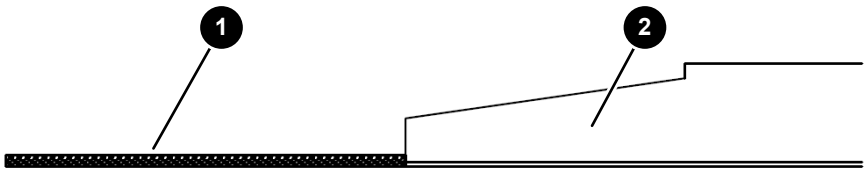


Abb. 11: Fundament auf GOK ohne Erdauflast

1	GOK	2	Fundament

Allgemeines

Neben der Bodenaufschüttung sind zusätzliche Belastungen auf Fundamenten im Rahmen der Typenprüfung nicht abgedeckt. Zusätzliche Belastungen bedürfen einer Freigabe durch ENERCON.

- Nicht erlaubte zusätzliche Belastungen:
  - Das Abstellen und Befahren mit jeglicher Art von Fahrzeugen oder Kranen
  - Vom Schalplan abweichende Bodenwichten für das Material und Gegebenheiten der Bodenaufschüttung
  - Das Abladen und kurzzeitige Lagern von Kranbelastungselementen
  - Das Abladen und kurzzeitige Lagern von Mauerwerk, Naturstein oder Betonaufkantung
  - Das Aufstellen von Trafohäuschen usw.
- Erlaubte zusätzliche Belastungen:
  - Das Ablegen von Kabeln und Kleinwerkzeugen für die Montage
  - Der Aufenthalt von Montage- und Servicepersonal
  - Für modulare Stahltürme gilt für teilweise in den Baugrund eingebundene Flachgründungen mit einem Außendurchmesser >25 m die Technische Mitteilung D02141655 „Nutzung von Flächen auf dem Fundament“ einschließlich der dort beschriebenen zusätzlichen Belastungen. Die betroffenen Flachgründungen sind hierfür entsprechend konstruktiv verstärkt.

Bauablauf bei Fundamenten auf GOK ohne Erdauflast vor Baustart

1. Herstellung des gesamten Unterbaus von Kranstellfläche und Montagefläche. Die Deckschicht wird bis auf einen Abstand von Fundamentaußendurchmesser +3 m aufgetragen.
2. Herstellung des Fundaments.

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2022-06-28 12:49

3. Vervollständigung der Deckchicht der Kranstellfläche und der Montagefläche bis an die Fundamentkante. Überarbeitung und Profilierung der gesamten Baufläche gemäß Mindestanforderungen.
4. Herstellung einer temporären Treppe mit Handlauf an der Fundamentaußenkante in Richtung Kranstellfläche. Dabei sind die für die Region geltenden aktuellen Sicherheits- und Bauvorschriften zu beachten.
5. Aufbau des Turms und der WEA. Der Bereich Fundamentaußenkante +3 m um das Fundament muss währenddessen eben und nutzbar sein.
6. Aufbringen und Abböschen der Erdauflast nach Fertigstellung der WEA. Die Vorgaben im Schalplan sind zu beachten.
7. Herstellung einer Treppe mit Handlauf an der Böschung in Richtung Kranstellfläche. Dabei sind die für die Region geltenden aktuellen Sicherheits- und Bauvorschriften zu beachten.
8. Befestigung mit Schotter im Bereich auf dem Fundament von der Zugangstreppe Kranstellfläche bis zum Zugang Turmaußentreppe, um einen gefahrlosen und sauberen Zugang zu gewährleisten.

Die Erdauflast wird nach Fertigstellung der WEA auf das Fundament aufgebracht. Der Bereich um das Fundament (Fundamentaußenkante +3 m) muss während der Bauphase eben und für die Arbeitsbühne nutzbar sein.

Wird die Baufläche in der Höhe abweichend von der GOK ausgeführt, muss dies mit dem ENERCON GPM abgestimmt werden.

Höhenunterschiede

Um einen sicheren und reibungslosen Bauablauf zu gewährleisten, sind die folgenden Höhenunterschiede einzuhalten:

- Zwischen Baustellenflächen und umliegendem Gelände: Sofern Baustellenflächen mit einem Höhenunterschied >0,30 m zum umliegenden Gelände angelegt werden, werden die Seitenbereiche mit 45 ° abgeböscht. Abhängig von der Höhe der Böschung ergibt sich ein umlaufender Streifen, der nicht belastet werden darf. Gegebenenfalls ist die Fläche zu vergrößern, um die erforderliche Nutzfläche herzustellen.
- Zwischen Kranstell-, Lager- und Montagefläche: Ein Höhenunterschied oder Versatz ist nicht zulässig.
- Zwischen Kranstellfläche und Fundamentoberkante: Der zulässige Höhenunterschied ist dem Fundamentdatenblatt zu entnehmen.

Sind Höhenunterschiede aufgrund der örtlichen Gegebenheiten erforderlich, wird dies mit dem ENERCON GPM abgesprochen.

Lagerung von Bodenaushub

Bodenaushub, der während der Bauphase angefallen ist und nicht weiter verwendet wird, wird ausschließlich außerhalb des Arbeitsbereichs in Mieten gelagert. Beim Anlegen der Erdmieten ist die geplante Kabeltrasse und Kabeleinführung von und zur WEA zu berücksichtigen. Der Mindestabstand der Erdmieten zum Arbeitsbereich beträgt

Technische Änderungen vorbehalten.
Freigabe: 2022-06-28 12:49

4 m. Um die Anlieferung der Turm- und WEA-Komponenten nicht zu behindern, darf kein Bodenaushub im Überschwenkbereich der Transportfahrzeuge gelagert werden. Dasselbe gilt entlang der Kranauslegermontagefläche. Bei Nichtverwendung wird überschüssiger Bodenaushub vom Auftraggeber vollständig entfernt.

Standorte für Winden

Um die WEA-Komponenten während des Hubvorgangs zu führen, werden sie mit Seilen und Winden in Position gehalten. Die Position der Winden ist unter anderem abhängig von der zu hebenden Komponente und der Windsituation und wird kurzfristig mit dem ENERCON CM oder dem Aufbauteam abgestimmt. Die Winden werden in einem Mindestabstand zum Turmfuß positioniert, der der 1 – 1,5-fachen Turmhöhe in Metern entspricht.

Der Windenstandort muss mit einem Teleskoplader erreichbar sein. Die Eigentümer der betroffenen Flurstücke sind über die Tätigkeiten zu informieren, ggf. ist eine Erlaubnis einzuholen. Abhängig von der lokalen Beforstungsdichte können zusätzliche Rodungsschneisen nötig sein.

6.1.1 Baufläche

Erkundung

Der konstruktive Aufbau der Kranstellfläche und der Montagefläche kann sich abhängig von der Beschaffenheit des Baugrunds unterscheiden. Der Baugrund ist durch Baugrundaufschlussbohrungen und -sondierungen ausreichend zu erkunden. Alle setzungs- und grundbruchrelevanten Bodenschichten sind dabei zu erfassen. Anzahl und Tiefe der Untersuchungen sind vom Baugrundgutachter abhängig vom Untergrundaufbau festzulegen. Auf Grundlage der Baugrunduntersuchungsergebnisse wird der konstruktive Aufbau der Kranstellfläche und der Montagefläche festgelegt.

Gebrauchstauglichkeit

Die Baustellenflächen werden mit ausreichender Tragfähigkeit unter Berücksichtigung der zu erwartenden Belastungen so angelegt, dass sie während der gesamten Nutzungsdauer einsetzbar bleiben. Auch bei starken Regenfällen müssen Nutzbarkeit und Tragfähigkeit gewährleistet sein. Die maximale Spurrinnentiefe muss auf 7,5 cm begrenzt sein. Die Gestaltung der Flächen muss auch eine Entwässerungsmöglichkeit vorsehen. Bei Schneefall und Vereisung muss durch den Einsatz von Streu- und Schneeräumdiensten für sichere Fahrbedingungen gesorgt werden.

Schneeräum- und Streudienst sind Aufgabe des Windparkbetreibers.

Die Ausführungsplanung sowie alle Vorgaben zur Prüfung, Untersuchungen, Auswertungen und Nachweise sind dem ENERCON GPM unaufgefordert zur Prüfung vorzulegen.

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2022-06-28 12:49

6.1.1.1 Material

Als Material für die Deckschicht werden zertifizierte gebrochene Schüttgüter wie Kies, Schotter oder ähnliches Material verwendet, die die Anforderungen erfüllen. Die Mindestschichtdicke beträgt 25 cm. Die folgenden Überlegungen gelten für Materialien, die sowohl auf der Kranstellfläche als auch im Montagebereich verwendet werden.

6.1.1.2 Baugrund und Erdreich

Der tragfähige Baugrund ist die Grundlage für die Aufnahme der hohen Flächenpressungen, die durch außergewöhnliche Belastungen und die eingesetzten Kräne entstehen. Deshalb müssen der Oberboden und mögliche Weichschichten bis zur ersten tragfähigen Schicht des natürlichen Bodens ausgehoben werden. Sind bindige und organische Böden nicht tragfähig, werden diese ausgetauscht oder durch Schichten aus verdichtetem und geeignetem Füllmaterial (z. B. Sand) ersetzt. Alternativ können auch andere technische Verfahren eingesetzt werden (z. B. Verpressen, Geogitter).

Tragschicht

Die Tragschicht von Kranstellflächen und Aufstellflächen kann aus losem Material wie Sand, Kies, Moräne, Schotter oder einer Mischung der genannten Materialien bestehen. Der Anteil der feinen Gesteinskörnung darf 6 % der Gesamtmenge nicht überschreiten. Das Schottermaterial für die Tragschicht hat im Allgemeinen größere Steine und einen sehr geringen Anteil an Ton oder Feinmaterial, als das Schottermaterial für die Deckschicht. Dies ist notwendig, um die für Tragschichten erforderliche Festigkeit und gute Entwässerungseigenschaften zu erreichen. Ebenso benötigt das Tragschichtmaterial niedrige Werte für den Plastizitätsindex.

Die Verkehrslasten werden über diese Tragschicht auf den Untergrund übertragen. Die Tragschicht muss den klimatischen und mechanischen Belastungen standhalten. Das verwendete Material muss für den Straßen- und Hochbau zugelassen sein. Die Sieblinie des verwendeten Materials muss den jeweils gültigen nationalen Vorschriften entsprechen. Die Eignung des Materials muss vor dem Einbau durch Vorlage von gültigen Prüfzeugnissen nachgewiesen werden. Die erforderliche Tragfähigkeit wird durch eine abgestufte Korngrößenverteilung sichergestellt und ist mit dem geotechnischen Sachverständigen abzustimmen.

Ziegelbruchstücke werden nicht als Schüttgut für die Tragschicht verwendet. Das Material wird durch Feuchtigkeit pulverisiert und verliert seine Festigkeit. Es ist auf eine ordnungsgemäße Verdichtung zu achten.

Deckschicht

Als Material für die Deckschicht wird zertifiziertes, gebrochenes Schüttgut, z. B. Schotter oder Splitt, verwendet. Es wird eine Gesteinskörnung von 0/32-0/45 mm verwendet. Der Anteil der feinen Gesteinskörnung darf 10 % der Gesamtmenge nicht überschreiten. Das Schottermaterial für die Deckschicht enthält im Allgemeinen eine feinere Gesteinskörnung, als der Schotter für die Tragschicht. Eine zu grobe Gesteinskörnung erschwert die Instandhaltung und führt zu einer rauen Fahrbahnoberfläche. Ein höherer Feinkornanteil und ein

Technische Änderungen vorbehalten.
Freigabe: 2022-06-28 12:49

höherer Plastizitätsindex sind ebenfalls erforderlich, um der Deckschicht eine bindende Eigenschaft und eine glatte Fahrfläche zu verschaffen. Die Sieblinie der eingebauten Materialien muss den jeweils gültigen länderspezifischen Vorschriften entsprechen. Die Eignung der Materialien muss vor dem Einbau durch aktuelle Prüfzeugnisse nachgewiesen werden. Die Mindestschichtdicke beträgt 25 cm. Um den Beanspruchungen durch hohe Verkehrslasten gerecht zu werden, muss die Deckschicht schichtweise gut verdichtet werden.

6.1.1.3 Kranstellfläche

Der Kran wird auf der Kranstellfläche aufgestellt. Hier werden die Hauptarbeiten ausgeführt. Auf diesen Bereich wirken die höchsten Beanspruchungen durch Verkehrslasten und verteilte Lasten ein. Eine unzureichend konzipierte oder dimensionierte Kranplattform kann zu unvorhergesehenen Bewegungen oder zum Umkippen des Krans führen.

Tab. 4: Mindestanforderungen an die Kranstellfläche

Parameter	Anforderung
Oberflächenebenheit	≤0,25 %
Mindestbelastbarkeit	185 kN/m²
Deckschicht Verformungsmodul	E_{V2} ≥ 120 MN/m²
Deckschicht Proctordichte	D_{Pr} ≥ 103 %
Tragschicht Verformungsmodul (falls erforderlich)	E_{V2} ≥ 100 MN/m²
Tragschicht Proctordichte	D_{Pr} ≥ 100 %
Verhältnis E_{V2} / E_{V1}	≤ 2,3

Die Tragfähigkeit der Kranstellfläche ist durch Grundbruchberechnungen bzw. bei Hanglagen durch Böschungsbruchberechnungen nach DIN 4017 nachzuweisen. Setzungsberechnungen sind erforderlich, um zu verhindern, dass die maximal zulässige Neigung des Krans nach DIN 4019 überschritten wird. Die Kranlasten werden durch Lastverteilungsplatten unterhalb der Ketten bzw. Pratzen auf den angegebenen zulässigen Bodendruck reduziert.

Die geforderten geotechnischen Nachweise der Lastverteilung sind jeweils für eine Fläche mit den folgenden Abmessungen zu erbringen:

- 2 m x 10 m
- 5 m x 10 m

Die Baufirma muss die vorgegebenen Verformungsmodule für jede eingebaute Schicht überprüfen und dokumentieren. Werden die vorgegebenen Werte nicht erreicht, sind Verbesserungsmaßnahmen zu ergreifen. Ein statischer Plattendruckversuch an jeder eingebauten Schicht wird generell empfohlen. Die geforderten Werte des zweiten Verformungsmoduls (E_{V2}) und des Verhältnisses E_{V2} / E_{V1} entsprechen den Plattenbelastungsprüfungen gemäß der deutschen Norm DIN 18134. In diesem Dokument sind verschiedene Aspekte der zu erfüllenden Prüfung zusammengefasst, wie z. B. Plattendurchmesser,

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2022-06-28 12:49

maximaler Druck, Belastungsstufen, EV-Berechnungsformel usw. Plattenbelastungsprüfungen, die nach verschiedenen Normen durchgeführt wurden, sind nicht direkt vergleichbar.

Folgende Punkte sind zu prüfen und die Ergebnisse zu protokollieren:

- Aufbau der Baustellenfläche (Material und Einbaustärke)
- Ausreichende Verdichtung des Baumaterials
- Abstände zu Gräben, Vertiefungen und Gewässern
- Abstände zu Kabeltrassen und Freileitungen

6.1.1.4 Montagefläche

Die Montagefläche dient als Arbeitsbereich für Vormontage- und Montagezwecke und zur Lagerung der Anlagen- und Turmkomponenten. Diese Fläche wird während der Baumaßnahmen benötigt und kann nach Abschluss der Arbeiten im Windpark zurückgebaut werden. Im Fall eines Komponententauschs oder Rückbaus muss ein Teil dieser Fläche wiederhergestellt werden. Größe und Lage ist dann mit dem ENERCON GPM abzustimmen.

Tab. 5: Mindestanforderungen an die Montagefläche

Parameter	Anforderung
Oberflächenebenheit	≤1 %
Mindestbelastbarkeit	135 kN/m²
Deckschicht Verformungsmodul	E_{V2} ≥ 120 MN/m²
Deckschicht Proctordichte	D_{Pr} ≥ 103 %
Tragschicht Verformungsmodul (falls erforderlich)	E_{V2} ≥ 80 MN/m²
Tragschicht Proctordichte	D_{Pr} ≥ 100 %
Verhältnis E_{V2} / E_{V1}	≤ 2,3

Die Tragfähigkeit der Montagefläche ist durch Grundbruchberechnungen bzw. bei Hanglagen durch Böschungsbruchberechnungen nach DIN 4017 nachzuweisen. Setzungsberechnungen sind erforderlich, um zu verhindern, dass die maximal zulässige Neigung des Krans nach DIN 4019 überschritten wird. Die Kranlasten werden durch Lastverteilungsplatten unterhalb der Ketten bzw. Pratzen auf den angegebenen zulässigen Bodendruck reduziert.

Die geforderten geotechnischen Nachweise der Lastverteilung sind jeweils für eine Fläche mit den folgenden Abmessungen zu erbringen:

- 1 m x 8 m
- 3 m x 8 m

Die Baufirma muss die vorgegebenen Verformungsmodule für jede eingebaute Schicht überprüfen und dokumentieren. Werden die vorgegebenen Werte nicht erreicht, sind Verbesserungsmaßnahmen zu ergreifen. Ein statischer Plattendruckversuch an jeder eingebauten Schicht wird generell empfohlen. Die geforderten Werte des zweiten Verformungsmoduls (E_{V2}) und des Verhältnisses E_{V2} / E_{V1} entsprechen den Plattenbelastungsprüfungen gemäß der deutschen Norm DIN 18134. In diesem Dokument sind verschiedene Aspekte der zu

Technische Änderungen vorbehalten.
Freigabe: 2022-06-28 12:49

erfüllenden Prüfung zusammengefasst, wie z. B. Plattendurchmesser, maximaler Druck, Belastungsstufen, EV-Berechnungsformel usw. Plattenbelastungsprüfungen, die nach verschiedenen Normen durchgeführt wurden, sind nicht direkt vergleichbar.

Folgende Punkte sind zu prüfen und die Ergebnisse zu protokollieren:

- Aufbau der Baustellenfläche (Material und Einbaustärke)
- Ausreichende Verdichtung des Baumaterials
- Abstände zu Gräben, Vertiefungen und Gewässern
- Abstände zu Kabeltrassen und Freileitungen

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2022-06-28 12:49

6.1.1.5 Lagerfläche

Die Lagerfläche dient unter anderem zur Lagerung von Montagematerial, Containern, Flat Rack und Rotorblättern. Die Fläche wird seitlich der Kranstellfläche eingerichtet. Sie muss nicht befestigt, jedoch in ihrer Beschaffenheit eben, glattgezogen und frei von Wurzeln und Gehölz sein. Maßnahmen für eine Entwässerung müssen getroffen werden. Die Befahrbarkeit mit einem Teleskoplader muss gewährleistet sein.

6.1.1.6 Arbeitsebene (falls erforderlich)

Auf der Arbeitsebene steht das Trägergerät zur Erstellung von Pfahlgründungen oder Baugrundverbesserungsmaßnahmen durch Rüttelstopfverdichtung oder Rütteldruckverdichtung.

Tab. 6: Mindestanforderungen an die Arbeitsebene

Parameter	Anforderung
Form: Kreis	Absprache mit dem ENERCON GPM
Oberflächenebenheit	≤1 %
Mindestbelastbarkeit	Absprache mit dem ENERCON GPM
Verformungsmodul untere Tragschicht	D_{Pr} ≥100 % / E_{V2}/E_{V1} ≤ 2,3/

Folgende Prüfungen sind durchzuführen und zu protokollieren:

- Verdichtung (statische Lastplattendruckversuche, Rammsondierung)
- Abstände zu Gräben, Vertiefungen und Gewässern
- Abstände zu Kabeltrassen und Freileitungen
- Gefälle der Oberflächen zur Entwässerung

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2022-06-28 12:49

6.1.2 WEA-Standorte in Waldgebieten

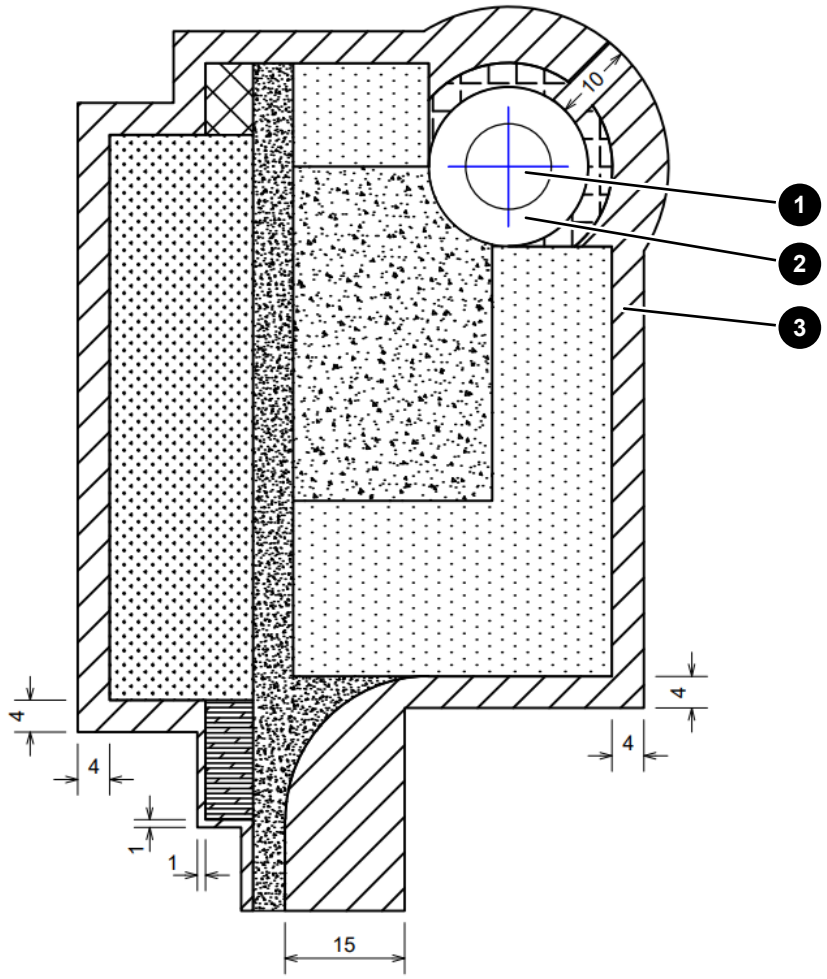


Abb. 12: Arbeitsbereich am WEA-Standort in Waldgebieten, Baumaß (alle Maßangaben in Meter)

1	Fundament	2	Turm
3	Rodungszone		

Bei der Errichtung von WEA in Waldgebieten wird rings um den Arbeitsbereich am WEA-Standort und um das Fundament eine Fläche freigehalten bzw. gerodet. Während der Bauarbeiten darf kein Erdaushub in der Rodungszone gelagert werden. Die Rodungszone kann zum Teil nach der Errichtung der WEA wieder aufgeforstet werden. Im Fall eines Komponententauschs oder Rückbaus muss ein Teil dieser Fläche wieder gerodet werden. Größe und Abmessungen sind dann mit dem ENERCON GPM abzustimmen.

Um die Rotorblätter während des Hubvorgangs zu führen, werden sie mittels Seilen und Winden abgespannt und in Position gebracht. Die Fixierung der Winden erfolgt am Boden in einem Mindestabstand von 1x Turmhöhe in Metern zur Rotorblattspitze. Abhängig von der lokalen Beforstungsdichte können zusätzliche Rodungsschneisen zur Abspannung nötig sein (vgl. *Standorte für Winden*, S. 28). Dies wird mit dem ENERCON GPM abgestimmt.

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2022-06-28 12:49

6.2 Kranauslegermontagefläche

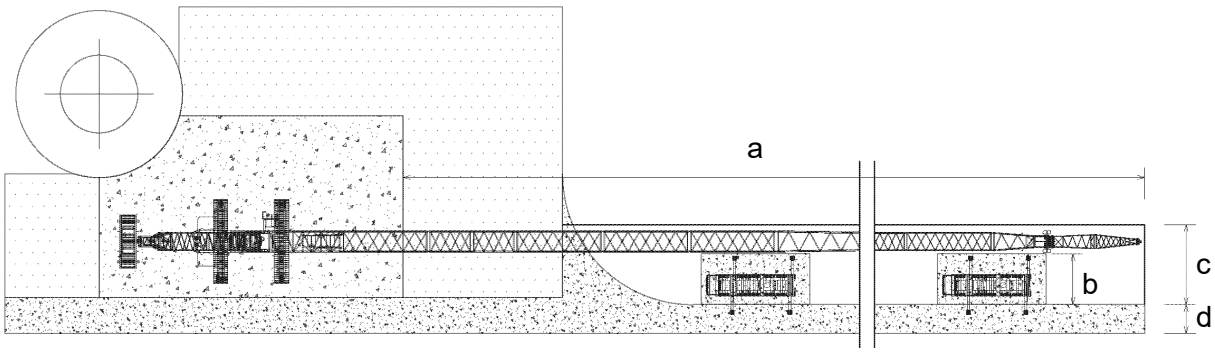


Abb. 13: Kranauslegermontagefläche

a	132 m	Länge Kranauslegermontagefläche ab Kranstellfläche	b	10 m	Breite Hilfskranstellfläche
c	15 m	Gesamtbreite Kranauslegermontagefläche	d	4 m	Befahrbare Breite der Fahrbahn

Der Gittermastausleger des Hauptkrans wird aus Einzelkomponenten zusammengebaut. Auch während der Aufbauarbeiten muss gewährleistet sein, dass bei steigenden Windgeschwindigkeiten der Gittermast des Großkrans abgelegt werden kann. Dies setzt eine lichte Schneise in Länge des Gittermastauslegers voraus, die sich im Standard auf gleichem Höhenniveau zur Kranstellfläche befindet. Gittermastausleger können nur bis zu einer bestimmten Steigung bzw. einem bestimmten Gefälle montiert werden. Bei Höhenunterschieden auf der Kranauslegermontagefläche wird Rücksprache mit dem ENERCON GPM gehalten. Dies gilt insbesondere bei Gefälle vom Grundgerät zur Gittermastspitze.

Hilfskranstellflächen

Der Gittermastausleger des Großkrans wird mit Unterstützung eines Hilfskrans montiert und aufgerichtet. Der Hilfskran wird seitlich des Gittermastauslegers positioniert. Um die Einzelteile des Auslegers nacheinander montieren zu können, ist für den Hilfskran eine befestigte Straße erforderlich. Ist die Zuwegung zur Kranstellfläche gradlinig, lang genug und die örtlichen Gegebenheiten machen die Gittermastmontage möglich, wird sie dafür genutzt. Trifft dies nicht zu, wird eine provisorische Behelfsstraße errichtet. Zur Abstützung und Lastverteilung des Hilfskrans werden in bestimmten Abständen ca. 10 m breit Hilfskranstellflächen unmittelbar neben die Zuwegung bzw. die Behelfsstraße gebaut. Anzahl und Lage der Hilfskranstellflächen werden mit dem ENERCON GPM und dem Krandienstleister abgestimmt.

Tab. 7: Anforderungen an die Kranauslegermontagefläche

Parameter	Anforderung
Tragfähigkeit der Zuwegung bzw. Behelfsstraße	12 t Achslast
Flächenpressung der Hilfskranstellflächen	min. 135 kN/m²

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2022-06-28 12:49

Der Bau einer temporären und provisorischen Behelfsstraße zur Gittermastmontage kann eine behördliche Genehmigung voraussetzen. Dies muss vom **Auftraggeber** vorab geprüft werden.

6.3 Optionale Rotorblattlagerfläche im Windpark

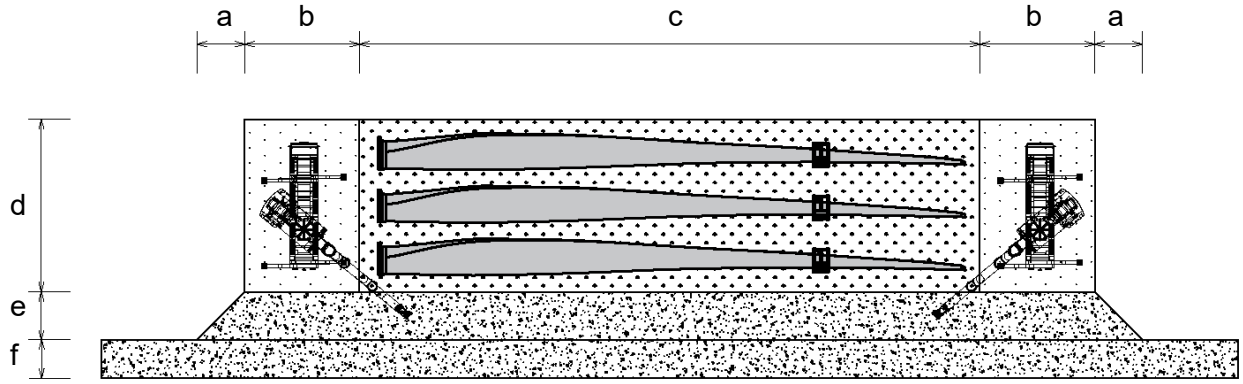


Abb. 14: Rotorblattlagerfläche (Konstruktionsschema)

a	5 m	Länge Trichter Ausweichbucht	b	12 m	Breite Hilfskranstellfläche
c	71 m	Länge Rotorblattlagerfläche	d	18 m	Breite Rotorblattlagerfläche / Länge Hilfskranstellfläche
e	5 m	Breite Ausweichbucht	f	4 m	Befahrbare Breite der Fahrbahn

Die Rotorblattlagerfläche ist ein Zwischenlager für Rotorblätter. Außerdem kann die Fläche zum Umladen von Rotorblättern verwendet werden. Die Rotorblattlagerfläche befindet sich an einer Ausweichbucht entlang der Zuwegung. Die Lagerfläche ist wurzelstockfrei. An den Stirnseiten der Lagerfläche steht jeweils ein Hilfskran zum Umsetzen der Rotorblätter.

Die Rotorblattlagerfläche wird eingeplant, wenn am WEA-Standort keine Lagerfläche gebaut werden kann oder wenn aufgrund des Aufbau- und Logistikkonzepts keine Just-in-Time-Anlieferung der Rotorblätter möglich ist. Die Größe der Rotorblattlagerfläche und die Lage im Windpark ergeben sich aus dem Aufbau- und Logistikkonzept und werden mit dem ENERCON GPM abgestimmt. Die logistischen Mehrkosten trägt der Auftraggeber. Vertraglich vereinbarte Termine müssen ggf. vom Auftragnehmer angepasst werden.

Tab. 8: Anforderungen an die Rotorblattlagerfläche

Parameter	Anforderung
Tragfähigkeit der Ausweichbucht	12 t Achslast
Mindestbelastbarkeit der Hilfskranstellflächen	min. 135 kN/m²

Die Rotorblattlagerfläche ersetzt nicht die verpflichtend auszuweisenden Parkplätze für Langtransporte (vgl. *Parkplätze für Langtransporte*, S. 13).

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2022-06-28 12:49

6.4 Zentrale Anlaufstelle

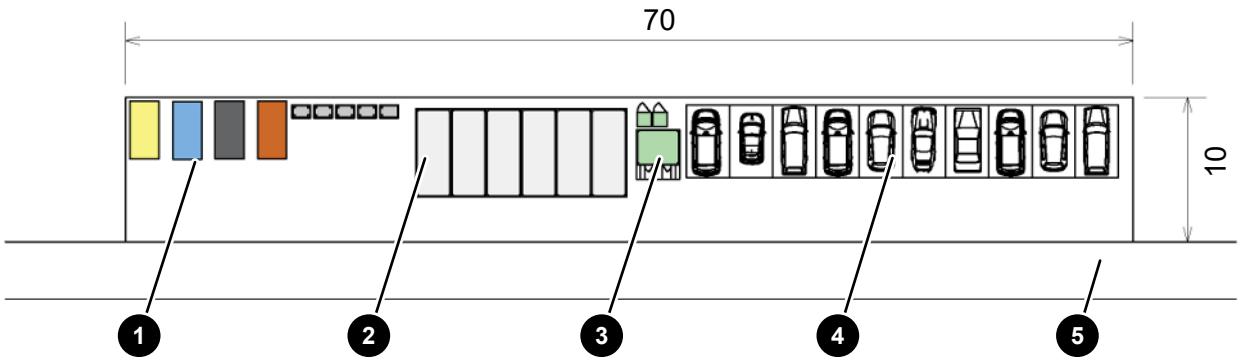


Abb. 15: Zentrale Anlaufstelle (alle Maßangaben in Meter)

1	Müllsammelbehälter	2	Baustellencontainer
3	Sanitäreinrichtungen	4	PKW-Parkplätze
5	Zuwegung		

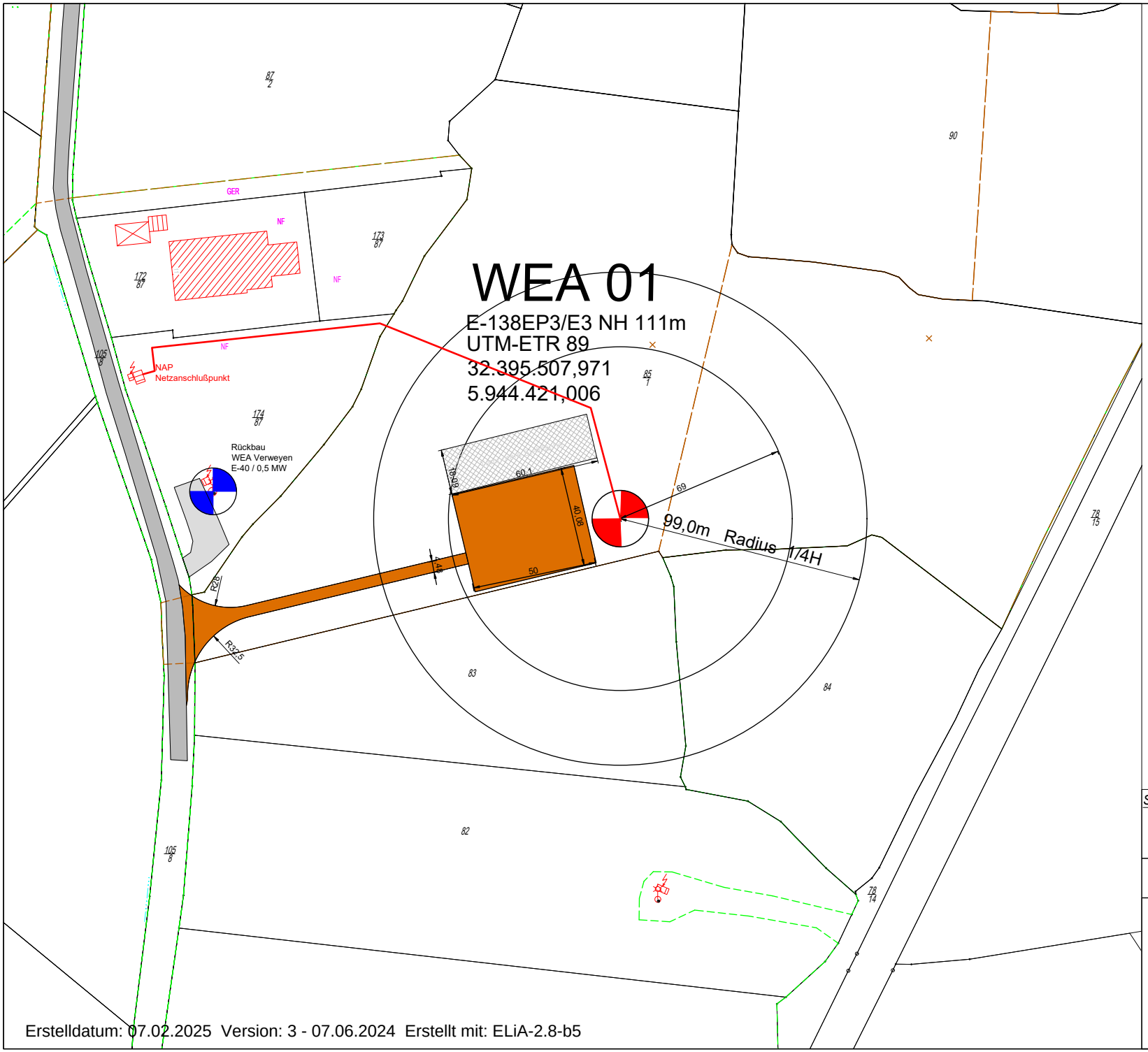
In jedem Windpark wird zentrale Infrastruktur benötigt. Zur zentralen Infrastruktur zählen unter anderem das Containerbüro des ENERCON CM, PKW-Parkplätze, Müllsammelbehälter und Sanitäreinrichtungen. Dafür kann eine eigene Fläche als zentrale Anlaufstelle geschaffen werden. Es können auch bestehende Flächen genutzt werden, die ggf. angepasst werden müssen. Die Containerbüros und die Müllsammelbehälter müssen nicht auf derselben Fläche stehen. Die Müllsammelbehälter müssen zum Be- und Entladen von LKW erreichbar sein.

Die Fläche der zentralen Anlaufstelle ist geschottert oder mit Stahl- oder Verbundplatten ausgelegt. Die Tragfähigkeit der Fläche wird für Fahrzeuge mit einer Achslast von 12 t dimensioniert.

Die Baustellenausstattung, die Lage im Windpark sowie Abmessungen und Abstände auf der Fläche werden projektspezifisch mit dem ENERCON GPM abgestimmt. Gegebenenfalls sind lokale Gegebenheiten und länderspezifische Regularien zu berücksichtigen.

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2022-06-28 12:49



Legende:

- Wegebau (Vorhanden) Erschließung über Westerstraße K210
- Kranstellfläche
- Wegebau (Neu)
- Netztrasse
- Alt WEA
- Fundamentmittelpunkt
- Rotordurchmesser
- Grenzabstand (99,0 m Radius 1/4 H)

Erstellt: ...
Zeichner: T. Walter
F. Janßen

Standort **WEA 01**

Gemarkung: Dornum
Flur: 5
Flurstück: 85/1

WEA 01
Enercon E-138EP3/E3 Nabenhöhe= 111m Radius 1/4 H = 99,0 m

Rasteder Projektierung GmbH
Zum Breen 40
26180 Rastede Tel.: 04402/ 97250

Entwurfverfasser:	Bauherr	Theodor Verweyen Westerstraße 16 26553 Dornum
	Bauvorhaben	Übersichtsplan ohne Eigentümer
	Standort	Dornum WEA 01
	Titel	Übersichtsplan WEA Verweyen

Gez.:	Datum:	geändert:	Maßstab:	Blatt:	Rev.:
T.Walter	20.02.2023	05.06.2023	1:1.250	1.	1.

Erstelldatum: 07.02.2025 Version: 3 - 07.06.2024 Erstellt mit: ELiA-2.8-b5

16.1.7 Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen

Siehe Anlage

Der Betreiber stimmt der Aufnahme einer Bedingung im Genehmigungsbescheid bzgl. der Forderung der Bundeswehr zu.

Anlagen:

- 6.2.10._D02547282_0.1-Notstromversorgung der Befeuerung für Windenergieanlagen in Dt.pdf
- 6.2.9._D0293153_2-de-Regulierung der Befeuerung durch Sichtweitenmessgeräte.pdf
- 6.2.13._Anlage_3.10 Leistungsbeschreibung Standortbezogene Prüfung.pdf
- 6.2.14._D0185200_13.0-TB-Farbgebung.pdf
- 6.2.15._D0248364_15.1-Befeuerung und farbliche Kennzeichnung.pdf
- WEA Verweyen Antrag luftverkehrsrechtliche Zustimmung_Us.pdf
- WEA Verweyen WEA 01 FormularRichtfunkBauleitplanung.pdf

Notstromversorgung der Befeuerung für Windenergieanlagen in Deutschland

Die Auslegung der Notstromversorgung richtet sich nach den örtlichen Bestimmungen. Die folgende Tabelle enthält Angaben zur Notstromversorgung von Befeuerungsleuchten des Systems G4.1, die für Windenergieanlagen in Deutschland eingesetzt werden.

Tab. 1: Angaben zur Notstromversorgung

Angabe	Gondelbefeuerung und Turmbefeuerung	Gondelbefeuerung
Gondelbefeuerungsleuchte, Bezeichnung und Anzahl	R100IR25-G4.1 (2x)	R100IR25-G4.1 (2x)
Turmbefeuerungsleuchte, Bezeichnung und Anzahl	R32H-G4.1 (4x auf einer Ebene)	-
Kapazität des Akkumulators in Ah	70	70
Überbrückungszeit in h	30	40

© ENERCON GmbH. Alle Rechte vorbehalten.

Freigabe: 2021-11-29 13:23

Technische Beschreibung

Regulierung der Befeuerung durch Sichtweitenmessgeräte

ENERCON Windenergieanlagen

Freigabe: 2020-12-09 08:13

Herausgeber

ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Deutschland
Telefon: +49 4941 927-0 ▪ Telefax: +49 4941 927-109
E-Mail: info@enercon.de ▪ Internet: http://www.enercon.de
Geschäftsführer: Hans-Dieter Kettwig, Jost Backhaus, Momme Janssen, Dr. Martin Prillmann, Jörg Scholle
Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 411
Ust.Id.-Nr.: DE 181 977 360

Urheberrechtshinweis

Die Inhalte dieses Dokuments sind urheberrechtlich sowie hinsichtlich der sonstigen geistigen Eigentumsrechte durch nationale und internationale Gesetze und Verträge geschützt. Die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments liegen bei der ENERCON GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.

Die ENERCON GmbH räumt dem Verwender das Recht ein, zu Informationszwecken für den eigenen, rein unternehmensinternen Gebrauch Kopien und Abschriften dieses Dokuments zu erstellen; weitergehende Nutzungsrechte werden dem Verwender durch die Bereitstellung dieses Dokuments nicht eingeräumt. Jegliche sonstige Vervielfältigung, Veränderung, Verbreitung, Veröffentlichung, Weitergabe, Überlassung an Dritte und/oder Verwertung der Inhalte dieses Dokuments ist – auch auszugsweise – ohne vorherige, ausdrückliche und schriftliche Zustimmung der ENERCON GmbH untersagt, sofern und soweit nicht zwingende gesetzliche Vorschriften ein Solches gestatten.

Dem Verwender ist es untersagt, für das in diesem Dokument wiedergegebene Know-how oder Teile davon gewerbliche Schutzrechte gleich welcher Art anzumelden.

Sofern und soweit die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments nicht bei der ENERCON GmbH liegen, hat der Verwender die Nutzungsbestimmungen des jeweiligen Rechteinhabers zu beachten.

Geschützte Marken

Alle in diesem Dokument ggf. genannten Marken- und Warenzeichen sind geistiges Eigentum der jeweiligen eingetragenen Inhaber; die Bestimmungen des anwendbaren Kennzeichen- und Markenrechts gelten uneingeschränkt.

Änderungsvorbehalt

Die ENERCON GmbH behält sich vor, dieses Dokument und den darin beschriebenen Gegenstand jederzeit ohne Vorankündigung zu ändern, insbesondere zu verbessern und zu erweitern, sofern und soweit vertragliche Vereinbarungen oder gesetzliche Vorgaben dem nicht entgegenstehen.

Dokumentinformation

Dokument-ID	D0293153-2
Vermerk	Originaldokument

Datum	**Sprache**	**DCC**	**Werk / Abteilung**
2020-11-30	de	DB	WRD Management Support GmbH / Technische Redaktion

Freigabe: 2020-12-09 08:13

Inhaltsverzeichnis

1 Allgemeines 4

2 Sichtweitenregulierung nach AVV 5

3 Sichtweitenmessung 6

Freigabe: 2020-12-09 08:13

1 Allgemeines

Windenergieanlagen müssen abhängig von ihrer Höhe, ihrer exponierten Lage und den jeweils gültigen nationalen Vorschriften als Luftfahrthindernisse gekennzeichnet werden. In Deutschland wird die Befeuerung von Windenergieanlagen durch die „Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen“ (AVV) geregelt. Beim Einsatz von Sichtweitenmessgeräten an ENERCON Windenergieanlagen werden auch andere länderspezifische Reglungen, wie die der finnischen Behörde Trafi, berücksichtigt.

Um eine Energieersparnis und eine höhere Akzeptanz im Hinblick auf mögliche Belästigungen durch die Tages- und Nachtbefeuerung zu erreichen, besteht nach der aktuellen Version der AVV die Möglichkeit, die Intensität der Befeuerung von Windenergieanlagen abhängig von der meteorologischen Sichtweite zu regulieren. Die meteorologische Sichtweite wird in diesem Fall mit anerkannten Sichtweitenmessgeräten (Zertifizierung durch den Deutschen Wetterdienst (DWD) gemäß AVV) ermittelt. Bei ausreichender Sichtweite kann die Lichtstärke der Tages- oder Nachtbefeuerung der Windenergieanlagen entsprechend reduziert werden.

Freigabe: 2020-12-09 08:13

2 Sichtweitenregulierung nach AVV

Die Vorgaben zur Sichtweitenregulierung sind in der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen unter folgenden Abschnitten zu finden:

Teil 2, Technische Spezifikation, Absatz 3.7

„Die Nennlichtstärke der Tagesfeuer nach Nummer 3.1 und Feuer W, rot (ES) nach Nummer 3.5 kann sichtweitenabhängig reduziert werden. Bei Sichtweiten über 5 Kilometern darf die Nennlichtstärke auf 30 % und bei Sichtweiten über 10 Kilometern auf 10 % reduziert werden. Die Sichtweitenmessung erfolgt nach Anhang 4 der AVV. Die Einhaltung der geforderten Nennlichtstärken ist nachzuweisen."

Anhang 4:

„Die Sichtweite ist als meteorologische Sichtweite mittels eines vom Deutschen Wetterdienst anerkannten Gerätes zu bestimmen. Die Sichtweitenmessgeräte sind an einem geeigneten Ort zu installieren, im Falle von Windenergieanlagen auf dem Maschinenhaus. Der jeweils ungünstigste Wert aller Messgeräte ist für den ganzen Block zu verwenden. Bei Ausfall eines der Messgeräte müssen die Feuer auf 100 % Leistung geschaltet werden. Daten über die Funktion und die Messergebnisse der Sichtweitenmessgeräte sind fortlaufend aufzuzeichnen. Die Aufzeichnungen sind mindestens vier Wochen vorzuhalten. Der Abstand zwischen einer Windenergieanlage mit Sichtweitenmessgerät und Windenergieanlagen ohne Sichtweitenmessgerät darf maximal 1 500 Meter betragen. Bei Windenergieanlagen-Blöcken im Meeresbereich sind die Sichtweitenmessgeräte lediglich entlang der äußeren Umgrenzung und deren Eckpunkte des Blocks anzubringen."

In Abhängigkeit von der Windparkgröße und den Abständen der Windenergieanlagen zueinander ist somit die Verwendung von mindestens einem Sichtweitenmessgerät für die Sichtweitenregulierung vorgeschrieben.

Freigabe: 2020-12-09 08:13

3 Sichtweitenmessung

Nach Berücksichtigung und Auswertung unterschiedlicher Einflussfaktoren wird die Sichtweitenmessung bei ENERCON Windenergieanlagen mit einem Messsystem der Firma Biral® durchgeführt.

Funktionsprinzip Sichtweitenmessgerät

Die meteorologische Sichtweite (Meteorological Optical Range, kurz: MOR) ist definiert als die größte horizontale Entfernung, in welcher dunkle Objekte in Erdbodennähe (Sichtziele/Sichtmarken) mit einer scheinbaren Sichtwinkelgröße von 0,5 bis 5 Grad, vor hellem Horizonthimmel (auch Nebel als Hintergrund) gerade noch erkannt werden können. Das Objekt muss dabei zweifelsfrei identifiziert werden können. Ein theoretischer Ansatz zur Messung der meteorologischen Sichtweite (MOR) beinhaltet die Anwendung folgender Formel:

$$MOR = \frac{3}{\text{EXKO}}$$

Der Extinktionskoeffizient (kurz: EXKO) ist das Maß für das Lichtabsorptionsvermögen eines Körpers.

Bei der Sichtweitenmessung wird ein bestimmter Teil der Lichtstreuung (innerhalb des Messbereichs Sample Volume) gemessen und daraus eine Abschätzung der gesamten Streulichtmenge hergeleitet. Die Streulichtmenge ist proportional zum Extinktionskoeffizienten.

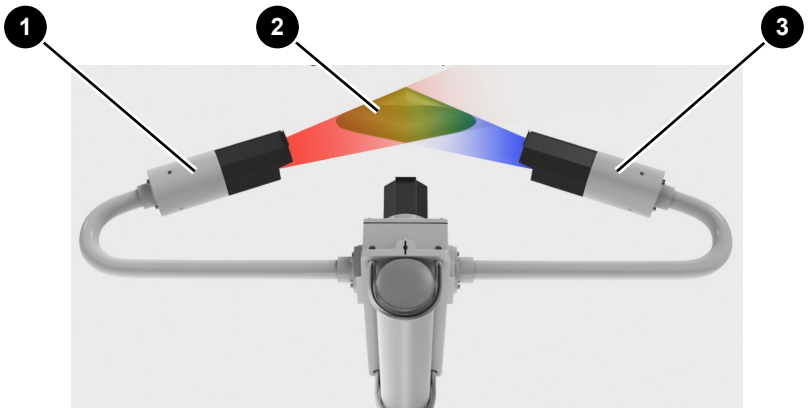


Abb. 1: Messbereich Sample Volume, bespielhafte Darstellung

1	Transmitter (mit Sensor)	2	Messbereich Sample Volume
3	Receiver (mit Sensor)		

Der Messbereich Sample Volume definiert sich aus der Schnittfläche des Transmitter- und des Receiverpfads (Infrarotlicht). Für Sichtweitenmessungen oder Niederschlagsberechnungen werden nur die in diesen Bereich eintretenden Partikel ausgewertet.

Freigabe: 2020-12-09 08:13

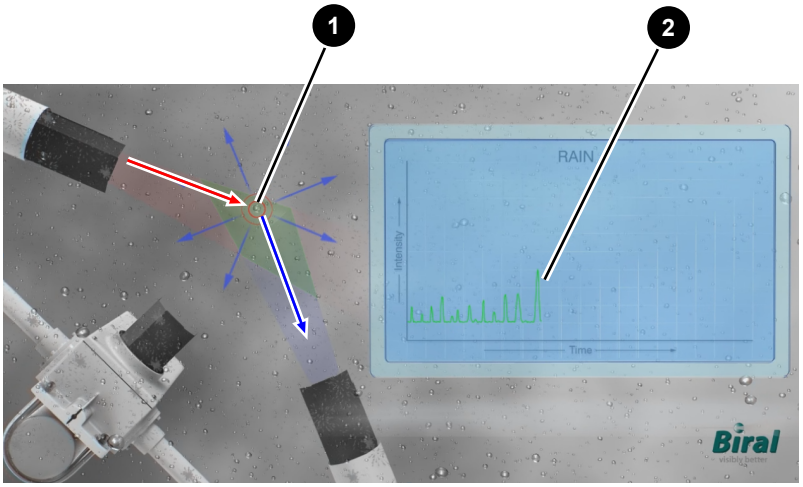


Abb. 2: Messbeispiel Regen

1	Partikel (Regentropfen)	2	Signalkurve
→	Infrarotlicht	→	Streuung/Lichtreflexionen

Der Transmitter überträgt Infrarotlicht. Durchqueren Partikel den Messbereich Sample Volume, streuen bzw. reflektieren sie dieses Licht zum Receiver. Je mehr Partikel den Messbereich durchqueren, desto stärker wird die Lichtstreuung und daraus resultierend auch das Signal. Gleichzeitig erhöht sich bei steigender Anzahl der Partikel auch der Extinktionskoeffizient, was nach obiger Formel eine geringere meteorologische Sichtweite bedeutet.

Das Sichtweitenmessgerät ist mit dem Steuerschrank der Befeuerung verbunden. Über diesen Steuerschrank erfolgt die Datenübertragung an das ENERCON SCADA Fernüberwachungssystem. Hier werden die Daten über die Sichtweiten ausgewertet und archiviert.

Weitere Informationen zum Befeuerungssystem für ENERCON Windenergieanlagen sind auf Anfrage verfügbar.

Freigabe: 2020-12-09 08:13

Leistungsbeschreibung Nachweisprüfung der standortbezogenen Erfüllung durch Baumusterprüfstelle (Standortbezogene Prüfung)

Datum: 26.05.2021

Revision: 02

Classification: Confidental

Inhaltsverzeichnis

Index 3

1 Einführung 3

2 Beschreibung - flugbetriebliche Vorprüfung 4

3 Beschreibung Nachweis der standortbezogenen Erfüllung 7

4 Zeithorizont/Fristen 8

5 Rahmenbedingungen / Pflichten des Auftraggebers (Betreibers) 9

6 Ausschlüsse 10

7 Haftung / Gewährleistung 11

Index

Revision	Änderungen	Autor	Datum	Geprüft
01	Ersterstellung	MKL	19.04.2021	USU
02	Aktualisierung als Vertragsanlage	LKL	26.05.2021	ARO

1 Einführung

Die Lanthan Safe Sky GmbH (LSS) erstellt standortbezogene Nachweise und Dokumentation für die Installation einer BNK am Auftraggeber-/Kunden-Standort. Die standortbezogenen Nachweise und Dokumentation der LSS werden einer Nachweisprüfung der standortbezogenen Erfüllung durch die Baumusterprüfstelle airsight unterzogen (Standortbezogene Prüfung; vgl. Nachweis über die standortbezogene Erfüllung der Anforderungen auf Basis der Prüfkriterien nach Anhang 6, Nummer 2 der AVV Kennzeichnung vom 24.04.2020)

Die hierfür durchzuführenden Arbeiten werden im Wesentlichen in zwei Stufen bearbeitet. In der ersten Stufe wird die generelle Zulässigkeit des BNK-Systems am Standort überprüft. Ist diese Zulässigkeit gegeben, wird in der zweiten Stufe die Nachweisprüfung der standortbezogenen Erfüllung durchgeführt.

2 Beschreibung - flugbetriebliche Vorprüfung

Die von der Baumusterprüfstelle airsight GmbH durchgeführte Prüfung zum Nachweis über die standortbezogene Erfüllung für die Ausstattung einer Windenergieanlage (WEA) bzw. eines Windparks mit einem System zur bedarfsgesteuerten Nachtkennzeichnung (BNK) sollen der Feststellung über die Zulässigkeit eines BNK-Systems am Standort dienen.

Die Vorprüfung unter flugbetrieblichen Aspekten des BNK-Standorts ist Bestandteil der notwendigen Prüfungen im Rahmen des Zulassungsverfahrens für die Ausstattung mit einem BNK-System. Die erste Stufe beinhaltet jedoch nicht die weiteren notwendigen Prüfungen des BNK-Systems zum Nachweis über die standortbezogene Erfüllung der systemspezifischen Prüfkriterien.

Die Kriterien der flugbetrieblichen Prüfung beinhalten insbesondere folgende luftverkehrsrelevanten Aspekte:

- Flugplätze und Hubschrauberlandeplätze
- Sichtflugverfahren
- Ein- und Ausflugkorridore
- sonstige Sichtflugstrecken oder -korridore
- militärisches Nachttiefflugsystem (NLFS)
- Kontrollierte Lufträume (bspw. Kontrollzonen)

Die Prüfkriterien bzw. Vorgehensweise wurden von der Baumusterprüfstelle airsight mit Landesluftfahrtbehörden, dem Bundesverkehrsministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), der Deutschen Flugsicherung (DFS) sowie der Bundeswehr diskutiert und abgestimmt.

airsight hat hierzu zahlreiche Gespräche u.a. mit den Landesluftfahrtbehörden geführt und steht im Austausch mit diesen. Die Vorgehensweise und die Prüfkriterien wurden nicht nur vorgestellt, sondern diskutiert und i.A. begrüßt.

Basis der flugbetrieblichen Vorprüfung sind die für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland veröffentlichten Luftfahrtdaten, bspw. gemäß Luftfahrthandbuch (AIP) sowie Public Interest Site (PIS) Masterliste des Luftfahrtbundesamtes, aber auch zusätzliche von den Landesluftfahrtbehörden bereitgestellte Informationen.

Im Rahmen der flugbetrieblichen Vorprüfung werden luftverkehrsrelevante Elemente in einem Umkreis von 20 km zur WEA bzw. zum Windpark untersucht. Diese Entfernung stellt sicher, dass alle relevanten Aspekte berücksichtigt werden können, und wurde mit den Landesluftfahrtbehörden abgestimmt.

Für die sich in der Umgebung befindlichen Flugplätze und Hubschrauberlandeplätze werden u.a. Hindernisschutzbereiche und Verfahrensschutzräume untersucht, bewertet und Abstandsregeln abgeleitet. Hierbei werden verschiedene nationale sowie internationale Kriterien angewendet

Hierbei werden die flugbetrieblichen Besonderheiten der Flugplätze und Hubschrauberlandeplätze im Einzelfall betrachtet. Dazu gehören u.a. die vor Ort zum Einsatz kommenden Luftfahrzeuge und Flugverkehre sowie die regulären und außerordentlichen Betriebszeiten.

Darüber hinaus wird die Luftraumstruktur untersucht. Auch wenn Lufträume kein generelles Kriterium für Zulässigkeit von BNK-Systemen darstellen, so können im Einzelfall Auflagen und/oder weiterführende Untersuchungen notwendig sein. So ist bspw. die Einbeziehung der Deutschen Flugsicherung (DFS) notwendig, sofern sich WEA im kontrollierten Luftraum befinden (bspw. Kontrollzonen). Dazu kann seitens der Baumusterprüfstelle eine gutachterliche Stellungnahme angefordert werden. Die DFS prüft in den kontrollierten Lufträumen – zusätzlich zu den flugbetrieblichen Prüfungen – flugsicherungsrelevante Aspekte, d.h. nicht akzeptable Beeinträchtigungen für den Handlungsspielraum des verantwortlichen Fluglotsen. Die Prüfergebnisse der DFS werden der zuständigen Landesluftfahrtbehörde sowie der Baumusterprüfstelle zur Verfügung gestellt und in den Prüfergebnissen der Stufe 1 berücksichtigt.

Sofern sich WEA an Standorten befinden, an denen Bedenken aus flugbetrieblicher Sicht zur Zulässigkeit eines BNK-Systems festgestellt werden, geht die Baumusterprüfstelle airsight proaktiv auf die zuständige Landesluftfahrtbehörde zu, um den Sachverhalt zu diskutieren. Es werden mögliche Mitigationsmaßnahmen erarbeitet und mit der Behörde abgestimmt.
Sofern es die jeweilige Landesluftfahrtbehörde verlangt, informiert die Baumusterprüfstelle airsight auch über alle sonstigen Prüfverfahren, d.h. auch über solche, an denen seitens der Baumusterprüfstelle airsight keine Bedenken festgestellt wurde.

Im Ergebnis wird von der Baumusterprüfstelle airsight eine Zusammenfassung mit den Prüfergebnissen der Vorprüfung als gutachterliche Stellungnahme bereitgestellt.

airsight erstellt gutachterliche Stellungnahmen. Eine rechtsverbindliche Feststellung kann hingegen nur die zuständige Behörde treffen – die Entscheidungshoheit obliegt immer den Behörden. Die gutachterliche Stellungnahme entlastet diese jedoch und dient als Entscheidungsgrundlage.
Ist die Zulässigkeit des Systems am Standort gegeben, wird im Anschluss die projektspezifische und Baumuster-konforme BNK-Integration am Standort in Bezug auf Anlagenkonfiguration, Systemleistung am Standort und lokale Gegebenheiten (Nachweis der Gesamtfunktionalität) geprüft.
Ergibt die erste Stufe, dass ein BNK-System am Standort nicht zulässig ist, wird das Projekt in Abstimmung der LSS mit dem Kunden (Auftraggeber, Windparkbetreiber) beendet, ohne die nächsten Schritte zu bearbeiten. Auf Basis der erstellten Dokumentation zur Vorprüfung kann der Betreiber der Windenergieanlagen eine Befreiung von der BNK-Pflicht bei der zuständigen Landesluftfahrtbehörde und der Bundesnetzagentur beantragen.

3 Beschreibung Nachweis der standortbezogenen Erfüllung

Für die Inbetriebnahme eines BNK-Systems ist gemäß AVV Kennzeichnung neben einer Baumusterprüfung auch der Nachweis einer standortbezogenen Erfüllung notwendig.
In der flugbetrieblichen Vorprüfung wird zusätzlich zur Zulässigkeit eines BNK-Systems am Standort die projektspezifische und Baumuster-konforme BNK-Integration am Standort in Bezug auf Anlagenkonfiguration, Systemleistung am Standort und lokale Gegebenheiten (Nachweis der Gesamtfunktionalität) geprüft.

Darüber hinaus werden die sogenannten systembezogenen Prüfkriterien der LSS geprüft, d.h. es wird sichergestellt, ob die LSS bei der Umsetzung des BNK-Systems am Standort alle Anforderungen bedacht und erfüllt hat. Hierbei ist vertiefte Systemkenntnis der Baumusterprüfstelle über das jeweilige BNK-System notwendig, um alle sicherheitsrelevanten Aspekte angemessen prüfen zu können.
Dabei ist ein wesentlicher Bestandteil der Prüfungen, dass die Auslegung des BNK-Systems die vollständige Erfassung des Wirkraums gewährleistet. Insofern werden orographische Analysen (bspw. Sichtfeldanalysen oder andere geeignete Methoden) durchgeführt und mit den Anforderungen der Luftfahrt gegenübergestellt und bewertet. Hierbei werden u.a. relevante Luftverkehrselemente (bspw. Flugplätze oder Hubschrauberlandeplätze bzw. -stellen) und Flugbetriebe (inkl. tiefffliegender Hubschrauber) berücksichtigt, wobei sich komplexe Abhängigkeiten in Bezug auf Lage, Entfernung und Höhenbereiche der Abschattungsbereiche sowie der Umgebung ergeben.
Die korrekte Planung der Abdeckung des Wirkraums unter Berücksichtigung von Abschattungseffekten (bspw. aufgrund der Topografie) ist maßgeblich für die Anzahl und Positionierung der Verkehrsempfänger, welche die in der Nähe befindlichen Luftfahrzeuge erfassen. Für die von der airsight baumustergeprüften BNK-Systeme mit lokalen Verkehrsempfängern (andere Beispiele sind BNK-Systeme, die ausschließlich mit Multilateration arbeiten) ist aus Sicht der Baumusterprüfstelle im Regelfall keine systematische Befliegung notwendig.

Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass auf Verlangen der zuständigen Landesluftfahrtbehörde im Einzelfall ein weiterführender Funktionstest verlangt wird. So könnte bspw. vom BNK-Hersteller gefordert werden, den Signal-Empfang an einem Flugplatz oder einem Hubschrauberlandeplatz im relevanten Wirkungsraum mit einem Test nachzuweisen.

Abschließend wird die ordnungsgemäße Funktionsfähigkeit des BNK-Systems inklusive der korrekten Einbindung in die Befeuerungsarchitektur des jeweiligen Windparks überprüft. Im Regelfall wird hierbei auf eine Befliegung des Standorts verzichtet (eine solche kann jedoch in Ausnahmefällen notwendig sein, bzw. von den Luftfahrtbehörden eingefordert werden). Stattdessen ist ein Testbetrieb (Probebetrieb) des BNK-Systems vorgesehen, bei dem die Hinderniskennzeichnung nachts noch nicht aktiv geschaltet wird. Über eine Auswertung von Log-Files kann sichergestellt werden, dass Luftfahrzeuge erkannt wurden und das System die Befeuerung an- und abgeschaltet hätte.
Die Prüfergebnisse der Nachweisprüfung der standortbezogenen Erfüllung werden von der Baumusterprüfstelle airsight als gutachterliche Stellungnahme bereitgestellt. Ergebnisse
Die folgenden Projektergebnisse werden im Rahmen der Stellungnahmen angefertigt:

- Prüfergebnisse der flugbetrieblichen Vorprüfung
- Genehmigungsdokumentation mit einer Zusammenfassung aller relevanten Inhalte zum Nachweis der standortbezogenen Erfüllung

Die Projektergebnisse werden in deutscher Sprache angefertigt, ggfs. unter Verwendung englischer Fachtermini.

4 Zeithorizont/Fristen

Die Bearbeitung des Projekts beginnt mit Erteilung des Auftrags bei Airsight durch Lanthan Safe Sky und erfolgt in der o.g. Reihenfolge der Arbeitsschritte/Arbeitspakete.

Die Leistungserbringung durch Airsight ist innerhalb von sechs Wochen pro Prüfstufe (erste bzw. zweite Stufe) nach Beauftragung und der vollständigen Bereitstellung der erforderlichen Daten (durch Betreiber bzw. durch Lanthan Safe Sky) eines Clusters möglich.
Es sei darauf hingewiesen, dass die Dauer der Leistungserbringung und eventuelle Verzögerungen von mehreren externen Faktoren abhängig ist (z.B. Zeitraum bis Vertragsunterzeichnung, Bereitstellung von Eingangsdaten durch den Auftraggeber, Abstimmung mit der zuständigen Landesluftfahrtbehörde oder Deutschen Flugsicherung, etc.). Eventuelle Verzögerungen durch o.g. Einflüsse werden an den Auftraggeber kommuniziert.

5 Rahmenbedingungen / Pflichten des Auftraggebers (Betreibers)

Die Bedingungen, insbesondere der vertraglich vereinbarte Preis für die standortbezogene Prüfung, gelten nur für die zwischen Auftraggeber und LSS vereinbarte Anzahl von Windenergieanlagen. Sollte sich die Anzahl der WEA verringern, so ist eine Anpassung der Preise notwendig.

Die Durchführung der o.g. Prüfungen und Erstellung von Dokumenten (Ergebnisse) basiert auf vom Auftraggeber übermittelte Eingangsdaten - von deren Richtigkeit ausgegangen wird. Sollten diese Daten und Informationen fehlerhaft oder unvollständig sein oder einen anderen Mangel aufweisen und zu Mehraufwand bei der Durchführung und Prüfung oder zu einer Überarbeitung von Ergebnissen führen, behalten wir uns vor, den entsprechenden Aufwand in Rechnung zu stellen.

Die Lanthan Safe Sky stellt dem Auftraggeber für die Eingangsdaten eine Excel-Liste zur Verfügung.

Bekannte luftfahrtrechtliche oder luftfahrtspezifische Aspekte (Besonderheiten/Auflagen), die im Rahmen der Genehmigung der Windenergieanlage benannt und schriftlich fixiert wurden, sind der Lanthan Safe Sky ebenfalls in schriftlicher Form (z.B. E-Mail) mitzuteilen.

Dies könnten bspw. sein:

- Angefertigte Aeronautical Studies / luftfahrttechnische Gutachten,
- Auflagen/Stellungnahmen/Diskussionen/Hinweise
    - der zuständigen Landesluftfahrtbehörde,
    - der Deutschen Flugsicherung (DFS),
    - des Bundesaufsichtsamts für Flugsicherung (BAF) oder
    - der Bundeswehr.

Die Durchführung der standortbezogenen Prüfung beginnt mit Erteilung des Auftrags. Bedingung hierfür und für die Anfertigung des Nachweises der standortbezogenen Erfüllung ist die Beauftragung oder Bestellung des Lanthan Safe Sky BNK Systems bzw. des zugehörigen Liefer- und Leistungsumfangs.
Für den erfolgreichen Abschluss besteht eine Mitwirkungspflicht des Auftraggebers bei Rückfragen.
Die Untersuchung wird in Formen von Ergebnissen dokumentiert, Nachweise werden vorgehalten und bei Bedarf den Landesluftfahrtbehörden und/oder dem BMVI übermittelt.

6 Ausschlüsse

Neben den aufgeführten Kosten können für den Auftraggeber externe Kosten im Rahmen der Änderungsanzeige (§15 BImSchG) oder Änderungsgenehmigung (§16 BImSchG) oder einem anderen Verfahren entstehen. Das mit den genannten Verfahren verbundene Ausfüllen von behördlichen Dokumenten in Papierform (z.B. Anträge) oder über dafür geeignete Internet-Portale ist, wie auch das Einreichen von Anträgen, der Änderungsanzeige oder Änderungsgenehmigung, nicht Bestandteil des Liefer- und Leistungsumfangs

Weiterführende Prüfungen können durch die zuständigen Landesluftfahrtbehörden eingefordert werden und sind nicht Umfang der Lieferungen und Leistungen der LSS.
Eine systematische Befliegung ist aus Sicht der Baumusterprüfstelle airsight für BNK-Systeme mit lokalen Verkehrsempfängern, wie das BNK-System der LSS, nicht notwendig und ist daher nicht Bestandteil des Liefer- und Leistungsumfangs.
Weiterführende Funktionstests (z.B. Nachweis mit einem Test des Signal-Empfangs an einem Flugplatz oder einem Hubschrauberlandeplatz im relevanten Wirkungsraum) sind auch nicht Bestandteil des Liefer- und Leistungsumfangs.
Werden diese weiterführenden Prüfungen bekannt (Bedarfsfall), teilt die LSS dies dem Auftraggeber mit.
Diese Leistungen werden im Bedarfsfall separat angeboten.

Vor-Ort-Termine sind nicht Bestandteil dieser Leistung.

7 Haftung / Gewährleistung

Die Haftung für eventuelle Schäden, für Mängelfolgeschäden, wie Betriebsunterbrechung und entgangener Gewinn ist ausgeschlossen. Dies gilt nicht, sofern der Systemanbieter den Schaden grob fahrlässig oder vorsätzlich zu vertreten hat, wenn er wesentliche Vertragspflichten verletzt oder bei Schäden aus der Verletzung des Lebens, des Körpers oder der Gesundheit, die auf einer fahrlässigen Pflichtverletzung des Systemanbieters oder vorsätzlichen oder fahrlässigen Pflichtverletzung seines gesetzlichen Vertreters oder Erfüllungsgehilfen beruhen. Wesentliche Vertragspflichten sind solche, deren Erfüllung die ordnungsgemäße Durchführung des Vertrages überhaupt erst ermöglichen und auf deren Einhaltung der andere Teil regelmäßig vertrauen darf.

Insgesamt ist die Haftung des Systemanbieters für diese Leistung, außer in den im vorgenannten Absatz genannten Fällen, auf 100% des für die standortbezogene Prüfung aufgerufenen Betrages begrenzt.

Ansprüche des Auftraggebers verjähren ein Jahr nach Abschluss der hier beschriebenen Leistungen und der Übergabe der Ergebnisse.

Windenergieanlagen werden anlagenspezifisch mit dem Grauton EC-F2, der RAL 7038 entspricht, oder mit dem Grauton EC-F3, der RAL 7035 entspricht, beschichtet. Für bestimmte Windenergieanlagentypen ist zudem der Farbton EC-F4, der RAL 9016 entspricht, verfügbar.

Tab. 1: Windenergieanlagentypen und Farbgebung

Windenergieanlagentyp	EC-F2 (RAL 7038) Grundfarbe	EC-F3 (RAL 7035) Grundfarbe	EC-F4 (RAL 9016) Sonderfarbe
EP1	x		
EP2	x		
E-115 EP3 E3		x	x (geplant)
E-115 EP3 E4		x	x (geplant)
E-126 EP3	x (optional)	x	x (geplant)
E-138 EP3	x		
E-138 EP3 E2		x	x (geplant)
E-138 EP3 E3		x	x (geplant)
EP5		x	x (geplant)

Glanzgrad

Der Glanzgrad der verwendeten Farbtöne in den Bereichen Rotorblatt, Gondel und Turm beträgt max. 30 ±10 Glanzeinheiten.

Gondelverkleidung

Je nach Baureihe kommen unterschiedliche Materialien und Ausführungen der Gondelverkleidung zum Einsatz. Bei der Ausführung mit glasfaserverstärktem Kunststoff wird die äußere Schicht der Gondelverkleidung in dem entsprechenden Farbton durchgefärbt gefertigt.

Bei Baureihen mit Aluminiumverkleidung können verschiedene Ausführungen zum Einsatz kommen. Entweder wird die Gondelverkleidung nicht beschichtet, sondern mit einem speziellen und umweltfreundlichen Verfahren behandelt. Der so entstehende Farbton unterscheidet sich kaum vom Grauton der anderen Komponenten. Oder die Aluminiumteile werden in dem entsprechenden Farbton außen beschichtet.

Wenn die Gondelverkleidung eine farbliche Kennzeichnung zur Flugsicherung erhalten soll, wird sie jedoch mindestens partiell mit dem geforderten Farbton beschichtet.

Korrosionsschutz

Bei der Außenbeschichtung am Stahlrohrturm, modularen Stahlturm, Hybrid-Stahlturm und der Stahlsektion am Hybridturm wird anlagenspezifisch die Korrosivitätskategorie C4 oder C5 erfüllt. Die Innenbeschichtung erfüllt mindestens die Anforderungen der Korrosivitätskategorie C3.

© ENERCON GmbH. Alle Rechte vorbehalten.

Freigabe: 2022-01-18 15:53

Technische Beschreibung

Befeuerung und farbliche Kennzeichnung

ENERCON Windenergieanlagen

ENERCON
ENERGIE FÜR DIE WELT

Freigabe: 14-Sep-2022 06:48

Herausgeber

ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Deutschland
Telefon: +49 4941 927-0 ▪ Telefax: +49 4941 927-109
E-Mail: info@enercon.de ▪ Internet: http://www.enercon.de
Geschäftsführer: Dr. Jürgen Zeschky, Dr. Martin Prillmann, Dr. Michael Jaxy
Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 411
Ust.Id.-Nr.: DE 181 977 360

Urheberrechtshinweis

Die Inhalte dieses Dokuments sind urheberrechtlich sowie hinsichtlich der sonstigen geistigen Eigentumsrechte durch nationale und internationale Gesetze und Verträge geschützt. Die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments liegen bei der ENERCON GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.

Die ENERCON GmbH räumt dem Verwender das Recht ein, zu Informationszwecken für den eigenen, rein unternehmensinternen Gebrauch Kopien und Abschriften dieses Dokuments zu erstellen; weitergehende Nutzungsrechte werden dem Verwender durch die Bereitstellung dieses Dokuments nicht eingeräumt. Jegliche sonstige Vervielfältigung, Veränderung, Verbreitung, Veröffentlichung, Weitergabe, Überlassung an Dritte und/oder Verwertung der Inhalte dieses Dokuments ist – auch auszugsweise – ohne vorherige, ausdrückliche und schriftliche Zustimmung der ENERCON GmbH untersagt, sofern und soweit nicht zwingende gesetzliche Vorschriften ein Solches gestatten.

Dem Verwender ist es untersagt, für das in diesem Dokument wiedergegebene Know-how oder Teile davon gewerbliche Schutzrechte gleich welcher Art anzumelden.

Sofern und soweit die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments nicht bei der ENERCON GmbH liegen, hat der Verwender die Nutzungsbestimmungen des jeweiligen Rechteinhabers zu beachten.

Geschützte Marken

Alle in diesem Dokument ggf. genannten Marken- und Warenzeichen sind geistiges Eigentum der jeweiligen eingetragenen Inhaber; die Bestimmungen des anwendbaren Kennzeichen- und Markenrechts gelten uneingeschränkt.

Änderungsvorbehalt

Die ENERCON GmbH behält sich vor, dieses Dokument und den darin beschriebenen Gegenstand jederzeit ohne Vorankündigung zu ändern, insbesondere zu verbessern und zu erweitern, sofern und soweit vertragliche Vereinbarungen oder gesetzliche Vorgaben dem nicht entgegenstehen.

Dokumentinformation

Dokument-ID	D0248364/15.1-de
Vermerk	Originaldokument

Datum	**Sprache**	**DCC**	**Werk / Abteilung**
2022-09-13	de	DB	WRD Wobben Research and Development GmbH / Technische Redaktion

Freigabe: 14-Sep-2022 06:48

Inhaltsverzeichnis

1 Allgemeines 5

2 Befeuerungsleuchten 6
2.1 Befeuerungsleuchten Gondel 6
2.2 Befeuerungsleuchten Turm 7

3 Befeuerungsmanagement 8

4 Farbliche Kennzeichnung 9

Freigabe: 14-Sep-2022 06:48

Abkürzungsverzeichnis

AVV	Allgemeine Verwaltungsvorschrift
ICAO	International Civil Aviation Organization (Internationale Zivilluftfahrtorganisation)
MOD	Ministry of Defence (Verteidigungsministerium des Vereinigten Königreichs)
STAC	Service technique de l'Aviation civile (technisches Zentrum der französischen Behörde für Zivilluftfahrt)
Traficom	Finnish Transport and Communications Agency

Freigabe: 14-Sep-2022 06:48

1 Allgemeines

Windenergieanlagen müssen abhängig von ihrer Höhe, ihrer exponierten Lage und den jeweils gültigen nationalen Vorschriften gegebenenfalls als Luftfahrthindernis gekennzeichnet werden.

Die Ausführung der Kennzeichnung richtet sich nach den vor Ort geltenden behördlichen Bestimmungen und kann durch Befeuerung und/oder farbliche Kennzeichnung realisiert werden.

ENERCON bietet Befeuerung an, die den Anforderungen der ICAO entspricht. Auch länderspezifische Vorschriften, wie die deutsche AVV zur Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen, die britischen Spezifikationen des MOD, die Spezifikationen der finnischen Behörde Traficom oder des französischen STAC werden berücksichtigt.

Freigabe: 14-Sep-2022 06:48

2 Befeuerungsleuchten

ENERCON bezieht zertifizierte Befeuerungsleuchten von Zulieferern. Eingesetzt werden ausschließlich Befeuerungsleuchten, bei denen die Abstrahlung nach unten mittels hochwertiger Optiken sehr stark reduziert ist und nur minimal über den geforderten Lichtstärken liegt. Als Leuchtmittel werden Leuchtdioden verwendet.

Die Befeuerungsleuchten werden über den Steuerschrank Befeuerung oder über die Steuerung der Windenergieanlage gesteuert.

Eine Stromversorgung bei Netzausfall ist gewährleistet. Je nach konfigurierter Befeuerung ist eine Notstromversorgung bis zu 24 h möglich; die jeweils geltenden nationalen Vorschriften zur Notstromversorgung werden erfüllt.

2.1 Befeuerungsleuchten Gondel

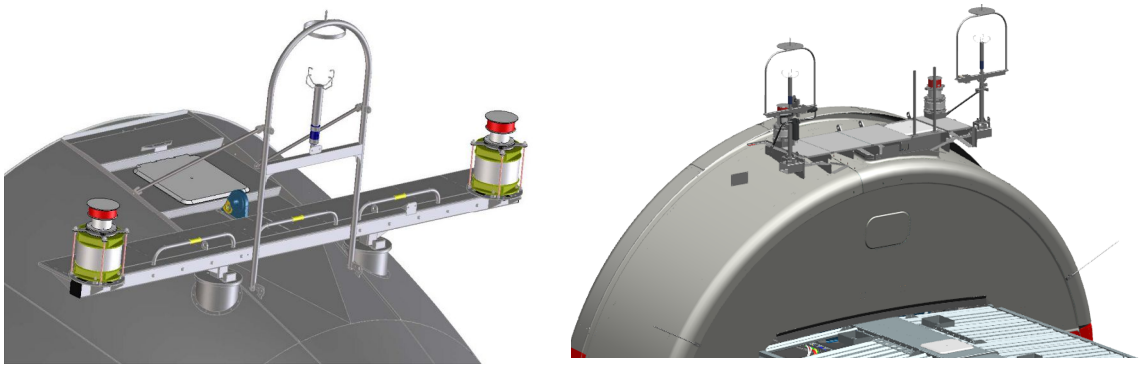


Abb. 1: Befeuerung auf der Gondel, beispielhafte Darstellung

Die Befeuerungsleuchten sind auf der Gondel der Windenergieanlage angebracht. Die Befeuerungsleuchten sind in der Regel doppelt ausgeführt, um aus keiner Richtung von einem Hindernis verdeckt werden zu können.

Die Befeuerungsleuchten auf der Gondel können als Hindernisfeuer oder Gefahrenfeuer ausgeführt sein.

Hindernisfeuer sind bei Nacht rot leuchtende Rundstrahl-Festfeuer mit einer mittleren Lichtstärke von mindestens 10 cd im horizontalen Strahlbereich (-2° bis +8°).

Gefahrenfeuer sind bei Nacht rot blinkende und bei Tag weiß blinkende Rundstrahler. Bei einer möglichen Gefährdung des Luftverkehrs müssen Gefahrenfeuer installiert werden.

Freigabe: 14-Sep-2022 06:48

2.2 Befeuerungsleuchten Turm

Abb. 2: Befeuerungsleuchte am Turm

Durch behördliche Vorschriften kann eine Befeuerung des Turms gefordert werden. Dazu wird der Turm mit einer, seltener mit zwei Befeuerungsebenen mit jeweils 4 Stableuchten ausgerüstet. Eine Nachrüstung von Befeuerungsleuchten am Turm ist nur mit sehr hohem Aufwand möglich.

Freigabe: 14-Sep-2022 06:48

3 Befeuerungsmanagement

Bei Windenergieanlagen der Plattform EP5 kann die technische Umsetzung der nachfolgend erläuterten Funktionen abweichen.

Bedarfsgerechte Nachtkennzeichnung

Die bedarfsgerechte Nachtkennzeichnung beschränkt die Lichtemission der Windenergieanlage auf jenen Zeitraum, in dem Luftfahrzeuge den sicherheitsrelevanten Bereich der Windenergieanlage durchqueren.

Parksynchronisation

Blinkende Gondelbefeuerungsleuchten von Windenergieanlagen können innerhalb eines Windparks zentral über einen Parkrechner synchronisiert werden. Mehrere Windparks können über ein GPS-System der einzelnen Parkrechner synchronisiert werden.

Mit der Parksynchronisation erfüllt ENERCON den Punkt 4 der Handlungsempfehlung des „Arbeitskreises Kennzeichnung des Bundesverbands WindEnergie e.V.“. Die Parksynchronisation der Befeuerung von ENERCON Windenergieanlagen und die Systeme anderer Windenergieanlagen-Hersteller sind kompatibel.

Sichtweitenmessung

Die Befeuerung einer Windenergieanlage kann mit einem Sichtweitenmessgerät und einer Lichtstärkenregelung ausgerüstet werden. Bei klarer Sicht wird die Lichtstärke der Befeuerung reduziert. Dadurch wird Energie eingespart und eventuelle Beeinträchtigungen der Umgebung durch die Befeuerung werden verringert. Eine Vernetzung der Sichtweitenmessgeräte an Windenergieanlagen in verschiedenen Windparks ist nicht möglich.

Fernüberwachung

Warn- und Störmeldungen der Befeuerung werden automatisch über das Fernüberwachungssystem erfasst. Überwacht werden der Ausfall der Versorgungsspannung, der Ausfall der Befeuerungsleuchten, der Ausfall der Akkumulatoren der Notstromversorgung sowie Störungen am Sichtweitenmessgerät oder am Ladegerät für die Akkumulatoren.

Meldung von Ausfällen der Befeuerung

Totalausfälle der Befeuerung, die nicht sofort behoben werden können, und deren Aufhebung müssen der zuständigen Luftfahrtstelle, in Deutschland der NOTAM-Zentrale der Deutschen Flugsicherung in Frankfurt/Main, bekannt gegeben werden.

Freigabe: 14-Sep-2022 06:48

4 Farbliche Kennzeichnung

Behördliche Vorschriften am jeweiligen Standort machen gegebenenfalls eine farbliche Kennzeichnung der Windenergieanlage erforderlich. Die farbliche Kennzeichnung dient der Kennzeichnung der Windenergieanlage am Tag. Sie kann mit Befeuerung kombiniert werden.

Die Ausführung der farblichen Kennzeichnung richtet sich nach den im Land oder in der Region geltenden Regelungen. In Deutschland kann die farbliche Kennzeichnung bei Windenergieanlagen in den Farben Achatgrau (RAL 7038) oder Lichtgrau (RAL 7035) mit einer verkehrsroten Kennzeichnung (RAL 3020) wie folgt realisiert werden:

Rotorblatt

Abb. 3: Farbliche Kennzeichnung am Rotorblatt, beispielhafte Darstellung

Zur farblichen Kennzeichnung werden 6 m breite Streifen an den Rotorblättern angebracht.

Gondel

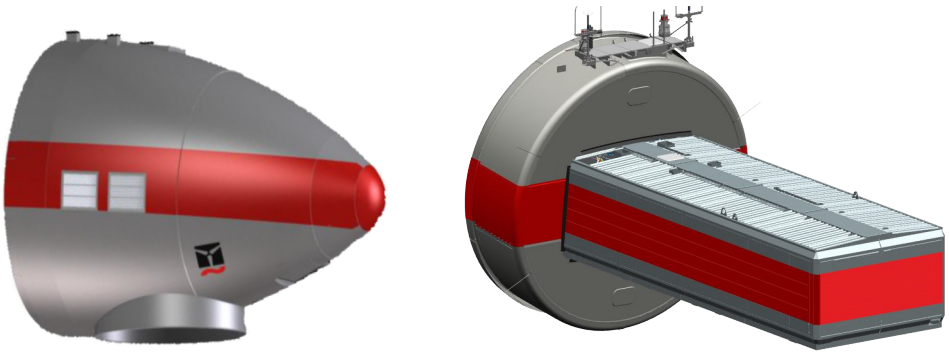


Abb. 4: Farbliche Kennzeichnung an der Gondel, beispielhafte Darstellung

Zur farblichen Kennzeichnung wird ein 2 m hoher, umlaufender Farbstreifen an der Gondel angebracht.

Freigabe: 14-Sep-2022 06:48

Turm

Abb. 5: Farbliche Kennzeichnung am Turm, beispielhafte Darstellung

Zur farblichen Kennzeichnung wird ein 3 m hoher Farbstreifen in 40 m ±5 m Höhe am Turm angebracht.

In anderen Ländern und Regionen werden gegebenenfalls andere farbliche Kennzeichnungen der Windenergieanlage gefordert. Informationen dazu sind auf Anfrage verfügbar.

Freigabe: 14-Sep-2022 06:48

Diesen Vordruck können Sie am Bildschirm ausfüllen und anschließend ausdrucken

Antrag auf luftverkehrsrechtliche Zustimmung gem. §§ 12 ff. LuftVG zur Errichtung eines Luftfahrthindernisses

Niedersächsische Landesbehörde
für Straßenbau und Verkehr
Geschäftsbereich Oldenburg
- Luftfahrtbehörde -
Kaiserstraße 27
26122 Oldenburg

FÜR VERSAND IM FENSTERUMSCHLAG (DIN LANG) AN DIESER LINIE FALTEN

Bitte beachten Sie beim Ausfüllen die Hinweise auf der Rückseite!

Bauvorhaben

Genaue Bezeichnung des Vorhabens
Errichtung einer Windenergieanlage

Typ Enercon E-138/EP3 E3

WEA 01 Verweyen

Standort Dornum

Antragsteller(in)[1]

Frau, Herr, Firma (genaue Bezeichnung des Unternehmens und Name des gesetzlichen Vertreters)	**Anschrift** (Straße, Nr., PLZ, Ort)	
Herr Theodor Verweyen	Westerstraße 16 26553 Dornum	
E-Mail th_verweyen@yahoo.de	**Telefon** 04933/9928203	**Fax**

Kostenschuldner(in)[2]

Frau, Herr, Firma (genaue Bezeichnung des Unternehmens und Name des gesetzlichen Vertreters)	**Anschrift** (Straße, Nr., PLZ, Ort)	
E-Mail	**Telefon**	**Fax**

Hindernisdaten

Hindernisart	**Standort**[3]
Windenergieanlage Enercon E-138/EP3 E3	Gemarkung Dornum Flur 5 Flurstück 85/1
Zeitraum[4] von 01.07.2024	bis 31.12.2049

☒ **permanent** ☐ **temporär** ☐ **unbekannt** (bitte Zutreffendes ankreuzen)

Koordinaten (Messung mit WGS 84)

Höhe über NN[5]	**Höhe über Grund**[6]	**Bemerkungen**[9]		
182,2	179,2			
Gemarkung	**Flur**	**Flurstück**	Nord[7]	Ost[8]
Dornum	5	85/1	53° 38` 17,2428"	07° 25` 10,2828"

Ort, Datum, Unterschrift
Rastede 13.12.2023

Anlagen

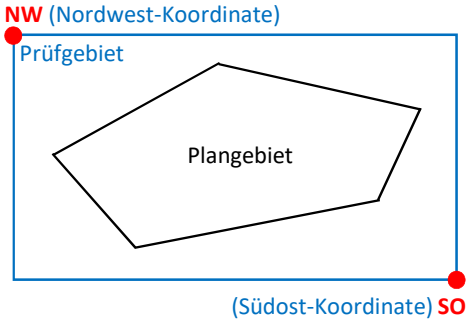
	Übersichtsplan
	Baubeschreibung
	Informationen über den/die zum Einsatz kommenden Kran/Kräne (falls vorhanden)

P10Z NLStBV SOL SG14 §§12ff LuftVG 03.2013x

Bundesnetzagentur

Formular Richtfunk-Bauleitplanung

1. Angaben zur Lage des Prüfgebietes



Sie definieren ein **Prüfgebiet** um Ihr Plangebiet in Form eines **Rechtecks** welches durch **zwei Koordinatenpunkte (NW; SO)** aufgespannt wird.
Bei fehlenden oder unvollständigen Gebiets-Koordinaten kann keine Prüfung durchgeführt werden!

Koordinaten können in einem von drei Formaten angegeben werden:

- UTM ETRS89 / WGS84
- WGS84 Grad, Min., Sek.
- WGS84 Dezimalgrad

	UTM			WGS84 Grad, Min. Sek.						WGS84 Dezimalgrad	
	Z Zone	**E / O Rechtsw.**	**N Hochwert**	**E / O Länge (Long.) Grad°**	**Min'**	**Sekunde"**	**N Breite (Lat.) Grad°**	**Min'**	**Sekunde"**	**E / O Länge Dezimalgrad**	**N Breite Dezimalgrad**
Bsp.:	33	392081	5820156	13	24	33,91	52	31	14,93	13,409419	52,520815
NW:				7	25	10,28	53	38	17,24		
SO:						,			,		

Für Trassenkorridore von Hochspannungsfreileitungen stellen Sie bitte SHAPE-Dateien in einer der folgenden Projektionen zur Verfügung: **EPSG: 25832 / 32632 / 4326**

2. Angaben zum Maß der baulichen Nutzung

- Maximale Bauwerkshöhe über Erdboden inkl. der Überschreitungen in Meter: 179,5
- ggf. Anzahl der Vollgeschosse als Höchstmaß:

3. Adressdaten des Baugebietes / Plangebietes

Straße / Nr.: [1] Flur 5, Flurstück 85/1
PLZ / Ort: 26553 Dornum
Gemeinde: Dornum
Gemarkung / OT: Dornum
Landkreis: Aurich

4. Art der Bauplanung bzw. des Vorhabens

- ☐ Bebauungsplan
- ☐ Photovoltaikanlagen > 200 qm
- ☐ Regionalplan / Raumordnungsplan
- ☐ Flächennutzungsplan
- ☐ Hochspannungsfreileitungen
- ☐ Teilregionalplan
- ☑ Windenergieanlagen
- ☐ Landschafts-/ Naturschutzgebiet
- ☐ Leitungs- bzw. Medienabfrage
- ☐ Masten
- ☐ Entwicklungsplan /-Programm
- ☐ Planfeststellungsverfahren
- ☐ Sonstiges:

Planungsbezeichnung: WEA Verweyen WEA 01
Aktenzeichen: [1] IV-60-07-2921/2023
BNetzA-Vorgangsnr.: [1]

5. Auskunftersuchende*r

Behörde / Firma: Theodor Verweyen
Straße / Nr.: Westerstraße 16
PLZ / Ort: 26553 Dornum
Land: Deutschland

6. Ansprechpartner*in

Vorname: Frank
Nachname: Janßen
E-Mail: janssen@rasteder-projektierung.de
Telefon: 0172/6318228

7. Zusätzliche erforderliche Unterlagen

- Topografische Karte bzw. Lageplan des Baugebietes mit Orientierungspunkten — ☑ ist dem Formular als Anlage beigefügt
- SHAPE-Dateien **(nur für Trassenkorridore von Hochspannungsfreileitungen)** — ☐ sind dem Formular als Anlage beigefügt

Anforderungen SHAPE-Dateien:
- Folgende EPSG konformen Projektionen sind zulässig:
  EPSG: 25832 (UTM Zone 32N, ETRS89 Ellipsoid)
  EPSG: 32632 (UTM Zone 32N, WGS84 Ellipsoid)
  EPSG: 4326 (WGS84)

8. Kontaktadresse Bundesnetzagentur

Bitte richten Sie Ihre Bauleitplanungsanfragen ausschließlich elektronisch an folgende E-Mail-Adresse:

richtfunk.bauleitplanung@bnetza.de

Weitere Informationen zur Bauleitplanung im Zusammenhang mit Richtfunkstrecken stehen Ihnen auf der Internetseite der Bundesnetzagentur zur Verfügung:

https://www.Bundesnetzagentur.de/bauleitplanung

Datenschutzhinweis:
Der Schutz Ihrer Daten ist uns wichtig. Nähere Informationen zum Umgang mit personenbezogenen Daten in der BNetzA können Sie der Datenschutzerklärung https://www.bundesnetzagentur.de/Datenschutz entnehmen. Sollte Ihnen ein Abruf der Datenschutzerklärung nicht möglich sein, kann Ihnen diese auch in Textform übermittelt werden.

16.1.8 Abstände / Erschließung (pro Anlage aus 16.1.1 ein Formblatt 16.1.8)

Anlagebezeichnung aus Fbl. 16.1.1	WEA 01			
Anlagentyp	Antragsteller	ETRS 89/UTM Koordinaten	Ostwert	Nordwert
Enercon E-138/EP 3 E3	Theodor Verweyen		32395507	5944421

Anlagenstandort

Gemeinde	Gemarkung	Flur	Flurstück	Grundstückeigentümer Name, Vorname	Zustimmung
Dornum	Dornum	5	85/1		

Abstand nach LBauO

					☐

Erschließung

Dornum	Dornum	1	77/4	WP Georgshof GmbH & Co. KG	☐
Dornum	Dornum	1	76/3	WP Georgshof GmbH & Co. KG	☐
Dornum	Dornum	1	95/19	Gemeinde Dornum	☐
Dornum	Dornum	5	105/1	Gemeinde Dornum	☐
Dornum	Dornum	5	88/2	Gemeinde Dornum	☐
Dornum	Dornum	5	105/2	Gemeinde Dornum	☐
Dornum	Dornum	5	198/105	Gemeinde Dornum	☐
Dornum	Dornum	5	105/8	Gemeinde Dornum	☐
Dornum	Dornum	5	85/1	Theo u. Berta Verweyen	☐

Gewässerquerung

Dornum	Dornum	6	19/2 - 105/3	Verweyen, Theodor u. Berta	☐

Rückzubauende Anlage (Repowering)

1.

Anlagentyp	E-40	ETRS 89/UTM Koordinaten				Genehmigung				Zustimmung
Betreiber	Theo Verweyen	Ostwert	32395351	Nordwert	5944439	Datum		AZ.:		
Gemeinde	Dornum	Gemarkung	Dornum	Flur	5	Flurstücke	174/87			☐

Anlagen:

- Nutzungsvertrag T. Verweyen S.1 + 12_Us.pdf

NUTZUNGSVERTRAG

zur Errichtung von Windkraftanlagen

zwischen Theodor Verweyen, Westerstraße 16, 26553 Dornum

nachstehend **"Grundeigentümer"** genannt, und der

Windkraft Verweyen GmbH & Co. KG

Westerstraße 16, 26553 Dornum

vertreten durch die Geschäftsführer Theodor Verweyen und Wilhelm Verweyen

nachstehend **"Anlagenbetreiber"** genannt.

PRÄAMBEL

Der Anlagenbetreiber beabsichtigt für die von ihm betriebene Hofanlage Verweyen am Standort Georgshof ein Repowering unter Inanspruchnahme von Flächen des Grundeigentümers entsprechend den öffentlich - rechtlichen Vorschriften, Genehmigungen und sonstigen Vorgaben und plant hierzu den Aufbau und den Betrieb einer neuen und leistungsstärkeren Anlage einschließlich der erforderlichen Zuwegung.

Er überplant die für das Repowering zur Verfügung stehende Fläche so, dass unter Einbeziehung aller geltenden Rahmenbedingungen ein optimaler Windertrag erwirtschaftet werden kann.

Der Grundeigentümer gestattet dem Anlagenbetreiber oder einer von diesem benannten weiteren Gesellschaft die Benutzung seiner Grundflächen für diesen Zweck im Rahmen und nach Maßgabe der folgenden Bestimmungen:

§ 13 Rechtsnachfolger / Übertragung auf Dritte

Der Anlagenbetreiber kann seine Rechte und Pflichten aus diesem Vertrag ganz oder teilweise auf einen Dritten übertragen und durch diesen die Windkraftanlage betreiben lassen, wenn der Dritte durch schriftliche Erklärungen gegenüber dem Grundeigentümer die vom Anlagenbetreiber in § 5 dieses Vertrages eingegangene Schadensersatzverpflichtung sowie die Zahlung des Nutzungsentgeltes gemäß § 6 als eigene Verpflichtung anerkennt und zugleich in gleicher Weise die Verpflichtung eingeht, für die Beseitigung der Windkraftanlage und der Zuwegung durch den Anlagenbetreiber nach Vertragsablauf einzustehen. Der Grundeigentümer stimmt bereits heute dem Eintritt einer oder mehrerer noch zu benennender Kommanditgesellschaften, die die Windkraftanlage betreiben und alle Rechte und Pflichten dieses Vertrages übernehmen, zu.

§ 14 Schlußbestimmungen

Nebenabreden zu diesem Vertrag sind nicht geschlossen. Änderungen und Ergänzungen des Vertrages bedürfen zu ihrer Wirksamkeit der Schriftform im Sinne des § 127 BGB. Dies gilt auch für eine Abbedingung der Schriftformklausel.

Sollten einzelne Bestimmungen dieses Vertrages ganz oder teilweise gegen zwingendes Recht verstoßen oder aus anderen Gründen unwirksam sein oder werden, so bleibt die Wirksamkeit der übrigen Bestimmungen hiervon unberührt; die Vertragsparteien sind jedoch verpflichtet, die unwirksame Bestimmung durch eine andere, dem Sinn und Zweck des Vertrages entsprechende Vertragsbestimmung zu ersetzen.

Windkraft Verweyen GmbH & Co. KG	Der / die Grundeigentümer / - in
Dornum, den 15.8.24	Dornum, den 15.08.24
-Geschäftsführung-	- Grundeigentümer-

Anlage: Flurkartenauszug

16.1.9 Daten der beantragten Anlage / Daten der Anlagen im Windpark

Betriebsinterne Bezeichnung der Anlage	Bezeichnung des Windparks/ Konzentrations-zone	WEA-Hersteller	WEA-Typ	Serie/ Seriennummer	Narbenhöhe (m)	Rotordurch-messer (m)	Gesamthöhe (m)	Leistung (MW)	BNK-Funktionsart
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
WEA 01 Verweyen	WEA Verweyen	Enercon	E-138/EP3 E3		111	69	180	4260	

16.1.10 Oktav-Schallleistungspegel (SLP) der beantragten Anlage / der Anlagen im Windpark

Betriebsinterne Bezeichnung der Anlage	Betriebs-modus	Rotor-umdrehung (1/min)	63 Hz (db [A])	125 Hz (db [A])	250 Hz (db [A])	500 Hz (db [A])	1000 Hz (db [A])	2000 Hz (db [A])	4000 Hz (db [A])	8000 Hz (db [A])	Gesamtschall-leistungspegel (db [A])
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
WEA 01	tags	12,5	83,7	85,6	86,4	89,3	93,4	95,6	83,6	68,9	99