

3 Bauvorlagen

3.1 Antragsformular für den baulichen Teil

Bauantrag

Flurstückliste - siehe Kapitel 1.1

Nachweis der Bauvorlagenberechtigung

3.2 Lagepläne – Siehe Kapitel 2

3.3 Bauzeichnungen

Übersichtszeichnung E-138 EP3 E3 NH 160

Gondelschnitt E-138 EP3 E3 NH 160

3.4 Baubeschreibung

Formular Baubeschreibung

Formular Betriebsbeschreibung gewerbliche Anlagen

3.5 Nachweis der Standsicherheit

Gutachten zur Standorteignung

Ingenieurgeologisches Gutachten

Hinweis: Typenprüfung

3.6 Berechnungen und Angaben zur Kostenermittlung

Herstellkosten E-138 EP 3 E3 NH = 160 m

Gesamtinvestitionskosten

3.7 Brandschutz

Standortbezogenes Brandschutzkonzept

Technische Beschreibung Brandschutz ENERCON WEA EP1-3

Allgemeines Brandschutzkonzept E-138 EP3 E3 NH= 160 m

Ergänzung zum allgemeinen Brandschutzkonzept ENERCON WEA

3.1 Antragsformular für den baulichen Teil

Bauantrag

Flurstückliste - siehe Kapitel 1.1

Nachweis der Bauvorlagenberechtigung

An die untere Bauaufsichtsbehörde		Eingangsstempel der Bauaufsichtsbehörde	
PLZ, Ort		Aktenzeichen	
<input checked="" type="checkbox"/> Bauantrag <input type="checkbox"/> Antrag auf Vorbescheid		Vereinfachtes Baugenehmigungsverfahren § 64 BauO NRW 2018	
Bauherrschaft (§ 53 BauO NRW 2018)		Entwurfsverfassende (§ 54 Absatz 1 BauO NRW 2018)	
Name, Vorname, Firma Alterric Deutschland GmbH		Name, Vorname, Büro [REDACTED]	
Straße, Hausnummer Holzweg 87		Straße, Hausnummer [REDACTED]	
PLZ, Ort 26605 Aurich		PLZ, Ort [REDACTED]	
vertreten durch: (§ 53 Absatz 3 BauO NRW 2018) Name, Vorname, Anschrift ÖKOTEC Windenergie GmbH Riebe, Jacqueline; Geschäftsführerin Schillerstr. 3; 10625 Berlin		bauvorlageberechtigt*: (§ 67 Absatz 3, 4a BauO NRW 2018) Name, Vorname [REDACTED] Mitgliedsnummer der Architekten- oder der Ingenieurkammer des Landes, Nummer im Verzeichnis der eingeschränkt Bauvorlageberechtigten Siehe Bauvorlageberechtigung	
Telefon (mit Vorwahl) [REDACTED]	Telefax [REDACTED]	Telefon (mit Vorwahl) [REDACTED]	Telefax [REDACTED]
E-Mail [REDACTED]		E-Mail [REDACTED]	
Baugrundstück			
Ort, Straße, Hausnummer, gegebenenfalls Ortsteil Brilon (Außenbereich)			
Gemarkung(en) Alme	Flur(e) 19	Flurstück(e) 3, 21	
Gebäudeklassen (§ 2 Absatz 3 BauO NRW 2018): 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Sonstige bauliche Anlage <input checked="" type="checkbox"/>			
<input type="checkbox"/> Wohngebäude		<input type="checkbox"/> Sonderbau (auch Nicht-Wohngebäude, nicht § 50 Absatz 2 BauO NRW 2018)	
<input checked="" type="checkbox"/> Sonderbau gemäß § 64 Absatz 2 BauO NRW 2018			
Bezeichnung des Vorhabens (Errichtung, Änderung, Nutzungsänderung gemäß § 60 BauO NRW 2018)			
Errichtung und Betrieb von zwei Windenergieanlagen des Typs ENERCON E-138 EP5 E3 R1 mit 160 m Nabenhöhe			
Das Bauvorhaben bedarf einer <input type="checkbox"/> Ausnahme (§ 31 Absatz 1 BauGB) <input type="checkbox"/> Befreiung (§31 Absatz 2 BauGB) <input type="checkbox"/> Abweichung (§ 69 BauO NRW 2018)			
Hinweis: Der Antrag ist hinreichend bestimmt auf separater Anlage zu begründen. <input type="checkbox"/> Es liegt eine Abweichung (§ 69 Absatz 1a BauO NRW 2018) vor (Bescheinigung durch Sachverständige/n für die Prüfung des Brandschutzes/der Standsicherheit).			
Bei Vorbescheid (§ 77 BauO NRW 2018)			
planungsrechtliche Zulässigkeit <input type="checkbox"/>		bauordnungsrechtliche Zulässigkeit <input type="checkbox"/>	
Fragestellung:			
Bindungen zur Beurteilung des Vorhabens		Bescheid vom	erteilt von (Behörde)
<input type="checkbox"/> Vorbescheid			
<input type="checkbox"/> Teilungsgenehmigung			
<input type="checkbox"/> Befreiungs-/Abweichungsbescheid			
<input type="checkbox"/> Baulast Nr.			
<input type="checkbox"/> Denkmalrechtliche Erlaubnis			
<input type="checkbox"/>			
Fortsetzung Blatt 2			

Die erforderlichen Bauvorlagen sind beigefügt:

(einem Antrag auf Vorbescheid sind nur die für die Klärung der Fragestellung erforderlichen Unterlagen beizufügen)

1. ☒ 3-fach Lageplan/amtlicher Lageplan (§ 3 BauPrüfVO; Anforderungen an Planersteller/in sind zu beachten)
2. ☐ 3-fach Berechnung des Maßes der baulichen Nutzung (§ 3 Absatz 2 BauPrüfVO)
(nur im Bereich eines Bebauungsplans oder einer Satzung nach BauGB)
3. ☐ 3-fach Beglaubigter Auszug aus der Flurkarte (§ 2 Absatz 2 BauPrüfVO)
(nur bei Vorhaben nach den §§ 34 oder 35 BauGB; Auszug nicht erforderlich bei Vorlage eines amtlichen Lageplanes)
4. ☒ 3-fach Auszug aus der amtlichen Basiskarte 1 : 5 000 (§ 2 Absatz 3 BauPrüfVO)
(nur bei Vorhaben nach den §§ 34 oder 35 BauGB)
5. ☒ 3-fach Bauzeichnungen (§ 4 BauPrüfVO)
6. ☒ 3-fach Baubeschreibung auf amtlichem Vordruck (§ 5 Absatz 1 BauPrüfVO)
- 7.1 ☐ 2-fach Bei Gebäuden: Berechnung des umbauten Raumes nach DIN 277 (§ 6 Nummer 1 BauPrüfVO) oder
- 7.2 ☐ 2-fach Bei Gebäuden, für die landesdurchschnittliche Rohbauwerte je m³ Bruttorauminhalt nicht festgelegt sind, die Berechnung der Rohbaukosten einschließlich Umsatzsteuer (§ 6 Nummer 1 BauPrüfVO)
- 7.3 ☐ Bei der Änderung von Gebäuden oder bei baulichen Anlagen, die nicht Gebäude sind, ist die voraussichtliche Herstellungssumme einschließlich Umsatzsteuer gemäß Tarifstelle 3.1.1.3 AVerwGebO NRW zwingend aufzuführen.

Herstellungssumme:

Zusätzliche Bauvorlagen für Sonderbauten, die nicht in § 50 Absatz 2 BauO NRW 2018 aufgeführt sind

8. ☒ 3-fach Betriebsbeschreibung für gewerbliche oder landwirtschaftliche Betriebe auf amtlichem Vordruck (§ 5 Absatz 2 oder 3 BauPrüfVO)
9. ☒ 3-fach zusätzliche Angaben und Bauvorlagen für besondere Vorhaben (§ 12 BauPrüfVO)
(z.B. Brandschutzkonzept für Anlagen gemäß § 64 Absatz 2 BauO NRW)

Vor Erteilung der Baugenehmigung wird gemäß § 68 Absatz 2 Satz 1 BauO NRW 2018 eingereicht:

10. ☐ 2-fach die Bescheinigung einer sachverständigen Person, dass das Vorhaben den Anforderungen an den Brandschutz entspricht (gilt für Wohngebäude der Gebäudeklasse 4 und 5, für Nicht-Wohngebäude der Gebäudeklasse 3 bis 5 sowie Garagen mit einer Nutzfläche von mehr als 100 m² bis 1000 m²)

Spätestens mit Anzeige des Baubeginns wird gemäß § 68 Absatz 2 Satz 2 BauO NRW 2018 eingereicht:

- 11.1 ☐ 2-fach Bescheinigung zusammen mit dem Nachweis des Schallschutzes, soweit erforderlich aufgestellt oder geprüft durch eine/einen staatlich anerkannte/n Sachverständige/n
- ☐ 2-fach Bescheinigung zusammen mit dem Nachweis des Wärmeschutzes, soweit erforderlich aufgestellt oder geprüft durch eine/einen staatlich anerkannte/n Sachverständige/n
- ☒ 2-fach Bescheinigung zusammen mit dem Nachweis der Standsicherheit, soweit erforderlich geprüft durch eine/einen staatlich anerkannte/n Sachverständige/n
- 11.2 Abweichend von den Nrn. 10, 11.1 wird - soweit erforderlich - eine Prüfung durch die Bauaufsichtsbehörde beantragt für:
 - ☐ den Nachweis des Schallschutzes
 - ☐ den Nachweis des Wärmeschutzes
 - ☐ den Nachweis der Standsicherheit
 - ☐ den Nachweis des Brandschutzes

12. ☐ Erhebungsbogen für die Baustatistik gemäß Hochbaustatistikgesetz

13. ☒ Angaben zum Artenschutz gemäß § 44 BNatSchG

14. ☐ Erklärung der/des Entwurfsverfassenden bei Vorhaben gemäß § 68 Absatz 4 Satz 2 BauO NRW 2018):
Ich erkläre hiermit, dass das Vorhaben den Anforderungen an den Brandschutz entspricht.

Ort, Datum

Berlin

Ort, Datum

Berlin

Für die Bauherrschaft:

Die/Der bauvorlageberechtigte* Entwurfsverfassende:

Unterschrift**

Unterschrift**

*Nur Bauvorlagen für die nicht verfahrensfreie Errichtung und Änderung von Gebäuden müssen von einer/einem bauvorlageberechtigten Entwurfsverfassenden erstellt worden sein (§ 67 Absatz 1 BauO NRW 2018). Für die Gebäudeklassen 1 und 2 ist eine eingeschränkte Bauvorlageberechtigung gemäß § 67 Absatz 4a BauO NRW 2018 ausreichend. In den Fällen des § 67 Absatz 2 BauO NRW 2018 ist eine Bauvorlageberechtigung nicht erforderlich.

**Angesichts des Wegfalls des gesetzlichen Schriftformerfordernisses müssen die Vordrucke nicht unterschrieben werden. Die Unterschriftsfelder tragen lediglich dem Umstand Rechnung, dass vielfach der Wunsch besteht, Anträge unterschreiben zu können, auch wenn dies nicht mehr gesetzlich vorgeschrieben ist.

BAUKAMMER BERLIN

Körperschaft des öffentlichen Rechts

BESCHEINIGUNG

Herrn Dipl.-Ing. [REDACTED]

geboren am [REDACTED]

wird hiermit bescheinigt, dass er
nach § 66 Absatz 2 Nr. 2 der Bauordnung für Berlin in die
von der Baukammer Berlin geführte

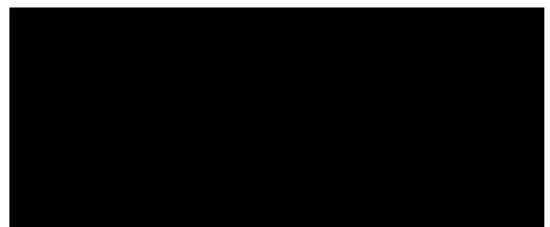
Liste der Bauvorlageberechtigten

am 08.01.2007

eingetragen wurde.



Berlin, den 09.01.2007

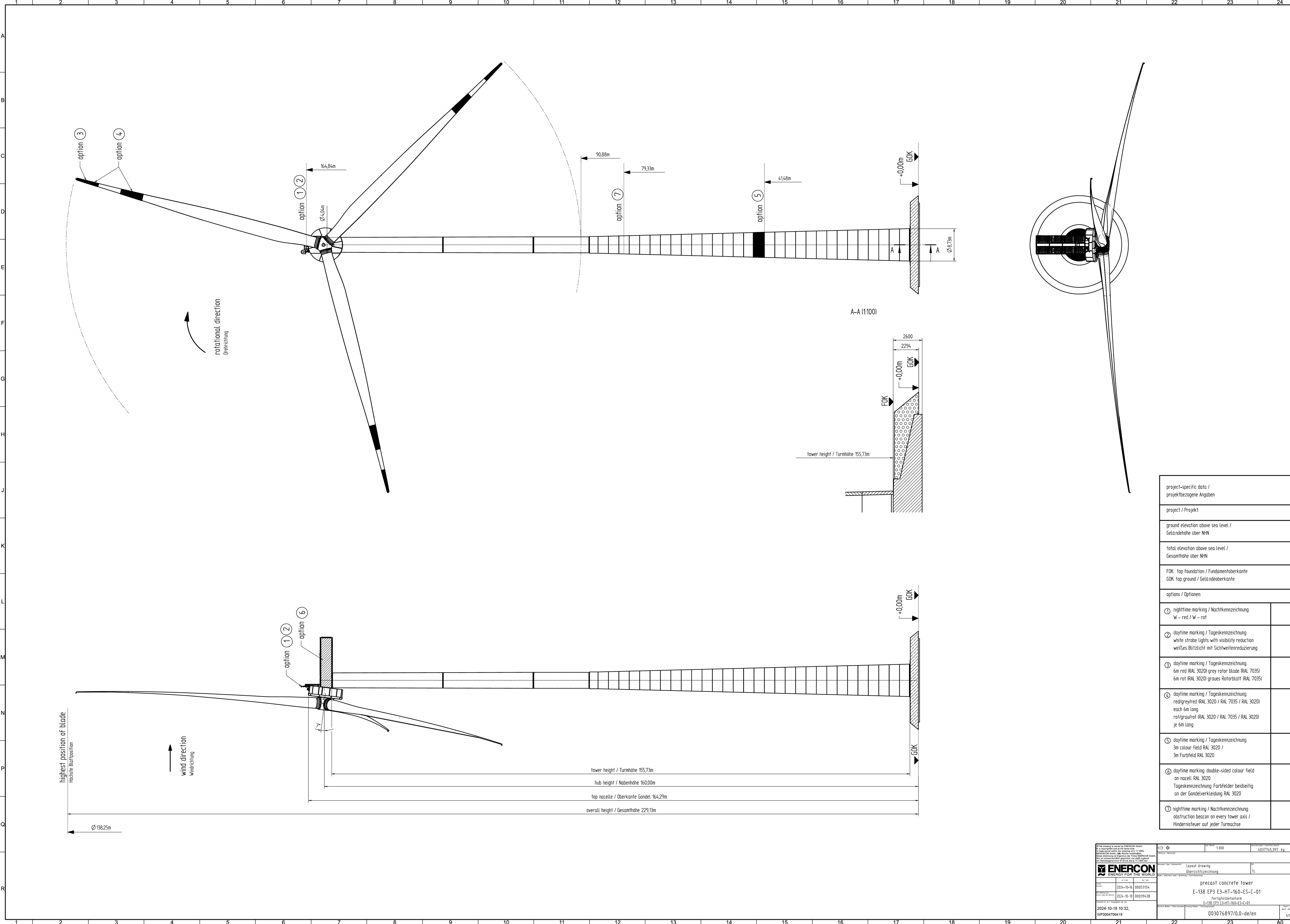


Der Ausschussvorsitzende


3.3 Bauzeichnungen

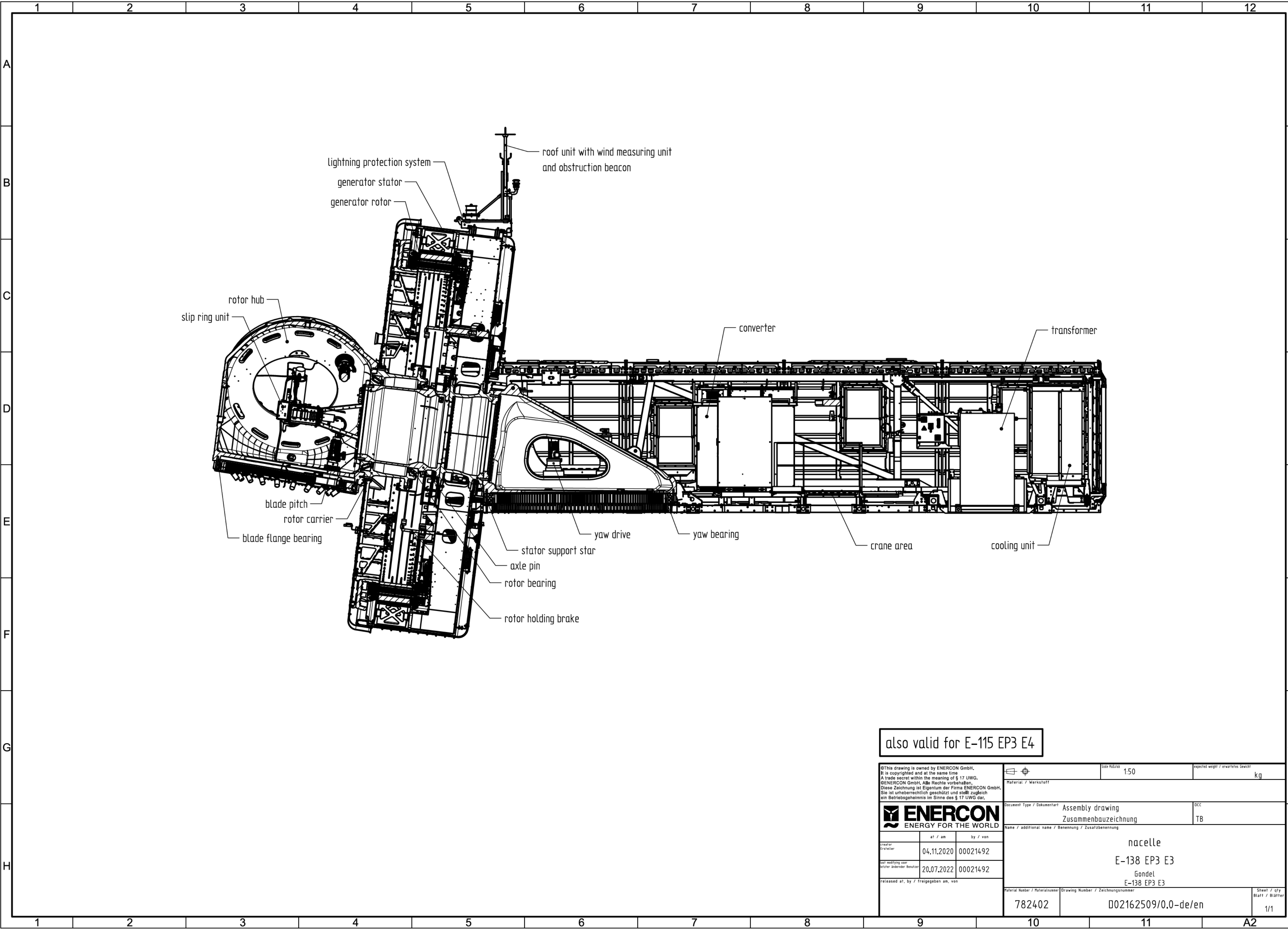
Übersichtszeichnung E-138 EP3 E3 NH 60

Gondelschnitt E-138 EP3 E3 NH 160




project-specific data / projektbezogene Angaben	
project / Projekt	
ground elevation above sea level / Geländehöhe über NNH	
total elevation above sea level / Gesamthöhe über NNH	
FOK: top foundation / Fundamentoberkante GOK: top ground / Geländeoberkante	
options / Optionen	
① nighttime marking / Nachtkennzeichnung W - red / W - rot	
② daytime marking / Tageskennzeichnung white strobe lights with visibility reduction weißes Blitzlicht mit Sichtweitenreduzierung	
③ daytime marking / Tageskennzeichnung 6m red IRAL 3020I grey rotor blade (RAL 7035) 6m rot (RAL 3020I) graues Rotorblatt (RAL 7035)	
④ daytime marking / Tageskennzeichnung red/grey/red IRAL 3020 / RAL 7035 / RAL 3020I each 6m long rot/grau/rot IRAL 3020 / RAL 7035 / RAL 3020I je 6m lang	
⑤ daytime marking / Tageskennzeichnung 3m colour field RAL 3020 / 3m Farbfeld RAL 3020	
⑥ daytime marking double-sided colour field on nacell RAL 3020 Tageskennzeichnung: Farbfelder beidseitig an der Gondelverkleidung RAL 3020	
⑦ nighttime marking / Nachtkennzeichnung obstruction beacon on every tower axis / Hindernisleuchte auf jeder Turmchse	

© All rights reserved by ENERCON GmbH. Alle Rechte vorbehalten. This drawing is the property of ENERCON GmbH. Diese Zeichnung ist Eigentum der Firma ENERCON GmbH. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.		Scale: 1:300	Weight: 4037745.397 kg
 ENERCON ENERGY FOR THE WORLD		Project (or reference): Layout drawing Übersichtszeichnung	Rev: TL
Date: 2024-10-16 Drawing: 00053154		precast concrete tower E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01 Fertigteilturm E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01	
Date: 2024-10-16 Drawing: 00039438		Drawing Number / Zeichnungsnummer: 003076897/0.0-de/en	
2024-10-16 10:32 WF0004706419		Sheet 1 of 1 1/1	



also valid for E-115 EP3 E4

©This drawing is owned by ENERCON GmbH. It is copyrighted and at the same time A trade secret within the meaning of § 17 UWG. ©ENERCON GmbH. Alle Rechte vorbehalten. Diese Zeichnung ist Eigentum der Firma ENERCON GmbH. Sie ist urheberrechtlich geschützt und stellt zugleich ein Betriebsgeheimnis im Sinne des § 17 UWG dar.			Scale Maßstab 1:50		expected weight / erwartetes Gewicht kg
 ENERCON ENERGY FOR THE WORLD			Document Type / Dokumentart Assembly drawing Zusammenbauzeichnung		DCC TB
Name / additional name / Benennung / Zusatzbenennung			nacelle E-138 EP3 E3 Gondel E-138 EP3 E3		
Material Number / Materialsnummer Drawing Number / Zeichnungsnummer			782402 D02162509/0.0-de/en		Sheet / qty. Blatt / Blätter 1/1
Creator Ersteller	at / am 04.11.2020	by / von 00021492			
last modifying user letzter Ändernder Benutzer	20.07.2022	00021492			
released at, by / freigegeben am, von					

3.4 Baubeschreibung

Formular Baubeschreibung

Formular Betriebsbeschreibung gewerbliche Anlagen

Bauantrag / Antrag auf Vorbescheid vom 02.06.2025 Im vereinfachten Baugenehmigungsverfahren sind Angaben zu den gekennzeichneten Ziffern 8 bis 10 nicht erforderlich.		Baubeschreibung	
Bauherrschaft Alterric Deutschland GmbH, Holzweg 87, 26605 Aurich			
Grundstück (Ort, Straße, Haus-Nr.) Gemarkung Alme, Flur 19; Flurstücke: 3, 21			
1	Bezeichnung des Vorhabens	Errichtung und Betrieb von zwei Windenergieanlagen des Typs ENERCON E-138 EP3 E3	
2	Art der Nutzung <input checked="" type="checkbox"/> Betriebsbeschreibung ist beigelegt	Erzeugung von Strom aus Windenergie	
3	Angaben zum Grundstück geschützter Baumbestand	<input type="checkbox"/> ja	
	Trinkwasserversorgung	<input type="checkbox"/> durch zentrale Wasserversorgung	<input type="checkbox"/> durch Brunnen
	Löschwasserversorgung (Art und Entfernung zur Entnahmestelle)		
	Grundstücksentwässerung	<input type="checkbox"/> durch öffentliche Sammelkanalisation <input type="checkbox"/> durch Kleinkläranlage <input type="checkbox"/> durch sonstige Anlage; Art:	<input type="checkbox"/> vorhanden <input type="checkbox"/> fertiggestellt bis zum
	Sonstiges		
4	Barrierefreies Bauen	<input type="checkbox"/> eingehalten bei: <input type="checkbox"/> Gebäudeklasse 3 bis 5 mit Wohnungen <input type="checkbox"/> öffentlich zugänglichen baulichen Anlagen <input type="checkbox"/> unverhältnismäßiger Mehraufwand aufgrund von: <input type="checkbox"/> schwierigen Geländebedingungen oder <input type="checkbox"/> ungünstiger vorhandener Bebauung (Nachweis ist beigelegt)	
5	Anzahl der notwendigen Stellplätze Bedarfsermittlung gegebenenfalls als Beiblatt	insgesamt auf dem Baugrundstück:	in Garagen + im Freien =
		fremden Grundstück mit Baulast:	=
		durch Ablösung	=
		Summe:	
		davon für Menschen mit Behinderungen:	
6	Anzahl der Stellplätze mit Leitungsinfrastruktur für Elektromobilität Bedarfsermittlung gegebenenfalls als Beiblatt	Zu errichtende Wohngebäude mit mehr als 5 Stellplätzen (§ 6 GEIG) Anzahl Stellplätze mit Leitungsinfrastruktur Zu errichtende Nichtwohngebäude mit mehr als 6 Stellplätzen (§ 7 GEIG) Anzahl Stellplätze mit Leitungsinfrastruktur Anzahl Ladepunkte <input type="checkbox"/> Dem bestehenden oder erwarteten Bedarf an Ladeinfrastruktur in einer oder mehreren Liegenschaften wird dadurch Rechnung getragen, dass die Gesamtzahl der zu errichtenden Ladepunkte zusammen in einer oder mehreren Liegenschaften errichtet wird. Eine Planung für alle betroffenen Nichtwohngebäude und Stellplätze ist zugrunde gelegt (§ 10 Absatz 2 und 3 GEIG).	

Baubeschreibung Blatt 2		Bauherrschaft: Alterric Deutschland GmbH		Bauantrag vom:	
7	Anzahl der notwendigen Fahrradstellplätze Bedarfsermittlung gegebenenfalls als Beiblatt	insgesamt auf dem Baugrundstück: in Garagen + im Freien = fremden Grundstück mit Baulast: = durch Ablösung = <div style="text-align: right;">Summe:</div>			
		davon für Menschen mit Behinderungen:			
8	Schutz gegen schädliche Einflüsse				
9	Angaben zur Wärmeerzeugung und zur Energiebereitstellung	Gesamt -Nennwärmeleistung: kW <input type="checkbox"/> Heizraum <input type="checkbox"/> Aufstellraum 			
Angaben zur Brennstofflagerung		<input type="checkbox"/> fester Brennstoff		<input type="checkbox"/> Heizöl m³	
		<input type="checkbox"/> Gas		<input type="checkbox"/> Flüssiggas m³	
		<input type="checkbox"/> unterirdischer Lagerbehälter		<input type="checkbox"/> Lagerraum <input type="checkbox"/> sonstiger Raum:	
10	Lüftung				
	Lüftungsanlage für Mittel- oder Großgarage	<input type="checkbox"/> ja	Art der Anlage:		
	sonstige genehmigungspflichtige Lüftungsanlage	<input type="checkbox"/> ja	Art der Anlage:		
		<input type="checkbox"/> Lüftungsanlage überbrückt Gebäudetrennwände oder Geschossdecken: <input type="checkbox"/> Schematische Darstellung entsprechend den Bildern der Lüftungsanlagenrichtlinie und Beschreibung der Lüftungsanlagen mit Angabe der Feuerwiderstandsdauer und Baustoffklasse der Bauteile und Lüftungsabschnitte ist beigelegt.			
11	weitere Angaben, sofern wegen Ortsatzungen oder Denkmalschutz erforderlich				
äußere Gestaltung		Wände Der Hybridturm setzt sich aus 34 Betonsegmenten und Stahlsektionen zusammen. 30 Fertigteilbetonsegmente, 3 Stahlsektionen, 1 Adapter			
		Dachflächen und Dachaufbauten			
		Türen und Fenster			
Spielplatz für Kleinkinder (Größe und Ausstattung)					
Befestigung, Gestaltung und Eingrünung - der Zufahrten - der Stellplätze im Freien		Zuwegung und Kranstellflächen müssen für eine max. Achslast von 12 t und einem max. Gesamtgewicht von 160 t ausgelegt sein.			
Gestaltung und Bepflanzung der nicht überbauten Flächen					

Baubeschreibung Blatt 3		Bauherrschaft: Alterric Deutschland GmbH	Bauantrag vom:
12	Sonstiges		
Die/Der Entwurfsverfassende:		Genehmigungsvermerk	
Name, Vorname, Büro [REDACTED]			
Straße, Hausnummer [REDACTED]			
PLZ, Ort [REDACTED]			
Datum, Unterschrift*			

*Angesichts des Wegfalls des gesetzlichen Schriftformerfordernisses müssen die Vordrucke nicht unterschrieben werden. Die Unterschriftsfelder tragen lediglich dem Umstand Rechnung, dass vielfach der Wunsch besteht, Anträge unterschreiben zu können, auch wenn dies nicht mehr gesetzlich vorgeschrieben ist.

Bauantrag / Antrag auf Vorbescheid vom 02.06.2025		Betriebsbeschreibung für gewerbliche Anlagen													
Bauherrschaft: Alterric Deutschland GmbH Holzweg 87, 26605 Aurich		Betreibende:													
Grundstück (Ort, Straße, Hausnummer) Gemarkung Alme, Flur 19; Flurstücke: 3, 21															
1	Art des Betriebes oder der Anlage	Windpark mit zwei Windenergieanlagen des Typs ENERCON E-138 EP3 E3													
	Erzeugnisse	elektrische Energie													
	Dienstleistung	-													
	Rohstoffe, Materialien, Betriebsstoffe, Reststoffe, Waren	-													
2	Betriebszeit	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">an Werktagen</th> <th colspan="2">an Sonn- und Feiertagen</th> </tr> <tr> <th>von</th> <th>bis</th> <th>von</th> <th>bis</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>00:00</td> <td>24:00</td> <td>00:00</td> <td>24:00</td> </tr> </tbody> </table>		an Werktagen		an Sonn- und Feiertagen		von	bis	von	bis	00:00	24:00	00:00	24:00
an Werktagen		an Sonn- und Feiertagen													
von	bis	von	bis												
00:00	24:00	00:00	24:00												
3	Gesamtbeschäftigte am Betriebsort	-													
4	Immissionsschutz														
4.1	Luftverunreinigung (z. B. durch Rauch, Ruß, Staub, Gase, Aerosole, Dämpfe, Geruchsstoffe) Art der Verunreinigung	-													
	Lage der Emissionsöffnungen (Grundriss- und Höhenangaben)	-													
	Maßnahmen zur Vermeidung schädlicher Luftverunreinigungen	-													
4.2	Geräusche (z. B. durch Anlagen, Tätigkeiten, Fahrzeugverkehr auf dem Grundstück) Ursache, Dauer, Häufigkeit	s. Kapitel 4.4 Tageszeit von - bis 6:00-22:00	Nachtzeit (22.00 – 6.00) von - bis 22:00-06:00												
	Lage der Geräuschquellen (Austrittsöffnungen, ggf. Richtungsangaben)	Rotorblattspitzen, abhängig von der Windgeschwindigkeit und -richtung													
	Maßnahmen zur Vermeidung schädlicher Geräusche	s. Kapitel 4.4													
4.3	Erschütterungen, mechanische Schwingungen	Tageszeit von - bis 	Nachtzeit (22.00 – 6.00) von - bis 												
	Art, Ursache, Dauer und Häufigkeit														
	Lage der Erschütterungs- oder Schwingungsquellen	-													
	Maßnahmen zur Vermeidung schädlicher Erschütterungen oder Schwingungen	-													

4.4	Abfallstoffe Art, Menge pro Zeiteinheit	s. Kapitel 4.1.5 Beschreibung der Maßnahmen zur Abfallvermeidung, -verminderung, -verwertung und -beseitigung		
	Zwischenlagerung Art, Ort und Menge	-		
	Art der Beseitigung	-		
4.5	Besonders zu behandelnde Abwässer Art, Menge pro Zeiteinheit	-		
	Art und Ort der Behandlung	-		
	Verbleib der Rückstände	-		
5	Verfahren nach anderen Rechtsvorschriften (z.B. Genehmigung, Erlaubnis, Eignungsfeststellung nach Wasser-, Gewerbe-, Immissionsschutzrecht) Art des Verfahrens, Gegenstand, Antragsdatum (Ergänzung zu Nummer 5 des Bauantrags)	Bundesimmissionsschutzrecht Genehmigungsverfahren nach § 4 BImSchG i. V. m. § 6 WindBG		
		Bescheid(e) vom	durch	Aktenzeichen
Die/Der Entwurfsverfassende:				Genehmigungsvermerk
Name, Vorname, Büro [REDACTED]				
Straße, Hausnummer [REDACTED]				
PLZ, Ort [REDACTED]				
Datum, Unterschrift *				

* für elektronische Verfahren gelten die jeweiligen Bestimmungen

3.5 Nachweis der Standsicherheit

Gutachten zur Standorteignung
Ingenieurgeologisches Gutachten
Hinweis: Typenprüfung



Gutachten zur Standorteignung von WEA am Standort Brilon

Referenz-Nummer:

2023-H-071-P3-R0

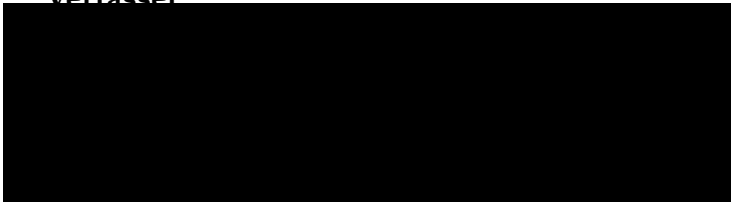
Auftraggeber:

Alterric Deutschland GmbH
Holzweg 87, 26605 Aurich

Die Ausarbeitung des Gutachtens erfolgte durch:

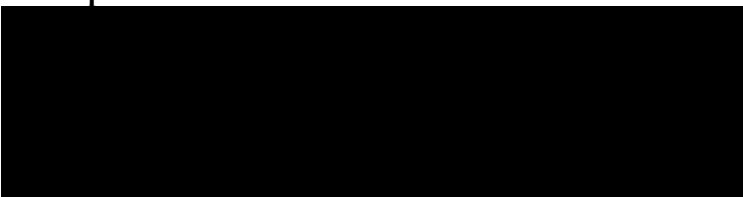
Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG
Borsteler Chaussee 178, 22453 Hamburg, www.f2e.de

Verfasser:



Hamburg, 04.12.2024

Geprüft:



Hamburg, 04.12.2024

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.....	24
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 Betriebsbeschränkungen.....	29



5.2.2 Einschränkungen.....	29
5.3 Nachweis der Standorteignung durch einen Vergleich der Lasten.....	29
6 Zusammenfassung.....	30
7 Literaturangaben.....	32
Anhang: wake2e-Bericht, Projektname Brilon	A.1

1 Aufgabenstellung

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

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

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

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

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

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



2 Grundlagen

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

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

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

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

Abbildung 2.1.1 gibt einen Überblick über das Prüfverfahren.

2.1 Nachweis durch Vergleich der Windbedingungen

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

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

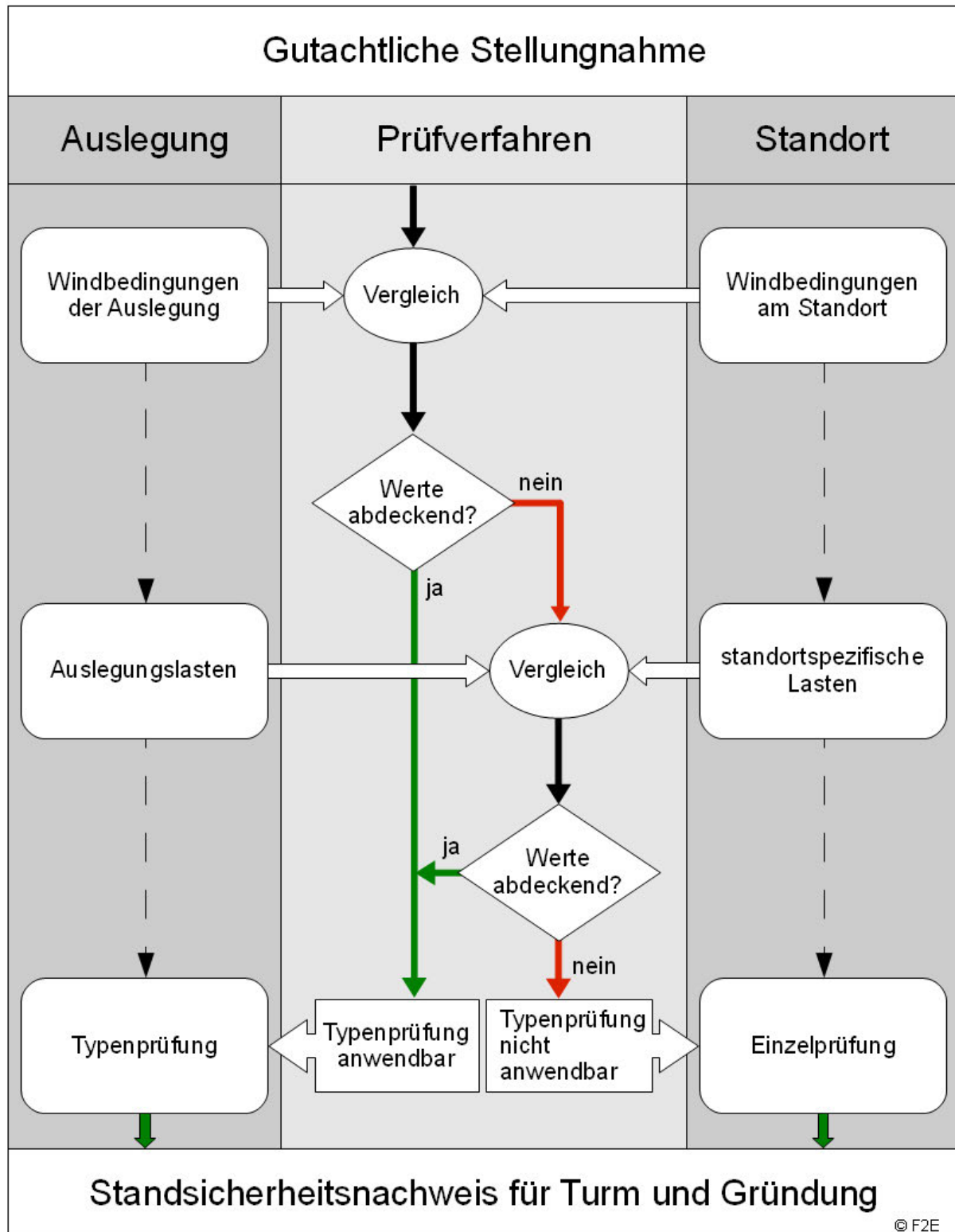


Abbildung 2.1.1: Schematische Darstellung des Prüfverfahrens.



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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

Im Rahmen der Überarbeitung der internationalen Richtlinie /2.2, 2.3/ wurde ein Verfahren entwickelt, das die Bewertung der Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit auf Basis der Parameter der entsprechenden Weibull-Verteilung ermöglicht /2.4/. Dieses Verfahren kann angewendet werden, wenn sich die standortspezifische Kurve der Häufigkeitsverteilung und die der Auslegung schneiden. Gemäß /2.4/ sind verschiedene Kombinationen des Formparameters k der Weibull-Verteilung und der normierten mittleren Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe möglich, die durch den schraffierten Bereich in Abbildung 2.1.2 dargestellt sind. Für WEA, die nicht für einen Formparameter der Weibullverteilung von $k = 2$ ausgelegt sind, kann das Diagramm in konservativer Weise angepasst werden.

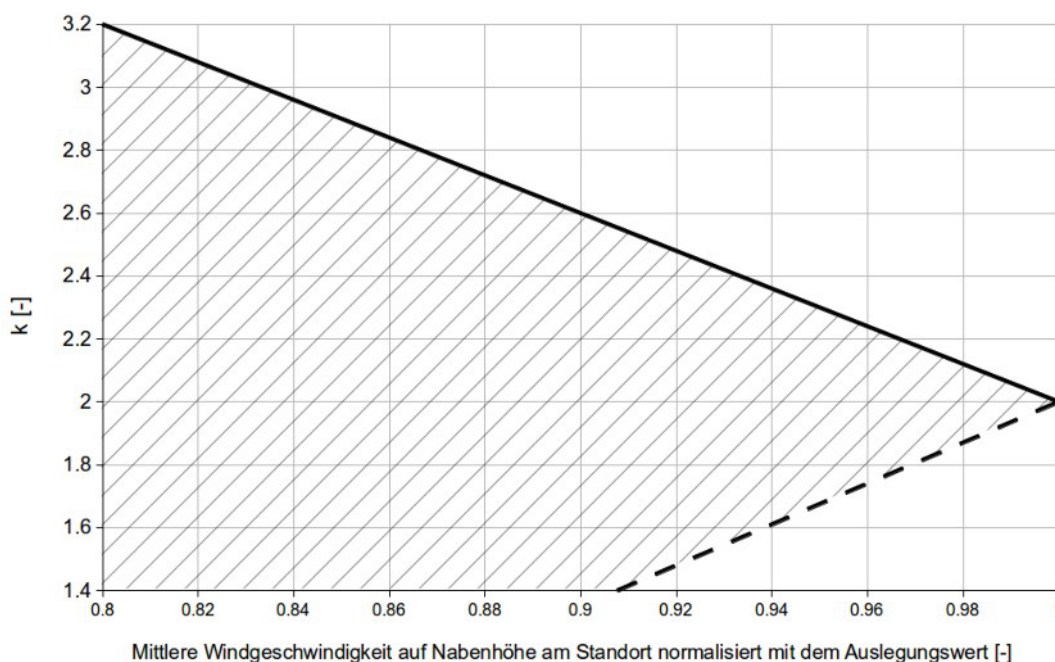


Abbildung 2.1.2: Mögliche Kombinationen von normierter Windgeschwindigkeit und Formparameter k der Weibull-Verteilung (schraffierter Bereich).



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

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

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

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

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

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

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

Abbildung 2.1.3 gibt einen Überblick über die jeweils nachzuweisenden Windbedingungen.

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

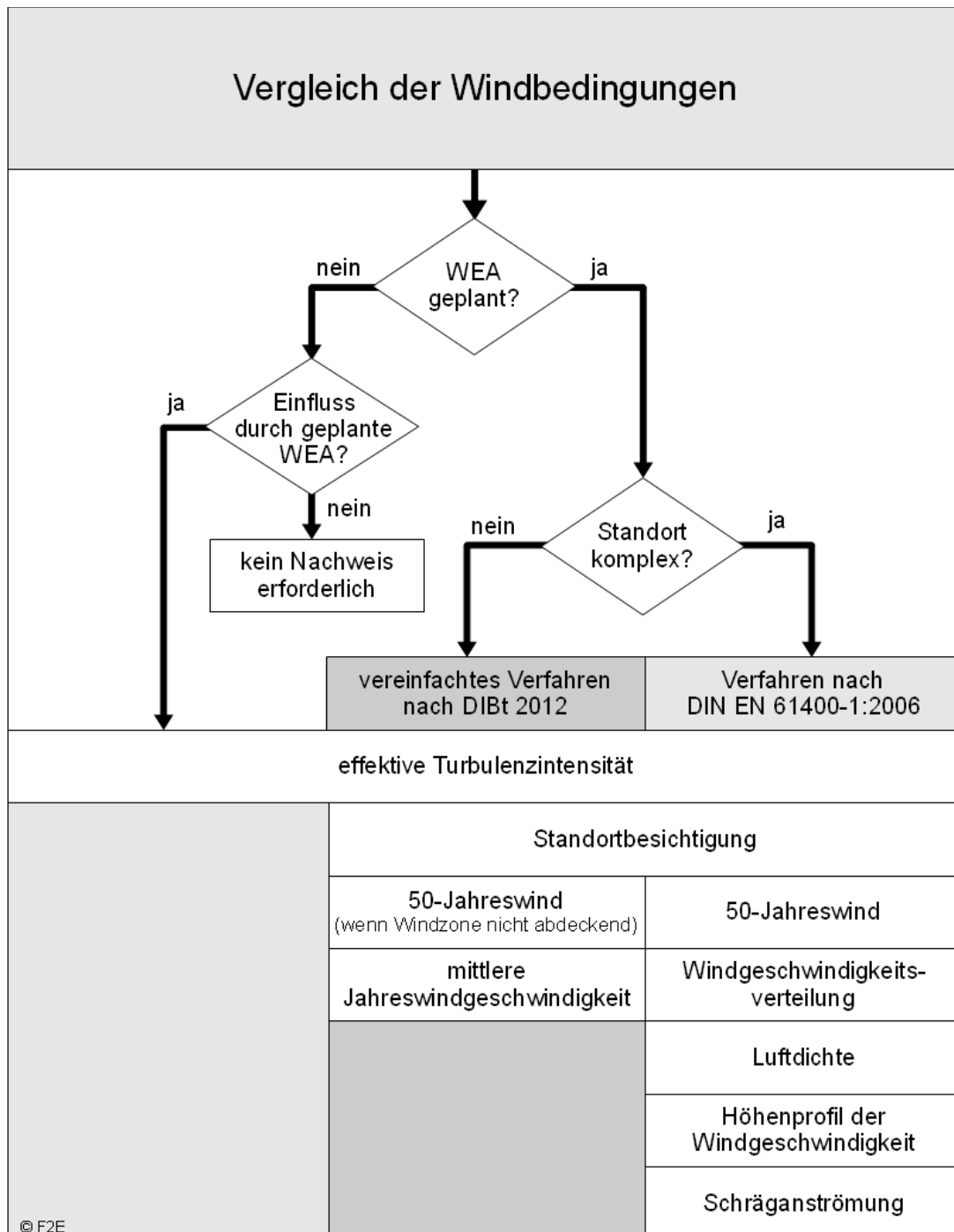


Abbildung 2.1.3: Nachweis durch Vergleich der Windbedingungen gemäß /2.8/.



2.2 Nachweis durch Vergleich der Lasten

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

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

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

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

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

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

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

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



2.3 Auslegungswerte

2.3.1 Turbulenzintensität

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

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

2.3.2 Windgeschwindigkeit

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

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

2.3.3 Weitere Windbedingungen

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

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



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

2.4 Erläuterungen zu den verwendeten Methoden

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

2.4.1 Bestimmung der Komplexität

Große Geländesteigungen und Höhenunterschiede können zu erhöhten Umgebungsturbulenzintensitäten führen und müssen daher in orografisch komplexem Gelände bewertet werden. Der Einfluss der Geländeorografie kann nach /2.2, 2.3, 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: Turbulenzstrukturparameter 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.

Änderungen in der Nabenhöhe von $\pm 1\text{m}$ liegen innerhalb der Toleranzen und sind durch die Ergebnisse abgedeckt.

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.

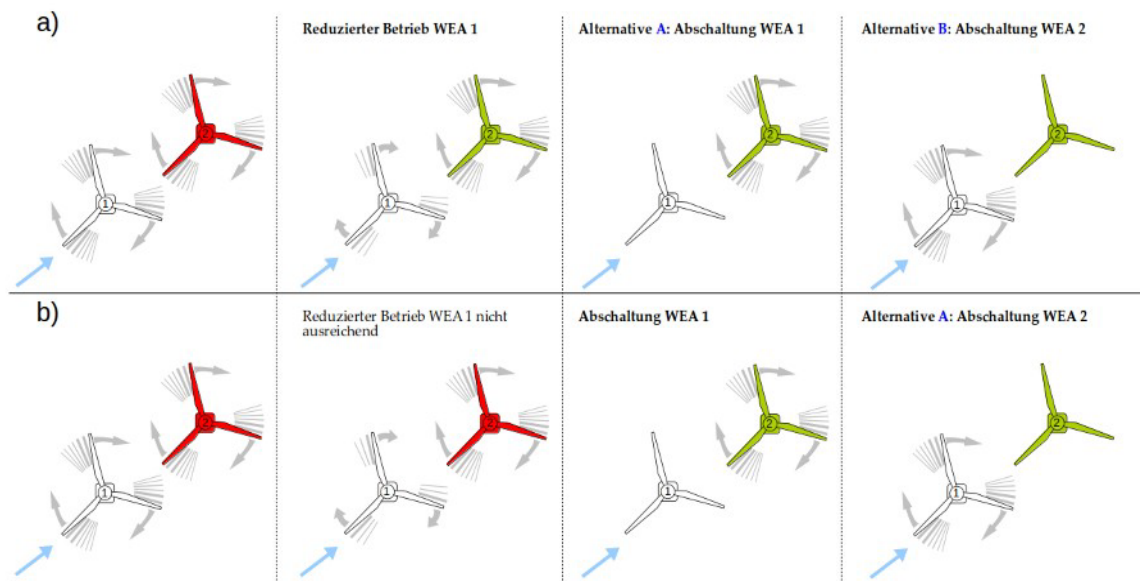


Abbildung 2.6.2.1: Betriebsbeschränkung mit zwei Alternativen (a) und mit nur einer Alternative (b) für die verursachende WEA 1 und die zu schützende WEA 2.

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 [°]	Y _{start} [°]	Y _{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 [°]	Ystart [°]	Ystop [°]	Vstart [m/s]	Vstop [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 [°]	Ystart [°]	Ystop [°]	Vstart [m/s]	Vstop [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 Brilon (Nordrhein-Westfalen) plant der Auftraggeber die Errichtung von zwei Windenergieanlagen (WEA 1 und 4). Am Standort befinden sich 13 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.


Gemäß den Angaben des Auftraggebers handelt es sich bei WEA 12 um eine WEA vom Typ Nordex 150 mit 0.150kW, bei den WEA 13 und 14 um WEA vom Typ Nordex N29 mit 0.25MW und bei WEA 15 um eine ENERCON E-40 mit 0.25kW. Angaben zum Rotormesser lagen nicht vor und wurden durch plausible Annahmen ersetzt. Für die WEA 15 wird davon ausgegangen, dass es sich um eine WEA vom Typ E-40/5.40 mit 0.5MW handelt. Für WEA 12 - 14 wird dabei das generische Modell nach /1.4/ zugrunde gelegt.

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

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

Für die zu betrachtenden WEA werden die in Tabelle 3.1.1 dargestellten Auslegungen zugrunde gelegt. Die zu den Auslegungen gehörenden Auslegungswerte sind im Anhang in den Tabellen A.2.3.1 und A.2.3.2 dargestellt.

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

WEA		Auslegung	
	Lfd. Nr.	Richtlinie	Windzone
	1, 4	DIBt 2012	WZ 2 GK II
	2, 3, 5, 6, 9, 10*	DIBt 2012	---

*: Die WEA 2, 3, 5, 6, 9 und 10 sind entweder mit einer Typenprüfung nach DIBt-Richtlinie von 2004 / 2.7/ oder mit einer Typenprüfung nach DIBt-Richtlinie von 2012 /2.8/ errichtet worden. Für diese WEA wird daher auf Grund der nicht vorliegenden Typenprüfung konservativ eine Typenprüfung nach DIBt-Richtlinie von 2012 /2.8/ mit den Auslegungswerten der Turbulenzkategorie A nach IEC Ed. 3 /2.2/ angenommen.



3.2 Windgeschwindigkeitsverteilung am Standort

Die relativen Häufigkeiten der Windrichtung und Windgeschwindigkeiten zum Standort Brilon 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 Brilon vorausgesetzt.

3.3 Extremwind am Standort

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

3.4 Umgebungsturbulenzintensität am Standort

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

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

3.5 Sektorielle Betriebsbeschränkungen

Die in Tabelle 5.2.1 dargestellten Ergebnisse berücksichtigen keine Betriebsbeschränkungen.

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 Brilon wurde am 18.11.2024 besichtigt /3.2/.

Der Standort lässt sich in die Geländekategorie II nach /2.9/ einordnen. Relevante Einzelstrukturen, deren Nachlaufströmungen gesondert zu betrachten wären, wurden nicht identifiziert.

4.2 Ergebnisse Standortbedingungen

Die ermittelten Standortbedingungen sind in den Tabellen A.3.1.1 - A.3.1.4 des Anhangs dargestellt. Überschreitungen der Auslegungswerte der Turbulenzintensität sind in Tabelle A.3.1.1 des Anhangs rot markiert.

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

Für die WEA, die in Tabelle A.3.1.4 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.



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

Die Windzone der Standorte der geplanten WEA und der zugehörige 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren wurden gemäß /2.10/ bzw. /2.11/ ermittelt und können Tabelle A.3.1.4 des Anhangs entnommen werden.

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

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

5 Nachweis der Standorteignung

5.1 Allgemeine Hinweise

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

5.2 Nachweis der Standorteignung durch einen Vergleich der Windbedingungen

In Tabelle 5.2.1 ist das Ergebnis des Nachweises der Standorteignung durch einen Vergleich der Windbedingungen sowie die Einzelergebnisse für die einzelnen Windparameter in einer Übersicht dargestellt. Die Bewertung beruht auf einem Vergleich der in den Tabellen A.3.1.1 und A.3.1.4 des Anhangs dargestellten Werte mit den Auslegungswerten in den Tabellen A.2.3.1 und A.2.3.2. Für die Bewertung der Windgeschwindigkeitsverteilung werden die Parameter A und k der Weibullverteilung dabei nicht direkt verglichen, sondern dienen als Eingangswerte für die in Kapitel 2.1 aufgeführten Nachweismethoden.

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

Laut DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen von 2012 /2.8/ ist eine Verwendung von Windgeschwindigkeitsklassen mit einer Klassenbreite von 2m/s zulässig.



Überschreitungen bei der effektiven Turbulenzintensität in einzelnen isolierten Windgeschwindigkeitsbereichen mit einer Breite von nur 1m/s können daher in der Regel als vernachlässigbar bewertet werden.









Die Bewertung der effektiven Turbulenzintensität in Tabelle 5.2.1 bezieht sich auf den zu bewertenden Windgeschwindigkeitsbereich (siehe Kapitel 2.1). Überschreitungen außerhalb dieses Bereiches können als vernachlässigbar bewertet werden.

Weisen zu betrachtende WEA bereits vor dem Zubau der hier als geplant betrachteten WEA Überschreitungen bei der effektiven Turbulenzintensität auf, wird in Tabelle 5.2.1 darauf hingewiesen, ob es zu einer signifikanten Erhöhung dieser Werte und damit zu einem signifikanten Einfluss der geplanten WEA kommt.

Betriebsbeschränkungen, die als Randbedingungen in die Berechnung eingehen, werden in Tabelle 5.2.1 jeweils der zu schützenden WEA zugeordnet. Verwiesen wird dabei jeweils auf die Übersichtstabelle der Betriebsbeschränkungen im Anhang. Details und mögliche Alternativen können den darauffolgenden Tabellen des jeweiligen Kapitels im Anhang entnommen werden (siehe auch Kapitel 2.6.2).



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

WEA			Randbedingungen	Einzelergebnisse						Gesamt- ergebnis	Kommentar
	Lfd. Nr.	Bezeichnung	BBS	I_{eff}	α	φ	ρ	A, k	v_{50}		
	1	WEA 3	---	-	---	---	---	+	+	-	---
	2	91	---	+	---					+	---
	3	92	---	+	---					+	---
	4	WEA 4	---	-	---	---	---	+	+	-	---
	5	94	---	+	---					+	---
	6	57	---	+	---					+	---
	9	84	---	+	---					+	---
	10	83	---	+	---					+	---



5.2.1 Betriebsbeschränkungen

Alle aufgeführten Betriebsbeschränkungen stellen Mindestanforderungen dar. Eine Prüfung der technischen Umsetzbarkeit wurde nicht vorgenommen.

Die notwendigen Betriebsbeschränkungen hinsichtlich der Auslegungswerte der Turbulenzintensität sind in der Übersichtstabelle A.2.6.1.1 dargestellt. Für jede notwendige Betriebsbeschränkung zwischen zwei WEA können die Details (Windgeschwindigkeits- und Windrichtungsbereich sowie Art der Beschränkung und gegebenenfalls mögliche Alternativen) den darauffolgenden Tabellen desselben Kapitels im Anhang entnommen werden. Zu den implizit mit abgedeckten alternativen Betriebsbeschränkungen siehe Kapitel 2.6.2.

5.2.2 Einschränkungen

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

5.3 Nachweis der Standorteignung durch einen Vergleich der Lasten

Die in den Tabellen A.3.1.1 - A.3.1.4 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.

Ein entsprechender Berechnungsbericht liegt für die WEA 1 und 4 nicht vor.

6 Zusammenfassung

Am Standort Brilon (Nordrhein-Westfalen) plant der Auftraggeber die Errichtung von zwei Windenergieanlagen (WEA). Am Standort befinden sich 13 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. Gemäß DIBt-Richtlinie /2.8/ erfolgt der Nachweis der Standorteignung der weiteren zu betrachtenden WEA, sofern keine Lastrechnung vorliegt, hinsichtlich des Einflusses benachbarter WEA.

Für WEA, für die in Tabelle 6.1 ein vernachlässigbarer Einfluss durch die neu geplanten WEA ausgewiesen wird, ist ein abschließender Nachweis der Standorteignung im Rahmen des Zubaus der geplanten WEA nicht erforderlich und wurde nicht erbracht, da die Standorteignung dieser WEA durch den Zubau der geplanten WEA nicht gefährdet wird.

Betriebsbeschränkungen werden in Tabelle 6.1 jeweils der zu schützenden WEA zugeordnet. Verwiesen wird dabei jeweils auf die Übersichtstabelle der Betriebsbeschränkungen im Anhang. Details und mögliche Alternativen können den darauffolgenden Tabellen des jeweiligen Kapitels im Anhang entnommen werden (siehe auch Kapitel 2.6.2).



Tabelle 6.1: Übersicht über die Bewertung der Standorteignung für die geplanten WEA  und für die weiteren zu betrachtenden WEA  (Bewertungen: - = nicht nachgewiesen, $\Delta \approx 0$ = vernachlässigbarer Einfluss durch die geplanten WEA, + = nachgewiesen).

	Lfd. Nr. WEA	Bewertung	Lastrechnung berücksichtigt	Einzuhaltende BBS	Einschränkungen
	1	+	---	Nr. 1 Tabelle A.2.6.1.1*	---
	2, 3, 5, 6, 9, 10	+	---	---	---
	4	+	---	Nr. 2 Tabelle A.2.6.1.1*	---

*: 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/ Winddaten zum Standort Eslohe; per E-Mail vom Auftraggeber am 07.11.2024.
- /3.2/ Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG; Dokumentation der Standortbesichtigung im Rahmen der Bewertung der Standorteignung von WEA am Standort Brilon; Referenz-Nr.: 2023-H-071-P1; November 2024; Hamburg, Deutschland.

A.1 Allgemeine Daten

A.1.1 Einstellungen

Benutzername	
Kunde	Alterric Deutschland GmbH
Projektname	Brilon
Referenznummer	2023-H-071-P3-R0
Software	Wake2e 3.11.5.9
	WEA-Bibliothek Version 7.431.0
Koordinatensystem	UTM WGS84/ETRS89, Nord-Hemisphäre
Abstand der relevanten WEA	8.0D

A.1.2 Filter-Einstellungen

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

A.1.3 Standortbesichtigung

Datum der Besichtigung	18.11.2024
Durchgeführt von	Dietmar Hahm für F2E
Ermittelte Geländekategorie	II
Orografisch relevante Struktur	Nein















A.2 Eingabedaten

A.2.1 Umgebungsturbulenzintensitäten

Methode Rauigkeitsdaten für jeden WEA-Standort aus den Landnutzungsdaten
 Datensatz European Environment Agency; CORINE Land Cover (CLC) 2018, Version 20; June 2019; Copenhagen, Denmark.
 Höhendaten "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

Nr.	Bezeichnung	WEA WEA-Typ	P _N [MW]	z _{hub} [m]	D [m]	Koordinaten		Datensatz-Nr.	
						Ost	Nord	Wind	Turbulenz
	1 WEA 3	ENERCON E-138 EP3 E3 4.26MW OM0s	4.26	160	138.25	32473585	5698058	1	—
	2 91	ENERCON E-115 3.0MW	3	149.08	115.7	32473005	5698541	1	—
	3 92	ENERCON E-115 3.0MW	3	149.08	115.7	32473262	5697698	1	—
	4 WEA 4	ENERCON E-138 EP3 E3 4.26MW OM0s	4.26	160	138.25	32473296	5698243	1	—
	5 94	ENERCON E-115 3.0MW	3	149.08	115.7	32472981	5697299	1	—
	6 57	ENERCON E-115 3.0MW	3	149.08	115.7	32472294	5697871	1	—
	7 72	ENERCON E-115 3.0MW	3	149.08	115.7	32472544	5697362	1	—
	8 73	ENERCON E-115 3.0MW	3	149.08	115.7	32472244	5696754	1	—
	9 84	ENERCON E-115 3.0MW	3	149.08	115.7	32472532	5698654	1	—
	10 83	ENERCON E-115 3.0MW	3	149.08	115.7	32472821	5697835	1	—
	11 30	ENERCON E-115 3.0MW	3	149.08	115.7	32472010	5697054	1	—
	12 46	Standard WEA bis 65m RD		41.7	27	32474351	5696675	1	—
	13 45	Standard WEA bis 65m RD		50	29.7	32476248	5695910	1	—
	14 44	Standard WEA bis 65m RD		50	29.7	32476082	5695971	1	—

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

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
 15 42		ENERCON E-40 5.40 500kW	0.5	50	40.3	32471754	5698798	1	—

A.2.3 Auslegungswerte

Tabelle A.2.3.1: WEA-Auslegung









Nr.	Richtlinie	WZ	I _{amb}	I _{des}	τ _{design}	v _{ave}	k	α _{min}	α _{max}	φ	ρ	v ₅₀	Quellen
 1	DIBt 2012	WZ 2 GK II	Repräsentativ	5	25	7.71	2	0.05	0.2	8	1.225	38.96	/A.1/
 2	—	—	Repräsentativ	5	—	—	—	—	—	—	—	—	
 3	—	—	Repräsentativ	5	—	—	—	—	—	—	—	—	
 4	DIBt 2012	WZ 2 GK II	Repräsentativ	5	25	7.71	2	0.05	0.2	8	1.225	38.96	/A.1/
 5	—	—	Repräsentativ	5	—	—	—	—	—	—	—	—	
 6	—	—	Repräsentativ	5	—	—	—	—	—	—	—	—	
 9	—	—	Repräsentativ	5	—	—	—	—	—	—	—	—	
 10	—	—	Repräsentativ	5	—	—	—	—	—	—	—	—	

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	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
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
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

A.2.4 Winddaten

Quelle
 Dateiname

Externe Datei
 info_se_brilon_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]	4.53	4.35	4.93	5.86	6.75	7.11	8.1	8.51	8.57	7.98	6.47	5.28	A [m/s]	7.32	Aus der Eingabedatei	Höhe über Grund [m]	150
k [-]	1.928	1.975	2.201	2.346	2.561	2.42	2.709	2.748	2.65	2.365	2.174	2.025	k [-]	2.252	Aus der Eingabedatei	Ost	32472981
Häufigkeit (100%=1)	0.036	0.026	0.029	0.051	0.086	0.079	0.091	0.127	0.192	0.141	0.09	0.052	v _{ave} [m/s]	6.49	Aus der Eingabedatei	Nord	5697299

A.2.5 Berechnungsvarianten

Tabelle A.2.5.1: Berechnungsvarianten

Id	Beschriftung	BBS-Gruppe	Wöhlerlinien-Koeffizient	Einfluss der Orografie ignorieren	Ergebnisse im Abschnitt
2	Situation nach dem Zubau	—	Projekt-Vorgabewert	Nein	A.3.1
3	Betriebsbeschränkungen	1	Projekt-Vorgabewert	Nein	A.3.2

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)

Nr.	Windaufwärts gelegene WEA		Zu schützende WEA		Windgeschwindigkeitsbereiche [m/s]																										
	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	4	WEA 4	1	WEA 3						R																					
2	1	WEA 3	4	WEA 4						R																					

Tabelle A.2.6.1.2: Betriebsbeschränkungen der BBS-Gruppe 1 - Details

Nr.	Beschränkte WEA		Zu schützende WEA		Beschränkungen						
	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Abschaltung	Betriebsmodus	β [°]	γ_{start} [°]	γ_{stop} [°]	v_{start} [m/s]	v_{stop} [m/s]
1	4	WEA 4	1	WEA 3	-	4.26MW OML 5s	-	273.4	331.2	7.5	8.5
	4	WEA 4			-	4.26MW OML 4s	-	273.4	331.2	8.5	9.5
2	1	WEA 3	4	WEA 4	-	4.26MW OML 1s	-	93.4	151.2	7.5	8.5

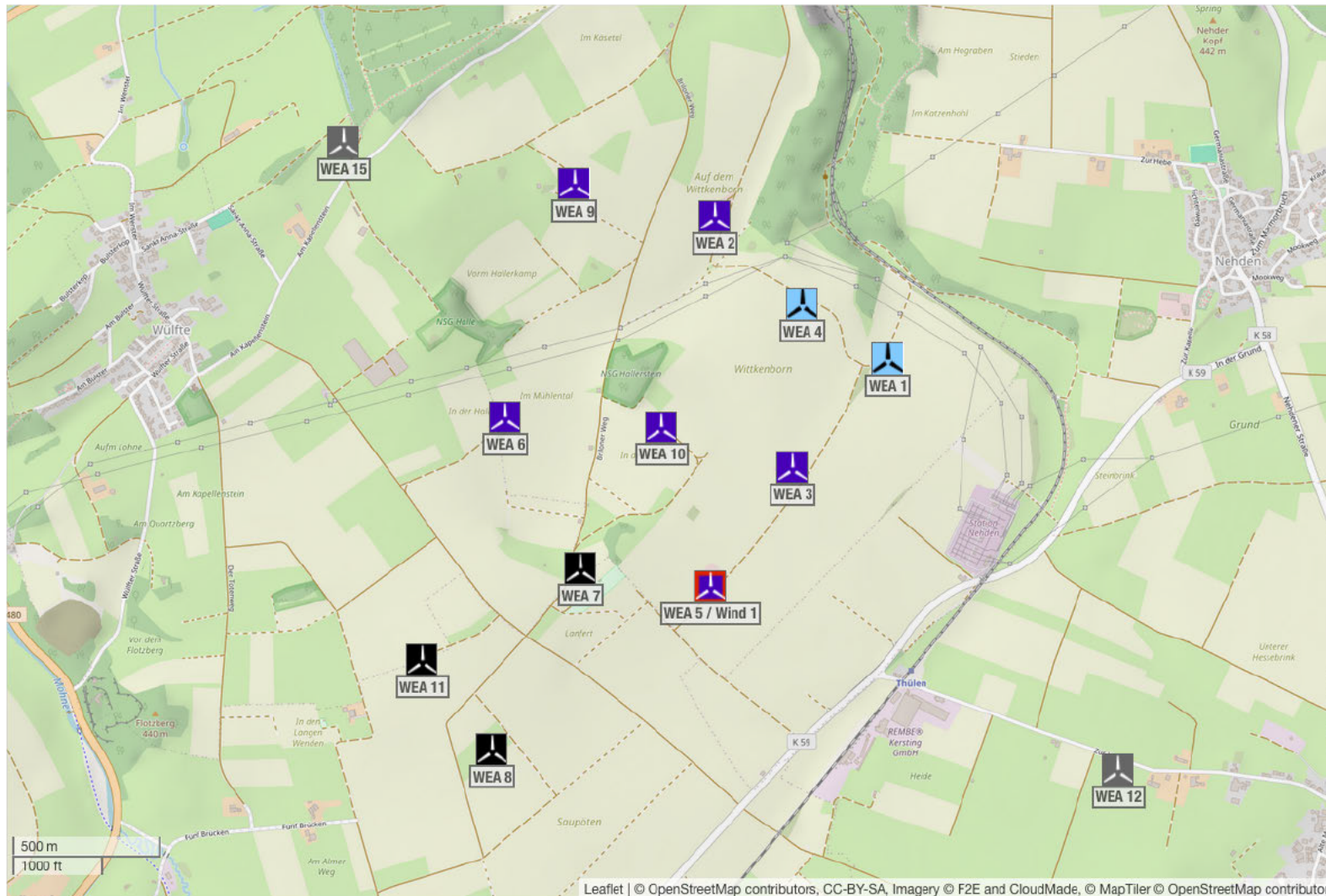
Tabelle A.2.6.1.3: Betriebsbeschränkungen der BBS-Gruppe 1 - Alternative A - Details

Nr.	Beschränkte WEA		Zu schützende WEA		Beschränkungen						
	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Abschaltung	Betriebsmodus	β [°]	γ_{start} [°]	γ_{stop} [°]	v_{start} [m/s]	v_{stop} [m/s]
1	4	WEA 4	1	WEA 3	X	-	-	273.4	331.2	7.5	9.5
2	1	WEA 3	4	WEA 4	X	-	-	93.4	151.2	7.5	8.5

Tabelle A.2.6.1.4: Betriebsbeschränkungen der BBS-Gruppe 1 - Alternative B - Details









Nr.	Beschränkte WEA		Zu schützende WEA		Beschränkungen						
	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Abschaltung	Betriebsmodus	β [°]	γ_{start} [°]	γ_{stop} [°]	v_{start} [m/s]	v_{stop} [m/s]
1	1	WEA 3	1	WEA 3	X	-	-	273.4	331.2	7.5	9.5
2	4	WEA 4	4	WEA 4	X	-	-	93.4	151.2	7.5	8.5

A.2.7 Karte des Windparks



A.2.8 Abstände zwischen aktiven Windenergieanlagen

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

WEA		Nachbar 1		Nachbar 2		Nachbar 3		Nachbar 4		Nachbar 5	
Nr.	Bezeichnung	Nr.	Entfernung	Nr.	Entfernung	Nr.	Entfernung	Nr.	Entfernung	Nr.	Entfernung
 1	WEA 3	4	2.48	3	4.18	2	6.52	10	6.88	5	8.38
 2	91	4	3.01	9	4.20	1	5.46	10	6.31	3	7.62
 3	92	1	3.50	4	3.95	10	3.99	5	4.22	7	6.85
 4	WEA 4	1	2.48	2	3.60	3	4.72	10	5.41	9	7.50
 5	94	7	3.82	3	4.22	10	4.83	1	7.02	4	7.20
 6	57	10	4.57	7	4.90	9	7.07	11	7.48	5	7.73
 9	84	2	4.20	4	6.28	6	7.07	10	7.51	1	8.75
 10	83	3	3.99	4	4.53	6	4.57	7	4.74	5	4.83

A.3 Ergebnisse

A.3.1 Situation nach dem Zubau

BBS definiert Nein
 Einfluss der Orografie bewerten Ja
 Ist Vorherfall Nein

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














WEA			Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																												
Nr.	Bezeichnung	m	Alle	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	
	1 WEA 3	10	—	42.0	42.3	37.3	32.9	29.1	25.1	22.5	20.8	18.7	17.0	15.6	14.5	13.7	13.0	12.5	12.1	11.8	11.5	11.4	11.3	11.3	11.3	11.2	11.2	11.2	11.2	—	
	2 91	10	—	35.2	33.1	29.3	26.5	23.9	21.3	19.8	18.8	16.7	15.4	14.4	13.7	13.2	12.8	12.4	12.2	12.0	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.9	—	—	—	—	
	3 92	10	—	36.1	32.3	28.1	25.7	23.5	21.3	20.1	19.2	16.8	15.3	14.4	13.7	13.1	12.7	12.3	12.0	11.7	11.5	11.4	11.4	11.3	11.3	11.3	—	—	—	—	
	4 WEA 4	10	—	39.4	38.7	34.4	30.6	27.3	23.5	21.2	19.5	17.2	15.5	14.3	13.4	12.8	12.4	12.1	11.8	11.6	11.4	11.4	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	—	
	5 94	10	—	34.8	29.6	26.2	24.8	22.9	20.9	19.7	18.9	16.6	15.2	14.3	13.8	13.3	12.9	12.6	12.4	12.1	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	—	—	—	—	
	6 57	10	—	32.1	26.8	23.5	21.6	19.8	18.1	17.0	16.1	14.8	14.0	13.4	13.0	12.6	12.3	12.1	11.9	11.7	11.5	11.6	11.6	11.7	11.7	11.7	—	—	—	—	
	9 84	10	—	32.8	27.4	24.0	22.0	20.0	18.2	17.0	16.0	14.7	14.0	13.4	13.0	12.7	12.4	12.2	12.0	11.8	11.7	11.7	11.8	11.8	11.9	11.9	—	—	—	—	
	10 83	10	—	34.6	29.8	26.4	24.8	22.9	21.0	19.7	18.9	16.6	15.2	14.3	13.7	13.2	12.8	12.4	12.1	11.9	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	—	—	—	—	

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

WEA			Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																										
Nr.	Bezeichnung	m	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
 1	WEA 3	10	49.5	50.3	44.6	39.6	35.3	30.5	27.4	25.3	23.2	21.2	19.4	18.0	16.8	15.9	15.2	14.5	14.0	13.6	13.3	13.1	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	—
 2	91	10	40.9	40.7	36.0	31.9	28.5	24.8	22.6	21.6	19.0	17.5	16.2	15.1	14.4	14.1	13.8	13.6	13.3	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	—	—	—	—
 3	92	10	41.0	39.0	34.4	30.6	27.6	24.6	23.1	22.1	19.5	18.2	17.1	16.2	15.5	14.9	14.4	14.0	13.6	13.3	13.2	13.1	13.0	12.9	12.8	—	—	—	—
 4	WEA 4	10	45.1	46.1	40.8	36.1	32.2	27.7	25.8	24.7	21.2	19.1	17.4	16.4	15.6	14.9	14.4	13.9	13.6	13.3	13.2	13.1	13.0	12.9	12.9	12.8	12.8	12.8	—
 5	94	10	40.0	34.4	30.7	29.3	27.1	24.7	23.2	22.2	19.1	17.0	15.7	14.9	14.3	13.8	13.4	13.1	12.8	12.5	12.5	12.4	12.4	12.4	12.4	—	—	—	—

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

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




WEA			Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																												
	Nr.	Bezeichnung	m	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	
	6	57	10	35.9	30.6	27.2	25.8	23.8	21.8	20.5	19.6	17.1	15.5	14.9	14.5	14.2	13.9	13.6	13.4	13.2	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	—	—	—	—
	9	84	10	38.3	32.8	29.3	27.8	25.7	23.4	22.1	21.1	18.3	16.5	15.6	15.2	14.8	14.5	14.2	14.0	13.8	13.6	13.6	13.6	13.6	13.6	13.6	—	—	—	—	
	10	83	10	38.1	34.6	30.5	27.2	25.1	23.0	21.7	20.8	18.3	16.6	15.7	15.1	14.7	14.3	13.9	13.6	13.4	13.2	13.1	13.1	13.1	13.1	13.1	—	—	—	—	

Tabelle A.3.1.3: Differenzen zwischen Auslegungswerten und effektiven Turbulenzintensitäten auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]

















WEA		Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																											
Nr.	Bezeichnung	Alle	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
 1	WEA 3	—	0.1	7.9	7.4	6.0	4.3	1.9	0.5	0.2	1.4	2.5	3.3	3.9	4.3	4.6	4.8	4.9	4.9	5.0	4.9	4.8	4.6	4.4	4.4	4.2	4.1	4.0	—
 2	91	—	6.7	1.3	0.6	0.4	0.9	1.9	2.2	2.2	3.4	4.1	4.5	4.7	4.8	4.8	4.9	4.8	4.7	4.7	4.5	4.3	4.1	3.9	3.7	—	—	—	—
 3	92	—	5.8	2.1	1.8	1.2	1.3	1.9	1.9	1.8	3.3	4.2	4.5	4.7	4.9	4.9	5.0	5.0	5.0	5.0	4.9	4.7	4.6	4.4	4.3	—	—	—	—
 4	WEA 4	—	2.5	4.3	4.5	3.7	2.5	0.3	0.8	1.5	2.9	4.0	4.6	5.0	5.2	5.2	5.2	5.2	5.1	5.1	4.9	4.8	4.6	4.4	4.3	4.1	4.0	3.9	—
 5	94	—	7.1	4.8	3.7	2.1	1.9	2.3	2.3	2.1	3.5	4.3	4.6	4.6	4.7	4.7	4.7	4.6	4.6	4.6	4.4	4.2	4.0	3.8	3.7	—	—	—	—
 6	57	—	9.8	7.6	6.4	5.3	5.0	5.1	5.0	4.9	5.3	5.5	5.5	5.4	5.4	5.3	5.2	5.1	5.0	5.0	4.7	4.5	4.2	4.0	3.9	—	—	—	—
 9	84	—	9.1	7.0	5.9	4.9	4.8	5.0	5.0	5.0	5.4	5.5	5.5	5.4	5.3	5.2	5.1	5.0	4.9	4.8	4.6	4.3	4.1	3.8	3.7	—	—	—	—
 10	83	—	7.3	4.6	3.5	2.1	1.9	2.2	2.3	2.1	3.5	4.3	4.6	4.7	4.8	4.8	4.9	4.9	4.8	4.8	4.6	4.4	4.2	4.0	3.9	—	—	—	—

Tabelle A.3.1.4: 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 ρ _{kor.} [m/s]	k [-]	v _{ave} [m/s]	v _{ave} ρ _{kor.} [m/s]
	1 ENERCON E-138 EP3 E3 4.26MW OM0s	160	138.25	Nein	2.482	4	Nein	10	Nein	0.13	2.0	1.187	1/ I	35.1		7.39	7.27	2.252	6.54	6.44
	2 ENERCON E-115 3.0MW	149.08	115.7	Nein	3.012	4	Nein	10	Nein	0.13	2.2	1.188	1/ I	34.7		7.32	7.22	2.252	6.49	6.39
	3 ENERCON E-115 3.0MW	149.08	115.7	Nein	3.498	1	Nein	10	Nein	0.13	1.3	1.185	1/ I	34.7		7.32	7.21	2.252	6.49	6.38

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Tabelle A.3.1.4: 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 ρ _{kor.} [m/s]	k [-]	v _{ave} [m/s]	V _{ave} ρ _{kor.} [m/s]	
	4 ENERCON E-138 EP3 E3 4.26MW OM0s	160	138.25	Nein	2.482	1	Nein	10	Nein	0.13	2.0	1.186	1/I	35.1		7.39	7.27	2.252	6.54	6.44	
	5 ENERCON E-115 3.0MW	149.08	115.7	Nein	3.816	7	Nein	10	Nein	0.13	1.4	1.184	1/I	34.7		7.32	7.2	2.252	6.49	6.38	
	6 ENERCON E-115 3.0MW	149.08	115.7	Nein	4.565	10	Nein	10	Nein	0.13	1.6	1.183	1/I	34.7		7.32	7.2	2.252	6.49	6.38	
	9 ENERCON E-115 3.0MW	149.08	115.7	Nein	4.203	2	Nein	10	Nein	0.13	2.1	1.182	1/I	34.7		7.32	7.2	2.252	6.49	6.37	
	10 ENERCON E-115 3.0MW	149.08	115.7	Nein	3.991	3	Nein	10	Nein	0.13	1.4	1.184	1/I	34.7		7.32	7.2	2.252	6.49	6.38	

A.3.2 Berechnungsvariante “Betriebsbeschränkungen”

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
	1 WEA 3	10	—	42.0	42.3	37.3	32.9	29.1	23.0	21.9	20.8	18.7	17.0	15.6	14.5	13.7	13.0	12.5	12.1	11.8	11.5	11.4	11.3	11.3	11.3	11.2	11.2	11.2	11.2	—
	2 91	10	—	35.2	33.1	29.3	26.5	23.9	21.3	19.8	18.8	16.7	15.4	14.4	13.7	13.2	12.8	12.4	12.2	12.0	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.9	—	—	—	—
	3 92	10	—	36.1	32.3	28.1	25.7	23.5	21.3	20.1	19.2	16.8	15.3	14.4	13.7	13.1	12.7	12.3	12.0	11.7	11.5	11.4	11.4	11.3	11.3	11.3	—	—	—	—
	4 WEA 4	10	—	39.4	38.7	34.4	30.6	27.3	23.2	21.2	19.5	17.2	15.5	14.3	13.4	12.8	12.4	12.1	11.8	11.6	11.4	11.4	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	—
	5 94	10	—	34.8	29.6	26.2	24.8	22.9	20.9	19.7	18.9	16.6	15.2	14.3	13.8	13.3	12.9	12.6	12.4	12.1	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	—	—	—	—
	6 57	10	—	32.1	26.8	23.5	21.6	19.8	18.1	17.0	16.1	14.8	14.0	13.4	13.0	12.6	12.3	12.1	11.9	11.7	11.5	11.6	11.6	11.7	11.7	11.7	—	—	—	—
	9 84	10	—	32.8	27.4	24.0	22.0	20.0	18.2	17.0	16.0	14.7	14.0	13.4	13.0	12.7	12.4	12.2	12.0	11.8	11.7	11.7	11.8	11.8	11.9	11.9	—	—	—	—
	10 83	10	—	34.6	29.8	26.4	24.8	22.9	21.0	19.7	18.9	16.6	15.2	14.3	13.7	13.2	12.8	12.4	12.1	11.9	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	—	—	—	—

Tabelle A.3.2.2: Differenzen zwischen Auslegungswerten und effektiven Turbulenzintensitäten auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]

WEA		Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																											
Nr.	Bezeichnung	Alle	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	1 WEA 3	—	0.1	7.9	7.4	6.0	4.3	0.2	0.1	0.2	1.4	2.5	3.3	3.9	4.3	4.6	4.8	4.9	4.9	5.0	4.9	4.8	4.6	4.4	4.4	4.2	4.1	4.0	—
	2 91	—	6.7	1.3	0.6	0.4	0.9	1.9	2.2	2.2	3.4	4.1	4.5	4.7	4.8	4.8	4.9	4.8	4.7	4.7	4.5	4.3	4.1	3.9	3.7	—	—	—	—
	3 92	—	5.8	2.1	1.8	1.2	1.3	1.9	1.9	1.8	3.3	4.2	4.5	4.7	4.9	4.9	5.0	5.0	5.0	5.0	4.9	4.7	4.6	4.4	4.3	—	—	—	—
	4 WEA 4	—	2.5	4.3	4.5	3.7	2.5	0.0	0.8	1.5	2.9	4.0	4.6	5.0	5.2	5.2	5.2	5.2	5.1	5.1	4.9	4.8	4.6	4.4	4.3	4.1	4.0	3.9	—
	5 94	—	7.1	4.8	3.7	2.1	1.9	2.3	2.3	2.1	3.5	4.3	4.6	4.6	4.7	4.7	4.7	4.6	4.6	4.6	4.4	4.2	4.0	3.8	3.7	—	—	—	—
	6 57	—	9.8	7.6	6.4	5.3	5.0	5.1	5.0	4.9	5.3	5.5	5.5	5.4	5.4	5.3	5.2	5.1	5.0	5.0	4.7	4.5	4.2	4.0	3.9	—	—	—	—
	9 84	—	9.1	7.0	5.9	4.9	4.8	5.0	5.0	5.0	5.4	5.5	5.5	5.4	5.3	5.2	5.1	5.0	4.9	4.8	4.6	4.3	4.1	3.8	3.7	—	—	—	—
	10 83	—	7.3	4.6	3.5	2.1	1.9	2.2	2.3	2.1	3.5	4.3	4.6	4.7	4.8	4.8	4.9	4.9	4.8	4.8	4.6	4.4	4.2	4.0	3.9	—	—	—	—

A.4 Legende

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

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

A.5 Literaturangaben

/A.1/ 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.



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}	Einschaltwindgeschwindigkeit der WEA	[m/s]
v_{out}	Abschaltwindgeschwindigkeit 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°)	[°]



BBU Dr. Schubert GmbH | Glockenplatz 1 | 34388 Trendelburg

Alterric Deutschland GmbH
Holzweg 87

26605 Aurich

Gutachten Nr.: [REDACTED]
Ansprechpartner: [REDACTED]
Datum: [REDACTED]
Telefon: [REDACTED]
Fax: [REDACTED]
eMail: [REDACTED]
[REDACTED]

INGENIEURGEOLOGISCHES GUTACHTEN

Brilon - Alme, Windpark Brilon II - Errichtung von 2 Windenergieanlagen

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

Bauvorhaben: Errichtung von 2 Windenergieanlagen
ENERCON E-138 EP3 E3 mit 160 m Nabenhöhe (WEA 03 und 04)
Windpark Brilon II
59929 Brilon - Alme

Bauherr: Alterric Deutschland GmbH
Holzweg 87
26605 Aurich

Auftraggeber: wie vor

Planentwurf: wie vor

Anlagenhersteller: Enercon GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich

Nachfolgend wird das Ingenieurgeologische Gutachten mit den Seiten 2 bis 68 und den Anlagen 1 bis 6 vorgelegt.

Inhaltsverzeichnis:

1	Bauvorhaben	3
2	Auftrag	4
3	Grundlagen, Bearbeitungsunterlagen	4
4	Lage, örtliche Situation und geologischer Untergrund.....	6
5	Baugrunderkundung.....	9
5.1	Erkundungsprogramm	9
5.2	Erkundeter Bodenaufbau "Fundamentpositionen"	10
5.3	Bodenwasserverhältnisse "Fundamentpositionen"	12
5.4	Dynamische Widerstandsmessungen.....	13
5.5	Elektrische Drucksondierungen "Fundamentpositionen"	16
5.6	Geoelektrische Messungen	20
5.7	Charakteristische Bodenkennwerte	30
5.8	Bautechnische Einteilung.....	31
5.9	Durchlässigkeit und Versickerungsfähigkeit.....	32
5.10	Erdbebensicherheit.....	33
5.11	Bauchemische Bodenanalyse.....	34
5.12	Messung des spezifischen Erdwiderstandes	35
6	Ingenieurgeologische Beratung	36
6.1	Planungsvorgaben	36
6.2	Geotechnische Rahmenbedingungen (Zusammenfassung)	37
6.3	Gründung der Anlagen.....	41
6.4	Auftriebssicherheit	46
6.5	Geotechnische Nachweise	46
6.6	Erdarbeiten	49
6.7	Wasserhaltung.....	51
6.8	Bodenaustausch, Tragschicht und Frostsicherheit	51
6.9	Leerrohrgraben	53
6.10	Arbeitsraumverfüllung und Fundamentüberschüttung	54
7	Zuwegungen.....	56
8	Kranstell- und Montageflächen	59
9	Schlussbemerkungen.....	68

1 Bauvorhaben

Die **Alterric Deutschland GmbH, Aurich**, beabsichtigt im Rahmen einer Erweiterungsmaßnahme die Errichtung und den Betrieb von 2 Windenergieanlagen im Windpark Brilon II, südlich der Briloner Ortschaft Alme (Hochsauerlandkreis / Nordrhein - Westfalen). Zur Aufstellung vorgesehen ist das Anlagensystem:

- **ENERCON E-138 EP3 E3 mit 160 m Nabenhöhe**

Die Anlagen tragen die Kennung **WEA 03** und **WEA 04**.

Die nachstehende Abbildung zeigt in einem Übersichtsplan die geografischen Standortpositionen der geplanten Anlagen.



Quelle: Garmin BaseCamp
Abbildung 1: Übersichtsplan geplante Standorte

Für das Anlagensystem stehen folgende Spezifikationen zur Verfügung wie folgt:

- **Fundamentdatenblatt Max Bögl Hybriddturm DE-E22 - E-138 EP3 E3-HAT-160-ES-C-01 Flachgründung mit Auftrieb - D00272545, Rev. 04 vom 11.11.2022**

Der Bearbeitung liegen darüber hinaus folgende Spezifikationen des Anlagenherstellers zugrunde u.a.:

- **Anforderungskatalog für Baugrundbeurteilungen, Deutschland vom 17.02.2015, ENERCON GmbH**
- **Anforderungskatalog für Baugrundbeurteilungen im Festgestein, Deutschland vom 27.02.2015, ENERCON GmbH**

- **Technische Spezifikation, Geotechnischer Entwurfsbericht**, vom 02.06.2021, ENERCON GmbH
- **Technische Spezifikation Zuwegung und Baustellenflächen ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 E3 160 Hybridturm**, ENERCON 19.04.2022
- **Technische Information – Dokument PLM-EWES-DC011 - Messung des spezifischen Erdwiderstandes** – Rev003de-de/DA, vom 17.01.2017, ENERCON GmbH

(bzw. in der jeweils neusten Fassung)

2 Auftrag

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

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

Gemäß der vorstehenden Zielsetzung wird das Ergebnis der **orientierenden ingenieurgeologischen Voruntersuchung** mit nachfolgendem Ingenieurgeologischen Gutachten dargestellt, ausgewertet und bekannt gegeben. Das vorliegende Gutachten beschreibt die Baugrunderkundung, -untersuchung und -bewertung der geologischen Voruntersuchung nach DIN 4020 und entbehrt zur Realisierung von erd- und grundbautechnischen Arbeiten nicht die geologische Hauptuntersuchung nach DIN 4020. Die schriftliche Ausarbeitung gilt nur nach Verifizierung und vorbehaltlich einer ausreichenden Fachbauleitung bzw. geotechnischen Baustellenbegleitung durch das Unterzeichnerbüro.

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

3 Grundlagen, Bearbeitungsunterlagen

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

- **DIN 4020**
"Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke"
- **DIN EN ISO 22 475**
"Geotechnische Erkundung und Untersuchung (ersetzt DIN 4021)"

- **DIN EN ISO 14 688**
"Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Böden (ersetzt DIN 4 022 und DIN 4 023)"
- **DIN EN ISO 14689-1**
"Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels"
- **DIN EN ISO 22 476-1**
"Geotechnische Erkundung und Untersuchung, Teil 1: Drucksondierungen (ersetzt DIN 4 094)"
- **DIN EN ISO 22 476-2**
"Geotechnische Erkundung und Untersuchung, Teil 2: Rammsondierungen (ersetzt DIN 4 094)"
- **DIN 1997 - 1 (Eurocode EC - 7)**
"Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln" und nationales Anwendungsdokument (NAD)
- **DIN 1997 - 2 (Eurocode EC - 7)**
"Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrundes" und nationales Anwendungsdokument (NAD)
- **DIN 1054**
"Baugrund, Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau"
- **VOB**
"Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen"
- **DIN 4124**
"Baugruben und Gräben; Böschungen, Arbeitsraumbreiten, Verbau"
- **DIBt - Richtlinie für Windenergieanlagen**
"Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung"
- **Grundbau - Taschenbuch (GBT)**
"fünfte Auflage, Teil 1, Ernst & Sohn"
- **RStO**
"Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen"
- **ZTV E - StB**
"Zusätzliche Technische Vorschriften und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau"
- **Floss, Rudolf**
"ZTVE Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau, Kommentar mit Kompendium Erd- und Felsbau - 3. Auflage, Bonn, 2006"
- **ZTV V - SoB - StB**
"Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau"
- **TL SoB - StB**
"Technische Lieferbedingungen für Baustoffgemische und Böden zur Herstellung von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau"

Zum Zeitpunkt der Berichtsverfassung stand dem Unterzeichnerbüro folgende Projektunterlage für die Bearbeitung zur Verfügung:

- **240820_Detailplanung_WP_Brilon_II_WEA03+04.dwg**, am 22.08. per mail von der Alterric Deutschland GmbH
- **Geoelektrische Messungen zur Ortung von Hohlräumen an 5 Standorten geplanter WEA des Windparks Brilon-Alme**, geoFact GmbH, Bonn, vom 13.11.2020

4 Lage, örtliche Situation und geologischer Untergrund

Die im Rahmen der Erweiterungsmaßnahme geplanten Windenergieanlagen kommen etwa 2 km südlich der Ortschaft Brilon - Alme im Hochsauerlandkreis in Nordrhein-Westfalen zur Errichtung. Den Standortpositionen sind folgenden Koordinaten (ETRS 89 UTM Zone 32 N) zugewiesen:

Anlage	Ost	Nord
WEA 03	473585	5698058
WEA 04	473296	5698243

Tabelle 1: Standortkoordinaten

Naturräumlich befindet sich das Windparkareal in einer von Wäldern und Landwirtschaft geprägten Mittelgebirgslandschaft.

Die verkehrstechnische Erschließung erfolgt über Wirtschaftswege, die vor einigen Jahren für die Aufstellung der benachbarten WEA ausgebaut und ertüchtigt wurden.

Am Standort WEA 03 wurde bereits im Jahr 2020 mit der Umsetzung des Bauvorhabens begonnen. Nach Herstellung der Kranstell- und Montagefläche wurde die Fundamentbaugrube für den damals geplanten Anlagentyp Enercon E-115 ausgehoben. Auf Grund von unklaren Baugrundverhältnissen wurde die Baugrube im Frühjahr 2021 wieder verfüllt.

Der Standort WEA 04 liegt auf einer landwirtschaftlichen Nutzfläche auf einer topografischen Höhe von etwa 390 m ü. NHN. Das Gelände fällt relativ flach in nordöstliche Richtung ein.

Nachstehende Fotoaufnahmen geben einen visuellen Überblick über die Standortverhältnisse zum Zeitpunkt der Erkundungsdurchführung.

Foto 1: Standort **WEA 03** mit Blick nach Südwesten



Foto 2: Standort **WEA 03** mit Blick nach Osten



Foto 3: Standort **WEA 04** mit Blick nach Nordwesten



Geologischer Rahmen:

Das Untersuchungsgebiet liegt am nordöstlichen Rand des rechtsrheinischen Schiefergebirges. Die geplanten Anlagenstandorte kommen innerhalb von Gesteinen des **Mittel- bis Oberdevons** der Stufe **Givet bis Adorf** zu liegen.

Hierbei handelt es sich um den so genannten Briloner Massenkalk, der überwiegend aus hell- bis blaugrauen, massigen bis bankigen, fein- bis grobkörnigen Kalksteinen besteht, die z.T. fossilreich sind und Verkarstungserscheinungen aufweisen (Briloner Riff).

Dieses ehemalige Riff bildete im Erdzeitalter Devon (Mitteldevon und unteres Oberdevon) einen massigen Kalkstein im Riffkern, sowie Riffschuttkalksteine. Die erhaltene Mächtigkeit erreicht mehrere 100 Meter. Das Gestein zeigt Verkarstungsphänomene mit Ausbildung von Dolinen, die z.T. Abmessungen bis in die Größenordnung 100 m (Durchmesser) haben können. Die Dolinen weisen in der Regel kreidezeitliche Verfüllungen auf und sind deshalb im Gelände oft nur undeutlich zu erkennen. Ansonsten weist die Lockergesteinsbedeckung nur geringe Mächtigkeiten auf, meist ist sie nur wenige Dezimeter dick. Nur in Dolinen oder Gebieten, wo die Festgesteinsoberkante verkarstungsbedingt ein deutliches Relief aufweist, steigt sie lokal bis auf 30 m an.

Die Klufflächen fallen subvertikal ein und zeigen lokal Dolomitisierung. Auch wird gelegentlich eine Verkieselung des Kalksteins beobachtet. In der gesamten Umgebung der Karbonathochfläche von Brilon kommen mächtige Calcitgänge vor. Selten sind Tonsteine in die Kalksteinabfolge eingeschaltet.

In den Deckschichthorizonten liegen meist Verwitterungsstrukturen vor, so dass je nach Intensität lockergesteinsähnliche Strukturen vorhanden sein können.

Überlagert werden die Festgesteine örtlich von quartären Bodenbildungen geringer Mächtigkeit. Hierbei handelt es sich meist um Lößlehm und / oder Abschwemmungen aus Schluffen und tonigen - schluffigen Sanden mit Grus und Steinen, z.T. humos.

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

Verkarstung und Erdfälle / Tektonik:

Auslaugungsfähige Gesteine (hierzu zählt insbesondere der Briloner Kalkstein) können verschiedene sogenannte **Verkarstungserscheinungen** zeigen. Hierzu gehören z.B. erweiterte Klüfte (häufig lehmgefüllt) oder Hohlraumbildung (Karsthöhlen, luftwasser- oder lehmgefüllt). Geschieht die Auslaugung rein unterirdisch, so spricht man von Subrosion. Solche Hohlräume können nach oben durchbrechen bzw. kollabieren (sog. Subrosionsbrekzien) und zu **Erdfällen** führen. Auch oberflächennah können so genannten Einsturzbrekzien entstehen (siehe Kap. Geoelektrik). Von einem Erdfall spricht man, wenn eine plötzliche Absackung im Gelände erfolgt und eine zylindrische Form mit senkrechter Abbruchwand entsteht. Dolinen entstehen durch eine langsame Sackung, in der ein Hohlraum durch fortschreitende Auslaugung mit der Zeit in Tiefe und Breite wächst.

Hydrologischer Rahmen:

Die Lage auf der Briloner Hochfläche bedingt eine typische Karsthydrologie. Ein Kluft- bzw. Karstgrundwasserleiter ist großflächig zu erwarten.

Nennenswerte Oberflächengewässer, die als Vorflut für den Oberflächenabfluss dienen, finden sich in der näheren Umgebung nicht. Feldgräben entlang von Wirtschaftswegen sind örtlich vorhanden.

Innerhalb des geländenahen und bauwerksrelevanten Untergrundes wird **kein zusammenhängender Grundwasserspiegel** erwartet. Dennoch können lokale Grundwasserführungen in Bodenpartien durchlässiger Lockergesteine (auch verwitterte Festgesteine) nicht ausgeschlossen werden. Diese treten in Abhängigkeit des jahreszeitigen Klimaverlaufes in Form von **Schicht-** bzw. **Sickerwasser** auf. Des Weiteren können sich innerhalb der Verwitterungslehme örtlich **Stauwässer** einstellen.

5 Baugrunderkundung

5.1 Erkundungsprogramm

Zur Erzielung eines orientierenden Überblickes über die tatsächlichen Boden- und Bodenwasserverhältnisse im Lasteinwirkungsbereich der Standorte und als Grundlage für die Vorbeurteilung der Gründung wurde auftragsgemäß folgendes Erkundungs- und Prüfprogramm durchgeführt:

am 11.03.2024

Geophysikalische Messungen (mit Kreuzprofil)

nach WENNER und

Messung spezifischer Erdwiderstand

nach VDE 0185-305 und DIN VDE 0413,

am 20.03.2024

4 Rammkernsondierungen (RKS) Ø36 - 50 mm

nach DIN 4020 bzw. DIN EN ISO 14688 und

4 dynamische (schwere) Rammsondierungen (DPH)

nach DIN 4094 bzw. DIN EN ISO 22476-T.2 sowie

am 02.07.2024

6 elektrische Drucksondierungen (CPT (DS))

nach DIN 4094 bzw. DIN EN ISO 22476-T.1.

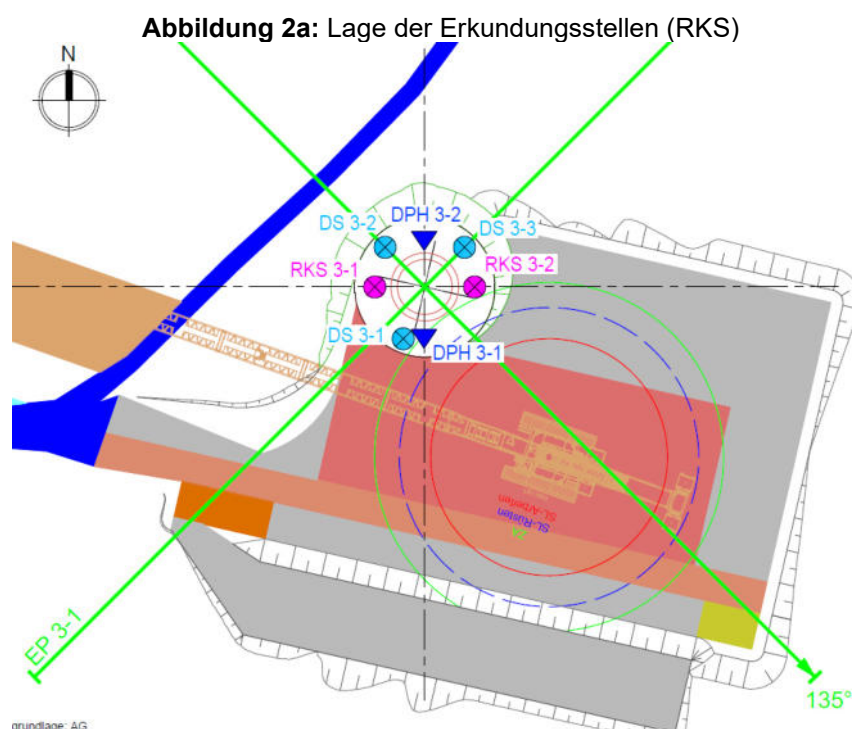
Die Lagepläne in der Anlage 1 zeigen die Anordnung der Erkundungs- und Prüfstellen.

Höheneinmessung: Die höhenmäßige Einmessung der Erkundungs- und Prüfstellen ist auf den jeweiligen Anlagenmittelpunkt bezogen worden (Bezugshöhe: **0,00 m relativ**).

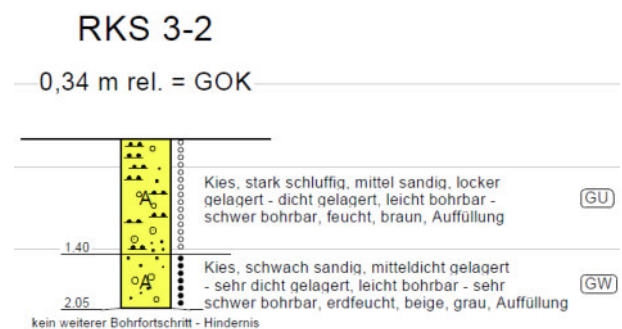
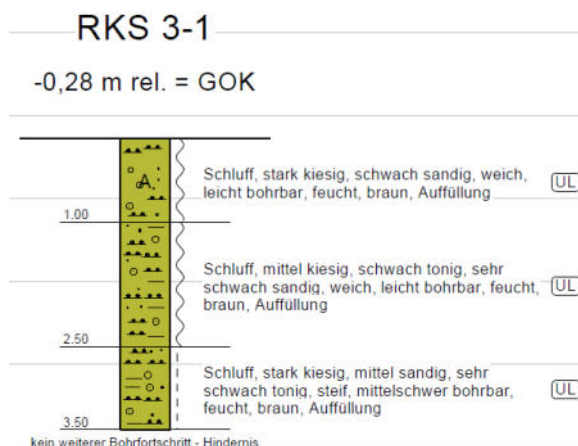
5.2 Erkundeter Bodenaufbau "Fundamentpositionen"

Das im Verlauf der Erkundungsarbeiten angetroffene Bodenprofil wurde ingenieurgeologisch detailliert aufgenommen. Nachfolgend werden die Profilaufnahmen wiedergegeben.

Standort WEA 03

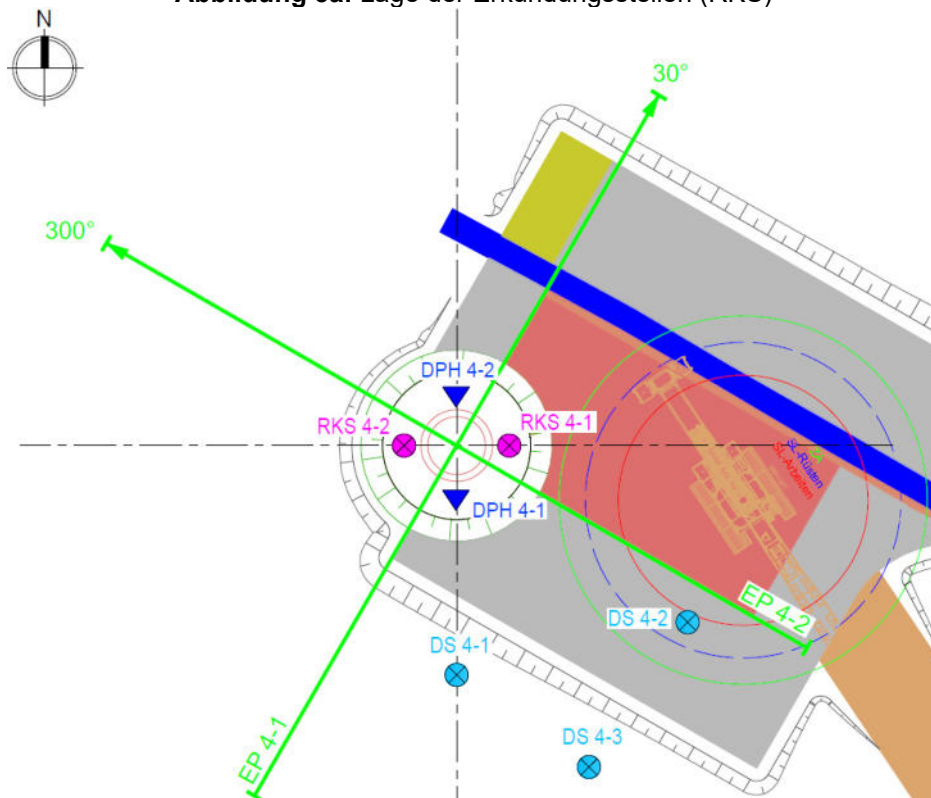


Abbildungen 2b und 2c: Profilbalkendarstellung der Erkundungsstellen

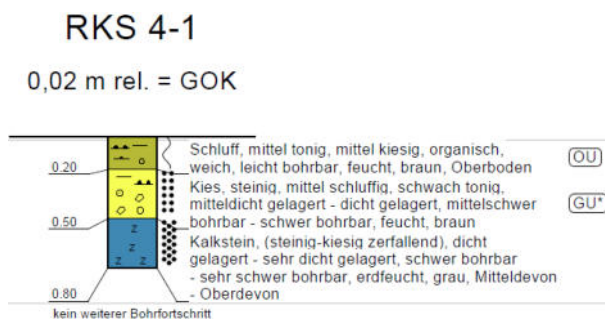


Standort WEA 04

Abbildung 3a: Lage der Erkundungsstellen (RKS)



Abbildungen 3b und 3c: Profilbalkendarstellung der Erkundungsstellen



Die aufgenommenen Bodenprofile sind nochmal in der **Anlage 2** als separate Darstellungen beigelegt.

Zusammenfassung der Untergrundverhältnisse:

Standort WEA 03

Der Standort ist erwartungsgemäß durch aufgefüllte Böden gekennzeichnet, da im Rahmen der früheren bereits begonnenen Baumaßnahme zur Errichtung einer Anlage des Typs E-115 die Baugrube ausgehoben und nach Verwerfung des Vorhabens diese wieder verfüllt worden ist.

Die aktuell auf der Westseite des Fundamentes angesetzte Bohrung RKS 3-1 hat bis zur Endtiefe von 3,50 m und Geländeoberkante (GOK) eine Schichtung aus kiesig - sandigen und teils schwach tonigen Schluffen angetroffen. An der Basis wurde auf ein Bohrhindernis getroffen und die Erkundung musste bei Erreichen der Geräteauslastungsgrenze eingestellt werden. Die Bohrstelle RKS 3-2 auf der Ostseite hingegen hat bis zur Tiefe von 2,05 m stark schluffigen und sandigen sowie ab Tiefe von 1,40 m sandigen Kies aufgeschlossen, bevor auch hier ab der genannten Tiefe aufgrund eines fest - harten Bohrhindernisses kein weiterer Tiefengewinn mehr erzielt werden konnte.

Standort WEA 04:

Nach geländeabdeckendem Oberboden aus organischem Schluff geringer Schichtdicke folgt bei Bohrung RKS 4-1 (Ostseite) steinig - schluffig durchsetzter Kies oder bei RKS 4-2 (Westseite) tonig - sandiger Schluff. Die wenige Dezimeter betragenden Schichten werden nachfolgend von einem Übergang in Kalkstein als verwittertes Gestein des Mittel- / Oberdevon abgelöst. Im Kernrohrgegnis zeigte sich ein steinig - kiesiges Zerfallen. Bei einheitlicher Tiefe von 0,80 m unter GOK trifft die Bohrung auf fest - harte Gesteinsstrukturen, so dass ein weiterer Tiefengewinn gerätebedingt nicht mehr möglich war. Es ist daher zu erwarten, dass ein Rückgang der Verwitterung anzutreffen ist.

Organoleptisch auffällige Schichten wurden im Zuge der Erkundung bis in maximale Erkundungstiefe nicht festgestellt.

5.3 Bodenwasserverhältnisse "Fundamentpositionen"

Mittels Lichtlot konnten in den Erkundungsstellen zum Zeitpunkt der Erkundung im März 2024 keine Anzeichen von Grundwasserzuläufen registriert werden. Nach visueller Wahrnehmung zeigten die Profilfolgen des anstehenden Bodenaufbaus ein natürliches Feuchtespektrum zwischen **"sehr schwach feucht"** und **"feucht"**.

Prinzipiell ist darauf hinzuweisen, dass es sich um eine aktuelle Feststellung zum Zeitpunkt der Erkundungsarbeiten handelt. Langzeitmessungen liegen nicht vor.

Der Bodenwasserhaushalt ist niederschlagsabhängig und jahreszeitlich bedingten Veränderungen unterworfen. Im Verlauf niederschlagsreicher Jahreszeiten können in Schichtabschnitten sowohl überhöhte Bodenfeuchte als auch lokale Schichtwasserleiter bzw. -ansammlungen auftreten.

Bei der Beurteilung der bodenhydrologischen Gegebenheiten sollte beachtet werden, dass anstehende Lehme (aufgefüllt oder geogen), Verwitterungsbildungen des Devons und auch der dicht bis sehr dichte Gesteinsverband der Devonformation je nach Klüftigkeit u.U. wasserstauende Eigenschaften aufweisen kann. Versickernde Niederschlagswässer werden im ungünstigsten Fall an einer raschen Abführung in die tieferen Untergrundzonen behindert.

Langfristige Aussagen der bodenhydrologischen Verhältnisse können nur nach Herstellung von verrohrten Messpegeln bzw. -brunnen erfolgen. Die u.s. Empfehlungen sind daher vorbehaltlich einer eingehenderen und langfristigeren Grundwasserbeobachtung zu sehen.

5.4 Dynamische Widerstandsmessungen

Zur Bestimmung der dynamischen Eindringwiderstände und zur Bestätigung der sensitiven Bodenansprache wurden zusätzlich Rammsondierungen mit der dynamischen (schweren) Rammsonde (DPH) nach DIN EN ISO 22476-T. 2 ausgeführt.

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

Die Ergebnisse werden als Widerstandslinie in einer Stufengrafik dargestellt.

Die Auswertung der Rammsondierung erfolgt unter Beachtung der allgemeinen Grundsätze der DIN EN ISO 22476-2 auf der Grundlage einer Gegenüberstellung von Schlagzahlbereichen und Lagerungsdichte bei grobkörnigen Böden und von Schlagzahlbereichen und Konsistenz bei feinkörnigen Böden.

Bei der Auswertung wird nach PRINZ / STRAUSS, (2017), Tabelle 4.8 berücksichtigt:

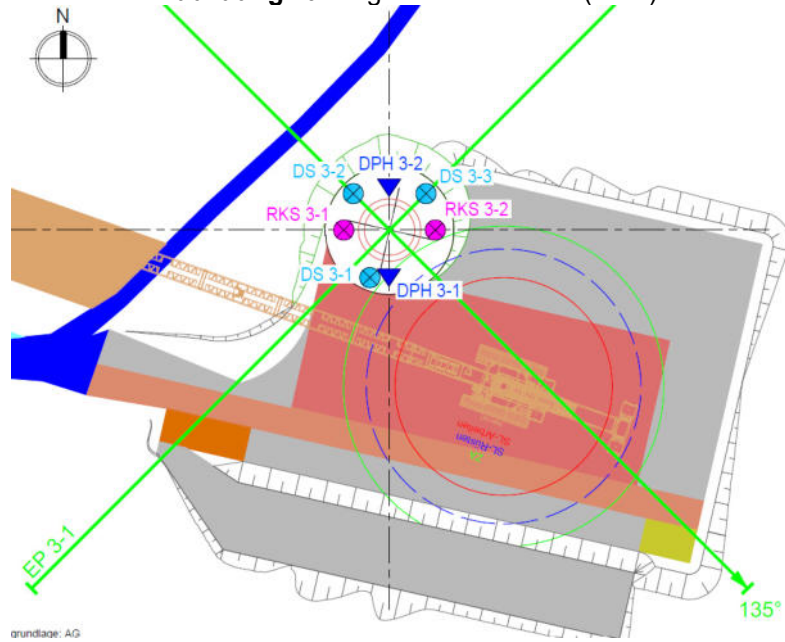
Lagerungsdichte	DPH N_{10}
locker	1 - 4
mitteldicht	4 - 13
dicht	13 - 24
sehr dicht	>24

Tabelle 2: Einteilung Lagerungsdichte nach Schlagzahlen der schweren Rammsonde

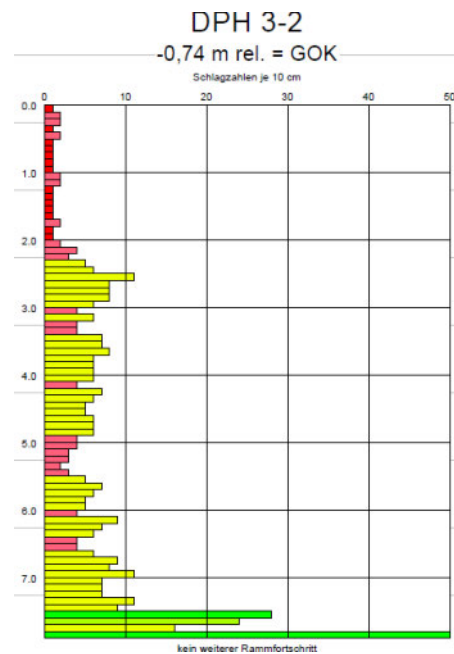
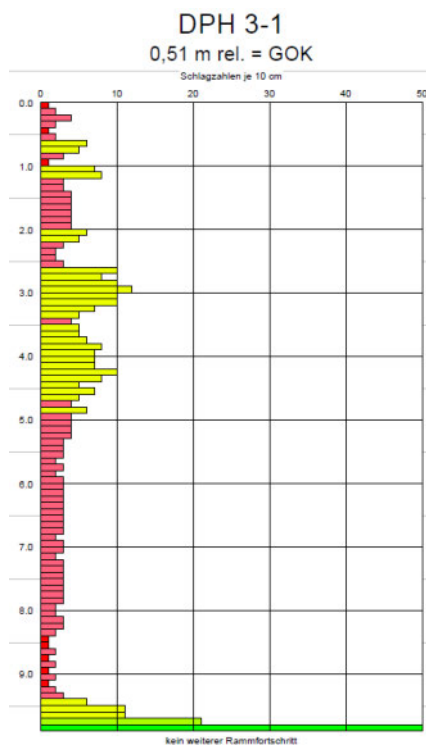
Nachfolgend wird das Ergebnis der Prüfstellen wiedergegeben.

Standort WEA 03

Abbildung 4a: Lage der Prüfstellen (DPH)



Abbildungen 4b und 4c: Widerstandslinien der Prüfstellen

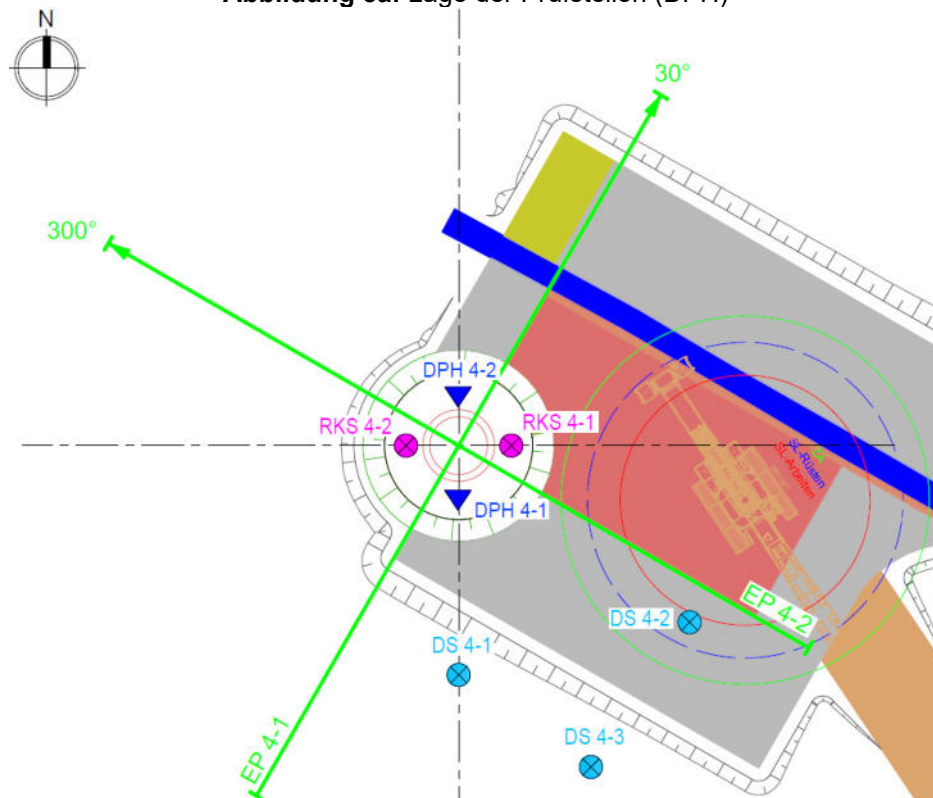


Legende DPH

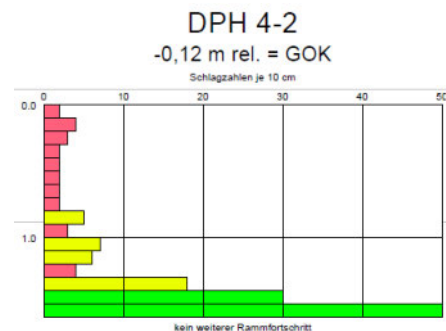
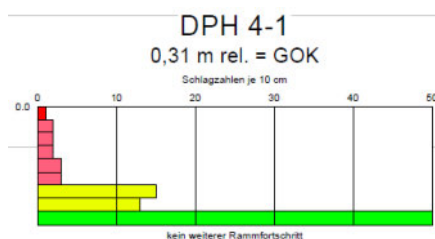


Standort WEA 04

Abbildung 5a: Lage der Prüfstellen (DPH)



Abbildungen 5b und 5c: Widerstandslinien der Prüfstellen



Legende DPH	
■	sehr locker
■	locker
■	mitteldicht
■	dicht
■	sehr dicht

In der **Anlage 3** sind nochmal separate Darstellungen der Widerstandslinien abgebildet.

Zusammenfassung des Prüfbefundes:

Standort WEA 03

Entlang der bis zur Tiefe von 9,90 m unter GOK reichenden Prüfstrecke beider Sondierungen liegen innerhalb der geländenahen Untergrundzone anhand der geringen Eindringwiderstände sehr lockere bis lockere Lagerungsverhältnisse vor. Heraus springende Widerstandsverläufe sind auf das Auftreffen auf eingelagerte Kiese zurückzuführen. Ab dem Tiefenbereich von ca. 2,0 bzw. 2,50 m folgen wechselhafte und uneinheitliche Schichtzonen lockerer und mitteldichter Lagerung.

Die Sondierung DPH 3-1 (Südseite Fundament) trifft an der Prüfbasis bei Tiefe von 9,90 m auf sprunghaft zunehmende Eindringwiderstände. Dies ist beim Ansatzort der Sondierung DPH 3-2 (Nordseite Fundament) bei Tiefe von 7,90 m eingemessen worden. Allem Anschein nach liegt hier der Übergang in den Festgesteinshorizont des Devons. Eine weitere Tieferführung konnte durch das Aufsitzen der Sonde nicht mehr erreicht werden.

Standort WEA 04

Erwartungsgemäß liegen hier völlig andere Bedingungen vor. Beide Prüforte (Nord- und Südseite Fundament) besitzen eine geländenahen Schichtzone geringer Steifigkeit. Bei Tiefe von 0,60 m bzw. 1,0 m folgt ein dünnmächtiger Abschnitt mitteldichter oder locker bis mitteldichter Verhältnisse, bevor infolge des sprunghaften Anstiegs der Schlagzahlen, ähnlich wie bei den direkten Erkundungsaufschlüssen der Rammkernsondierungen (RKS), ein Übergang in fest - harte Untergrundstrukturen folgt. Bei Tiefe von 0,90 m (DPH 4-1 - Südseite Fundament) bzw. 1,60 m (DPH 4-2 - Nordseite Fundament) enden die Prüfstellen durch das Aufsitzen der Sonde auf fest - harten Vortriebswiderständen.

5.5 Elektrische Drucksondierungen "Fundamentpositionen"

Veranlasst durch die Ergebnisse der Rammkern- und Rammsondierungen wurden in Absprache mit dem Bauherrn am Standort der geplanten Anlage **WEA 03** zur Findung eines geeignet tragfähigen Baugrundes sowie zur direkten Ermittlung der Untergrundeigenschaften ergänzend elektrische Drucksondierungen (CPT) nach DIN EN ISO 22476.T.1 ausgeführt.

Bei diesem Verfahren wird eine Sonde in den Untergrund mit gleichbleibender Geschwindigkeit eingedrückt, wobei Spitzenwiderstand, lokale Mantelreibung und gegebenenfalls Gesamtwiderstandskraft in Abhängigkeit von der Sondiertiefe gemessen werden können.

Der Spitzenwiderstand ist definiert durch die in der Sondenspitze übertragene Kraft, geteilt durch den Spitzenquerschnitt. Bei der lokalen Mantelreibung liegt die Beziehung der in der Reibungshülse übertragenen Kraft, geteilt durch die Mantelfläche der Reibungshülse zugrunde.

Aus dem Reibungsverhältnis kann näherungsweise auf die Bodenart in der jeweiligen Tiefe geschlossen werden (DIN EN ISO 22476-T.1).

Im Rahmen einer Fremdleistung erfolgten die Sondierungen durch die Firma Geotechnik Heiligenstadt GmbH, Heilbad Heiligenstadt.

In der **Anlage 4** sind der Spitzenwiderstand, die lokale Mantelreibung und der Reibungsindex grafisch aufgetragen.

Die Einteilung des Spitzendrucks erfolgt gemäß nachstehender Legende:

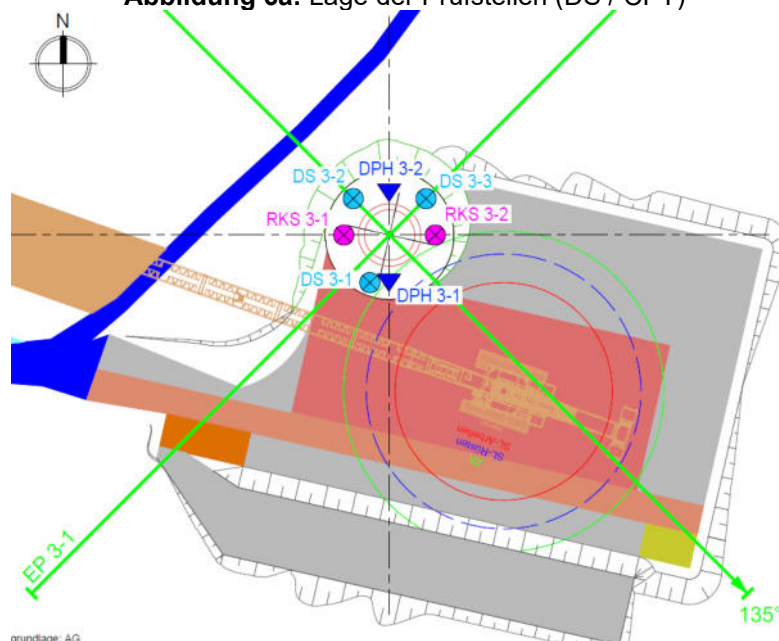
Abbildungen 8: Legende Spitzendruck

Legende Spitzendruck	
Lagerungsdichte ($R_f < 2.00$)	
	sehr locker ($q_c \leq 2.5$)
	locker ($q_c \leq 5.0$)
	mitteldicht ($q_c \leq 10.0$)
	dicht ($q_c \leq 25.0$)
	sehr dicht ($q_c \leq 100.0$)
Konsistenz ($R_f \geq 2.00$)	
	sehr weich ($q_c \leq 1.0$)
	weich ($q_c \leq 1.8$)
	steif ($q_c \leq 2.8$)
	halbfest ($q_c \leq 6.0$)
	fest ($q_c \leq 25.0$)

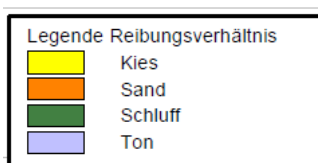
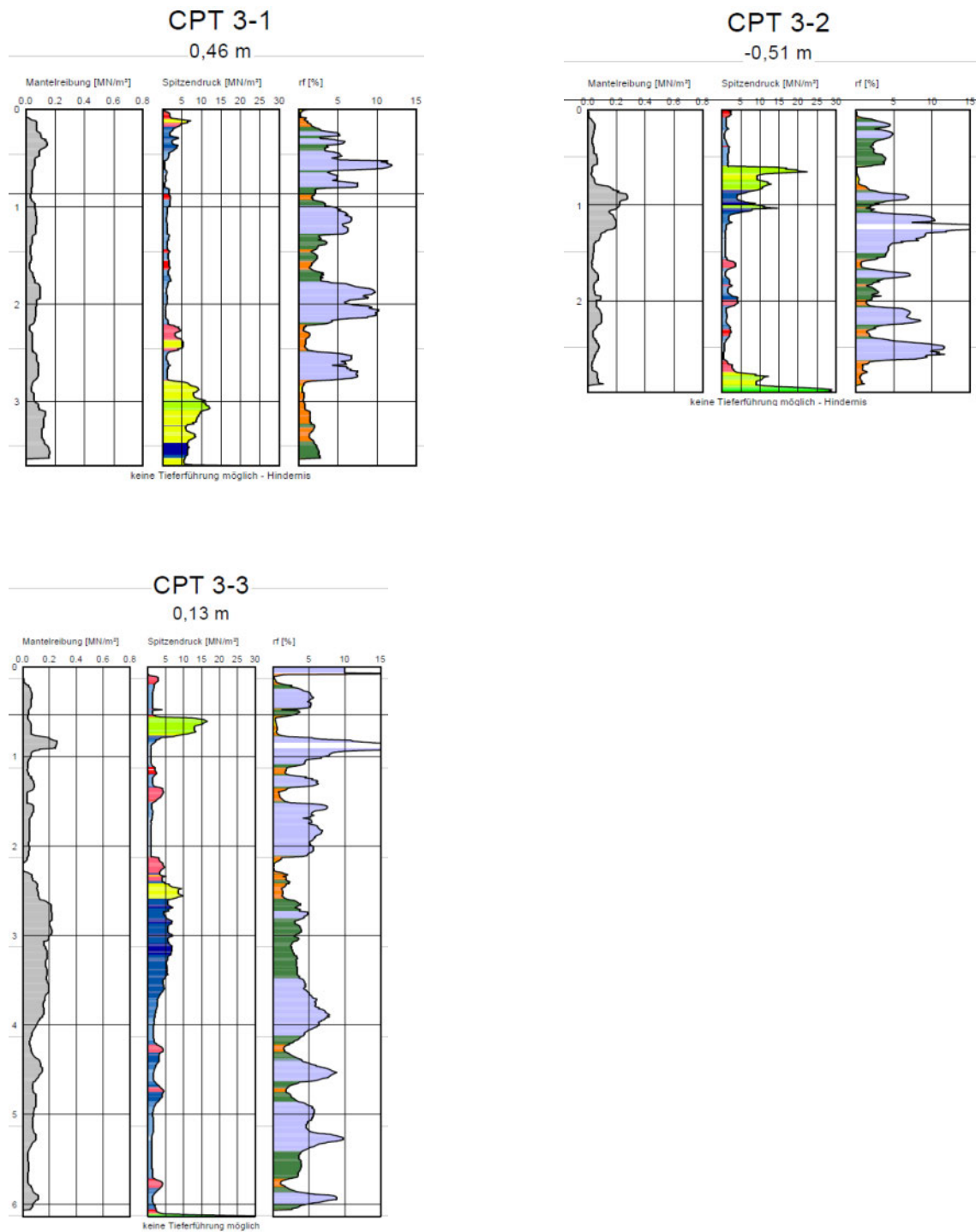
Das Ergebnis wird in den nachstehend abgebildeten grafischen Widerstandslinien dargestellt.

Standort WEA 03

Abbildung 6a: Lage der Prüfstellen (DS / CPT)

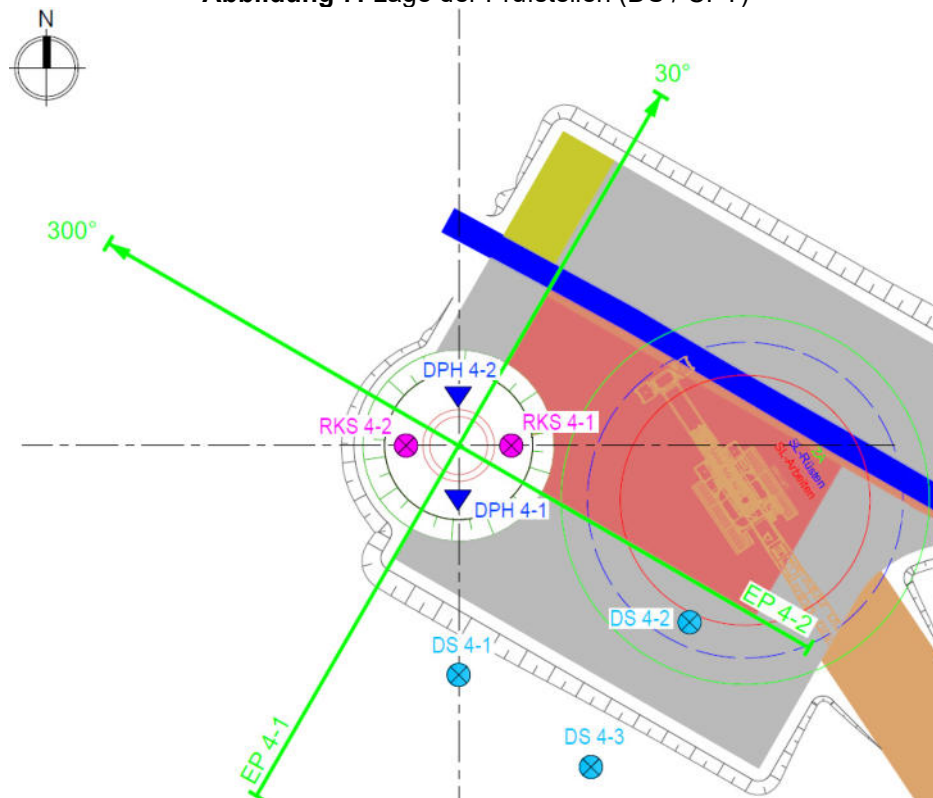


Abbildungen 6b bis 6d: Widerstandslinien der elektrischen Drucksondierungen



Standort WEA 04

Abbildung 7: Lage der Prüfstellen (DS / CPT)



Die Prüfung mit Hilfe von elektrischen Drucksondierung konnte an diesem Standort aufgrund der deutlich günstigeren Verhältnisse entfallen.

Interpretation des Prüfbefundes:

Standort WEA 03

Die o.s. Darstellungen der Befunde zeigen, dass sich entlang der Prüfstrecken wechselhafte Spitzenwiderstände abbilden. Gleichmäßige Schichtbegrenzungen und -mächtigkeiten sind nicht erkennbar. Verursacht wird dies zunächst durch die Variationen der einzelnen bindig / nichtbindigen sowie der kiesig beeinflussten Bodenhorizonte innerhalb der anstehenden Auffüllung.

Da am Standort bereits ein Erdaushub für die ursprünglich geplante Anlage des Typs E-115 stattgefunden hat und nach deren Verwerfung eine Wiederverfüllung erfolgt ist, ist festzustellen, dass die Böden der Verfüllzone insgesamt durch geringe Steifigkeit geprägt sind. Der Tiefenbereich ist bei etwa 2,5 bis 3 m unter GOK begrenzt.

Darunter folgt eine Zunahme der Spitzenwiderstände und Ableitung mitteldichter bis dichter Lagerungsverhältnisse. Gemäß dem Reibungsverhältnis wird auf eine sandige Zwischenschicht geschlossen.

In der am Südsüdwestrand angesetzten Drucksondierung DS 3-1 und in der am Nordwestrand angesetzten Sondierung DS 3-2 musste die Prüfung jeweils aufgrund eines undurchdringbaren Hindernisses in Tiefe von ca. 3 bzw. 4 m beendet werden.

Die Prüfstelle DS 3-3 (Nordostrand) konnte hingegen deutlich tiefer ausgeführt werden. Hier schließt sich ab etwa 2,5 m bindiger Boden (hauptsächlich Ton und Schluff) an, welcher anhand der Spitzenwiderstände als halbfest bis fest bezeichnet werden kann. Allerdings ist diese bei Tiefe von ca. 3,5 m begrenzt und anschließend folgt eine deutliche Abnahme der Spitzenwiderstände. Bis zur Prüftiefe von ca. 6 m zeigt der Untergrund wieder geringe Steifigkeit, bevor im Anschluss eine sprunghafte Zunahme der Spitzenwiderstände festzustellen ist und eine weitere Tieferführung nicht mehr zu erreichen war.

5.6 Geoelektrische Messungen

Vorbemerkungen, Beeinträchtigungen des Baugrundes durch Verkarstung oder Erdfälle

Auslaugungsfähige Gesteine (hierzu zählt insbesondere Kalkstein) können verschiedene sogenannte Verkarstungserscheinungen zeigen. Hierzu gehören z. B. erweiterte Klüfte (häufig lehmgefüllt) oder Hohlraumbildung (Karsthöhlen, luft-, wasser- oder lehmgefüllt).

Geschieht die Auslaugung rein unterirdisch, so spricht man von Subrosion. Solche Hohlräume können nach oben durchbrechen bzw. kollabieren (sogenannte Subrosionsbrekzien) und zu Erdfällen führen. Auch oberflächennah können auf diese Weise Einsturzbrekzien entstehen.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die unterschiedlichen Situationen der Dolinenentstehung.

Blockbild a zeigt die Entstehung einer Doline in einem verkarstungsfähigen Gestein durch Auslaugungserweiterung von vorgezeichneten Schwächezon, in Blockbild b sieht man einen Erdfall durch Einsturz eines Karsthohlraumes. Die Blockbilder c und d zeigen die analogen Situationen für den Fall, dass das verkarstungs- bzw. auslaugungsgefährdete Gestein von einem anderen überdeckt wird.

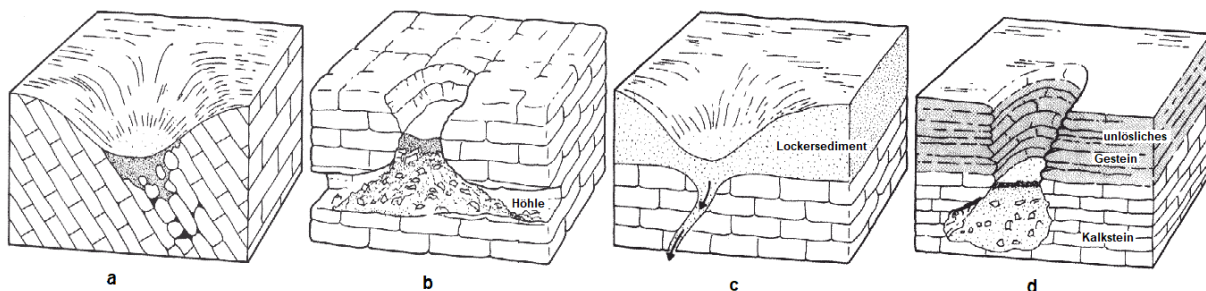


Abbildung 8: Verkarstung oberflächlich anstehender (a & b) und überdeckter Gesteine (c & d)

Zusätzlich gibt es in den Verbreitungsgebieten von Anhydrit (wasserfreies Calciumsulfat) die Möglichkeit der Bildung von sogenannten Quellschloten.

Durch hinzutretendes Wasser wird Anhydrit in Gips umgewandelt, was mit einer Volumenzunahme verbunden ist. Dadurch können überlagernde Gesteinsschichten angehoben werden.

Auch Dolinen, die im Laufe der Zeit mit Lockergestein wieder aufgefüllt wurden, welches bereits konsolidiert (also u. U. lastabtragungsfähig) ist, können eine Gefährdung darstellen. Bedingt durch die Tatsache, dass weiterhin Lockergestein über die Wasserwegsamkeiten abgeführt wird, ergeben sich gelegentlich schlotartige Nachbrüche in der Dolinenfüllung. Ein Beispiel dafür zeigt nachfolgende Abbildung.



Abbildung 9: Erdfall in einer alten Dolinenfüllung auf der Briloner Hochfläche

Indikation möglicher Spalten oder Klüfte sowie Verkarstungserscheinungen durch geoelektrische Messungen

Spalten oder Klüfte zeichnen sich im Allgemeinen in ansonsten kompaktem Gestein durch geänderte spezifische elektrische Widerstände aus. Auch steil stehende Strukturen können so erkannt werden. Beispiele hierfür sind dem Verfasser aus eigener Erfahrung hinreichend bekannt. Variierende Boden- und Gesteinseigenschaften wie Lagerungsdichten, Verwitterungsgrad, Klüftigkeit oder Porenvolumen haben Einfluss auf den elektrischen Widerstand und können sich entsprechend im Widerstandsmodell eines ansonsten homogenen geologischen Gebirges widerspiegeln. So führt z.B. eine geringere Lagerungsdichte in einer ansonsten dichten Umgebung eines gut leitfähigen Gesteins, wie beispielsweise Tonstein, zu einer signifikanten Erhöhung des spezifischen elektrischen Widerstandes.

Ältere Strukturen (wie Klüfte, Spalten, Dolinen, etc.) können u. U. nicht direkt im Gelände beobachtet werden, da sie im Laufe der Zeit verfüllt wurden. Die Verfüllung kann hierbei schlechter oder besser leitfähig sein als die Umgebung. Diese Strukturen sind dann nicht direkt an den charakteristischen Veränderungen des spezifischen elektrischen Widerstandes erkennbar, sondern z.B. an ihrer mulden- oder grabenförmigen Gestalt im ermittelten Widerstandsmodell. Daher ist bei der Interpretation von Hohlräumen, Dolinen, Klüften, Störungszonen, etc. insbesondere die sich abzeichnende Form des ermittelten Widerstandsmodells zu beachten, da die Gestalt z.B. Hinweise auf natürliche oder anthropogene Auffüllungen geben kann.

Eine zusammenfassende Aufstellung der genannten Charakteristika findet sich in nachfolgender Übersicht:

Interpretationshilfen zur Bewertung der „spezif. elektrischen Widerstände“

Allgemein:

Je größer die elektr. Leitfähigkeit eines Materials, desto geringer der spezif. elektr. Widerstand.

Detektion von Schichtgrenzen:

Schichtgrenzen (z.B. Locker- / Festgestein) korrelieren meist mit sich ändernden elektr. Widerständen.

Boden- und Gesteinseigenschaften

Variierende Boden- und Gesteinseigenschaften wie Lagerungsdichten, Verwitterungsgrad, Klüftigkeit oder Porenvolumen haben Einfluss auf den elektrischen Widerstand und können sich entsprechend im Widerstandsmodell des ansonsten homogenen geologischen Gebirges widerspiegeln.

Wassereinfluss / Bodenfeuchte:

geringer Wassergehalt -> erhöhter elektrischer Widerstand

hoher Wassergehalt -> verringerter elektrischer Widerstand

(dabei besitzt Süßwasser einen höheren elektrischen Widerstand als Salzwasser).

„Hohlräume“ z.B. Karsthöhlen, Dolinen, Klüfte, Spalten, etc.:

Hohlraum über Grundwasser -> erhöhter elektrischer Widerstand

Hohlraum, wassergefüllt -> verringerter elektrischer Widerstand

offene Kluft -> erhöhter elektrischer Widerstand

lehmgefüllte Kluft -> verringerter elektrischer Widerstand

lehmgefüllte Kluft in hochohmiger Umgebung (z.B. Sandstein, Kristallin) -> verringerter el. Widerstand

lehmgefüllte Kluft in niederohmiger Umgebung (z.B. Tonstein, Tonschiefer) -> erhöhter el. Widerstand

Hinweis:

Bei der Interpretation von Hohlräumen, Dolinen, Klüften, Störungszonen, etc. ist insbesondere auch die sich abzeichnende Form des ermittelten Widerstandsmodells zu beachten (z.B. mulden- oder graben-förmige Gestalt), da die Verfüllung der Strukturen, je nach Umgebung, sowohl schlechter als auch besser leitfähig erscheinen kann. Ferner ist zu beachten, dass ältere Strukturen, z.B. aufgrund natürlicher oder anthropogener Auffüllungen, im Gelände oft nicht mehr als solche erkennbar sind.

Beschreibung des Verfahrens - Geoelektrische Widerstandsmessungen

Geologische und technische Materialien zeichnen sich durch ihre spezifischen elektrischen Eigenschaften aus. Diese sind bei geologischen Materialien (Fest- und Lockergesteine) von verschiedenen Faktoren und Umweltbedingungen abhängig.

Dazu gehören z. B. die mineralogische Zusammensetzung, die Lagerungsdichte, der Verwitterungszustand, das Porenvolumen bzw. die Klüftigkeit und der Wassergehalt. In Bezug auf umwelttechnische Fragestellungen gibt es hier noch Einflüsse von Kontaminationen mit festen und flüssigen Stoffen zu beachten.

Der spezifische elektrische Widerstand des geologischen Untergrundes ist also eine geeignete Messgröße zum Aufsuchen von Inhomogenitäten, die durch lokale Veränderungen der oben genannten Parameter verursacht werden. Mit geeignetem Gerät lässt sich der spezifische elektrische Widerstand des Erdreiches zügig und mit guter Genauigkeit messen und so eignen sich geoelektrische Messungen besonders zur Vorerkundung von größeren Flächen.

Typische Anwendungsfälle sind die Erkundung der Schichtgrenze von Locker- zu Festgestein. Bei ansonsten homogenen geologischen Verhältnissen lassen sich Variationen in der Lagerungsdichte von Lockergesteinen, welche Auswirkungen auf die bodenmechanischen Kennwerte des Baugrundes haben, feststellen. Hierbei wird oberhalb des Grundwasserspiegels eine Erhöhung des spezifischen elektrischen Widerstandes durch eine verringerte Lagerungsdichte ausgenutzt. Unterhalb des Grundwasserspiegels erkennt man Auflockerungen oder Hohlräume in schlechter leitfähigem Nebengestein durch eine entsprechende Erniedrigung des spezifischen elektrischen Widerstandes.

Grundprinzip der Messungen

Zur Messung des spezifischen elektrischen Widerstandes des Erdreiches wird ein Strom über zwei Elektroden in den Boden eingespeist. Neben Einflüssen durch die Leitfähigkeit und den schichtigen Aufbau des geologischen Untergrundes bestimmt der räumliche Abstand dieser beiden Elektroden, die Eindringtiefe des Prüfstromes in das Erdreich. Durch Vergrößerung des Abstandes der Einspeiseelektroden erhält man also sukzessive Informationen aus zunehmender Tiefe unterhalb der Geländeoberkante.

Um den Widerstand zu bestimmen, wird die an der Erdoberfläche durch den oben genannten Prüfstrom verursachte Spannung gemessen. Dazu benutzt man zwei weitere Elektroden, die in der Regel, räumlich betrachtet, zwischen den Stromeinspeiseelektroden angeordnet werden.

Das Verhältnis der gemessenen Spannung zum eingespeisten Strom ergibt unter entsprechender mathematischer Berücksichtigung der geometrischen Elektrodenanordnung den spezifischen elektrischen Widerstand des Erdreiches.

Führt man an jedem Messpunkt eine Messung mit festem Elektrodenabstand aus, so erhält man nur einen Widerstandswert, der über die verschiedenen Schichten des geologischen Untergrundes gemittelt ist. Misst man mit verschiedenen Abständen oder unterschiedlichen geometrischen Anordnungen der vier Elektroden, so lassen sich Aussagen über den schichtigen Aufbau des Untergrundes herleiten. Dadurch haben sich für unterschiedliche Fragestellungen bestimmte Elektrodenanordnungen als Standard etabliert. Verschiedene Präsentationsformen für die Ergebnisse der Auswertungen erlauben eine problemangepasste Darstellung.

Für die flächenhafte Erkundung des Baugrundes eignen sich die beiden weiter unten beschriebenen Methoden besonders gut.

Einflüsse auf die Durchführbarkeit oder die Qualität der Messungen

Es gibt Störeinflüsse auf die Messungen, welche nur teilweise in der Auswertung korrigiert werden können:

Hierzu gehören metallische Körper (insbesondere Leitungen und Zäune) im Untersuchungsgebiet, die im Prinzip Kurzschlüsse für den eingespeisten Prüfstrom ermöglichen. Geschlossene Bodenversiegelung z.B. durch Beton, Asphalt, etc. behindert das Einstecken der Elektroden und im Falle von bewehrtem Beton besteht ebenfalls die Möglichkeit von Kurzschlüssen.

Starker Bewuchs des Geländes (Bäume, Büsche oder ähnlich hinderliche Vegetation) führt zu einer Verringerung des Messfortschrittes oder erzwingt eine starke Abweichung von einer geraden (idealen) Profillinie. Bodenfrost oder starke Trockenheit behindern die Einspeisung des Prüfstromes.

Sehr geringe Unterschiede im spezifischen elektrischen Widerstand der zu unterscheidenden geologischen Schichten können im Grenzfall dazu führen, dass eine Auflösung in einzelne Schichten unmöglich wird.

Widerstandskartierung nach Wenner

Beim sogenannten Wenner-Verfahren liegen die beiden Einspeiseelektroden an den beiden Enden der Gesamtauslage (als Auslage bezeichnet man die gesamte Anordnung mit Kabeln und Elektroden). Die beiden Spannungsmesselektroden liegen auf einer geraden Linie dazwischen. Der Abstand a der einzelnen Elektroden untereinander ist bei der Wenner-Anordnung immer gleich. Die Gesamtauslage beträgt somit dreimal den Einzelabstand a .

Diese gesamte Anordnung wird bei der Messung versetzt, so dass man entlang von Profillinien die horizontale Veränderung des spezifischen elektrischen Widerstandes beobachten kann. Eine Unterscheidung verschiedener Schichten in vertikaler Richtung ist durch den konstanten Elektrodenabstand bei der Messung nicht gegeben. Das Wenner-Verfahren ist somit ein ortendes Verfahren für Störungen im geologischen Untergrund, die durch die Messung auf die Oberfläche abgebildet werden. Es ist besonders zur schnellen und zielsicheren Auswahl von nachfolgenden Sondierungen oder sonstigen Aufschlüssen geeignet.

Ordnet man mehrere Profillinien verteilt über die Untersuchungsfläche an, so erhält man ein Kartenbild des spezifischen elektrischen Widerstandes. Die Ergebnisse können in einem Isoliniendiagramm (analog zu Höhenlinien einer topografischen Karte) dargestellt werden. Auffälligkeiten und Störungen im geologischen Untergrund können daraus abgelesen und mit dem erzeugten Kartenbild im Gelände wieder aufgefunden werden.

Sondierungskartierung im Multielektroden-Wenner-Verfahren

Um eine Aussage über den Aufbau der Schichten des geologischen Untergrundes zu bekommen, ist eine sukzessive Veränderung des Abstandes der Einspeiseelektroden notwendig.

Das sogenannte Multielektroden-Wenner-Verfahren verbindet die kartierenden Möglichkeiten des Wenner-Verfahrens mit einer Tiefenauflösung. Hierbei wird eine Reihe von Elektroden entlang einer Profillinie gesteckt. Die Elektroden werden dann analog zum Wenner-Verfahren äquidistant beschaltet. Im ersten Durchgang wird fortschreitend jeweils eine Viererkette von Elektroden mit dem festen Elektrodenabstand a beschaltet/gemessen. Nach dem Durchlauf des Messzyklus wird dieses Verfahren mit einem vergrößerten Elektrodenabstand ($2 \cdot a$) wiederholt, wobei entsprechend andere Elektroden bei der Schaltung/Messung angesprochen werden. Diese Messzyklen werden, unter Vergrößerung des Elektrodenabstandes um jeweils eine Einheit a , wiederholt, bis der maximal mögliche (auslageabhängige) Abstand erreicht ist.

Man erhält im Ergebnis also eine Verknüpfung von ortsauflösender (bzgl. der Erdoberfläche) und tiefenauflösender Widerstandsmessung. Mit einem geeigneten Softwareprogramm und unter Berücksichtigung von geologischen und geophysikalischen Kenntnissen ergeben sich zweidimensionale Schnitte durch den geologischen Untergrund. In Abhängigkeit vom berechneten spezifischen elektrischen Widerstand erhält man so farbige Isoliniendiagramme. Dies lassen sich als anschauliche grafische Darstellungen für den Schichtaufbau des geologischen Untergrundes interpretieren.

Durchgeführte Arbeiten bei den geoelektrischen Messungen

Zur Erkundung des geologischen Untergrundes wurden an den betreffenden WEAs geoelektrische Widerstandssondierungen nach dem Multielektroden-Wenner-Beta-Verfahren (s.o.) durchgeführt. Zur Ausführung der Messungen und der Interpretation bzw. numerischen Auswertung der Messergebnisse wurden folgende Geräte und Software verwendet:

Messgerät	ABEM Terrameter S1000 mit ABEM LUND Schalteinheit ES64-10C
Anzahl Kanäle	42
Elektrodenmaterial	Edelstahl
Software Konvertierung	S4KWin (Hersteller: ABEM)
Software Auswertung	AGS Res2Dinv

Tabelle 3a: Verwendetes Equipment

Folgende Parameter wurden für die Messkampagne festgelegt:

Ausführungszeitraum	11.03.2024
Summe Profillängen [m]	246
Summe Messungen	548
Messkonfiguration	2 Profile kreuzweise je Standort
Witterung	Bewölkt, ca. 7°C
Einmessen	eigene Einmessung mittels DGPS, Kompass, Maßband

Tabelle 3b: Parameter der Messkampagne

Pläne mit Angabe zur Lage der WEA wurden durch den Auftraggeber bereitgestellt. Die Profillinien und die Elektrodenpositionen wurden nach Lage eingemessen. Die Profilirichtungen wurden mittels Kompasses und die Einmessung der einzelnen Elektrodenpositionen geschah mit einem Bandmaß, so dass die Positionierungsfehler der Elektroden kleiner als 5 Prozent sind.

Die Störeinflüsse durch anthropogene Einrichtungen und technisch initialisierte Fremdströme waren gering.

Wahl der Messprofile und einschränkende Bedingungen

Am Standort wurden zwei Profile vermessen. Diese werden normalerweise möglichst senkrecht zueinander angeordnet. Dadurch ergibt sich eine größere Flächenabdeckung und laterale Änderungen in der geologischen Situation können besser erfasst werden.

Die Bezeichnungen der Profile und ihre Auslagerichtungen (= Himmelsrichtung, in die das positive Profilende zeigt) sind in nachfolgender Tabelle aufgelistet:

Profilbezeichnung	Richtung [°]	Bemerkungen / Besonderheiten
EP 4-1	210	Keine Auffälligkeiten
EP 4-2	120	Keine Auffälligkeiten

Tabelle 4: Gemessene Profile

Die Lagepläne in **Anlage 1** geben die Anordnung der Profile im Gelände wieder.

Auswertung der geoelektrischen Messungen

Die elektrischen Rohdaten wurden auf die Konsistenz der Datensätze hin überprüft und vom proprietären Format des Instrumentenherstellers in ein Standardformat konvertiert und anschließend in geeigneter Software invertiert. Die gewonnenen Schichtenmodelle wurden insbesondere im Hinblick auf die in diesem Fall interessierende Fragestellung analysiert. Diese Schichtenmodelle sind in den folgenden Abschnitten abgebildet und erläutert.

Ergebnisse und Interpretationen

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

Die Längen- und Tiefen an dem Profil sind in Metern angegeben. Zu beachten ist, dass kein fester Maßstab für die Skalierung von Tiefen- und Längenangaben gewählt wurde. Als Einheit für den spezifischen elektrischen Widerstand wird $1 \Omega\text{m}$ ($1 \text{ Ohm} \cdot 1 \text{ m}$) verwendet.

Standort WEA 04

Profil EP 4-1

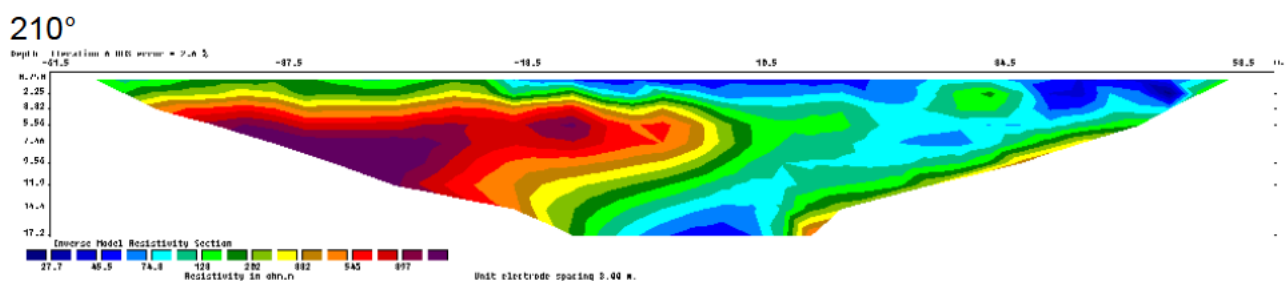


Abbildung 10a: Das Profil EP 4-1

Der Anlagenmittelpunkt befindet sich bei Profilmeter 0. Die rechte Seite zeigt nach Südwesten. Bis zur maximalen Erkundungstiefe von ca. 17 m ergibt sich ein im Wesentlichen zwei- bis dreischichtiger geologischer Untergrund.

Das Widerstandsbild teilt sich dabei lateral in zwei Bereiche ein, einen hochohmigen von der linken (nordöstlichen) Seite bis ca. Profilmeter 9, sowie einen niederohmigen Bereich auf der rechten (südwestlichen) Seite.

Die Schichtansprache kann nun anhand der direkten Aufschlüsse am Standort erfolgen. Die grundsätzlichen geologischen Einheiten stellen sich wie folgt dar:

- Oberboden, feinsandige Schluffe, spezifischer elektrischer Widerstand ca. 30-100 Ωm (blaue und grüne Darstellung, sehr geringmächtig)
- Devonischer Kalkstein > 200 Ωm (rote Darstellung)
- teilweise Kluftfüllung, ca. 20-200 Ωm (blaue bis grüne Darstellung)

Das Schichtpaket auf der linken Seite zeigt mit bis zu 1000 Ωm sehr hohe Widerstände, die typisch für die blockig-bankigen Ablagerungen des Oberdevons sind. In diesem Bereich ist die Oberbedeckung aus Schluff und Ton sehr dünn ausgeprägt, die Rammkernsondierung zeigt bereits nach 50 cm Kalkstein.

Das Hauptaugenmerk des Profils ist die niederohmigen Anomalie, welche die gesamte rechte Seite des Inversionsdiagramms dominiert. Anhand ihrer Form wird sie als verkarstetes Kluftsystem oder als der Randbereich einer Doline angesprochen. Die Widerstandswerte von im Mittel über 75 Ωm sprechen jedoch gegen eine völlige Entfestigung des Kluftmaterials. Der Mittelpunkt der Kluft liegt ca. 30 m südwestlich des Anlagenmittelpunktes, die Kluft selbst zeigt ein Einfallen in nordöstliche Richtung. In der Inversionsrechnung zieht sich der niederohmige Bereich bis unter den Fundamentdurchmesser, in größeren Tiefen ist die Einfallsrichtung von Schichten jedoch aus numerischen Gründen verzerrt.

Es ist anhand der geophysikalischen Erkundung davon auszugehen, dass der Fundamentbereich entlang der Profilrichtung noch vollständig außerhalb des Kluftbereiches liegt. Am südwestlichen Rand ist jedoch mit einer erhöhten Lockergesteinsbedeckung zu rechnen. Es wird allgemein empfohlen, den westlichen bis südwestlichen Bereich der Baugrube bei Aushub genau zu begutachten und ggf. zusätzliche Baggerschürfe anzulegen, um bindige Schichten unterhalb des Kalksteins auszuschließen.

Fortsetzung der Beschreibung im nächsten Profil.

Profil EP4-2

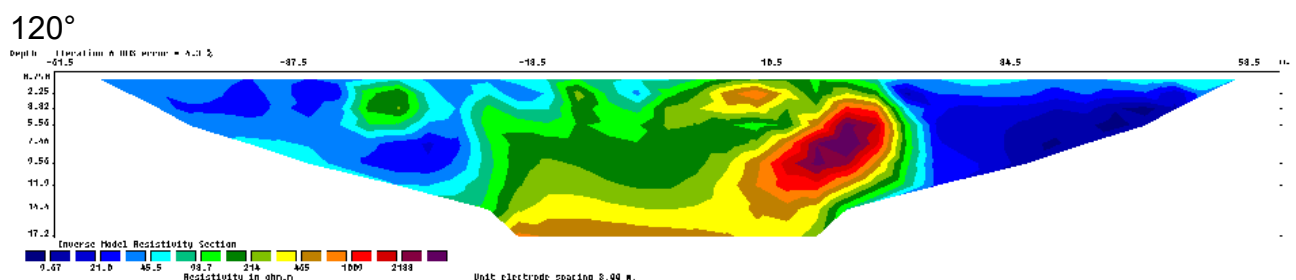


Abbildung 10b: Das Profil EP 4-2

Der Anlagenmittelpunkt befindet sich bei Profilmeter 0. Die rechte Seite zeigt nach Südosten. Das Profil verläuft parallel zum bestehenden Feldweg.

Für die Widerstandsbereiche und geologischen Schichteinteilung sei auf das vorherige Profil verwiesen.

Die Struktur des Widerstandsbildes weicht stark vom vorherigen Profil ab. Zwischen den Profilmeter -16 und 22 in der Mitte ist ein mittel- bis hochohmiges Schichtpaket mit Widerstandswerten von 100 bis zu 2000 Ωm erkennbar. Hierbei handelt es sich um die bereits besprochenen Kalksteine aus dem Oberdevon. Die einzelne Ansammlung extrem hoher Werte über 1500 Ωm (rot) könnte dabei auf lokale Konzentrationen von Calcit hindeuten. Oberflächennah zeigen sich in dem Schichtpaket diverse kleinräumige Klüfte, die eine Anisotropie (Richtungsabhängigkeit) aufweisen und in dieser Profilrichtung überwiegend quer geschnitten werden. Hauptmerkmal des Profils sind die großen, sehr niederohmigen Zonen außerhalb des mittleren Schichtblocks. Stellenweise zeigen diese Widerstandswerte von weniger als 10 Ωm . Diese Bereiche sind als ausgedehnte Dolinen (Verkarstungstrichter) mit einer komplett entfestigten Lockermaterialfüllung zu interpretieren, die keinen lastabtragungsfähigen Untergrund darstellen. Der Fundamentbereich selbst liegt außerhalb dieser Dolinen und ist davon voraussichtlich nicht betroffen. Da die geoelektrische Untersuchung nur zwei Achsen abdeckt, wird jedoch für die Randbereiche eine ausführliche Erkundung empfohlen. Es wird dringend davon abgeraten, die Anlage entlang des Profils (d.h. parallel zum Feldweg) in zukünftigen Planungen zu verschieben.

Standort WEA 03 - Anmerkungen

Der Standort **WEA 03** wurden im Jahr 2020 durch die geoFact GmbH ebenfalls mittels zweier geoelektrischer Widerstandsprofile untersucht. Da keine Verschiebung stattfand, wurde auf eine erneute geophysikalische Erkundung verzichtet. Die nachfolgende Abbildung zeigt das Inversionsdiagramm von Standort WEA 03:

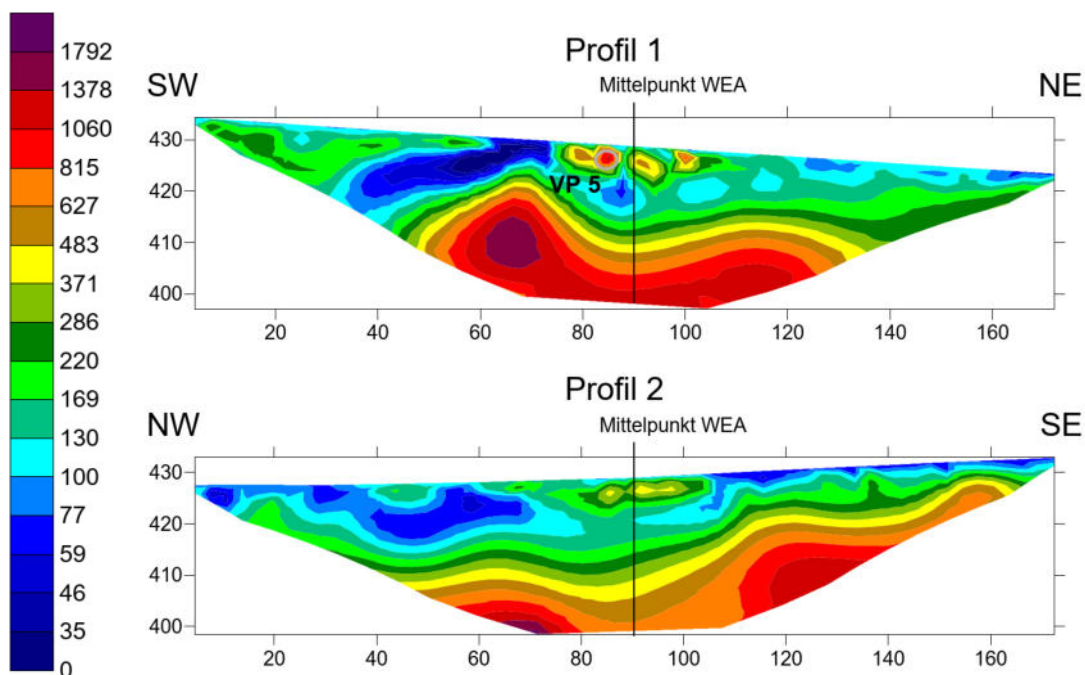


Abbildung 11a und 11b: Geoelektrische Sondierung am Standort WEA 03, Quelle: geoFact GmbH, 13.11.2020

Anhand der zwischenzeitlich durchgeführten geotechnischen Untersuchungen mittels Drucksondierungen (CPT), Ramm- und Rammkernsondierungen, kann die Interpretation der geoelektrischen Erkundung ergänzt werden.

Demnach ist im Fundamentbereich ein vierschichtiger Fall erkennbar. Unterhalb einer dünnen Bedeckung aus Lockergestein steht eine ebenfalls geringmächtige Bank aus Kalkstein an, die von kleinräumigen Klüften durchzogen ist. Diese beiden Schichten wurden beim Ausheben der Baugrube größtenteils entfernt. Als dritte Schicht ist eine nieder- bis mittelohmige Schicht (100-150 Ω m) erkennbar, die sich durch den gesamten Fundamentbereich und insbesondere in nordwestliche Richtung erstreckt. Sie kann anhand der geotechnischen Erkundung als kiesiger Schluff angesprochen werden und verläuft bis 5-10 m unter GOK. Es lässt sich nicht abschließend klären, ob es sich hierbei um eine Dolinenfüllung oder eine in-Situ-Verwitterung der anstehenden Gesteine handelt. Die liegende Kalksteinschicht (rot dargestellt) im Fundamentbereich zeigt unterhalb dessen keine Anzeichen für größere Klüfte oder Störungen.

In ca. 25 m Abstand vom Mittelpunkt in südwestliche Richtung wird das Widerstandsdiagramm von einer scharf abgetrennten geologischen Störung durchzogen, die durch sehr geringe Widerstandswerte manifestiert ist. Der Bereich liegt außerhalb des geplanten Fundamentdurchmessers, sollte jedoch bei einer Verschiebung o. ä. bedacht werden.

Zusammenfassung

Durch die geoelektrischen Widerstandsmessungen konnte die geologische Situation an den Standorten weiter aufgeklärt werden. Zusammenfassend ergibt sich bis zur erkundeten Tiefe von maximal 17 m unter GOK ein zwei- bis vierschichtiger Aufbau aus einer Lockergesteinsbedeckung und Kalkstein, sowie ortsweise Dolinen- / Klufffüllungen. Beide Standorte sind stark durch Verkarstung geprägt.

Im Einzelnen:

WEA 03:

Unterhalb der bereits ausgehobenen Schichten ist flächig mit stark zersetztem Gesteinsmaterial mit teils weich - steifen Konsistenzen zu rechnen. Ein gründungsfähiger Gesteinshorizont ist erst in ca. 5 - 10 m unter GOK zu erwarten.

WEA 04:

Innerhalb des Fundamentdurchmessers zeigt sich eine relativ geringmächtige Oberbedeckung mit massivem Kalkstein im Liegenden. Diverse kleinräumige Klüfte. Sehr starke Dolinenbildung außerhalb des geplanten Fundamentdurchmessers.

5.7 Charakteristische Bodenkennwerte

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

Bodenschicht	Wichte γ / γ' kN / m ³	Reibungs- winkel ϕ' Grad	Steife- modul E_s kN / m ²	Kohäsion c' / c_u kN / m ²
Standort WEA 03				
Schluff, kiesig - weich (Auffüllung)	19,0 / 9,0	25,0	4.000	2,0 / 5,0
Schluff, kiesig - steif (Auffüllung)	19,5 / 9,5	27,5	8.000	2,0 / 5,0
Kies, schluffig - locker bis dicht (Auffüllung)	18,5 / 8,5	35,0	15.000	0,0 / 2,0
Kies - mitteldicht bis sehr dicht (Auffüllung)	20,0 / 10,0	37,5	30.000	0,0 / 0,0
Standort WEA 04				
Schluff, organisch (Oberboden)	17,0 / 7,0	17,5	kein Lastboden	2,0 / 15,0
Schluff - steif	19,5 / 9,5	22,5	5.000	5,0 / 25,0
Kies, steinig, schluffig	20,5 / 10,5	37,5	40.000	0,0 / 2,0
Kalkstein - dicht bis sehr dicht (Mittel- / Oberdevon)	23,0 / 13,0	>45,0	300.000	0,0 / 0,0

Tabelle 5: Charakteristische Bodenkennwerte

5.8 Bautechnische Einteilung

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

Bodenschicht	Boden- gruppe DIN 18196	Klassifikation DIN 18196	Boden- klasse DIN 18300	Homogen- bereich "Erdarbeiten" *)	Frost- empfindlichkeit ZTVE-StB
Standort WEA 03					
Schluff, kiesig - weich (Auffüllung)	UL	bindige, feinkörnige Böden	4 - bei er- höhter Feuchte- anreicherung Übergang in BKL 2 möglich	B	F 2
Schluff, kiesig - steif (Auffüllung)	UL	bindige, feinkörnige Böden	4 - bei er- höhter Feuchte- anreicherung Übergang in BKL 2 möglich	B	F 3
Kies, schluffig - locker bis dicht (Auffüllung)	GU	schwach bindige, gemischt- körnige Böden	5	C	F 2
Kies - mitteldicht bis sehr dicht (Auffüllung)	GW	nichtbindige, grobkörnige Böden	4	C	F 1
Standort WEA 04					
Schluff, organisch (Oberboden)	OU	organogene Böden	4	A	F 2
Schluff - steif	TL	bindige, feinkörnige Böden	6	B	F 3
Kies, steinig, schluffig	GU*	bindige, gemischt- körnige Böden		B	F 3
Kalkstein - dicht bis sehr dicht (Mittel- / Oberdevon)	-----	-----	6 - profilie- ter Übergang in BKL 7	D	F 1

Tabelle 6: Bautechnische Einteilung

*) Vorschlag - ohne VOB-verbindlichen Charakter

Erläuterungen zu den Einteilungen

➤ Bodengruppen (DIN 18196)

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

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

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

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

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

➤ **Frostempfindlichkeit (ZTVE - StB):**

- **Frostempfindlichkeitsklasse F1:** nicht frostempfindlich
- **Frostempfindlichkeitsklasse F2:** gering bis mittel frostempfindlich
- **Frostempfindlichkeitsklasse F3:** sehr frostempfindlich

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

Homogenbereich A: Mutterboden / Oberboden

Die ATV DIN 18300 gilt nicht für Oberbodenarbeiten und Rodungsarbeiten sowie den Schutz von Bäumen, Pflanzenbeständen und Vegetationsflächen (siehe ATV DIN 18915 / DIN 18320 - "Landschaftsbauarbeiten")
Umweltrelevante Inhaltsstoffe sind zu beachten.

5.9 Durchlässigkeit und Versickerungsfähigkeit

Für die Entscheidung über die Sicherheit gegen Auftrieb (Lagesicherheit gegen Aufschwimmen) ist die Beurteilung der Durchlässigkeit und Versickerungsfähigkeit des Untergrundes maßgebend. Daher wird zur Beurteilung der hydraulischen Leitfähigkeit (= Wasserdurchlässigkeit) des Untergrundes erforderlich den k_f - Wert (so genannter "Durchlässigkeitsbeiwert") zu bestimmen.

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

Bodenschicht	k_f - Wert m / s	Durchlässigkeit nach DIN 18130
Standort WEA 03		
Schluff, kiesig - weich (Auffüllung)	unter 10^{-6} - unter 10^{-8}	schwach durchlässig bis sehr schwach durchlässig
Schluff, kiesig - steif (Auffüllung)	unter 10^{-6} - unter 10^{-8}	schwach durchlässig bis sehr schwach durchlässig
Kies, schluffig - locker bis dicht (Auffüllung)	10^{-5} - unter 10^{-6}	durchlässig bis schwach durchlässig
Kies - mitteldicht bis sehr dicht (Auffüllung)	10^{-4} - 10^{-5}	stark durchlässig bis durchlässig
Standort WEA 04		
Schluff, organisch (Oberboden)	10^{-5} - unter 10^{-6}	durchlässig bis schwach durchlässig
Schluff - steif	unter 10^{-6} - unter 10^{-8}	schwach durchlässig bis sehr schwach durchlässig
Kies, steinig, schluffig	unter 10^{-6} - unter 10^{-8}	schwach durchlässig bis sehr schwach durchlässig
Kalkstein - dicht bis sehr dicht (Mittel- / Oberdevon)	10^{-5} - unter 10^{-8} *)	durchlässig bis sehr schwach durchlässig

Tabelle 7: Abschätzung Durchlässigkeit

*) je nach Kluftverlehmung

Anstehende Lehme, verlehnte Verwitterungsbildungen und sehr dichte Festgesteinsstrukturen sowie lehmgefüllte Klüfte sind Wasserstauer und behindern eine rasche Versickerung von Bodenwässern. Der Untergrund wird als nicht geeignet angesehen, mögliche temporäre Wasserführungen rasch in die tieferen Untergrundregionen abzuführen.

5.10 Erdbebensicherheit

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

5.11 Bauchemische Bodenanalyse

Während den Erkundungen wurden keine freien Wasserführungen angetroffen. Gemäß den Anforderungen des Anlagenherstellers wurde für die Untersuchung auf betonaggressive Stoffe demnach die Bodenaggressivität nach DIN 4030 bestimmt.

Analysiert wurde je Standort eine Mischprobe aus dem Bohrgut der Erkundungsstellen aller Tiefenbereiche. Die Probenentnahme und Analytik erfolgten auf der Grundlage:

- Norm Entwurf **DIN 4030-1**, Ausgabe: 2006-09
Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase - Teil 1: Grundlagen und Grenzwerte
- Norm-Entwurf **DIN 4030-2**, Ausgabe: 2006-09
Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase
Teil 2: Entnahme und Analyse von Wasser- und Bodenproben

Die folgende Tabelle gibt die Grenzwerte zur Einordnung des Angriffsgrads nach DIN 4030 an (Tabelle entnommen aus Baustoffchemie,.. Springer Verlag, Tab. 4.38)

Tabelle 4.38: Angreifende Bestandteile in Wässern zur Einordnung des chemischen Angriffs (DIN 4030 und EN 206)

Angreifende Bestandteile	Prüfverfahren	Angriffsgrad (Expositionsklasse)		
		Schwach (XA1)	Mäßig (XA2)	Stark (XA3)
Grundwasser				
pH-Wert	ISO 4316 DIN 4030-2	≤ 6,5 und ≥ 5,5	< 5,5 und ≥ 4,5	< 4,5 und ≥ 4,0
Kalklösendes CO ₂ in $\frac{\text{mg}}{\text{l}}$	DIN 4030-2	≥ 15 und ≤ 40	> 40 und ≤ 100	> 100 bis Sättigung
Ammonium NH ₄ ⁺ in $\frac{\text{mg}}{\text{l}}$	ISO 7150-1 ISO 7150-2 oder DIN 4030-2	≥ 15 und ≤ 30	> 30 und ≤ 60	> 60 und ≤ 100
Magnesium Mg ²⁺ in $\frac{\text{mg}}{\text{l}}$	ISO 7980 oder DIN 4030-2	≥ 300 und ≤ 1 000	≥ 1 000 und ≤ 3 000	> 3 000 bis Sättigung
Sulfat SO ₄ ²⁻ in $\frac{\text{mg}}{\text{l}}$	DIN EN-196-2 DIN 4030-2	≥ 200 und ≤ 600	> 600 und ≤ 3 000	> 3 000 und ≤ 6 000
Boden				
Säuregrad des Bodens in $\frac{\text{ml}}{\text{kg}}$	DIN 4030-2	> 200 Baumann-Gully	In der Praxis nicht anzutreffen	
Sulfat in $\frac{\text{mg}}{\text{kg}}$ insgesamt	DIN EN 196-2	≥ 2 000 und ≤ 3 000	> 3 000 und ≤ 12 000	> 12 000 und ≤ 24 000

Tabelle 8a: Grenzwerttabelle nach DIN 4030

Das Ergebnis der Analytik ist in der **Anlage 5** beigefügt. Der Analysebefund hat folgendes Ergebnis bestimmt:

Parameter	WEA 03	WEA 04
SO_4	$< 100 \text{ mg / kg}$	$< 100 \text{ mg / kg}$
Säuregrad nach Baumann - Gully	57 ml / kg	15 ml / kg

Tabelle 8b: Ausgewählte Vorgaben der DIN 4030 für betonangreifende Stoffe im Boden.

Gemäß dem Befund ist dem analysierten Material **kein Angriffsgrad** zuzuordnen.

Die ermittelten Werte sind ergänzend vom Betonlieferanten hinsichtlich der erforderlichen Betonrezeptur zu beurteilen.

5.12 Messung des spezifischen Erdwiderstandes

Für Windenergieanlagen des Anlagenherstellers ist gemäß dem Anforderungskatalog für die Baugrunderkundung in seiner aktuellsten Fassung der spezifische Erdwiderstand zur Dimensionierung des Blitzschutzes zu messen.

Grundlage für die Ausführung derartiger Messungen ist die VDE-Richtlinie 0185-305. Darin wird für die Messungen ein Vierpol-Verfahren (z.B. Wenner-Verfahren) und ein Mindestabstand Erder - Hilferder (= Stromeinspeiseelektroden) von 20 m gefordert.

Die Messarbeiten wurden zeitgleich mit der geoelektrischen Sondierung gemäß der Technischen Information „Messung des spezifischen Erdwiderstandes ρ_s “ der Fa. Enercon ausgeführt.

Dazu wurde ein Erdwiderstandsmessgerät vom Typ Terrameter S1000 des Herstellers ABEM verwendet. Als Elektrodenkonfiguration kam gemäß der vorgenannten Technischen Information die Wenner-Anordnung zur Anwendung. Die verwendeten Elektrodenabstände a sind der nachstehenden Tabelle zu entnehmen.

Aus den gemessenen Widerstandswerten wurde nach der Formel

$$\rho_s = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R$$

der scheinbare spezifische elektrische Widerstand ermittelt. R bezeichnet dabei den am Messgerät abgelesenen Widerstandswert.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Elektrodenabstände a in m und der scheinbare spezifische elektrische Widerstand ρ_s in Ωm aufgeführt. Für den Standort **WEA 03** wurde keine separate Messung durchgeführt.

Elektrodenabstand a [m]	WEA 03 spezifischer Erdwiderstand ρ_s [Ωm]	WEA 04 spezifischer Erdwiderstand ρ_s [Ωm]
2.0	135,5	67.1
3.0	162,0	72.1
5.0	281,2	109.4
8.0	301,2	192.2
12.0	295,7	263.6
16.0	187,0	284.0
20.0	152,9	217.2
25.0	158,8	175.8
30.0	172,9	143.0

Tabelle 9: Daten der Erdwiderstandsmessung

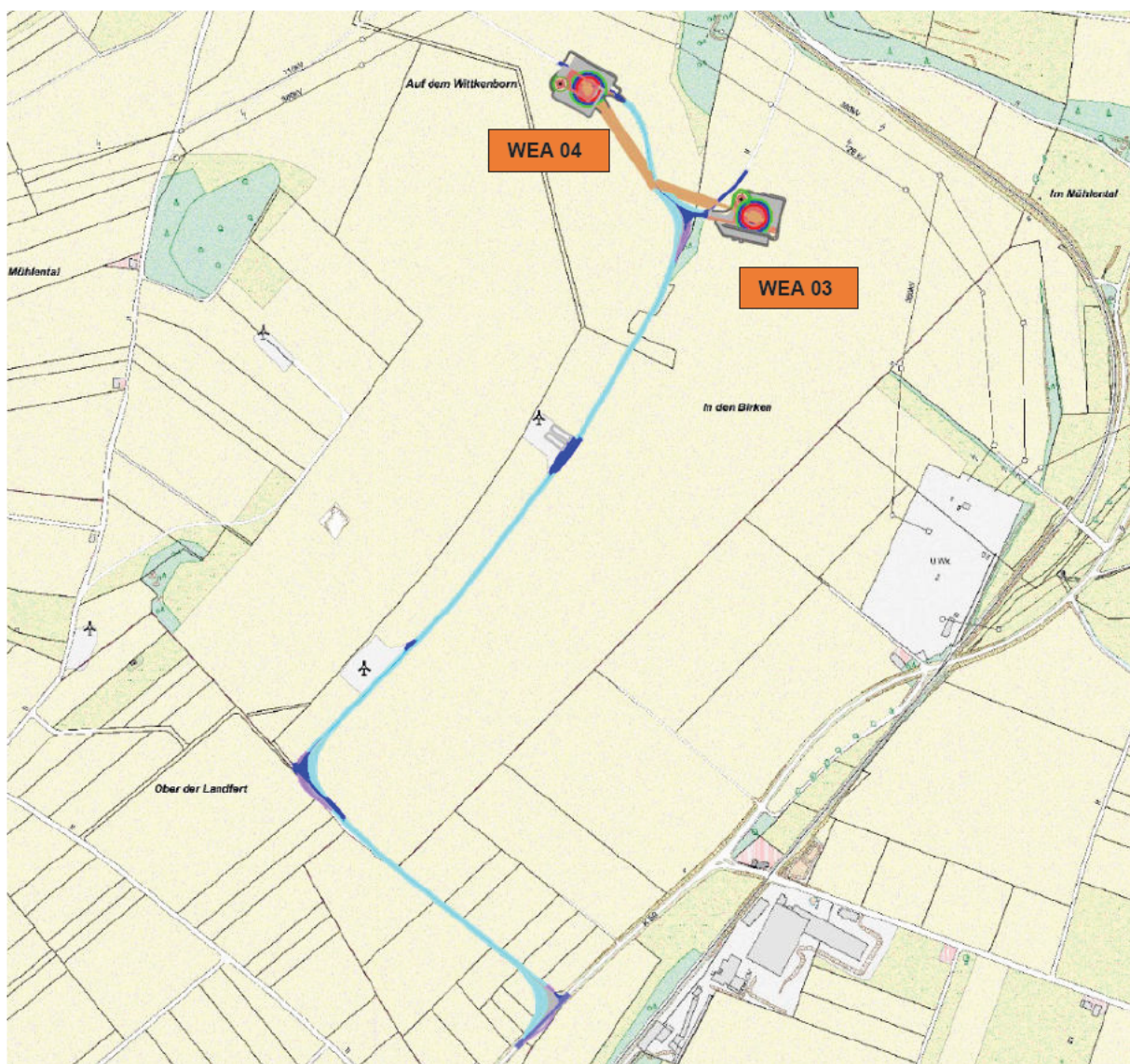
6 Ingenieurgeologische Beratung

6.1 Planungsvorgaben

Das Planungsvorhaben sieht im Rahmen des aktuellen Projektes die Errichtung von 2 weiteren Windenergieanlagen am Standort des Windparks "Brilon II" vor. Es soll folgendes Anlagensystem zur Aufstellung kommen:

- **ENERCON E-138 EP3 mit 160 m Nabenhöhe**

Die nachstehende Abbildung zeigt in einer Gesamtübersicht die Positionen der Aufstellungsorte gemäß dem zur Verfügung gestellten Lageplan.



Quelle: Bauherr

Abbildung 12: Gesamtübersicht Standorte WEA 03 und WEA 04

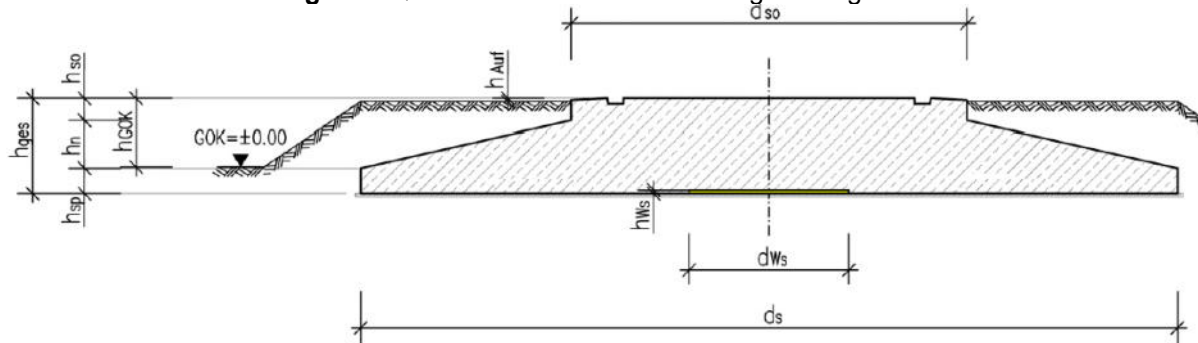
Weitere zeichnerische Unterlagen wie Quer- und Längsschnitte lagen während der Bearbeitung noch nicht vor.

Auf der Grundlage der Anlagenspezifikation:

- **Fundamentdatenblatt Max Bögl Hybriddurm DE-E22 - E-138 EP3 E3-HAT-160-ES-C-01 Flachgründung mit Auftrieb** - D00272545, Rev. 04 vom 11.11.2022

erhält das standardisierte Fundament nachstehende Geometrie:

Abbildung 10a: Querschnitt Fundament "Flachgründung mit Auftrieb"



Außendurchmesser / Outer diameter	d_s	=	22,50 m
Sockeldurchmesser / Base diameter	d_{so}	=	10,90 m
Weichschichtdurchmesser / Soft layer diameter	d_{ws}	=	4,40 m
Fundamenthöhe / Foundation height	h_{ges}	=	2,60 m
Spornhöhe / Outer height	h_{sp}	=	0,70 m
Spornneigungshöhe / Nose incline height	h_n	=	1,30 m
Sockelhöhe / Base height	h_{so}	=	0,60 m
Abstand Fundamentoberkante - Grundoberkante / Separation foundation top edge - ground level	h_{GOK}	=	2,294 m
Abstand Fundamentoberkante - Überschüttungoberkante / Separation foundation top edge - soil cover top edge	h_{Auf}	=	0,10 m

Quelle: Max Bögl

Das Fundament erhält einen Außendurchmesser von $d_s = 22,50$ m und einen Innendurchmesser (Weichschicht) von $d_{ws} = 4,40$ m. Hierdurch wirkt der Gründungskörper statisch als Kreisringfundament.

Die **effektive Einbindung** des Fundamentes beträgt $h_{Ein} = -0,306$ m, zuzüglich der Betonsauberkeitsschicht $d = 0,10$ m, somit insgesamt **-0,406 m am Anlagenmittelpunkt**.

Der **zulässige höchste Grundwasserstand** darf **max. an der Geländeoberkante (GOK)** liegen.

6.2 Geotechnische Rahmenbedingungen (Zusammenfassung)

Die Anlagen kommen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen zur Aufstellung. Das Umfeld an den Standorten beschreibt die Umgebungstopografie mit flacher Neigung in nord-, nordwestliche oder nordöstliche Richtung.

Die geotechnischen Rahmenbedingungen wurden im Zusammenhang mit den beauftragten orientierenden ingenieurgeologischen Voruntersuchungen mit kleinkalibigen

Rammkernsondierungen und dynamischen (schweren) Rammsondierungen geprüft. Zur Klärung möglicher geologischer Störungen bzw. Anomalien wurden zusätzlich geophysikalische Messungen durchgeführt.

Veranlasst durch die angetroffene Baugrundsituation sind außerdem im Fundamentbereich am Standort der Anlage **WEA 03** und im Bereich der Kranstellfläche sowie südlich außerhalb der Montagefläche am Standort der Anlage **WEA 04** elektrische Drucksondierungen ausgeführt worden.

In den vorhergehenden Abschnitten wurden die Ergebnisse der bodenkundlichen Feststellungen beschrieben. Im Folgenden werden die geotechnischen Rahmenbedingungen zusammenfassend wiedergegeben.

Standort WEA 03

Geländesituation: flache Hanglage mit nach Norden bis Nordwesten geneigter Oberfläche

Besonderheit: der Standort befindet sich im Bereich einer ehemals geplanten und inzwischen verworfenen Anlage des Typs E-115. Die hierfür bereits im Jahr 2020 hergestellte Baugrube wurde 2021 wieder verfüllt.

**Unterkante
Betonsauberkeitsschicht:** -0,406 m am Anlagenmittelpunkt

Bodenaufbau in Unterkante Betonsauberkeitsschicht:

Rammkernsondierungen:

RKS 3-1:	Schluff, stark kiesig - weich (Auffüllung)
RKS 3-2:	Kies, stark schluffig - locker bis dicht (Auffüllung)

Rammsondierungen:

DPH 3-1:	locker bis mitteldicht
DPH 3-2:	oberhalb Urgelände

Grundwasser: keine Feststellung am Erkundungstag bis max. erreichbare Tiefe

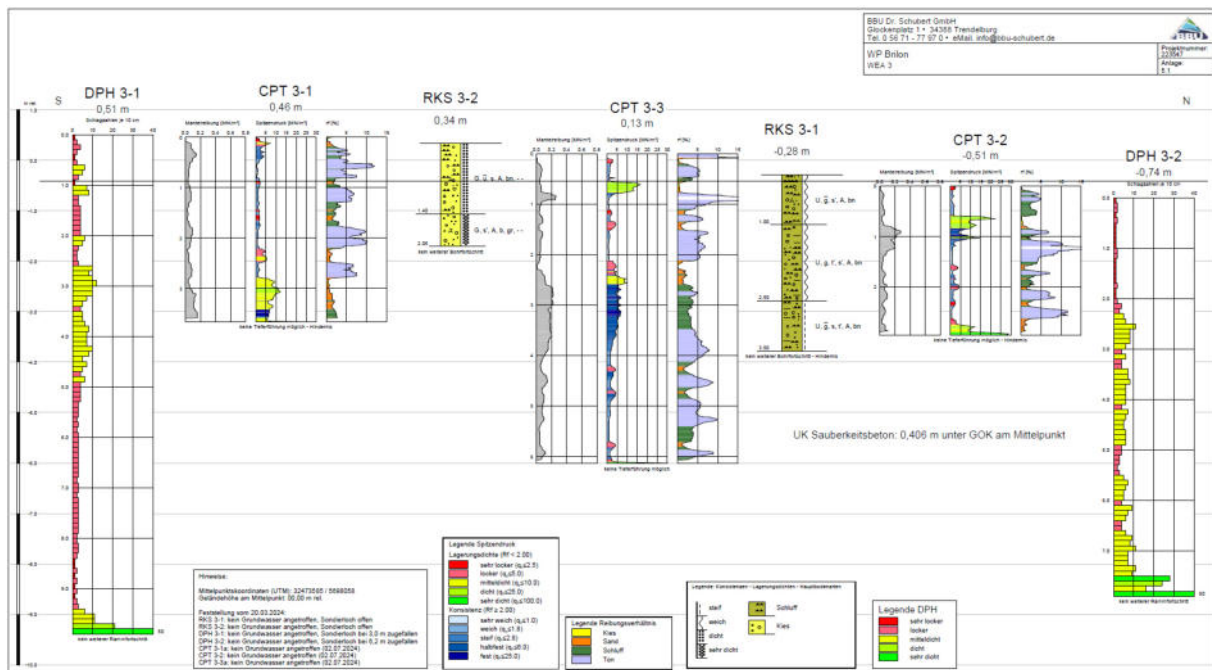
**elektrische
Drucksondierungen:**

CPT 3-1:	sehr locker / sehr weich
CPT 3-2:	oberhalb Urgelände
CPT 3-3:	sehr locker / dicht

**Geophysikalische
Messungen:** Unterhalb der bereits ausgehobenen Schichten ist flächig mit stark zersetztem Gesteinsmaterial mit teils weich bis steifen Konsistenzen zu rechnen. Ein gründungsfähiger Gesteinshorizont ist erst in ca. 5 bis 10 m unter GOK zu erwarten.

In ca. 25 m Abstand vom Mittelpunkt in südwestliche Richtung hat sich eine scharf abgetrennte geologische Störung gezeigt. Der Bereich liegt außerhalb des geplanten Fundamentdurchmessers, sollte jedoch bei einer Verschiebung o.ä. berücksichtigt werden.

Zur besseren Übersicht über die Baugrundverhältnisse wurde ein geologischer Profilschnitt gefertigt, der in nachfolgender Abbildung dargestellt wird (s. auch **Anlage 4.1**).



Quelle: BBU

Abbildung 11a: Profilschnitt Baugrundverhältnisse Standort WEA 03

Standort WEA 04

Geländesituation: flache Hanglage mit nach Nordosten geneigter Oberfläche

Besonderheit: keine

Unterkannte Betonsauberkeitsschicht: -0,406 m am Anlagenmittelpunkt

Bodenaufbau in Unterkannte Betonsauberkeitsschicht:

Rammkernsondierungen:

- RKS 4-1:** Kies, steinig, schluffig - mitteldicht bis dicht
- RKS 4-2:** Schluff, tonig - steif

Rammsondierungen:

- DPH 4-1:** mitteldicht
- DPH 4-2:** locker

Grundwasser: keine Feststellung am Erkundungstag bis max. erreichbare Tiefe

elektrische Drucksondierungen: keine (außer Kranstell- und südlich außerhalb Montagefläche)

Geophysikalische Messungen: Innerhalb des Fundamentdurchmessers zeigt sich eine relativ geringmächtige Oberbedeckung - darunter massiver Kalkstein. Diverse kleinräumige Klüfte. **Sehr starke Dolinenbildung außerhalb des geplanten Fundamentdurchmessers.**

Zur besseren Übersicht über die Baugrundverhältnisse wurde ein geologischer Profilschnitt gefertigt, der in nachfolgender Abbildung dargestellt wird (s. auch **Anlage 4.2**).

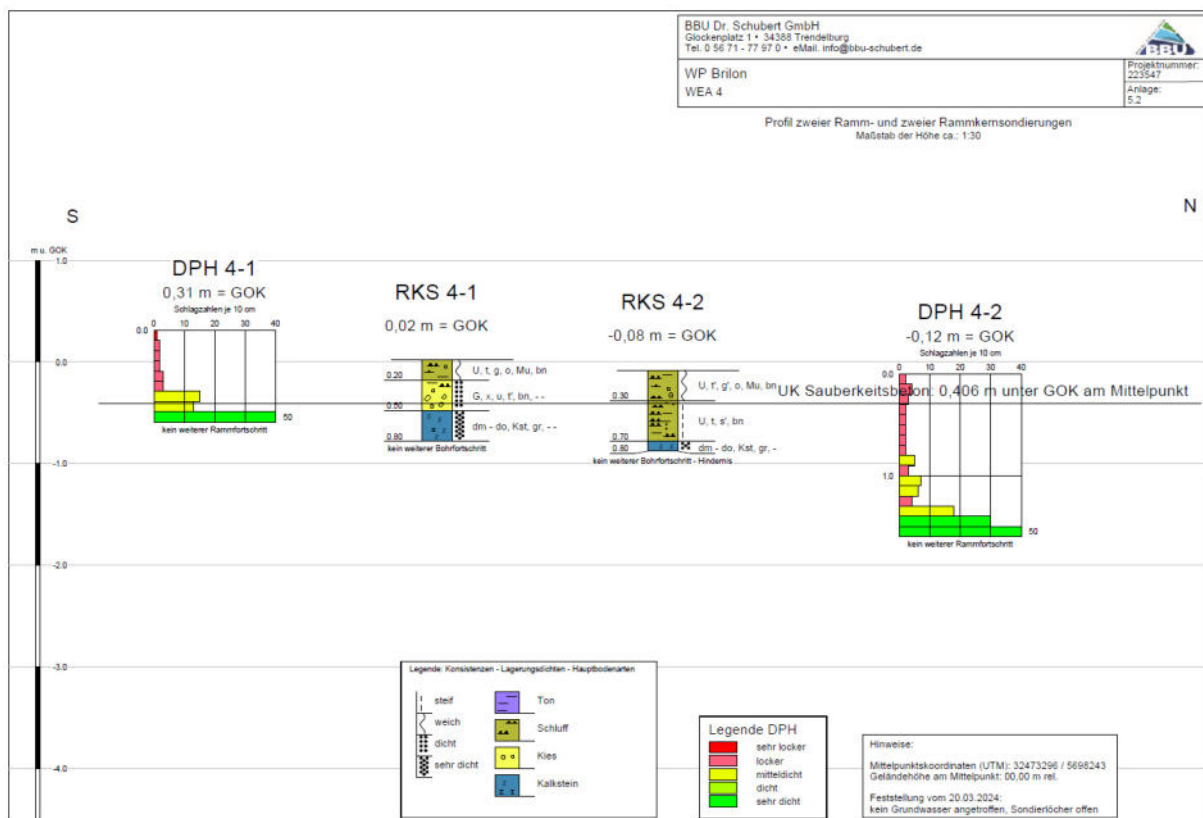


Abbildung 11a: Profilschnitt Baugrundverhältnisse Standort WEA 04

In der Gesamtschau kann herausgestellt werden, dass die geotechnischen Rahmenbedingungen an den Standorten durch unterschiedliche Bedingungen bestimmt werden. Kennzeichnend hierfür sind neben der Geländeüberbaggerung in Teilbereichen der Fundamentaufstandsfläche die tieferreichenden geringen Steifigkeiten des anstehenden Untergrundes ab der Ebene der Fundamentbasis am Standort der Anlage **WEA 03**. Am Standort der Anlage **WEA 04** liegen an der Fundamentbasis ebenfalls unzureichend belastungsfähige Böden vor, deren Schichtmächtigkeit ist jedoch deutlich geringer ausgeprägt.

Bei statischer Lastaufbringung und zyklischen Beanspruchungen aus dem Anlagenbetrieb besteht bei einer konzentrierten Lasteinwirkung eine Neigung zu entsprechenden Nachgiebigkeiten. Außerdem kann die Befürchtung des Auslösens differenzieller Setzungen nicht ausgeschlossen werden.

Erst mit dem kontinuierlichen Beginn der dicht bis sehr dicht gelagerten Felsstrukturen des liegenden Ausgangsgesteins können hohe Scherwiderstände zur Verfügung gestellt werden, so dass verformungsresistente Tragfähigkeitseigenschaften erwartet werden. Deren Schichtübergänge sind variabel und am Standort der Anlage **WEA 03** mit mehreren Metern zu berücksichtigen.

6.3 Gründung der Anlagen

Maßgebend ist der Tiefenbereich, bis in den die Einwirkung der Anlagenlasten unter Beachtung der für das festgelegte Anlagensystem erforderlichen maximalen Randdruckspannung reicht. Für den gewählten Anlagentyp wird folgender Widerstand gefordert (charakteristisch):

$\sigma_{\max,BS-P} = 267 \text{ kN} / \text{m}^2$	max. zulässige Bodenpressung im BS-P
$\sigma_{\max,BS-A} = 317 \text{ kN} / \text{m}^2$	max. zulässige Bodenpressung im BS-A

Diese Voraussetzungen sind in Höhe der effektiven Fundamentunterkante (Unterseite Betonsauberkeitsschicht) an beiden Standorten nicht gegeben.

Die Absetzung der Turmlasten erfordert daher zur Ausschließung unzulässiger Setzungsverformungen mindestens dichte Lagerungsverhältnisse des Untergrundes. Diese müssen gleichmäßig über die gesamte Einwirkungstiefe der Turmlasten gewährleistet werden. Erst mit der Lasteinleitung in diese Böden kann sichergestellt werden, dass die statischen und zyklischen Beanspruchungen im Hinblick auf die zu berücksichtigenden (möglichen) Lastwechsel und der hiermit einhergehenden erhöhten Eck- und Kantenpressung schadlos aufgenommen werden können.

Vordergründiges Ziel zur standsicheren Lastabtragung der Anlage ist die Sicherstellung gleichmäßiger und tragfähiger Gründungsbedingungen.

Im Einzelnen ergeben sich folgende Bedingungen und Empfehlungen:

Standort WEA 03

Für den Standort kommen aufgrund der Befunde Mehrgründungstiefen zum Tragen, die durch geeignete Überbrückungen auszugleichen sind. Auf der Grundlage der Erkundungsbefunde müssen dabei Tiefen ab dem Beginn ausreichend tragfähiger Böden zwischen ca. 5 und 10 m unter GOK (Urgelände) berücksichtigt werden.

Da neben den baugrundbedingten Überbrückungen in den nord- bis nordwestseitigen Flächenbereichen des Fundamentes infolge der Geländesituation zusätzlich Fehlhöhen zwischen der Unterseite Betonsauberkeitsschicht und dem vorhandenen Urgelände bestehen, müssen diese bei der Planung und der bautechnischen Umsetzung mitberücksichtigt werden.

Außerdem ist im Bereich von Geländetiefpunkten auf die Sicherstellung einer ausreichenden Frostsicherheit dieser Randbereiche zu achten.

Bodenaustauschmaßnahmen werden aufgrund der erforderlichen Überbrückungshöhen als nicht geeignet angesehen, da sie bei Einbaufertigdicken >2 m nach Erfahrung wegen der erforderlichen Erdbaustoffgüte, des qualifizierten Einbaus und Verdichtung sowie entsprechenden Tragfähigkeitsprüfungen im Vergleich zu anderen Gründungsvarianten deutlich kostenintensiver sind.

Intensive Verdichtungsleistungen z.B. mit Hilfe einer Polygonbandage, bei der gegenüber üblichen Verdichtungsgeräten eine deutlich höhere Einwirkungstiefe erreicht werden kann, sind wegen der Größenordnung der tiefreichenden plastischen Böden ebenfalls nicht geeignet.

Nach Auswertung der bodenkundlichen Erkenntnisse ergibt sich im Rahmen einer ersten Einschätzung zur Erreichung der erforderlichen Tragfähigkeiten und Setzungseigenschaften die Empfehlung einer:

➤ **Lastabtragung über eine pfahlartige Tragfähigkeitsverbesserung mit Hilfe von Schotter - Rammsäulen**

Zu nennen wäre z.B. das System Geopier - Impact®. Es handelt sich dabei um ein Verfahren zur Baugrundverbesserung mit rasterförmig angeordneten und pfeilerartigen Schottersäulen.

Impact® Schotter - Rammsäulen sind eine Art der Baugrundverbesserung, bei welcher der zu verbessernde Boden verdrängt und der Schotter zu einer sehr dichten und hochscherfesten Säule verdichtet wird. Bei diesem Vollverdrängungsverfahren wird mit einem Dorn ein Loch in den Boden abgeteuft.

In das Bohrloch wird lagenweise Schotter eingefüllt und mit einem Rammgerät verdichtet. Der Schotter wird durch die patentierte Form der Dornspitze auch lateral in den anstehenden Boden verdrängt und garantiert somit eine sehr hohe Mantelreibung.

Ein Vorteil zu dem vergleichbaren System Rüttel - Stopfsäulen (RSV) ist, dass der Schotter bei Impact® Schotter - Stopfsäulen nicht durch einen Schleusenrüttler horizontal eingerüttelt werden muss. Der Schotter wird durch eine Auf- und Abwärtsbewegung des Impact® - Dorns relativ erschütterungsarm in den zu verbessernden Boden gestopft.

Die Verwendung von mineralischen Säulenfüllmaterialien begünstigt die Konsolidation und den Porenwasserdruckabbau. Die Geopier® Impact®-Ramm - Schottersäulen sind schnell belastbar und überbaubar.

Abbildung 12: Darstellung des Impact - Herstellungsverfahrens

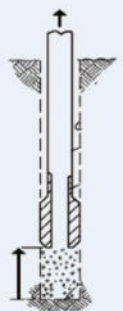
1. Einbringen des Dorns im Vollverdrängungsverfahren durch Vibration



Durchmesser der Impact Spitze: 36 cm
Säulenlänge bis 12 m möglich
Füllen des Trichters mit Schotter-Splitt (z.B. 4/32)



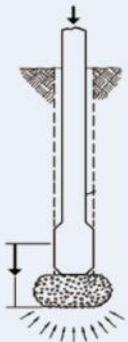
2. Herstellung der ersten Lage



Erreichen der projektierten Solltiefe
Hochziehen des Dorns um ca. 90 cm
Das Schotter-Splitt Gemisch läuft aus



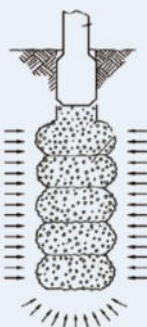
3. Verdichten der ersten Lage



Verdichten der Lage durch Absenken des Dorns mit Vibration
Verdichtung der Schotterlage auf eine Schichtdicke von ca. 30 cm



4. Wiederholung des 2. und 3. Arbeitsganges bis zur Sollhöhe der Säulen



Dichte Lagerung des Schotters
Säulen können direkt überbaut werden
definierter seitlicher Auswuchs und Verzahnung in jeder Lage durch die geopier-typische Form der Dornspitze



Die wesentlichen Vorteile des Verfahrens sind:

- Beschleunigter Bauablauf
- Zuverlässigkeit
- Wirtschaftlichkeit
- Probelastungen
- Außer einer Arbeitsebene ist keine Baustelleninfrastruktur erforderlich
- Kein Bohrgut (nur beim Vorbohren erforderlich)
- Tragfähigkeitserhöhung
- Setzungsreduktion
- Hohe Einzeltragfähigkeit

Das Last - Verformungsverhalten ist anhand von Probelastungen zu prüfen und ggf. die im Rahmen der Bemessung getätigten Annahmen zu verifizieren. Neben der Prüfung der Materialeigenschaften des Schotters werden Prüfungen während des Einbaues und nach Fertigstellung der Schottersäulen durchgeführt (z.B. schwere Rammsondierung DPH nach DIN EN ISO 22476).

Nach dem Einbau und vor der Prüfung ist eine Verdichtung der Säulenköpfe anzuraten.

Die Arbeitsebene sollte zur ungehinderten Bewegungsfreiheit mit einer Oberflächenbefestigung aus nichtbindigen Erdbaustoffen stabilisiert werden. Zu diesem Zweck erscheint eine Mindestdicke von $d = 0,50$ m anzuraten.

Die Bemessung, der Entwurf und die Ausführung von Schotter - Stopfsäulen erfolgt ausschließlich durch lizenzierte Bauunternehmen.

Im Falle, dass dieses Verfahren zur Ausführung kommt, wird das detaillierte Konzept mit Dimensionierung des Gründungssystems von der beauftragten Fachbaufirma durchgeführt und sollte dem Unterzeichner zur Prüfung vorgelegt werden. Zur Sicherstellung der bestimmungsgemäßen Ausführung ist eine permanente baubegleitende Ausführungsüberwachung durch den Baugrundsachverständigen oder einem Vertreter dringend anzuraten.

Zum Ausgleich der Fehlhöhen in den nord- bis nordwestlichen Fundamentbereichen, zwischen der geländeüberragenden Unterkante Betonsauberkeitsschicht und der ab Geländeoberkante hergestellten Schotter - Rammersäulen, wird der Auftrag einer **mineralischen Tragschicht** aus gleichmäßig kornabgestuftem und raumbeständigem Brechkorngemisch empfohlen. Das Material wird in Lagen zu höchstens $d = 0,30$ m eingebaut und lagenweise verdichtet (s. Abschnitt 6.8 - "Bodenaustausch und Tragschicht").

Um eine optimale Verdichtung am Fundamentrand zu erreichen, ist der Überstand bei einem erforderlichen Geländeausgleich und ohnehin für die Bodenaustauschmaßnahmen ab Fundamentrand um mindestens $0,75$ m zu erweitern.

Im Falle des Einbaus von Schotter - Rammersäulen wird im Hinblick auf die anstehenden gering steifen Böden zwischen der Fundamentbasis und über den Schotter - Rammersäulen eine lastverteilende Tragschicht benötigt. Diese Maßnahme soll einen

einmaligen Betoniervorgang des Fundamentes ermöglichen. Da die Hauptlastabtragung über Schottersäulen erfolgt, wird die Einbaufertigdicke konstruktiv mit $d = 0,90 \text{ m}$ angesetzt.

Standort WEA 04

Die Differenzhöhen zwischen der Unterkante Betonsauberkeitsschicht und dem ausreichend belastungsfähigen Untergrund werden grob abschätzend mit $d = 0,10$ bis $1,20 \text{ m}$ erwartet. Da sich diese auf die punktuellen Erkundungs- / Prüfstellen innerhalb der Fundamentfläche beziehen, können Richtung Fundamentrand Abweichungen vorhanden sein.

Die genaue Bemessung hinsichtlich der Ausdehnung und Tiefe ist erst nach Herstellung der Baugrube und Begutachtung durch einen Baugrundsachverständigen festzulegen.

Zum Ausgleich der Fehlhöhen zwischen der Fundamentunterkante und dem ausreichend belastungsfähigen Untergrund wird eine Tragfähigkeitsverbesserung über einen angepassten Bodenaustausch empfohlen. Dieser erfolgt in der Weise, dass ein Ersatz der anstehenden, unzureichend tragfähigen bzw. gering steifen Böden mit gleichmäßig kornabgestuften, einbau- und verdichtungsfähigen sowie raumbeständigen Erdbaustoffen vorgenommen wird (z.B. mineralisches Brechkorngemisch 0 - 32, 0 - 45 oder 0 - 56 mm). Das Material wird prinzipiell in Lagen zu $d = 0,30 \text{ m}$ eingebaut und lagenweise verdichtet (s. Abschnitt 6.8 - "Bodenaustausch").

Um eine optimale Verdichtung am Fundamentrand zu erreichen, ist der Überstand um mindestens $0,75 \text{ m}$ zu erweitern.

Fundamentabschnitte, den einem Frosteinfluss ausgesetzt sind, erfordern entlang der betreffenden Fundamentränder eine mindestens 1 m breite und hohe frostsichere sowie -beständige mineralische Schutzschicht (sogenanntes F 1 - Material).

Die endgültige Festlegung der Bodenaustauschmaßnahmen sollte anhand der Verhältnisse unbedingt unter Beteiligung des Baugrundsachverständigen bei der abschließenden Gründungsberatung sichergestellt werden, da die Beurteilung der Gründungsverhältnisse erst in der fertig gestellten Baugrube über den gesamten Baugrubenquerschnitt ermöglicht wird.

Neben der baugrund- bzw. geländebedingten Überbrückungshöhen ist zu berücksichtigen, dass das Planum vor dem Aufbringen der ersten Lage der Ersatzerdbaustoffe intensiv mit schwerer Walze (10 to) "kreuzweise" zu verdichten ist.

Bei sach- und fachgerechter Umsetzung der Maßnahme kann eine standsichere Gründung der Anlagen gewährleistet werden, so dass die von den Windenergieanlagen abzutragenden maßgeblichen Bauwerkslasten vom anstehenden Baugrund ausreichend aufgenommen werden können. Dies gilt insbesondere für den Lastfall "BS - A" und der hiermit einhergehenden erhöhten Eck- und Kantenpressung.

6.4 Auftriebssicherheit

Der anstehende Bodenaufbau ist nach dem Ergebnis der bodenkundlichen Feststellungen nicht zuverlässig geeignet, mögliche temporäre Wasserführungen rasch in die tieferen Untergrundregionen abzuführen.

Das gewählte Fundament ist gemäß der vorgelegten Spezifikation bereits für den Lastfall: "Grundwasser maximal bis Oberkante Gelände" bemessen.

6.5 Geotechnische Nachweise

Die Aufstellung und der Betrieb der Anlagen erfordern die Einhaltung bestimmter Anforderungskriterien. Diese werden durch den Anlagenhersteller in entsprechenden Spezifikationen vorgegeben. Die hierin festgelegten Kriterien sind in den nachstehenden Tabellen zusammengestellt.

Flachgründung mit Auftrieb	ENERCON E-138 EP3 E3 mit 160 m NH
Maximale Randdruckspannung im BS-P und BS - A:	$\sigma_{\max,BS-P} = 267 \text{ kN / m}^2$ $\sigma_{\max,BS-A} = 317 \text{ kN / m}^2$
Mindestdrehfedersteifigkeit zwischen Fundament und Baugrund:	$k_{\phi,stat} = 50.000 \text{ MNm / rad}$ $k_{\phi,dyn} = 310.000 \text{ MNm / rad}$
Fundamentüberschüttung - Mindestwichte:	$Y_d = 18 \text{ kN / m}^3$ (Trockenzustand)
Fundamentgeometrie:	Kreisringfundament $\varnothing_i + a = 22,50 / 4,40 \text{ m}$ Fundamentunterkante 0,406 m (unter GOK) (inkl. Sauberkeitsbeton)
Charakteristische Fundamentalschnittgrößen in UK Fundament:	LF BS - P: $H_k = 1.404 \text{ kN}$ $V_k = 38.530 \text{ kN} / 39.747 \text{ kN}$ (mit / ohne Auftrieb) $M_{b,k} = 171.153 \text{ kNm}$ LF BS - A: $H_k = 1.495 \text{ kN}$ $V_k = 38.001 \text{ kN} / 39.218 \text{ kN}$ (mit / ohne Auftrieb) $M_{b,k} = 193.357 \text{ kNm}$ alle Lasten ohne Teilsicherheitsbeiwert ($\gamma_F = 1,0$)
Zulässige Schiefstellung infolge Baugrundsetzungen in 25 Jahren:	3 mm / m
Sohlleibungswinkel:	$\delta > 20^\circ$

Tabelle 10: Anforderungskriterien für den Anlagentyp ENERCON E-138 EP3 E3 mit 160 m NH, Flachgründung, Grundwasser bis maximal Geländeoberkante

Weiterhin sind einschlägige DIN - Normen und Regelwerke zu beachten.

Standort WEA 03

Im Falle einer Tragfähigkeitsverbesserung über Schotter - Rammsäulen erfolgt die Nachweisführung durch die Fachbaufirma. Diese legt ein detailliertes Konzept mit Dimensionierung des Gründungssystems vor. Nach der Prüfung durch den Baugrund-sachverständigen erfolgt eine abschließende Bewertung und Freigabe.

Standort WEA 04

Auf der Grundlage der Bodenkennwerte wurden Grundbruch - und Setzungsprognosen, Nachweise gegen Gleiten und Kippen sowie der Lagesicherheit mit Hilfe des Programmes "GGU - Footing" erstellt, dessen Rechnerausdrucke in der **Anlage 6** ersichtlich sind.

Die in der Berechnung eingesetzten Belastungswerte sind gemäß den Vorgaben der o.s. Zusammenstellungen berücksichtigt worden. Die Belastungswerte beziehen sich auf Unterkante Fundament. Für die Gesamteinbindung der standardisierten Fundamente wurde eine Sauberkeitsbetonschicht in Dicke von $d = 0,10$ m hinzugerechnet.

An dem Standort erfolgt die Lasteinleitung der Gesamtkonstruktion aufgrund der erforderlichen Überbrückung zwischen der Fundamentunterkante und dem ausreichend belastungsfähigen Untergrund in einen mineralischen und nichtbindigen Tragschichtunterbau (Bodenaustausch).

Aufgrund des variablen Schichthorizontes ab Beginn des tragfähigen Untergrundes, wird ein Mittelwert aus den angetroffenen Verhältnissen der ausgeführten Rammkern- und Rammsondierungen gebildet.

RKS 4-1 → ca. 0,10 m

RKS 4-2 → ca. 0,40 m

DPH 4-1 → ca. 0,10 m

RKS 4-2 → ca. 1,20 m

Mittelwert: → **ca. 0,45 m**

Folgende bodenphysikalische Kennwerte wurden **als Mittelwerte** für die **Lasteinflusstiefe** angesetzt:

Bodenaustausch - intensiv verdichtet

γ / γ'	=	19,0 / 12,0 kN / m ³	Wichte
φ	=	37,5 °	Reibungswinkel
c	=	0,0 kN / m ²	Kohäsion
E_s	=	100.000 kN / m ²	Steifemodul

Kalkstein - sehr dicht (Mitteldevon - Oberdevon)

γ / γ'	=	24,0 / 14,0 kN / m ³	Wichte
φ	=	45,0 °	Reibungswinkel
c	=	0,0 kN / m ²	Kohäsion
E_s	=	300.000 kN / m ²	Steifemodul

Berechnet wurden die Lastfälle: "BS-P" und "BS-A", jeweils mit / ohne Auftrieb. Die nachstehende Tabelle enthält die Ergebnisdarstellung.

Programmberechnung	WEA 04
Setzungen: in cm	mit / ohne Auftrieb BS-P: s = 0,03 - 0,60 / 0,02 - 0,53 BS-A: s = 0,02 - 0,66 / 0,01 - 0,58
Zul. Schiefstellung: $\Delta s \leq 3 \text{ mm / m}$ $d_s = 22,50 \text{ m}$ $22,50 \times 3 \sim 0,68 \text{ m}$ $22,50 / 0,068 = 1 : 331$	mit / ohne Auftrieb BS-P: 1 : 3.341 / 1 : 3.728 < 1 : 331 BS-A: 1 : 3.002 / 1 : 3.371 < 1 : 331
Grundbruchsicherheit: Ausnutzungsgrad $\mu = V_d / R_d \leq 1,0$ → Nachweis erbracht!	mit / ohne Auftrieb BS-P: $\mu = 0,038 / 0,025 \leq 1,0$ BS-A: $\mu = 0,033 / 0,021 \leq 1,0$
Gleitwiderstand: Ausnutzungsgrad $\mu = T_{t,d} / R_{t,d} \leq 1,0$ → Nachweis erbracht!	mit / ohne Auftrieb BS-P: $\mu = 0,086 / 0,083 \leq 1,0$ BS-A: $\mu = 0,068 / 0,066 \leq 1,0$
Lagesicherheit $\mu_{\text{EQU}} = M_{\text{dst}} / M_{\text{stb}} \leq 1,0$ → Nachweis erbracht!	mit / ohne Auftrieb BS-P: $\mu = 0,658 / 0,638$ BS-A: $\mu = 0,476 / 0,461$

Tabelle 11: Geotechnische Standsicherheitsnachweise - Programmberechnung

Die Programmberechnungen haben unter den gegebenen Lastbeanspruchungen für die betrachteten Lastfälle zulässige Setzungsverformungen nachgewiesen. Grundbruchsicherheit, Kippsicherheit, Gleitwiderstand und Lagesicherheit sind ausreichend.

Für die Fundamenteinspannung zwischen Fundament und Baugrund ist eine dynamische Mindestdrehfedersteifigkeit in der Größenordnung entsprechend den o.s. Tabellen zu bestätigen. Die Vorgaben beinhalten ferner, dass sich die erforderlichen dynamischen Steifemodule in Abhängigkeit von Fundamentgeometrie und Querdehnzahl ergeben. Die Anforderungen gelten für jede Baugrundsicht im Lasteinflussbereich des Fundamentes.

Neben den erkundeten Schichtdaten sind die Werte für $E_{\text{oed,stat.}}$ und $E_{\text{oed,dyn.}}$ als mittlere Kennwerte bzw. nach GbT, 5. Auflage, Bild 39, bestimmt worden. Die empirische Querdehnzahl wurde in Abhängigkeit des inneren Reibungswinkels berechnet.

Die nachfolgende Tabelle enthält das Nachweisergebnis der nach Excel - Kalkulation berechneten Werte.

WP Brilon II				Nachweis Drehfedersteifigkeit							
Datum	21.10.2024										
Turmtyp	E-138EP3E3, 160mNH										
Gründungsart	FlmA			Standort	WEA 04				50.000	310.000	Sollwerte
Schichten unter Fundament: UK Sauberkeitsschicht	Innerer Reibungs- winkel	Lagerung / Konsistenz	UK Schicht von GOK (m)	Schicht- höhe (m)	Eoed,stat (MN/m²)	Eoed,dyn (MN/m²)	Querdehn- zahl	Fundament- radius (m)	Kappa phi, stat (MNm/rad)	Kappa phi, dyn (MNm/rad)	Bemerkung
			0,101					11,25			
Bodenaustausch	37,5	sehr dicht	0,85	0,10	100	300	0,28	11,25	160,785	182,304	ausreichend
Kalkstein	45	sehr dicht	20,00	29,15	200	2000	0,23	11,59	500.000	5.660.000	ausreichend

Tabelle 12: Dynamische Drehfedersteifigkeit - statischer / dynamischer Steifemodul

Die geforderten Mindestwerte gemäß der o.s. Tabelle werden rechnerisch eingehalten.

Der anstehende Baugrund muss die nach der o.s. Tabelle aufgeführten Rand-
druckspannung aufnehmen:

Randdruckspannung	E-138 EP3 E3, 160 m NH
aufnehmbare Randdruckspannung: Bodenaustausch *) $\sigma_{zul,k} = 400 \text{ kN / m}^2$	erforderliche Randdruckspannung: $\sigma_{max,BS-P} = 267 \text{ kN / m}^2$ $\sigma_{max,BS-A} = 317 \text{ kN / m}^2$

Tabelle 13: Gegenüberstellung aufnehmbare / erforderliche Randdruckspannung

*) Voraussetzung: Verwendung von weitgestuften mineralischen Erdbaustoffen der Bodengruppe GW in optimaler Verdichtung ($D_{pr} = 103\%$).

Die aufnehmbare Randdruckspannung wird somit unterschritten. Die Anlage kann ge-
mäß den Nachweisen in den Bodenaustausch gegründet werden.

6.6 Erdarbeiten

Bei der standardisierten Systemanordnung bindet die effektive Fundamentbasis (UK Betonsauberkeitsschicht) lediglich mit 0,401 m in das Gelände ein (Anlagenmittelpunkt). Im Hinblick auf die vorhandenen Topografien mit flach geneigten Oberflächen werden an den direkten Aufstellungspositionen der Anlagen, wie auch zur Anlegung der Kranstellflächen und sonstigen Arbeitsflächen entsprechende Geländemodellierungen vorzunehmen sein, so dass Einschnitte und Geländeauffüllungen zu realisieren sind. Welche Größenordnungen dabei zum Tragen kommen, ist aufgrund der zum Zeitpunkt der Berichterstellung fehlenden konkreten Planungen noch nicht bekannt (Grundrisse, Längs- und Querschnitte).

Vorab wird von der Schaffung einer ebenen Arbeitsfläche als nutzbare (stabilisierte) Arbeitsfläche auszugehen sein. Planungen mit der Angabe entsprechender Geländehöhen liegen ebenfalls noch nicht vor. Die von hier aus erforderlichen Abgrabungen zur Erreichung der jeweils ausreichend tragfähigen Gründungsfläche fallen unterschiedlich aus.

Im Falle des Einbaus von Schotter - Rammsäulen am Standort der Anlage **WEA 03** wird eine Erhöhung der Tiefe entsprechend der Einbaufertigdicke der Trag- und Lastverteilungsschicht unterhalb des Fundamentes und über den Schotter - Rammsäulen benötigt. Diese Maßnahme soll einen einmaligen Betonvorgang der Fundamente ermöglichen. Da die Hauptlastabtragung über Schottersäulen erfolgt, wird die Einbaufertigdicke konstruktiv mit $d = 0,90 \text{ m}$ angesetzt.

Entlang der Abgrabungsflächen werden aufgefüllte Böden aus Schluffen und Kiesen angetroffen, welche gemäß DIN 18196 der Bodengruppe UL, GU und GW zugehörig sind.

Am Standort der Anlage **WEA 04** erfolgen die Abgrabungen bis zur Erreichung ausreichend tragfähiger Böden innerhalb steinig - schluffiger Kiese und toniger Schluffe und der Bodengruppenzugehörigkeit GU* und TL. Für den Leerrohrgraben muss beachtet werden, dass dieser in den Kalksteinfels eingreift.

Die geländenahen Abgrabungen werden innerhalb der anstehenden Böden problemlos, d.h. mit ungehindertem Aushubfortschritt erwartet. Der Einsatz von mittelschwerem Tieflöffelbaggergerät ohne "Reißzähnebestückung" dürfte abschätzend den Anforderungen genügen. In den Eingriffstiefen mit anstehendem Kalkstein können Erschwernisse beim Lösen der Gesteine erwartet werden, so dass ggf. sogar der Einsatz eines schweren Baggergerätes (mit Felszähnen) benötigt wird.

Als Abgrabungsneigung für die geringen Eingriffstiefen kann die Profilierung unter $\beta = 60^\circ$ als ausreichend standsicher angesehen werden. Dennoch gelten für die Abgrabungen generell die Beachtung der DIN 4124 - "*Baugruben und Gräben*" sowie der einschlägigen Unfallschutzvorschriften.

Aufgrund der hangigen Ausprägung der Umgebungsverhältnisse kommen Richtung der an die Aufstellungsorte angrenzenden Verkehrsflächen (Kranstell-, Montage- und Lagerflächen) weitere Geländeabträge oder -aufträge zur Herstellung. Bezüglich der Vorgehensweise für die Durchführung der Geländeaufträge wird auf den gesonderten Abschnitt 8 - "*Kranstell- und Montageflächen*" verwiesen.

Entlang der oberen Baugrubenränder wird die Einhaltung eines lastfreien Schutzstreifens von $\geq 1,50$ m empfohlen.

Nach der Profilierung der jeweiligen Geländeeinschnitte ist das Erdplanum intensiv "kreuzweise" zu verdichten (mind. 10 t - Walze). Der Verdichtung sollte mindestens 3 Tage niederschlagsfreies Wetter vorausgegangen sein.

Durch Niederschlagseinfluss aufgeweichte Böden sind vollflächig auszuräumen und in Erdbauweise zu ersetzen.

Jedes Erdplanum ist im Anschluss an die Nachverdichtung und ggf. notwendigen Ausgleichsmaßnahmen zur Ebnung der Fläche vom Baugrundsachverständigen abzunehmen und freizugeben.

Anschließend bzw. nach Durchführung von baugrundbedingten Bodenaustauschmaßnahmen erfolgt unverzüglich die Versiegelung der Fundamentaufstandsfläche durch den Einbau der Betonsauberkeitsschicht.

Außerhalb der Baugrube anzulegende und freistehende Langzeitböschungen sollten mit einer Neigung von $n = 1 : 2$ ($\approx 27^\circ$) profiliert werden. Sie sind gegen Erosion zu schützen.

6.7 Wasserhaltung

Während der Erkundungsarbeiten konnte in den Erkundungsstellen bis zur maximal erreichbaren Tiefe kein freies Grundwasser festgestellt werden.

Bei ungünstigen Witterungsverhältnissen können Schicht-, Hang- und Tagwässer nicht ausgeschlossen werden (z.B. bei langandauernden Niederschlägen, Starkregenereignissen und Schneeschmelzen). Hierdurch kann eine Behinderung der erd- und gründungstechnischen Arbeiten eintreten. So wird in den Sommermonaten mit geringeren und in den Winter- und Frühjahrsmonaten mit deutlich vermehrten Aufkommen zu rechnen sein. Bautechnischen Begleitmaßnahmen im Umfeld der Standorte orientieren sich somit an den während der Arbeiten herrschenden Witterungsbedingungen.

Die anstehenden Böden müssen in den relevanten Tiefenbereichen im Wesentlichen als schwach bis sehr schwach durchlässig angenommen werden. Zudem ist bei durchgeführten Nachverdichtungen mit einer weiteren Einschränkung der Durchlässigkeitseigenschaften bis hin zur Neigung einer Aufstauwirkung zu rechnen.

Wasserhaltungsmaßnahmen sind grundsätzlich an die örtlichen Verhältnisse anzupassen. Zur Auffangung und Ableitung von möglichen Wasseransammlungen in den Baugruben der Aufstellungsorte wird je nach Bedarf der Einsatz von leistungsfähigen, schwimmergeschalteten Schmutzwasserpumpen vorgeschlagen, die randlich und außerhalb des Fundamentgrundrisses in entsprechende Vertiefungen (als Pumpensumpf) eingestellt werden. Erforderlichenfalls ist entlang des Baugrubenrandes ein Drainagegraben außerhalb des Fundamentlasteinflussbereichs (45° ab äußerem Fundamentrand) mit einem pumpen- (vorflut-)seitigen Gefälle anzulegen.

Auf das Entfernen aufgeweichter Böden und Ersatz in Erdbauweise wird hingewiesen. Aufgelockerte Böden sind nach zu verdichten.

Bei Abgrabungen außerhalb der unmittelbaren Aufstellungsorte wird als Vorsorgemaßnahme empfohlen, entlang der hangseitigen Böschungsfüße der umliegenden Flächenabschnitte (Geländeabträge im Bereich Kranstell- und sonstige Arbeits- und Verkehrsflächen) einen im Gefälle vorflutseitig profilierten Flutgraben anzulegen, der das aus Richtung Hangfläche durch Regenereignisse anfallende Oberflächenwasser rasch abführt und somit verhindert, dass die Wässer ungehindert in das Planum der späteren Baufläche zulaufen und somit zu einer Aufweichung sowie bei mechanisch - dynamischer Beanspruchung aus Baustellenverkehr sogar zu Verbreiungen führen können.

6.8 Bodenaustausch, Tragschicht und Frostsicherheit

Die Hauptlastabtragung am Standort der Anlage **WEA 03** wurde über punktuell gleichmäßig angeordnete Schotter - Rammsäulen empfohlen.

Zwischen den Säulen können die Untergrundbedingungen aufgrund der verformungsaktiven und somit unzureichend tragfähigen Böden nicht zur gleichmäßigen Auflagerung des Fundamentes herangezogen werden, so dass der durchgehende Einbau ei-

ner mineralischen **Trag- und Lastverteilungsschicht** (als Bodenaustausch) angeraten wird. Diese Empfehlung erfolgt auch unter dem Aspekt, dass das Fundament in einem Durchgang betoniert werden kann. Hierbei sollte eine Schichtdicke von $d = 0,90$ m berücksichtigt werden.

Zudem werden in teilflächigen Abschnitten (Nord- bis Nordwestseite) Ausgleichsmaßnahmen aufgrund von geringen Fehlhöhen zwischen der effektiven Fundamentunterkante (UK Betonsauberkeitsschicht) und dem Gelände herzustellen sein, d.h. oberhalb dem ohnehin erforderlichen Bodenaustausch und der Gründungsunterkante kommt ein Niveaue Ausgleich zum Tragen. Außerdem muss sichergestellt werden, dass bei geländenaher Fundamentsohle unterhalb der Fundamentaufstandsfläche eine ausreichende Frostsicherheit vorhanden ist.

Am Standort **WEA 04** wird zur Kompensation unzureichender Tragfähigkeitsverhältnisse des anstehenden Untergrundes in Anpassung an die jeweiligen örtlichen Verhältnisse ein Bodenaustausch benötigt. Dieser wird vollflächig erforderlich.

Grob kalkulatorisch können folgende Überbrückungshöhen (Bereich Erkundungs- / Prüfstellen) angenommen werden:

RKS 4-1 → ca. 0,10 m

RKS 4-2 → ca. 0,40 m

DPH 4-1 → ca. 0,10 m

RKS 4-2 → ca. 1,20 m

Die endgültige Schichtmächtigkeit der Bodenaustauschmächtigkeit hängt von den örtlichen Bedingungen ab und wird final gemeinsam mit dem Baugrundsachverständigen vor Ort festgelegt.

Für Bodenaustausch- oder Niveaue Ausgleichsmaßnahmen werden aufgrund der Anforderungen ausschließlich mineralische und raumbeständige Brechkorngemische in gleichmäßiger Kornabstufung zur Verwendung zugelassen (z.B. Körnung 0 - 32, 0 - 45 oder 0 - 56 mm). Der Einbau erfolgt dabei in Lagen von höchstens $d = 0,30$ m und Verdichtung je Lage.

Auswahl, Einbau und Verdichtung der Erdbaustoffe erfolgen zweckmäßigerweise in Anlehnung an die

- **ZTV V - SoB - StB**
"Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau"
- **TL SoB - StB**
"Technische Lieferbedingungen für Baustoffgemische und Böden zur Herstellung von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau"

Es sollten vorzugsweise ortstypische Baumaterialien zur Verwendung vorgesehen werden. Recycling - Material ist nur zuzulassen, wenn es den o.s. Richtlinien entspricht und umweltverträglich ist (ausschließlich Z 0 - Material).

Die Erdbaustoffe sind für den durchlaufenden Ausgleich über den Fundamentrand hinaus um mindestens 0,75 m zu verbreitern und im Lastausbreitungswinkel von 45° nach unten einzubauen. Diese Maßnahme verfolgt den Zweck eine optimale Verdichtung der Bodenaustauscherdbaustoffe im Randbereich zu ermöglichen. Generell ist der Aufbau der Erdbaustoffe an die Gelände- bzw. Hanggeometrie anzupassen. Die Verdichtung ist je Einzeleinbaulage intensiv und "kreuzweise" durchzuführen.

Der Erfolg der Baugrundverbesserung sollte im Rahmen einer Fremdprüfung nachgewiesen werden. Als Verdichtungsziel ist einzuhalten:

$D_{pr} \geq 103\%$ Proctor

oder ersatzweise

$E_{v2} \geq 120 \text{ MN} / \text{m}^2$ Verformungsmodul

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

Zu beachten gilt:

- **Spezifikation - Durchführung von Erdbau- und Bodenaustauschmaßnahmen in Deutschland (Aushub und Anfüllen)** (PM-CE-SP005- Ausführung Bodenaustausch-Rev001gerger.docx/--) vom 26.05.2015, ENERCON GmbH

(bzw. neuste Fassung)

In Oberkante Erdbaustoffe sind je Standort mindestens zwei Lastplattendruck - Versuche nach DIN 18134 zur Bestätigung der Verdichtung und der E-Module auszuführen. Bei Schichtmächtigkeiten >1 m empfiehlt sich zusätzlich eine Prüfung in halber Aufbauhöhe. Einbau, Verdichtung und Kontrolle erfolgt grundsätzlich mit dem Baugrundsachverständigen in enger Abstimmung.

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

6.9 Leerrohrgraben

An den Standorten wird unterhalb der Fundamentbetonsauberkeitsschicht und nahe der Fundamentachse jeweils ein Leerrohrgraben zur Aufnahme der Kabeltrassen hergestellt. Nähere Angaben zum planungsgemäßen Bau des Leerrohrgrabens lagen während der Bearbeitung noch nicht vor.

Die Grabenabmessungen betragen unter Zugrundelegung vergleichbarer Bauvorhaben im Querschnitt ca. 1,5 m Breite und ca. 1,7 m Höhe. Im Bereich der unten angeordneten Rohrführung erfolgt eine Ummantelung mit min. 10 cm Magerbeton, der darüber liegende Teil wird aufgefüllt und gemäß der Erdplanung verdichtet.

Nach den bodenkundlichen Befunden bindet die Grabensohle bei Tiefe von 1,70 m nach grober Einschätzung am Standort WEA 03 in weiche Schluffe oder sandige Kiese (Auffüllung) bzw. am Standort WEA 04 in Kalksteinfels ein.

Beim Antreffen konsistenzabgeminderter Böden erfolgt zweckmäßigerweise ein tiefenmäßig begrenzter Bodenaustausch zur Verbesserung der Tragfähigkeitseigenschaften analog zu den o.s. Ausführungen. Die Schichtdicke sollte mit $d = 0,30$ m veranschlagt werden.

Generell gilt, dass die Leerrohrgräben mit geeigneten Techniken und Baustoffen zu verfüllen sind, um eine Gründungssituation herzustellen, welche den anlagenherstellerseitigen Anforderungskriterien genügt.

Wegen möglicher Auflockerungen während des Aushubs ist entlang der Grabensohle eine Nachverdichtung zu empfehlen. Anstelle einer senkrechten Grabenprofilierung ist eine abgeöschte Anlegung unter $\beta = 45^\circ$ vorzunehmen, da bei Tiefen von 1,70 m die Vorgaben der DIN 4124 - *"Baugruben und Gräben"* sowie der einschlägigen Unfallschutzvorschriften zu beachten sind.

Für die Verfüllung des Grabens oberhalb der Magerbetonummantelung der Rohrtrassen sind ausschließlich Güteerdbaustoffe gemäß ZTV V - Sob - StB bzw. TL SoB - StB zuzulassen (analog Bodenaustausch).

Der Auftrag erfolgt lagenweise zu je $d = 0,30$ m und Verdichtung je Lage.

Als Verdichtungsziel ist in Oberkante nachzuweisen:

$D_{pr} \geq 103\%$ Proctor

oder ersatzweise

$E_{v2} \geq 120 \text{ MN} / \text{m}^2$ Verformungsmodul
 $E_{v2} / E_{v1} \leq 2,3$ Verdichtungsverhältnis

(Abstimmung mit dem Anlagenhersteller)

Die Verdichtungsleistung ist auf die anschließenden Flächenabschnitte des Bodenaustausches auszuweiten, da hier beim Aushub mit Auflockerungen zu rechnen ist.

Der Nachweis der erreichten Verdichtung ist über Lastplattendruckversuche nach DIN 18134 zu erbringen.

6.10 Arbeitsraumverfüllung und Fundamentüberschüttung

Durch den Aushub für den Bodenaustausch entsteht umlaufend um das jeweilige Fundament ein Arbeitsraum. Dieser erfordert zur Verfüllung den Einbau von verdichtungsfähigen Erdbaustoffen. Die Baustoffe sind lagenweise einzubauen und zu verdichten ($D_{pr} \geq 100\%$).

Da zwischen dem Fundament und der Kranstellfläche eine Lastbeanspruchung aus Richtung der Kranstellfläche stattfindet, ist als nachzuweisendes Verdichtungskriterium entsprechend der vorgenannten Proctordichte ein Verdichtungsverhältnis von $E_{v2} / E_{v1} \leq 2,3$ nachzuweisen (ermittelt durch Lastplattendruckversuche nach DIN 18134).

In den relevanten Bereichen werden nur qualifizierte Erdbaustoffe gemäß ZTV SoB - StB / TL SoB - StB zur Verwendung zugelassen.

Die erreichte Verdichtung ist nachzuweisen und die Zulässigkeit mit dem Baugrundgutachter abzustimmen.

Die Verwendung der beim Aushub gewonnenen Lehme, Kiese und bindig verwitterten Gesteine des Devons zum Zweck der Arbeitsraumverfüllung in den Bereichen außerhalb des Lasteinflusses kann in Aussicht gestellt werden. Ein wahlloser Einbau verschiedener Bodenarten / -stoffe ist unbedingt zu vermeiden. Ggf. ist auch für diese Bereiche eine Proctordichte von $D_{pr} = 100 \%$ zu fordern, so dass eine Vergütung bzw. Verfestigung in Abstimmung mit dem Anlagenhersteller zu prüfen ist. Für derartige Maßnahmen eignet sich das Einarbeiten von Kalk / Zement (als Mischbinder). Zugabemengen können allerdings erst nach vorherigen labortechnischen Untersuchungen angegeben werden, da diese von den im jahreszeitigen Verlauf veränderlichen natürlichen Wassergehalten abhängen.

Die Anforderungen des Anlagenherstellers sind zu beachten.

Auf dem Fundamentsporn und seitlich davon wird eine dauerhafte Bodenaufschüttung aufgebracht, die bis auf $h_{Auf} = 0,10 \text{ m}$ unter die Fundamentoberkante reicht. Die Fundamentoberkante liegt bei $h_{GOK} = 2,294 \text{ m}$ oberhalb der Geländeoberkante.

Um für die Fundamentüberschüttung gemäß den Vorgaben die geforderte Mindestwichte von $18 \text{ kN} / \text{m}^3$ (im trockenen Zustand) zu erreichen, wird ein lagenweiser Einbau der Schüttschichten und eine Verdichtung jeder Einzeleinbaulage mittels statischem Verdichtungsgerät (Walzen - mindestens 4 kontrollierte Übergänge je Einbaulage) angedacht. Zur Andeckung des oberen Überschüttbereichs eignen sich vorzugsweise Lehmböden, die zur raschen Abführung von Oberflächenwässern geglättet und mit Gefälle vom Anlagenmittelpunkt weg profiliert werden sollten. Die Aufschüttung ist gegen Erosion zu schützen. Als Schichtdicke der Einzeleinbaulage wird $d < 0,25 \text{ m}$ vorgeschlagen.

Eine Prüfung und Bestätigung der anlagenherstellerseitigen Mindestwichte sind erforderlich.

Oberböden sind nicht geeignet, da sie eine geringere Wichte aufweisen und nicht ausreichend verdichtungsfähig sind. Ggf. finden sie für Schutzmaßnahmen gegen Erosionsbildungen Verwendung.

Da die Möglichkeit einer Auftriebswirkung infolge der teils wassersperrenden Untergrundbedingungen nicht auszuschließen ist, ist die Erdüberschüttung zwingend anlagenkonform einzuhalten. Die vorliegenden anlagenherstellerseitigen Spezifikationen beinhalten zudem die Forderung, dass der erforderliche Überstand der Bodenaufschüttung über die Fundamentaußenkanten durch einen Bodengutachter festzulegen ist.

Da die Aufschüttung über dem Fundament Teil des statischen Systems ist und die angegebene Bodenaufschüttung zwingend eingehalten werden muss, wird zur Sicherstellung der erforderlichen Verdichtung der Böden am Spornrandbereich des jeweiligen Fundamentes ein Überstand von mindestens 1 m vorgeschlagen.

7 Zuwegungen

Die verkehrstechnische Erschließung erfolgt über Wirtschaftswege, die vor einigen Jahren für die Aufstellung der benachbarten WEA ausgebaut und ertüchtigt wurden.

Am Standort **WEA 03** wurde bereits im Jahr 2020 mit der Umsetzung des Bauvorhabens begonnen. Nach Herstellung der Kranstell- und Montagefläche wurde die Fundamentbaugrube für den damals geplanten Anlagentyp Enercon E-115 ausgehoben. Auf Grund von unklaren Baugrundverhältnissen wurde die Baugrube im Frühjahr 2021 wieder verschlossen. Im unmittelbaren Aufstellbereich des Anlagenstandortes wird ausgehend von dem bestehenden Wirtschaftsweg eine Zuwegung benötigt. Inwieweit diese für das aktuelle Bauvorhaben neu gebaut oder im Falle des Bestandes genutzt werden kann, ist nicht bekannt.

Für den Standort **WEA 04** nordwestseitig der WEA 03, wird der Bau einer Zuwegung benötigt. Diese quert eine landwirtschaftliche Nutzfläche.

Generell ist zu beachten, dass die Verkehrsflächen während der Bauphase durch häufig wiederkehrenden Schwerlastverkehr beansprucht werden. Bei entsprechenden Belastungen können in den Einwirkungsflächen erhebliche Einsenkungen und Rinnenbildungen auftreten. Insbesondere im Verlauf niederschlagsreicher Zeiten stellen sich entlang der Fahrfläche u.U. tiefgründige Aufweichungen ein, die dann nicht mehr befahrbar bzw. ungehindert nutzbar sind.

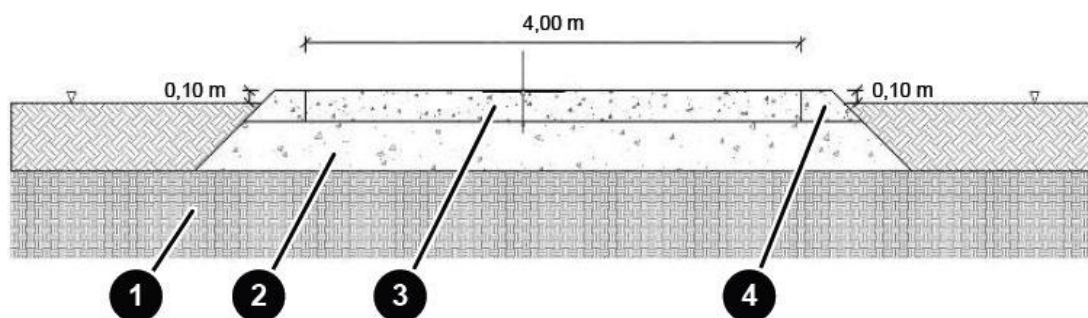
Es wird grundsätzlich der Aufbau einer durchgehenden, dauerhaft nutzbaren und frostsicheren Oberflächenbefestigung benötigt. Die Tragfähigkeit und Befahrbarkeit müssen auch im Falle von starken Regenfällen gegeben sein.

Anlagenherstellerseitige Anforderungen werden in einer für den vorgesehenen Anlagentyp speziellen technischen Beschreibung vorgegeben. Diese liegt vor mit:

- **Technische Spezifikation Zuwegung und Baustellenflächen ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 E3 160 Hybridturm, ENERCON 19.04.2022**

Hierin wird eine Abbildung zum konstruktiven Aufbau von Windpark - Zuwegungen dargestellt.

Abbildung 13: Schematischer Aufbau der Zuwegung



Quelle: Fa. ENERCON GMBH

- | | |
|----------------------------|-----------------------------|
| 1 = Tragfähiger Untergrund | 2 = Tragschicht |
| 3 = Deckschicht | 4 = Seitenbereich (Bankett) |

Weitere Angaben sind enthalten wie folgt:

Dachgefälle (ggf. Quergefälle) 3 - 4 %
 Ausbau Zuwegung 4,0 m

Tragfähigkeit:

Tragschicht	$D_{pr} \geq 100 \%$	$E_{v2} \geq 80 \text{ MN / m}^2$	$E_{v2} / E_{v1} \leq 2,3$
Deckschicht	$D_{pr} \geq 100 \%$	$E_{v2} \geq 100 \text{ MN / m}^2$	$E_{v2} / E_{v1} \leq 2,3$

Jede eingebaute Schicht ist zu prüfen und das Ergebnis zu dokumentieren!

Material:

Tragschicht Sand, Kies oder gebrochenes Naturgestein
 gebrochenes Naturgestein 0 / 32 - 0 / 45 mm,
 Feinanteil $\leq 6\%$ (zertifiziert)

Deckschicht Sand, Kies oder gebrochenes Naturgestein
 gebrochenes Naturgestein 0 / 32 - 0 / 45 mm,
 Feinanteil $\leq 10\%$ (zertifiziert)

Die obere Tragschicht soll möglichst gleichmäßig mit einer Überhöhung von mindestens 10 cm zum anliegenden Gelände eingebaut werden. Dazu sollte eine Mindestschichtstärke von 25 cm eingehalten werden.

Die Prüfung erfolgt mittels Lastplattendruckversuchen nach DIN 18134.

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

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

Nach derzeitigem Kenntnisstand sind keine Maßnahmen zur Ertüchtigung der bestehenden Verkehrsflächen einzuleiten, da diese für die Erschließung des Windparks bereits ausgebaut bzw. ertüchtigt wurden.

Konkrete Planungen zur Anlegung der unmittelbaren Zuwegungen (zw. vorh. Wirtschaftsweg und Standort) mit Höhenpositionen der Gradienten lagen während der Bearbeitung noch nicht vor. Auch wurde eine spezielle Erkundung der Fahrwege nicht beauftragt.

Im Folgenden wird auf standortnahe Zuwegungen eingegangen. Hier kann nur auf Untersuchungsergebnisse im Nahfeld der Anlagenstandorte zurückgegriffen werden. Nachstehende Empfehlungen und Hinweise sind daher als allgemeine Darlegungen zu verstehen.

Am Standort der **WEA 03** sind infolge des früheren Baugrubenaushubs und der Wiederverfüllung für den ehemals geplanten Anlagentyp Auffüllungen aus kiesigen Schluffen und schluffigen oder sandigen Kiesen erkundet worden. Da sich dies lediglich auf den unmittelbaren Flächenbereich der Baugrube bezieht und dementsprechend außerhalb keine Erkundungsfeststellungen vorliegen, sind genaue Erkenntnisse nicht vorhanden.

Aufgrund der Nähe des nordwestseitig geplanten Standortes **WEA 04** mit bekanntem Untergrundaufbau und den generellen Kenntnissen im Bereich der Projektbearbeitung umgebender Anlagenstandorte, kann zwecks erster Einschätzung von geländeabdeckendem Oberboden aus organischem Schluff in Schichtstärke zwischen $d = 0,20$ und $0,30$ m, darunter von dünnmächtiger tonige Schluffschicht oder steinig - schluffigem Kies und ab Tiefen zwischen ca. $0,50$ und $0,70$ m von Kalkstein in dichter bis sehr dichter Lagerung ausgegangen werden.

Der Oberboden ist hoch verformungsempfindlich und daher ungenügend tragfähig. Er muss entsprechend seiner ausgebildeten Schichtdicken vollständig ausgeräumt werden. Die unterlagernden bindig, feinkörnigen und bindigen, gemischtkörnigen Böden gehören bautechnisch der Bodengruppe TL und GU* an und sind daher gem. ZTVE - Stb der **Frostempfindlichkeitsklasse F 3** → **sehr frostempfindlich** zugehörig.

Für die Gründung der Verkehrsflächen ist ein Mindestverformungsmodul für das Planum von $E_{v2} = 45 \text{ MN} / \text{m}^2$ vorauszusetzen. Dies entspricht im Übrigen auch den Richtlinien der ZTVE - StB, Abschn. 4.5. Das Leistungsmerkmal wird durch den Lastplattendruckversuch nach DIN 18134 ermittelt. Hiervon ausgehend wird auf dem Planum im Bauzustand ein ausreichend tragfähiger Untergrund abgeleitet. Im Hinblick auf die plastischen Eigenschaften dürften mit der Prüfung durch Lastplattendruckversuche im natürlichen Zustand abschätzend Verformungsmoduln von $E_{v2} = 15$ bis $30 \text{ MN} / \text{m}^2$ erreicht werden.

Da erwartet wird, dass die Anforderungen an das Mindestverformungsmoduls nicht bestätigt werden können, ist ein Bodenaustausch zu empfehlen. Dieser ist in Anpassung an die örtlichen Verhältnisse vorzunehmen. Die Stärke orientiert sich dabei an dem vorab vollflächig abzutragenden Oberboden und den darunter anschließenden unterschiedlich steifen Böden (geringer steife Schichtabschnitte sind immer möglich und einzukalkulieren!). Außerdem kommen bei Fehlhöhen bis zur Erreichung der planungsseitigen Gradienten Ausgleichsmaßnahmen zum Tragen. Eine konkrete Austausch- bzw. Ausgleichsmächtigkeit ist derzeit nicht vollumfänglich anzugeben. Hierzu sollten integrierte Prüffelder eingerichtet werden, um unter wirtschaftlichen und optimierten Gesichtspunkten die benötigte Schichtstärke festlegen zu können.

Es eignen sich insbesondere mineralische Brechkorngemische als Splitt - Schotter - Gemische der Körnung $0 - 32$ oder $0 - 45 \text{ mm}$. Die Verwendung von qualifiziert aufbereitetem RC - Material ist ebenfalls nach Freigabe und bestätigter Umweltverträglichkeit denkbar.

Die Erdbaustoffe werden nach dem Einbau intensiv verdichtet und sollten ein Verformungsmodul von $E_{v2} = 80 \text{ kN} / \text{m}^2$ nachweisen.

Werden entlang der Trassen aufgeweichte Böden im Planum vorgefunden, müssen diese vollständig entfernt und in Erdbauweise ersetzt werden.

Im Zuge von Geländemodellierungen zur Ebnung der Flächen sind aufgrund der hangigen Oberflächenausprägung abschnittsweise Abträge zu erwarten. Hier kann es je nach den Eingriffstiefen zu einem Anschneiden verwitterter Gesteine des Grundgebirges kommen. Da es sich hierbei um dicht bis sehr dicht gelagerte Felsstrukturen handelt, dürften bereits ausreichende Tragfähigkeitsbedingungen erwartet werden. Wegen möglicher Auflockerungen innerhalb des Planums im Zuge des Abtrages sollte eine durchgehende intensive Verdichtung vorgenommen werden.

Voraussetzung für das Erreichen der erforderlichen Tragfähigkeit in Oberkante Deckschicht ist eine entsprechend dimensionierte Aufbaustärke aus geeigneten mineralischen Gesteinen. Diese ist den Gradienten der bestehenden bzw. der zu ertüchtigenden Wege anzupassen. Auf eine ausreichende Frostsicherheit ist zu achten.

Konkretere Angaben, auch in Bezug auf mögliche Anhebungen (Geländeaufträge), müssen der Planung und danach ausgerichteter Erkundungen sowie Untersuchungen abgewartet werden.

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

Alle weiteren Vorgaben bzw. Anforderungen des Anlagenherstellers sind in den o.g. Spezifikationen geregelt.

8 Kranstell- und Montageflächen

Kranstell- und Montageflächen unterliegen einer besonderen Beanspruchung. Insbesondere die Kranstellflächen werden im Hinblick auf die eingesetzten Hebefahrzeuge durch hohe Sohldrücke beansprucht.

Der Untergrund muss gewährleisten, dass infolge der Beanspruchungen keine unzulässigen Schiefstellungen auftreten können. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Lastbeanspruchung in die angrenzende Arbeitsraumverfüllung des Fundamentes hineinreicht.

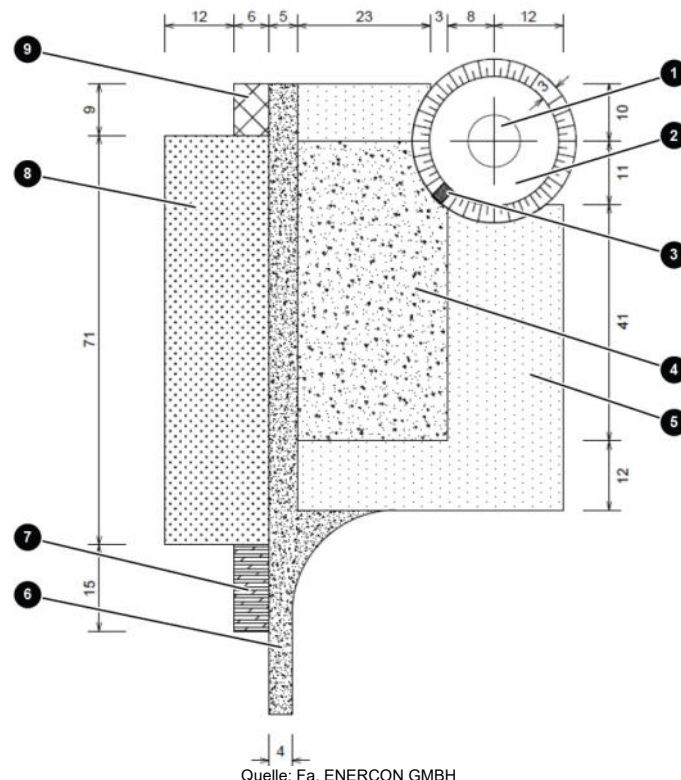
Vor allem ist die Dauerhaftigkeit der Eigenschaften und Beschaffenheit sowie die Frostsicherheit zu beachten.

Anlagenherstellerseitige Anforderungen werden für die vorgesehenen Anlagentypen in einer speziellen technischen Beschreibung vorgegeben.

- **Technische Spezifikation Zuwegung und Baustellenflächen ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 E3 160 Hybridturm, ENERCON 19.04.2022**

Hierin wird u.a. eine prinzipielle Abbildung zum Arbeitsbereich eines WEA - Standortes dargestellt.

Abbildung 14: Schematischer Aufbau des Arbeitsbereiches mit den Komponenten eines WEA- Standortes



- | | |
|---------------------|---------------------|
| 1 = Turm | 2 = Fundament |
| 3 = Treppe | 4 = Kranstellfläche |
| 5 = Montagefläche | 6 = Zuwegung |
| 7 = Parkfläche | 9 = Lagerfläche |
| 9 = Müllsammelplatz | |

Weitere Angaben sind enthalten wie folgt:

Kranstellfläche

Oberflächenebenheit	$\leq 0,25 \%$
Mindestbelastbarkeit	$220 \text{ kN} / \text{m}^2$

Tragfähigkeit:

Tragschicht	$D_{pr} \geq 100 \%$	$E_{v2} \geq 100 \text{ MN} / \text{m}^2$	$E_{v2} / E_{v1} \leq 2,3$
Deckschicht	$D_{pr} \geq 103 \%$	$E_{v2} \geq 120 \text{ MN} / \text{m}^2$	$E_{v2} / E_{v1} \leq 2,3$

Jede eingebaute Schicht ist zu prüfen und das Ergebnis zu dokumentieren!

Material:

Tragschicht	Sand, Kies oder gebrochenes Naturgestein gebrochenes Naturgestein 0 / 32 - 0 / 45 mm, Feinanteil $\leq 6\%$ (zertifiziert)
-------------	--

Deckschicht	Sand, Kies oder gebrochenes Naturgestein gebrochenes Naturgestein 0 / 32 - 0 / 45 mm, Feinanteil $\leq 10\%$ (zertifiziert)
-------------	---

Mindestschichtstärke: 25 cm

Nachweis: Setzungsberechnung und Nachweis
Grundbruchsicherheit erforderlich

Die Tragfähigkeit der Kranstellfläche ist durch Grundbruchberechnungen bzw. bei Hanglagen durch Böschungsbruchberechnungen nach DIN 4017 nachzuweisen. Setzungsberechnungen sind erforderlich, um zu verhindern, dass die max. zulässige Neigung des Krans nach DIN 4019:2015 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

Montagefläche

Oberflächenebenheit $\leq 1 \%$
Mindestbelastbarkeit 135 kN / m²

Tragfähigkeit:

Tragschicht $D_{pr} \geq 100 \%$ $E_{v2} \geq 80 \text{ MN / m}^2$ $E_{v2} / E_{v1} \leq 2,3$
Deckschicht $D_{pr} \geq 103 \%$ $E_{v2} \geq 120 \text{ MN / m}^2$ $E_{v2} / E_{v1} \leq 2,3$

Jede eingebaute Schicht ist zu prüfen und das Ergebnis zu dokumentieren!

Material:

Tragschicht Sand, Kies oder gebrochenes Naturgestein
gebrochenes Naturgestein 0 / 32 - 0 / 45 mm,
Feinanteil $\leq 6\%$ (zertifiziert)

Deckschicht Sand, Kies oder gebrochenes Naturgestein
gebrochenes Naturgestein 0 / 32 - 0 / 45 mm,
Feinanteil $\leq 10\%$ (zertifiziert)

Die Tragfähigkeit der Montagefläche ist durch Grundbruchberechnungen bzw. bei Hanglagen durch Böschungsbruchberechnungen nach DIN 4017 nachzuweisen. Setzungsberechnungen sind erforderlich, um zu verhindern, dass die max. zulässige Neigung des Krans nach DIN 4019:2015 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

Generell gilt: Die Prüfung der Tragfähigkeit erfolgt mittels Lastplattendruckversuchen nach DIN 18134.

Die Tragschicht soll möglichst gleichmäßig mit einer Überhöhung von mindestens 10 cm zum anliegenden Gelände eingebaut werden, damit der Ablauf von Oberflächenwasser gewährleistet wird.

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

Konkrete Höhenplanungen der Kranstell- und sonstiger Arbeitsflächen lagen während der Bearbeitung noch nicht vor (Geländeschnitte usw.).

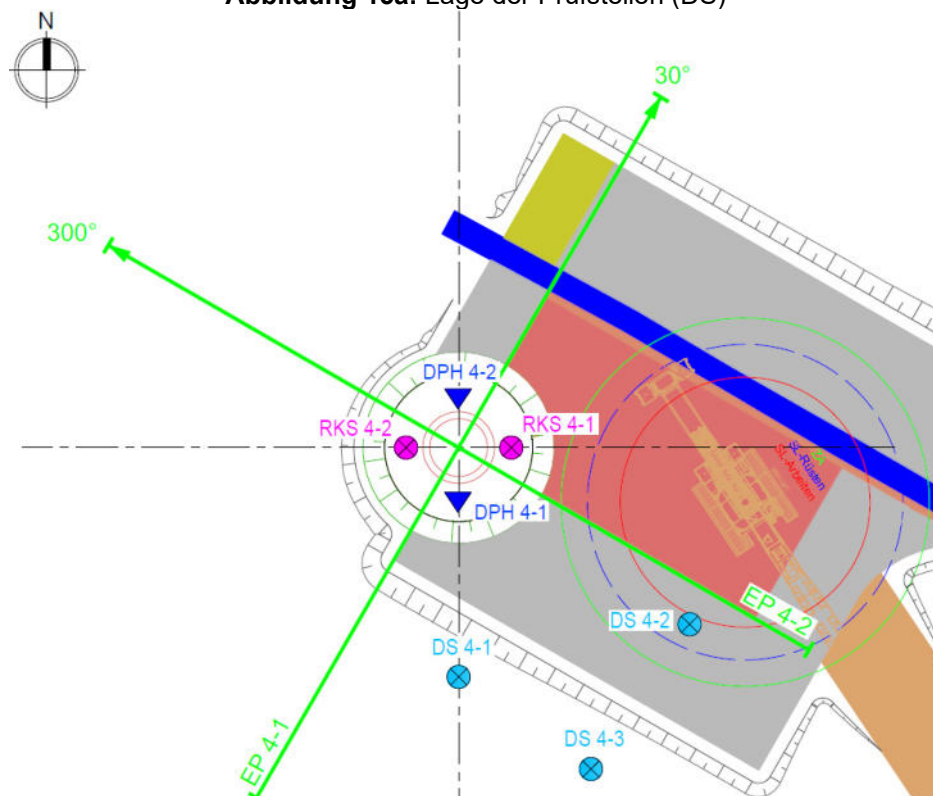
Am Standort der Anlage **WEA 03** wurde bereits für den ehemals geplanten Anlagentyp (E-115) die Kranstell- und Montagefläche hergestellt. Inwieweit diese für die Umsetzung der nunmehr vorgesehenen Baumaßnahme genutzt werden können, ist zu prüfen.

Am Standort der geplanten Anlage **WEA 04** haben die geophysikalischen Messungen eine sehr starke Dolinenbildung außerhalb des Fundamentstandortes festgestellt. Zur näheren Aufklärung der Verhältnisse sind im Bereich der Montagefläche und in den süd- bis südwestlichen Randbereichen zusätzlich elektrische Drucksondierungen durchgeführt worden. Im Folgenden wird das Ergebnis dargestellt und beschrieben.

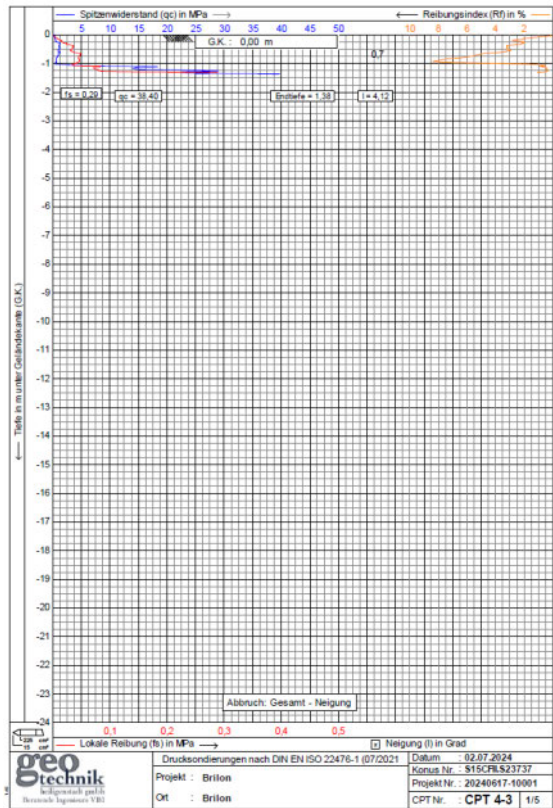
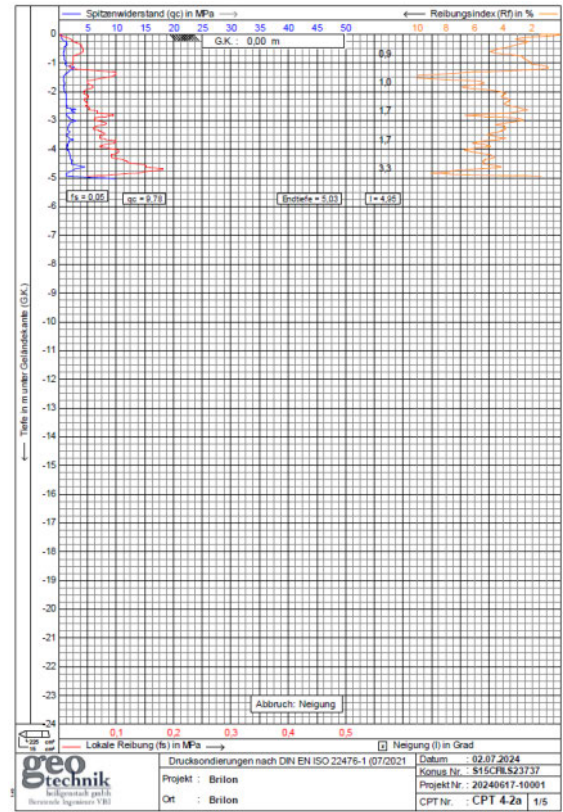
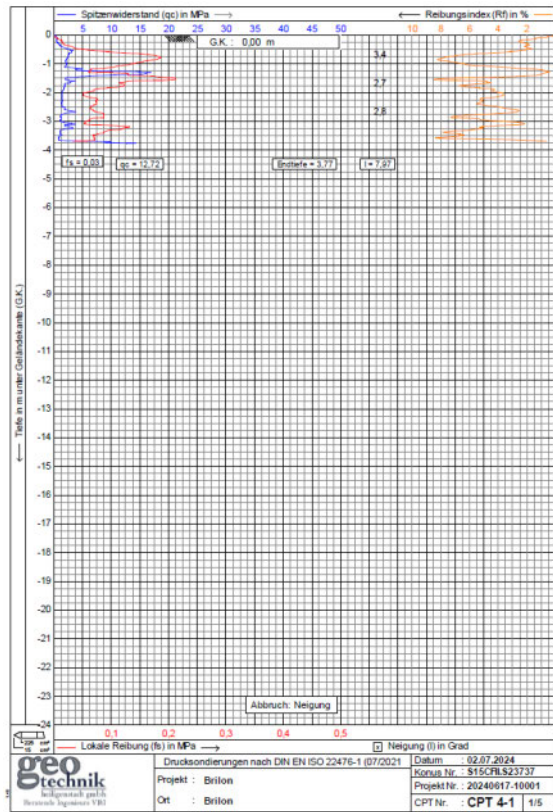
Nachstehende Abbildung zeigt die Lageanordnung der Prüfstellen. Nachgeordnet werden die Widerstandslinien abgebildet.

Standort WEA 04

Abbildung 15a: Lage der Prüfstellen (DS)



Abbildungen 15b bis 15d: Widerstandslinien der elektrischen Drucksondierungen



Bei der Auswertung wird nach PRINZ / STRAUSS, (2011), Tabelle 4.7 berücksichtigt:

Lagerungsdichte	CPT qc (MN / m ²)
locker	<5
mitteldicht	<10,0
dicht	<25
sehr dicht	<100

Tabelle 14: Einteilung Lagerungsdichte nach Spitzenwiderstand der elektrischen Drucksondierung

In der **Anlage 4** sind nochmal separate Darstellungen der Profilaufnahmen abgebildet.

Die Befunde der elektrischen Drucksondierungen zeigen, dass die Spitzenwiderstände im Bereich der Prüfstellen DS 4-1 und DS-4-2 geringe Steifigkeit des Untergrundes bis in Tiefe von 3,80 bzw. 5,0 m unter GOK aufweist. Hingegen konnte diese Schicht am Prüfort der Sondierung DS 4-3 bei Tiefe von 1,40 m begrenzt werden. Unterhalb der angegebenen Tiefen folgt eine sprunghafte Zunahme der Spitzenwiderstände. Im Vergleich mit den direkten Erkundungsfeststellungen an der Fundamentposition folgt Kalksteinfels ab Tiefe von 0,50 / 0,70 m unter GOK.

Es ist somit festzustellen, dass das bindige Lockergestein im Bereich der Montagefläche und südwestlich außerhalb des Randbereichs eine erhöhte Schichtdicke einnimmt. Der genaue Flächenbereich lässt sich allerdings nur durch eingrenzende Erkundungen festlegen.

Der erwartete Bodenaufbau wird von bindigen, feinkörnigen und bindigen, gemischtkörnigen Böden bestimmt. Gem. ZTVE - Stb ist bautechnisch die Bodengruppe TL und GU* einzuteilen. Demzufolge liegt die **Frostempfindlichkeitsklasse F 3** → **sehr frostempfindlich** vor.

Freies Grundwasser und / oder überhöhte Feuchteanreicherungen waren nicht zu beobachten.

Zur Anlegung der Kranstell- und Montageflächen werden entlang der geländetieferen Topografien Geländeanhebungen durchgeführt. Hangseitig (bzw. Geländehochpunkte) erfolgen Geländeeinschnitte. Konkrete Höhendifferenzen orientieren sich an den jeweiligen Geländeverhältnissen.

Folgerungen

Die Bedingungen im Bereich der Verkehrsflächen werden einmal durch die bestehende Höhengsituation des Urgeländes und einmal durch die bestimmungsgemäßen Geländeveränderungen bestimmt (Geländeab- und -aufträge). Für erforderliche Geländeaufträge wird aufgrund der Verkehrsbelastung ein fachtechnisch qualifizierter Aufbau mit geeigneten Erdstoffen nötig. Die hierfür notwendigen Bodenmassen stehen mit den abgetragenen Böden der Einschnittsbereiche zur Verfügung. In den hangseitigen Einschnittsbereichen werden die o.s. genannten Böden erwartet. Diese Bodenmassen sind wegen der plastischen Eigenschaften nicht ohne weiteres für die Verwendung von Geländeanhebungen geeignet. Sie benötigen entsprechende Qualifikationsmaßnahmen, um eine ausreichende Einbau- und Verdichtungsfähigkeit zu erreichen.

Für die Umlagerung der Bodenmassen in die Flächenabschnitte der erforderlichen Auftragsbereiche wird prinzipiell der Hinweis gegeben, dass für die Qualität der Geländeauffüllungen neben der Zusammensetzung der Einbau- und Verdichtungswassergehalt der Böden maßgebend ist. Daher bedarf die Verwendung der Böden, nicht zuletzt wegen der jahreszeitigen Veränderlichkeiten des natürlichen Wassergehaltes labortechnischer Begleituntersuchungen.

Zum Zweck der Vergütung der Bodenmassen wird das Einarbeiten von Kalk / Zement (als Mischbinder) erforderlich (Hauptziel: Langzeitwirkung). Als Bindemittelarten werden genannt:

- Zement nach DIN EN 197-1, DIN EN 197-4 und DIN 1164-10
- Hydraulische Boden- und Tragschichtbinder nach DIN 18506, Baukalk nach DIN EN 459-1 und nach BMVBW ARS 7/2002.

Mischbindemittel bestehen aus einer Kombination aus hydraulischen Bindemitteln und Baukalken.

Zur Qualitätssicherung sind die Prüfverfahren und -methoden nach den ZTV E-StB und den einschlägigen TP BF-StB zu berücksichtigen.

Für die Ausführung und Anforderungen werden u. a. folgende Richtlinien empfohlen:

- ZTVE - StB, Abschn. 12
- TPBF - StB, Teil B
- FGSV "Merkblatt für Bodenverfestigungen und Bodenverbesserungen mit Bindemitteln 2004"

Die Qualität der Tragfähigkeit des verfestigten Bodens in den Auftragsbereichen hängt entscheidend von der Verteilung des Bindemittels im Boden und der optimalen Verdichtung des Bodengemisches ab. Aufgrund der Bodenstrukturen sollten mindestens 3 Fräsübergänge vorgenommen werden.

Hinweise zur Verdichtung können dem *"Merkblatt für die Verdichtung des Untergrundes und des Unterbaues im Straßenbau"* entnommen werden.

Bei dem vorbeschriebenen Verfahren handelt es sich um eine in jüngster Zeit verstärkt zur Ausführung kommende Vorgehensweise, bei dem durch Einmischen von Bindemitteln erhöhte Anforderungen an die Tragfähigkeitseigenschaften erfüllt werden. Daher wird dringend angeraten, für die Arbeiten einen entsprechend leistungsfähigen Maschineneinsatz zu wählen und nur zertifizierte Fachbaufirmen zu beauftragen, die entsprechende Erfahrungen nachweisen können.

Die Verdichtungsgüte sollte durch Fremdüberwachung bestätigt werden.

Vor Beginn der Geländeauffüllung ist das Planum vom Baugrundsachverständigen abzunehmen.

Innerhalb der Auftragsbereiche sollte die Verdichtungsgüte bei Verwendung von bindigen und gemischtkörnigen Böden eine Proctordichte von $D_{pr} = 100 \%$ im Mittel, mindestens aber 98% als Untergrenze nachgewiesen werden (s. DIN 1054, Abschn. 7.7.5). Bei einer Beanspruchung durch Verkehrslasten ist jedoch nachdrücklich eine Proctordichte von $D_{pr} = 100 \%$ zu gewährleisten ("trockener" Ast der Proctorkurve), da bei Bodenauffüllungen stets Volumenveränderungen durch Konsolidierungs- und Schrumpfvorgänge usw. vorkommen können. Aufgrund der erhöhten Anforderungen an die Tragfähigkeit empfiehlt es sich, den Einbau und die Verdichtung lagenweise vorzunehmen ($d = 0,30 \text{ m}$), jede Einbaulage anschließend unverzüglich zu prüfen und anschließend für den weiteren Aufbau freizugeben.

Sollte eine Verfestigung der Böden nicht beabsichtigt werden, kämen Erdbaustoffe aus fremden Gewinnungsbereichen zur Verwendung. Vorzugsweise sollten nichtbindige, grobkörnige bis schwach bindige, gemischtkörnige Böden favorisiert werden.

Die Einhaltung folgender Voraussetzungen wird empfohlen:

bei einer Lagerungsdichte $D \geq 0,3$ in
Böden der Bodengruppe SE und GE n. DIN 18196 bei $U \leq 3$

sowie

gemischtkörnige Böden mit bis zu $15 \text{ Gew.}\%$ Körnern $\leq 0,06 \text{ mm}$ (Bodengruppen SU, GU, GT n. DIN 18196 und $U \leq 3$)

bei einer Lagerungsdichte $D \geq 0,45$ in
Böden der Bodengruppe SE, SW, SI, GE, GW, GI n. DIN 18196 mit $U > 3$

sowie

gemischtkörnige Böden mit bis zu $15 \text{ Gew.}\%$ Körnern $\leq 0,06 \text{ mm}$ (Bodengruppen SU, GU, GT n. DIN 18196 und $U > 3$)

Die Eignung ist durch anerkanntes Prüfzeugnis zu erbringen. Der Einbau erfolgt auch für diese Böden in Einzeleinbaulagen von höchstens $d = 0,30 \text{ m}$.

Verwitterte Kalksteine aus den Gewinnungsbereichen dürften für die Verwendung geeignet sein. Allerdings können für die Verwendung von Geländemodellierungen geeignete Konditionierungsmaßnahmen erforderlich werden. Generell ist sicherzustellen, dass zur Vermeidung einer hohlraumreichen Auffüllung Gesteine $>200 \text{ mm}$ herauszu-lesen sind. Ggf. müsste eine qualifizierte mechanische Aufbereitung durch Brecheranlage eingeplant werden. Ein wahlloser Einbau von diesen und den bindig beeinflussten Böden ist zwingend zu vermeiden. Ggf. sind Trennungen aus Baustellenvliesen vorzunehmen.

Vor Beginn der Geländeaufträge ist der Oberboden allerorts entsprechend der ausgebildeten Schichtdicke vollflächig abzuschleifen und das Planum intensiv zu verdichten.

Zur besseren Verzahnung mit den Auftragsböden empfiehlt es sich quer zum geneigten Gelände Bermen anzulegen, die Zwischenbereiche zur raschen Entwässerung talseitig zu profilieren und geglättet abzuwalzen.

Anstehende bindige oder bindig beeinflusste Böden sollten ab der Basis des Oberbodens zur Verbesserung der Tragfähigkeit des Auftragsplanums eine Verfestigung der oberen $d = 0,40$ m mit Einarbeitung eines Mischbinders, wie vorstehend beschrieben, erhalten.

Es wird empfohlen das Planum vor Beginn der Geländeaufträge vom Baugrundsachverständigen abnehmen zu lassen.

Langzeitböschungen sind vorzugsweise mit einer Neigung von $n = 1 : 2 (\approx 27^\circ)$ anzulegen und gegen Erosion zu schützen.

Die bautechnischen Begleitmaßnahmen im Umfeld der Standorte orientieren sich an den während der Arbeiten vorherrschenden Witterungsbedingungen. Hiernach wird als Vorsorgemaßnahme empfohlen, entlang der Böschungsfüße der umliegenden Flächenabschnitte (Bereich Geländeabträge) einen im Gefälle vorflutseitig profilierten Flutgraben einzurichten, der das aus Richtung Hangfläche durch Regenereignisse anfallende Oberflächenwasser rasch abführt und somit verhindert, dass die Wässer ungehindert in das Planum der späteren Baufläche zulaufen und somit zu einer Aufweichung sowie bei mechanisch - dynamischer Beanspruchung aus Baustellenverkehr sogar zu Verbreitungen führen können.

Für die Einhaltung eines bestimmungsgemäßen Verformungsmoduls von $E_{v2} = 120$ MN / m² in Oberkante Deckschicht (Kranstell- und Montagefläche) ist in Höhe der Flächen eine entsprechend dimensionierte Schicht aus geeigneten mineralischen Gesteinen herzustellen.

Zu diesem Zweck sollte durchlaufend der Einbau einer frostsicheren Oberbaukonstruktion (Deckschicht = Frostschutzschicht) aus gleichmäßig kornabgestuftem und raumbeständigen, frostsicheren, frostbeständigen sowie einbau- und verdichtungsfähigem Brechkorngemisch vorgesehen werden (z.B. Korngröße 0 - 32 oder 0 - 45 mm). Sofern eine umweltrelevante Unbedenklichkeit und sonstige Eignung für den vorgesehenen Zweck vorliegen, kann auch Recycling - Material verwendet werden (besondere Freigabe erforderlich!).

Wegen der bislang noch unbekannten Lastgröße des tatsächlich zum Einsatz kommenden Kranes gilt, dass das Gesamtsystem auf die Belastungssituation abzustimmen ist.

Für die Flächenbereiche wird aufgrund umfangreicher Erfahrungen zur Prüfung und Optimierung der bestimmungsgemäßen Aufbauten das Anlegen von Testfeldern zwingend erforderlich. Das Erdplanum, die ggf. eingebauten mineralischen bzw. geogenen Schichten (OK Planum / OK Geländeauffüllung / OK Bodenaustausch und OK Trag-schicht ist durch Lastplattendruckversuche abzunehmen.

Die dauerhafte Standsicherheit der abgenommenen Flächen ist für die Bau- und Betriebszeit sicherzustellen.

Im Übrigen gelten die Vorgaben des Anlagenherstellers.

9 Schlussbemerkungen

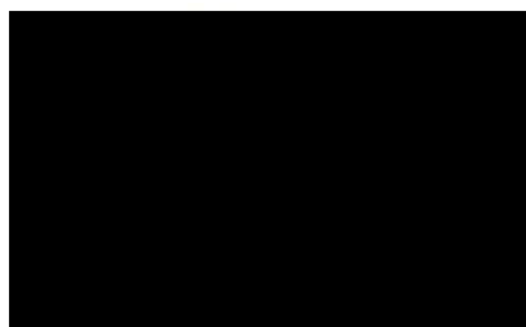
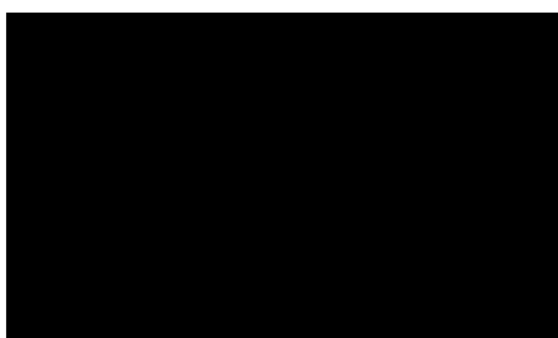
Sollten während der Arbeiten Abweichungen von den punktuell gewonnenen Erkundungsfeststellungen angetroffen werden, bitten wir rechtzeitig um Benachrichtigung. Dies gilt auch für Planungsänderungen gegenüber den zur Verfügung gestellten Bearbeitungsgrundlagen und Planunterlagen.

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

Die Geotechnischen Nachweise für den Standort **WEA 04** (Gründung über Bodenaustausch) liegen dem Gründungskonzept des Bodengutachtens in ausführlicher Weise bei. In Anlage 6ff. sind die Berechnungen für die maßgeblichen Lastfälle dargestellt. Hiermit wird bestätigt, dass die Konformität des Bodengutachtens mit der dazu vorgelegten Typenprüfung in Form des Technischen Datenblattes besteht. Die Eingangswerte der Technischen Datenblätter als Auszug der typengeprüften Serienstatik der Fa. Enercon wurden bei den geotechnischen Nachweisen verwendet. Die zulässigen Beurteilungsgrenzen werden eingehalten.

Für den Standort **WEA 03** (Gründung über Schotter - Rammsäulen) erfolgt die Nachweisführung durch den Spezialtiefbauer.

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

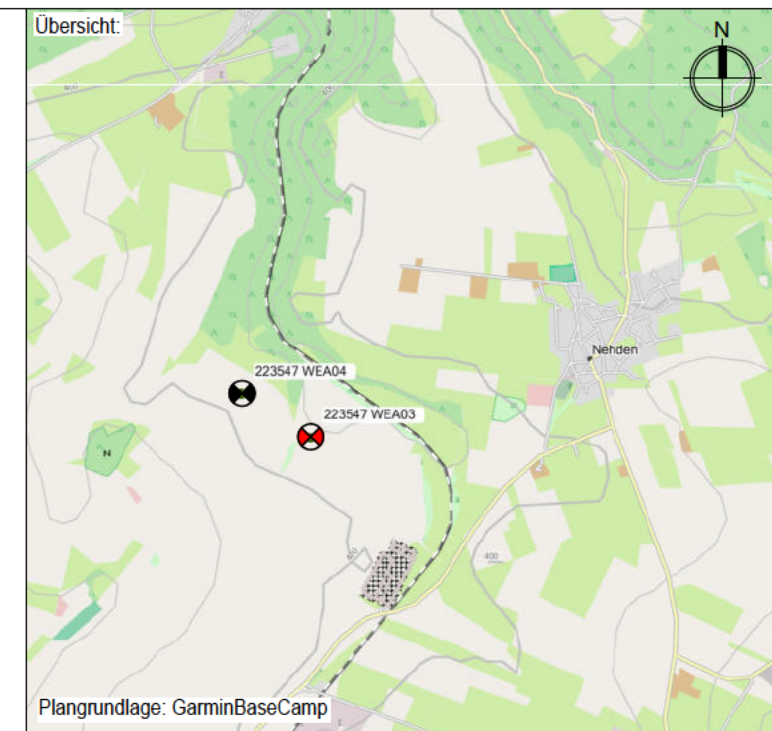
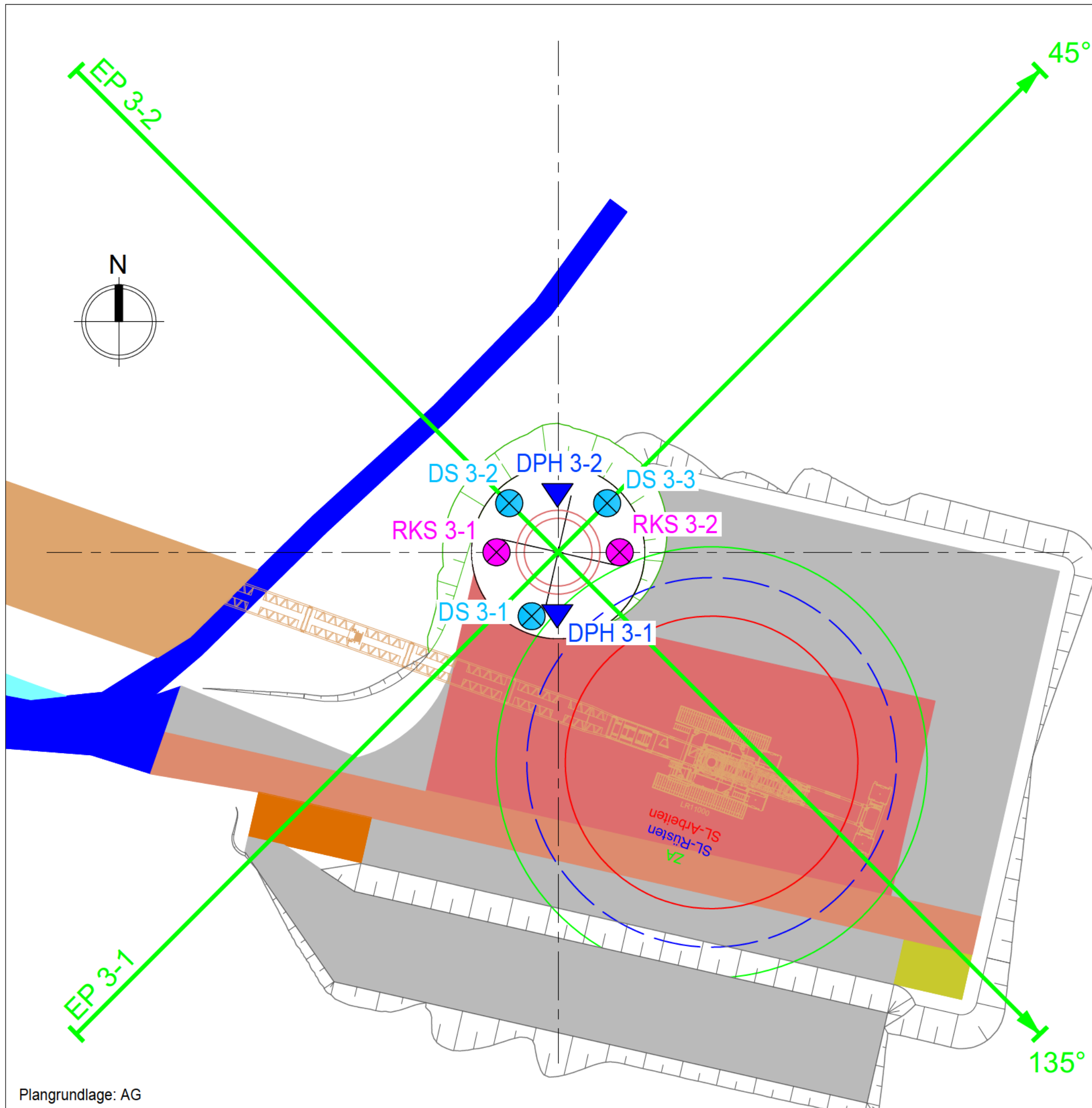


Anlage 1	-	Lagepläne mit Einkartierung der Erkundungs- und Prüfstellen, geophysikalischen Messrichtungen sowie Übersichtspläne
Anlage 2	-	Profilbalkendarstellung der Rammkernsondierungen
Anlage 3	-	Widerstandslinien der dynamischen Rammsondierungen
Anlage 4.1	-	Widerstandslinien der elektrischen Drucksondierungen "Fundamentposition"
Anlage 4.2	-	Widerstandslinien der elektrischen Drucksondierungen, Bodentyp - Index und undrainierte Scherfestigkeit "Gesamt"
Anlage 5	-	Analysebefund der bauchemischen Bodenbeprobung
Anlage 6	-	Geotechnische Nachweise "Standort WEA 04"

ANLAGE 1

Brilon - Alme, Windpark Brilon II - Errichtung von 2 Windenergieanlagen

Hier: Lagepläne mit Einkartierung der Erkundungs- und Prüfstellen, geophysikalischen Messrichtungen sowie Übersichtspläne

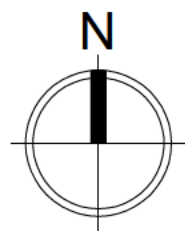


Legende:

- RKS...
⊗ Ansatzstelle der Rammkernsondierung
- DPH...
▼ Ansatzstelle der schweren Rammsondierung
- GE...
➤ Ansatzstelle des geoelektrischen Messprofils
- DS...
⊗ Ansatzstelle der Drucksondierung



Auftraggeber: Alterric Deutschland GmbH Holzweg 87 26605 Aurich	Projekt Nr.: 223547	Anlage: 1.1
	Maßstab: (A3-Format) 1 : 500	Datum: 10.09.2024
	Gezeichnet: DW	Geprüft: GG
Baumaßnahme: WP Brilon Errichtung von 2 WEA Brilon-Alme	Planinhalt: Lageplan der Erkundungspunkte WEA03	



300°

30°

EP 4-1

EP 4-2

DPH 4-2

RKS 4-2

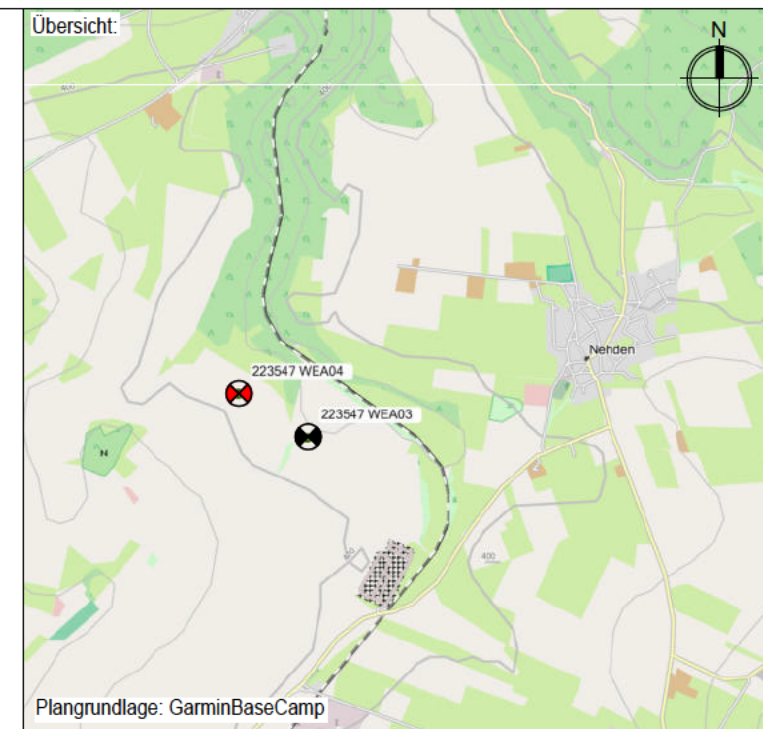
RKS 4-1

DPH 4-1

DS 4-1

DS 4-2

DS 4-3



Plangrundlage: GarminBaseCamp

Legende:

RKS...



Ansatzstelle der Rammkernsondierung

DPH...



Ansatzstelle der schweren Rammsondierung

GE...



Ansatzstelle des geoelektrischen Messprofils

DS...



Ansatzstelle der Drucksondierung



Auftraggeber:

Alterric
Deutschland GmbH
Holzweg 87
26605 Aurich

Projekt Nr:

223547

Anlage:

1.2

Maßstab: (A3-Format)

1 : 500

Datum:

10.09.2024

Gezeichnet:

DW

Geprüft:

GG

Baumaßnahme:

WP Brilon
Errichtung von 2 WEA
Brilon-Alme

Planinhalt:

Lageplan der
Erkundungspunkte
WEA04

Plangrundlage: AG

ANLAGE 2

Brilon - Alme, Windpark Brilon II - Errichtung von 2 Windenergieanlagen
Hier: Profilbalkendarstellung der Rammkernsondierungen

WP Brilon
WEA 3

Projektnummer:
223547
Anlage:
2.1

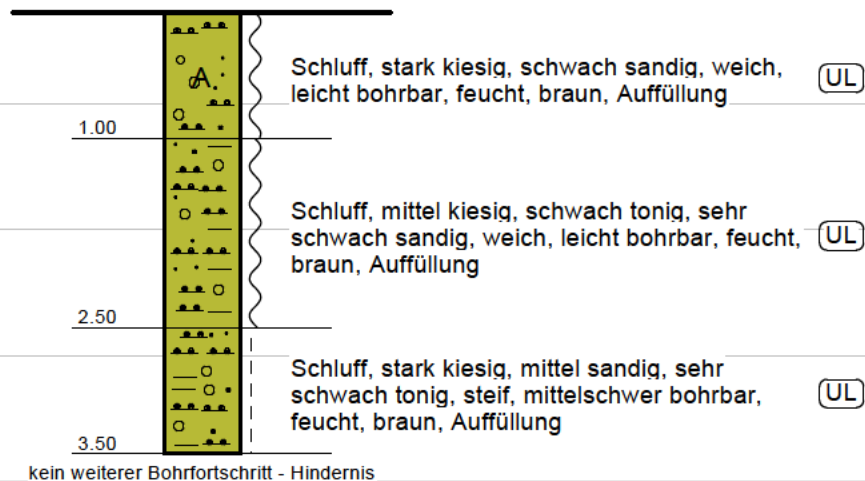
Profil einer Rammkernsondierung
Maßstab der Höhe ca.: 1:60

m u. GOK

RKS 3-1

-0,28 m rel. = GOK

1.0
0.0
-1.0
-2.0
-3.0
-4.0
-5.0
-6.0
-7.0
-8.0

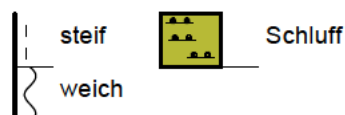


Hinweise:

Mittelpunktskoordinaten (UTM): 32473585 / 5698058

Feststellung vom 20.03.2024:
kein Grundwasser angetroffen,
Sondierloch offen

Legende: Konsistenzen - Lagerungsdichten - Hauptbodenarten



WP Brilon
WEA 3

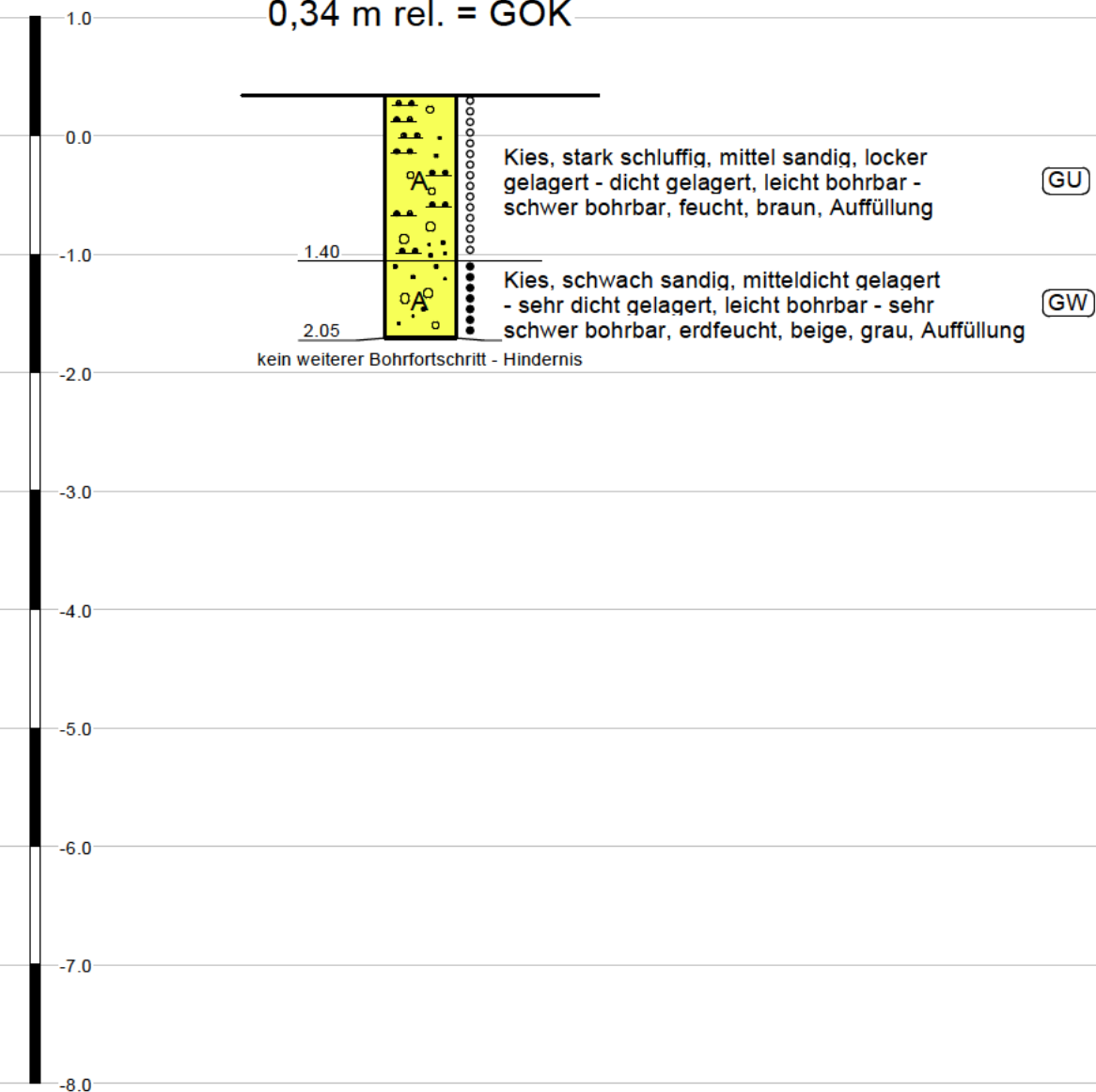
Projektnummer:
223547
Anlage:
2.2

Profil einer Rammkernsondierung
Maßstab der Höhe ca.: 1:60

RKS 3-2

m u. GOK

0,34 m rel. = GOK

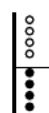


Hinweise:

Mittelpunktskoordinaten (UTM): 32473585 / 5698058

Feststellung vom 20.03.2024:
kein Grundwasser angetroffen,
Sondierloch offen

Legende: Konsistenzen - Lagerungsdichten - Hauptbodenarten



locker

mitteldicht



Schluff

Kies

WP Brilon
WEA 4

Projektnummer:
223547
Anlage:
2.3

Profil einer Rammkernsondierung
Maßstab der Höhe ca.: 1:30

m u. GOK

1.0

RKS 4-1

0,02 m rel. = GOK

0.0

0.20

0.50

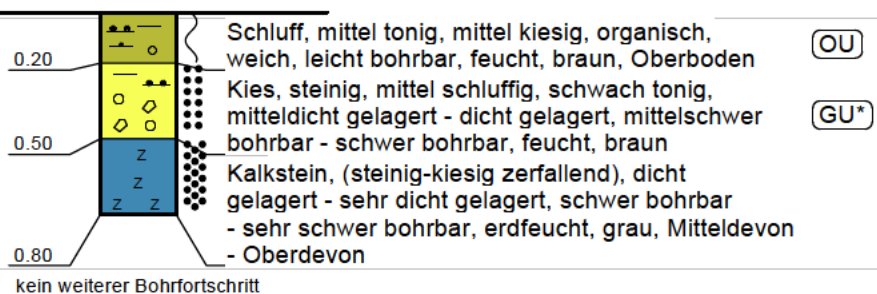
0.80

-1.0

-2.0

-3.0

-4.0

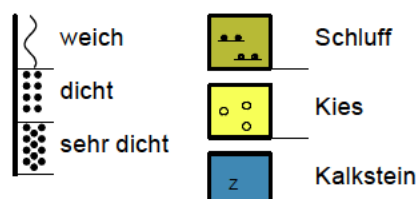


Hinweise:

Mittelpunktskoordinaten (UTM): 32473296 / 5698243

Feststellung vom 20.03.2024:
kein Grundwasser angetroffen,
Sondierloch offen

Legende: Konsistenzen - Lagerungsdichten - Hauptbodenarten



WP Brilon
WEA 4

Projektnummer:
223547
Anlage:
2.4

Profil einer Rammkernsondierung
Maßstab der Höhe ca.: 1:30

m u. GOK

1.0

RKS 4-2

-0,08 m rel. = GOK

0.0

0.30

0.70

-1.0

0.80

kein weiterer Bohrfortschritt

-2.0

-3.0

-4.0

Schluff, schwach tonig, sehr schwach kiesig,
organisch, weich, leicht bohrbar, feucht,
braun, Oberboden

(OU)

Schluff, mittel tonig, schwach sandig, steif,
leicht bohrbar, feucht, braun

(TL)







Kalkstein, (steinig-kiesig zerfallend), sehr
dicht gelagert, schwer bohrbar - sehr schwer
bohrbar, sehr schwach feucht, grau, Mitteldevon
- Oberdevon

Hinweise:

Mittelpunktskoordinaten (UTM): 32473296 / 5698243

Feststellung vom 20.03.2024:
kein Grundwasser angetroffen,
Sondierloch offen

Legende: Konsistenzen - Lagerungsdichten - Hauptbodenarten

	steif		Ton
	weich		Schluff
	sehr dicht		Kalkstein

ANLAGE 3

Brilon - Alme, Windpark Brilon II - Errichtung von 2 Windenergieanlagen
Hier: Widerstandslinien der dynamischen Rammsondierungen

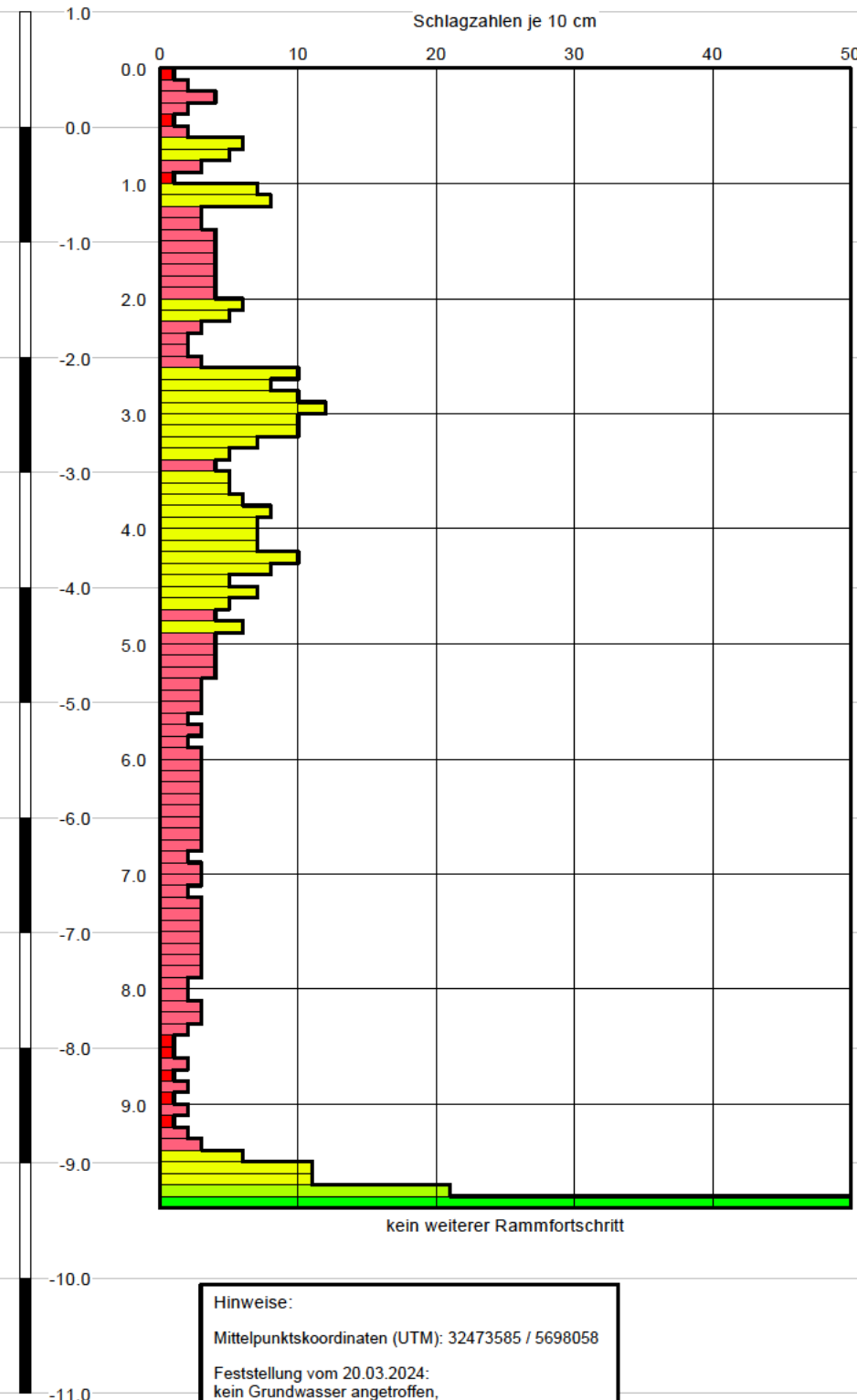
WP Brilon
WEA 3

Projektnummer:
223547
Anlage:
3.1

Profil einer Rammsondierung
Maßstab der Höhe ca.: 1:60

DPH 3-1
0,51 m rel. = GOK

m u. GOK



Tiefe [m]	N ₁₀	Tiefe [m]	N ₁₀
0.10	1	5.10	4
0.20	2	5.20	4
0.30	4	5.30	4
0.40	2	5.40	3
0.50	1	5.50	3
0.60	2	5.60	3
0.70	6	5.70	2
0.80	5	5.80	3
0.90	3	5.90	2
1.00	1	6.00	3
1.10	7	6.10	3
1.20	8	6.20	3
1.30	3	6.30	3
1.40	3	6.40	3
1.50	4	6.50	3
1.60	4	6.60	3
1.70	4	6.70	3
1.80	4	6.80	3
1.90	4	6.90	2
2.00	4	7.00	3
2.10	6	7.10	3
2.20	5	7.20	2
2.30	3	7.30	3
2.40	2	7.40	3
2.50	2	7.50	3
2.60	3	7.60	3
2.70	10	7.70	3
2.80	8	7.80	3
2.90	10	7.90	3
3.00	12	8.00	2
3.10	10	8.10	2
3.20	10	8.20	3
3.30	7	8.30	3
3.40	5	8.40	2
3.50	4	8.50	1
3.60	5	8.60	1
3.70	5	8.70	2
3.80	6	8.80	1
3.90	8	8.90	2
4.00	7	9.00	1
4.10	7	9.10	2
4.20	7	9.20	1
4.30	10	9.30	2
4.40	8	9.40	3
4.50	5	9.50	6
4.60	7	9.60	11
4.70	5	9.70	11
4.80	4	9.80	21
4.90	6	9.90	50
5.00	4		

Legende DPH

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

Hinweise:

Mittelpunktskoordinaten (UTM): 32473585 / 5698058

Feststellung vom 20.03.2024:
kein Grundwasser angetroffen,
Sondierloch bei 3,0 m zugefallen

WP Brilon
WEA 3

Projektnummer:
223547
Anlage:
3.2

Profil einer Rammsondierung
Maßstab der Höhe ca.: 1:60

DPH 3-2

-0,74 m rel. = GOK

Schlagzahlen je 10 cm

m u. GOK

0.0

-1.0

-2.0

-3.0

-4.0

-5.0

-6.0

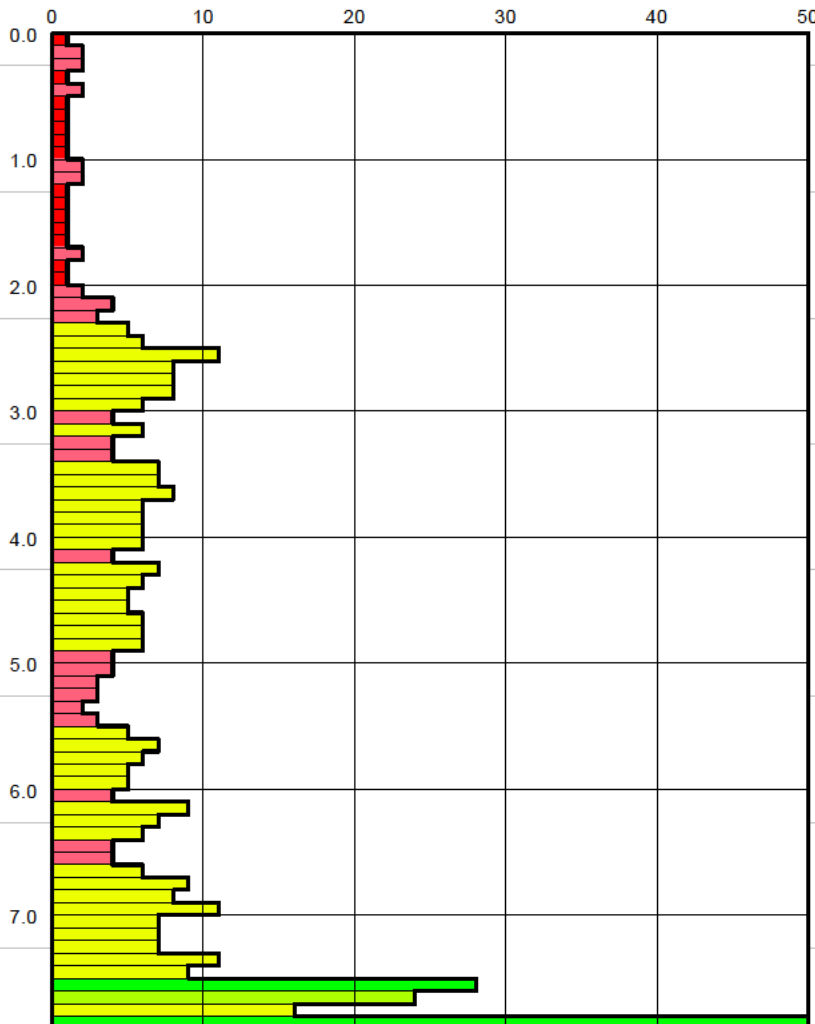
-7.0

-8.0

-9.0

-10.0

-11.0



kein weiterer Rammfortschritt

Tiefe [m]	N ₁₀	Tiefe [m]	N ₁₀
0.10	1	5.10	4
0.20	2	5.20	3
0.30	2	5.30	3
0.40	1	5.40	2
0.50	2	5.50	3
0.60	1	5.60	5
0.70	1	5.70	7
0.80	1	5.80	6
0.90	1	5.90	5
1.00	1	6.00	5
1.10	2	6.10	4
1.20	2	6.20	9
1.30	1	6.30	7
1.40	1	6.40	6
1.50	1	6.50	4
1.60	1	6.60	4
1.70	1	6.70	6
1.80	2	6.80	9
1.90	1	6.90	8
2.00	1	7.00	11
2.10	2	7.10	7
2.20	4	7.20	7
2.30	3	7.30	7
2.40	5	7.40	11
2.50	6	7.50	9
2.60	11	7.60	28
2.70	8	7.70	24
2.80	8	7.80	16
2.90	8	7.90	50
3.00	6		
3.10	4		
3.20	6		
3.30	4		
3.40	4		
3.50	7		
3.60	7		
3.70	8		
3.80	6		
3.90	6		
4.00	6		
4.10	6		
4.20	4		
4.30	7		
4.40	6		
4.50	5		
4.60	5		
4.70	6		
4.80	6		
4.90	6		
5.00	4		

Hinweise:

Mittelpunktskoordinaten (UTM): 32473585 / 5698058

Feststellung vom 20.03.2024:
kein Grundwasser angetroffen,
Sondierloch bei 6,2 m zugefallen

Legende DPH

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

WP Brilon
WEA 4

Projektnummer:
223547
Anlage:
3.3

Profil einer Rammsondierung
Maßstab der Höhe ca.: 1:30

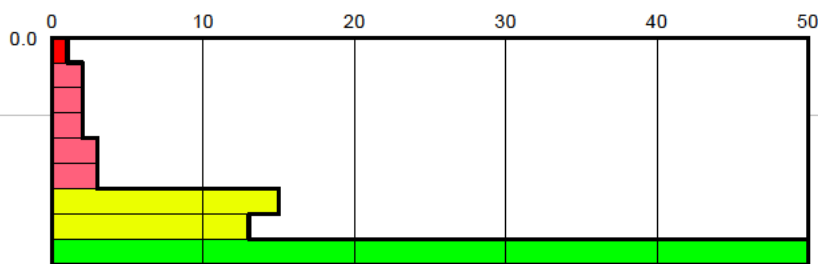
m u. GOK

1.0

DPH 4-1

0,31 m rel. = GOK

Schlagzahlen je 10 cm



Tiefe [m]	N ₁₀
0.10	1
0.20	2
0.30	2
0.40	2
0.50	3
0.60	3
0.70	15
0.80	13
0.90	50

kein weiterer Rammfortschritt

-1.0

-2.0

-3.0

-4.0

Hinweise:

Mittelpunktskoordinaten (UTM): 32473296 / 5698243

Feststellung vom 20.03.2024:
kein Grundwasser angetroffen,
Sondierloch offen

Legende DPH

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

WP Brilon
WEA 4

Projektnummer:
223547
Anlage:
3.4

Profil einer Rammsondierung
Maßstab der Höhe ca.: 1:30

m u. GOK

1.0

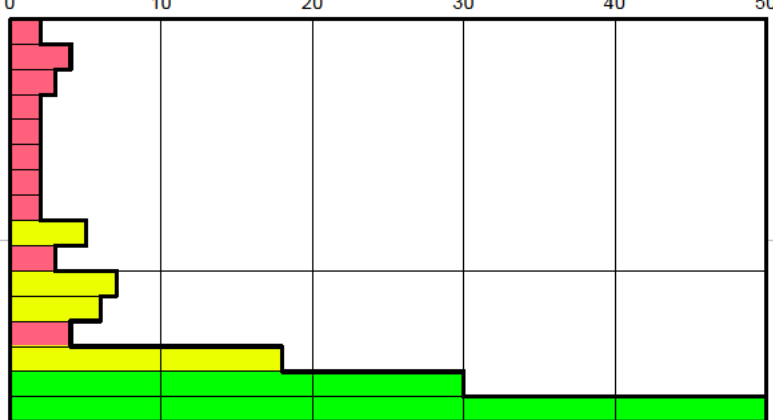
DPH 4-2

-0,12 m rel. = GOK

Schlagzahlen je 10 cm

0.0

0.0



Tiefe [m]	N ₁₀
0.10	2
0.20	4
0.30	3
0.40	2
0.50	2
0.60	2
0.70	2
0.80	2
0.90	5
1.00	3
1.10	7
1.20	6
1.30	4
1.40	18
1.50	30
1.60	50

kein weiterer Rammfortschritt

-2.0

-3.0

-4.0

Hinweise:

Mittelpunktskoordinaten (UTM): 32473296 / 5698243

Feststellung vom 20.03.2024:
kein Grundwasser angetroffen,
Sondierloch offen

Legende DPH

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

ANLAGE 4

Brilon - Alme, Windpark Brilon II - Errichtung von 2 Windenergieanlagen

Hier: Widerstandslinien der elektrischen Drucksondierungen "Fundamentposition" und Widerstandslinien der elektrischen Drucksondierungen, Bodentyp - Index und undrainierte Scherfestigkeit "Gesamt"

WP Brilon
WEA 4

Projektnummer:
223547
Anlage:
5.2

Profil zweier Ramm- und zweier Rammkernsondierungen
Maßstab der Höhe ca.: 1:30

S

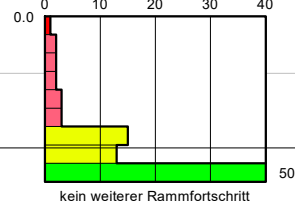
N

m u. GOK

DPH 4-1

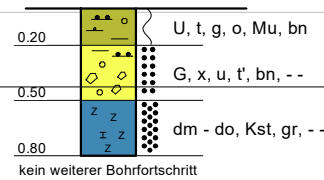
0,31 m = GOK

Schlagzahlen je 10 cm



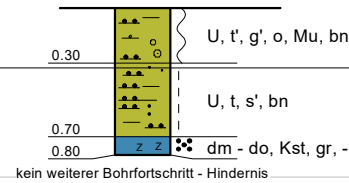
RKS 4-1

0,02 m = GOK



RKS 4-2

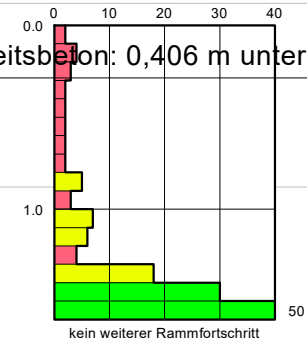
-0,08 m = GOK



DPH 4-2

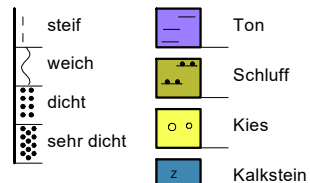
-0,12 m = GOK

Schlagzahlen je 10 cm

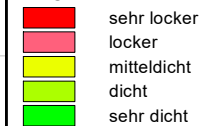


UK Sauberkeitsbeton: 0,406 m unter GOK am Mittelpunkt

Legende: Konsistenzen - Lagerungsdichten - Hauptbodenarten



Legende DPH

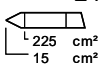
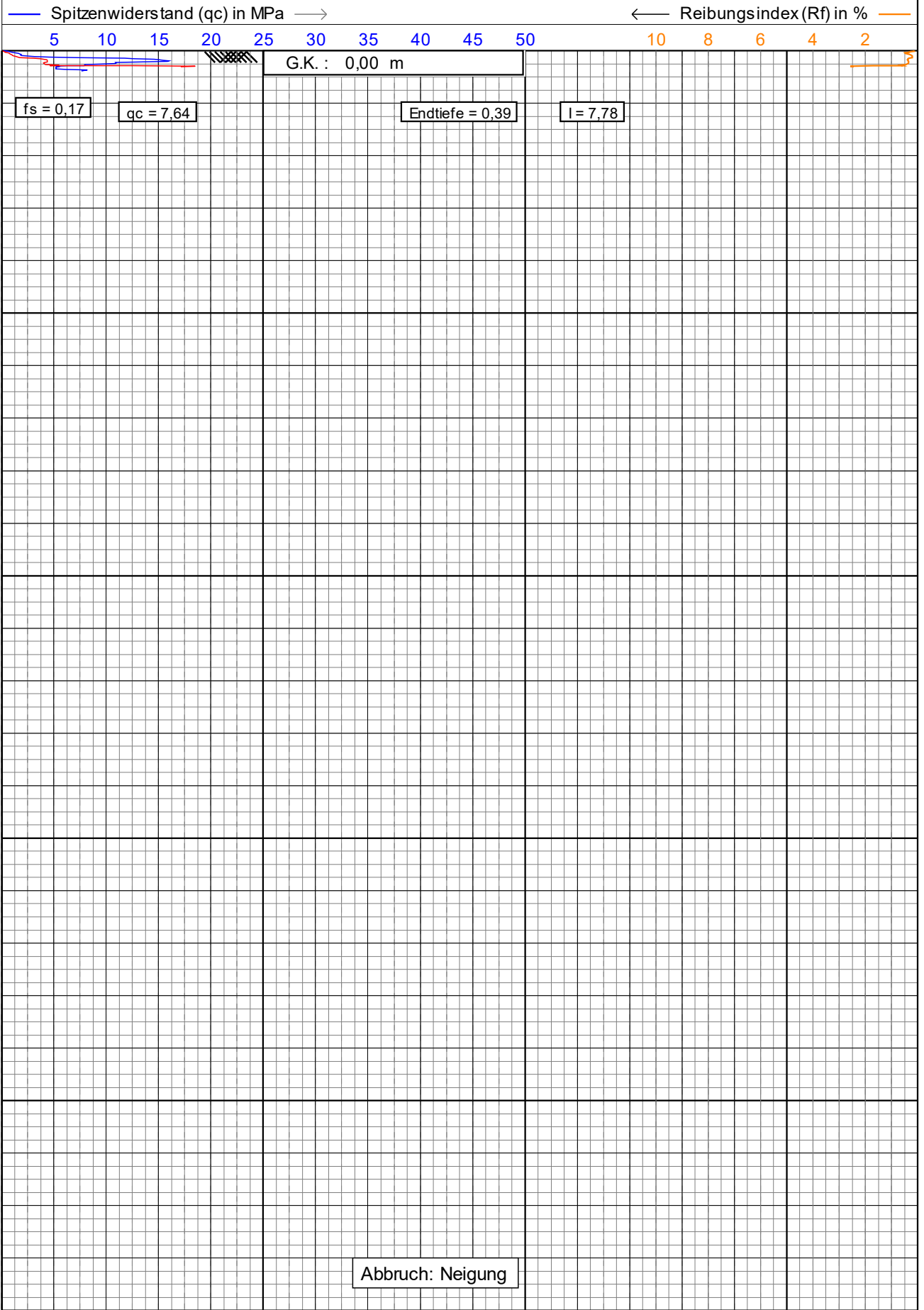


Hinweise:

Mittelpunktskoordinaten (UTM): 32473296 / 5698243
Geländehöhe am Mittelpunkt: 00,00 m rel.

Feststellung vom 20.03.2024:
kein Grundwasser angetroffen, Sondierlöcher offen

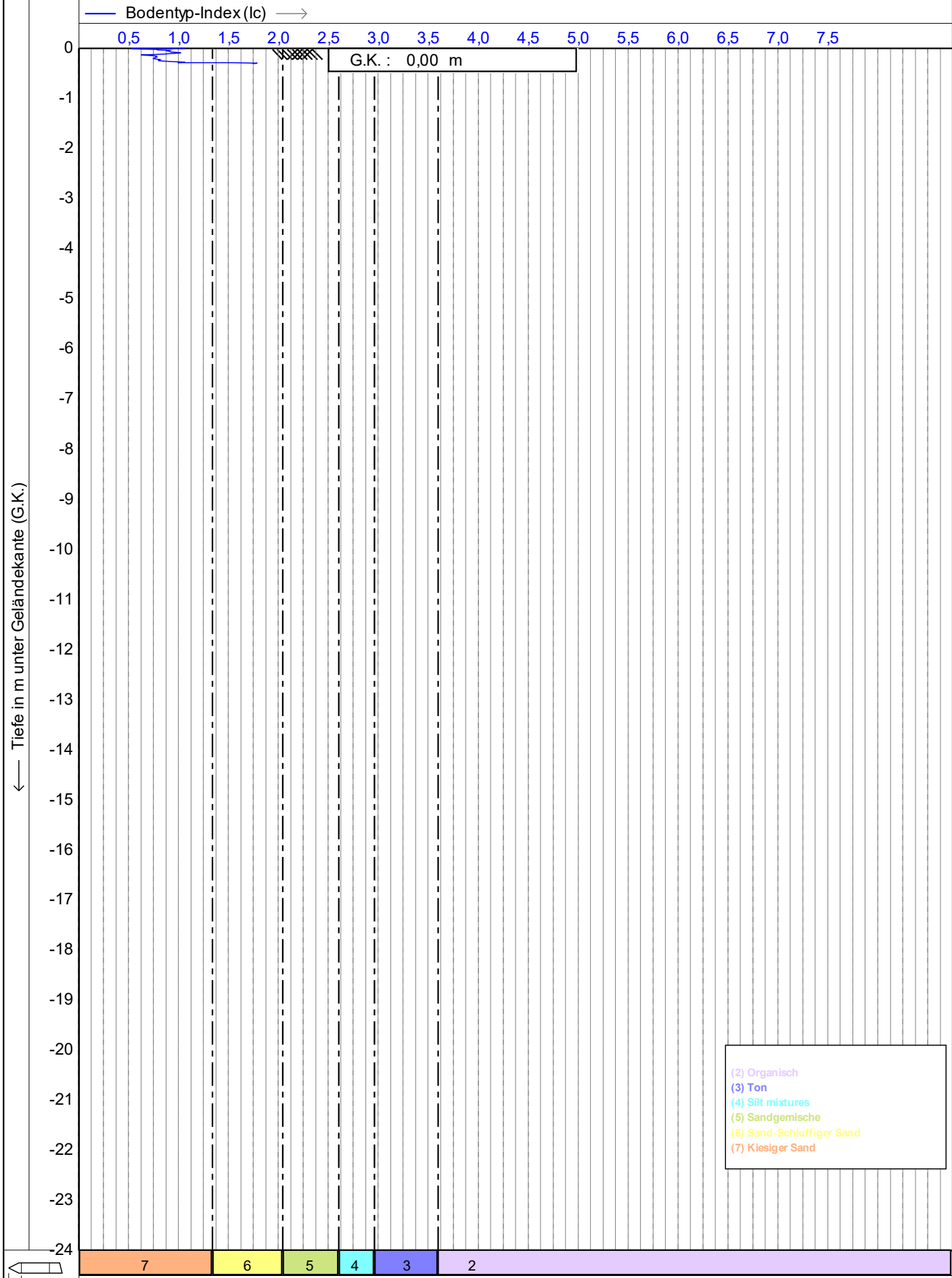
← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)



Drucksondierungen nach DIN EN ISO 22476-1 (07/2021)

Projekt : **Brilon**
Ort : **Brilon**

Datum : **02.07.2024**
Konus Nr. : **S15CFILS23737**
Projekt Nr. : **20240617-10001**
CPT Nr. : **CPT 3-1** 1/5



← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

— Undrainierte Scherfestigkeit (Su) in kPa —→

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

G.K. : 0,00 m

Abbruch: Neigung

225 cm²
15 cm²

Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

←

Boden (Qt, Fr)		Boden (Qt, Bq)		Boden (gemittelt)	
0		G.K. : 0,00 m			
-1					
-2					
-3					
-4					
-5					
-6					
-7					
-8					
-9					
-10					
-11					
-12					
-13					
-14					
-15					
-16					
-17					
-18					
-19					
-20					
-21					
-22					
-23					
-24					

225 cm²

15 cm²

Bodenklassifikation nach Robertson 1990

geo
technik

heiligenstadt gmbh

Beratende Ingenieure VBI

Drucksondierungen nach DIN EN ISO 22476-1 (07/2021)

Projekt : **Brilon**

Ort : **Brilon**

Datum : **02.07.2024**

Konus Nr. : **S15CFIL.S23737**

Projekt Nr. : **20240617-10001**

CPT Nr. : **CPT 3-1** 4/5

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

Winkel der inneren Reibung in Grad →

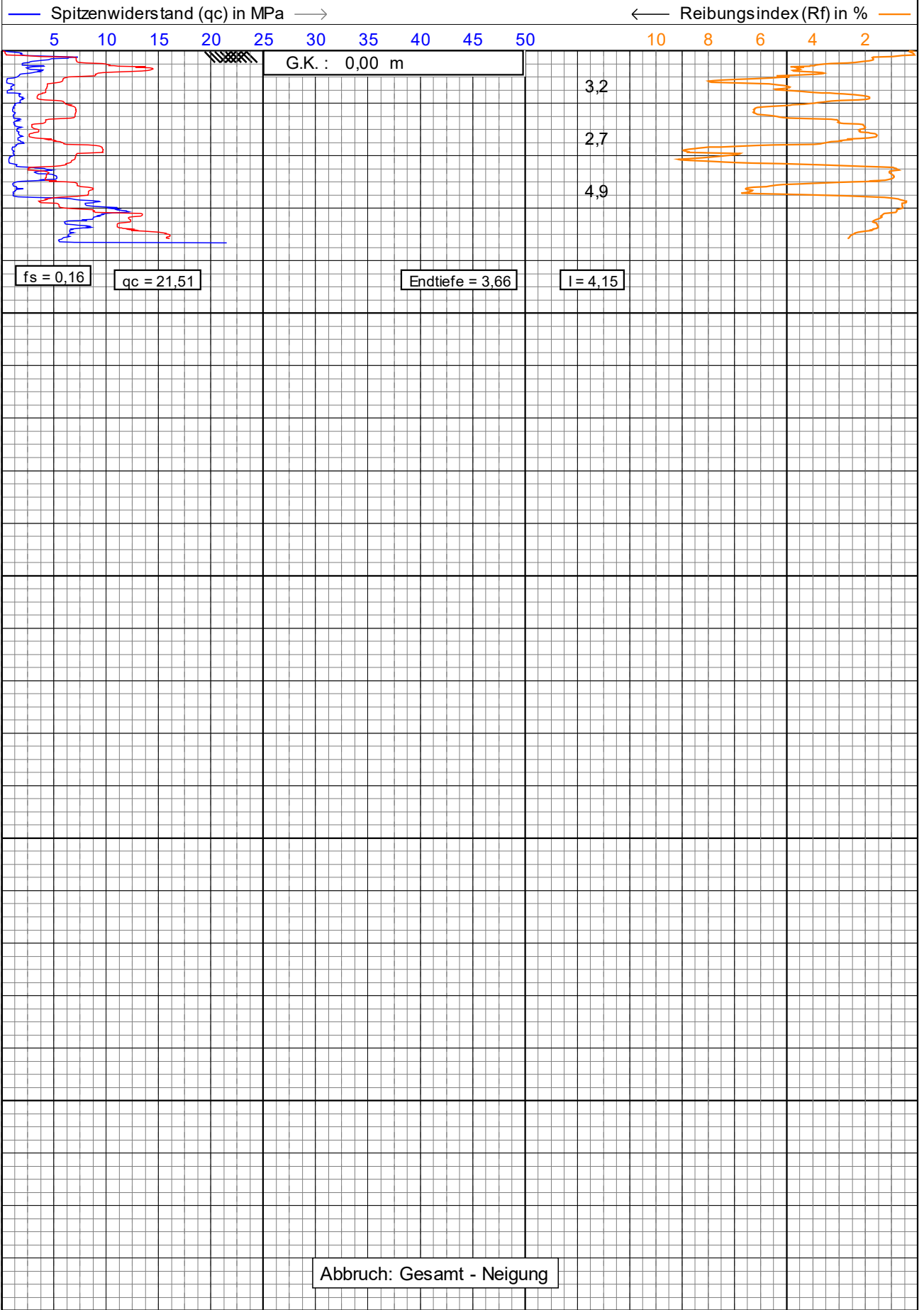
5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75

G.K. : 0,00 m

Abbruch: Neigung

225 cm²
15 cm²

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)



225 cm²
15 cm²

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

— Bodentyp-Index (Ic) —→

0,5 1,0 1,5 2,0 2,5 3,0 3,5 4,0 4,5 5,0 5,5 6,0 6,5 7,0 7,5

G.K. : 0,00 m

0
-1
-2
-3
-4
-5
-6
-7
-8
-9
-10
-11
-12
-13
-14
-15
-16
-17
-18
-19
-20
-21
-22
-23
-24

(2) Organisch
(3) Ton
(4) Silt mixtures
(5) Sandgemische
(6) Sand-Schluffiger Sand
(7) Kiesiger Sand

225 cm²
15 cm²

7

6

5

4

3

2

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

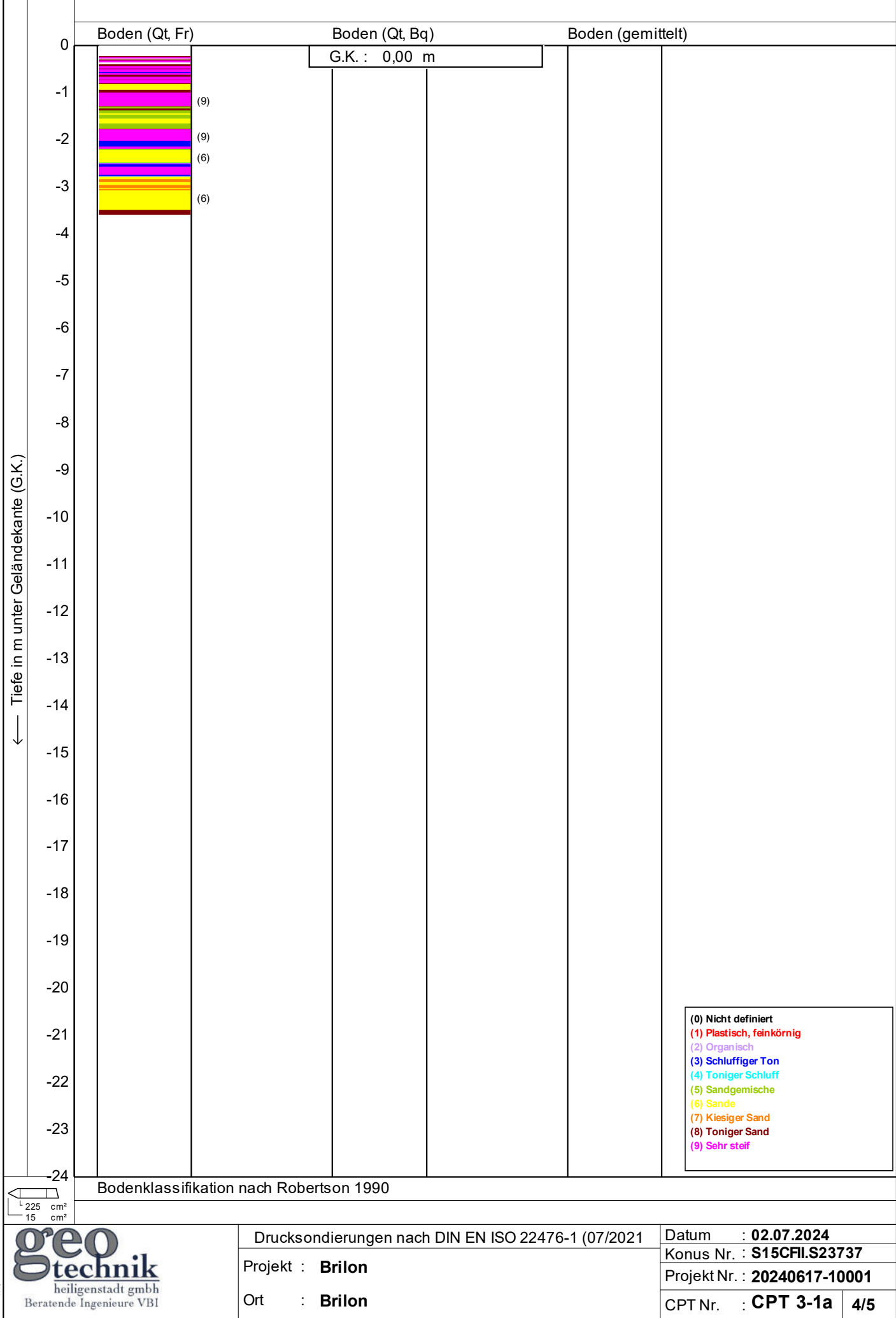
— Undrainierte Scherfestigkeit (Su) in kPa —→

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

G.K. : 0,00 m

Abbruch: Gesamt - Neigung

225 cm²
15 cm²



← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

Winkel der inneren Reibung in Grad →

5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

G.K. : 0,00 m

Abbruch: Gesamt - Neigung

225 cm²
15 cm²

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)



225 cm²
15 cm²

0,1 0,2 0,3 0,4 0,5

— Lokale Reibung (fs) in MPa —→

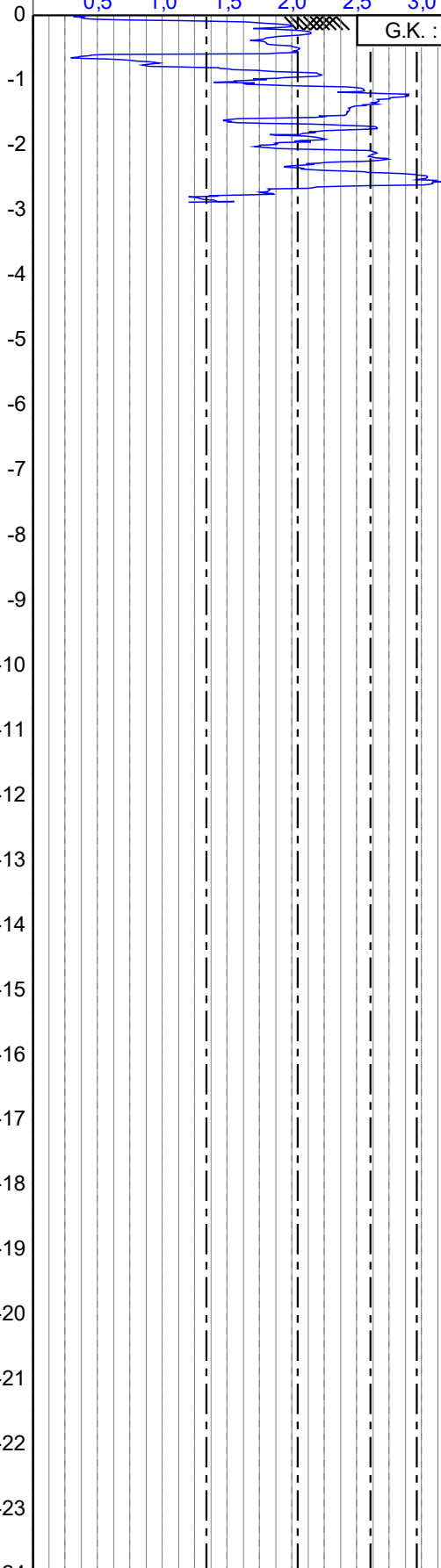
☒ Neigung (l) in Grad

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

— Bodentyp-Index (Ic) —→

0,5 1,0 1,5 2,0 2,5 3,0 3,5 4,0 4,5 5,0 5,5 6,0 6,5 7,0 7,5

G.K. : 0,00 m



(2) Organisch
(3) Ton
(4) Silt mixtures
(5) Sandgemische
(6) Sand-Schluffiger Sand
(7) Kiesiger Sand

225 cm²
15 cm²

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

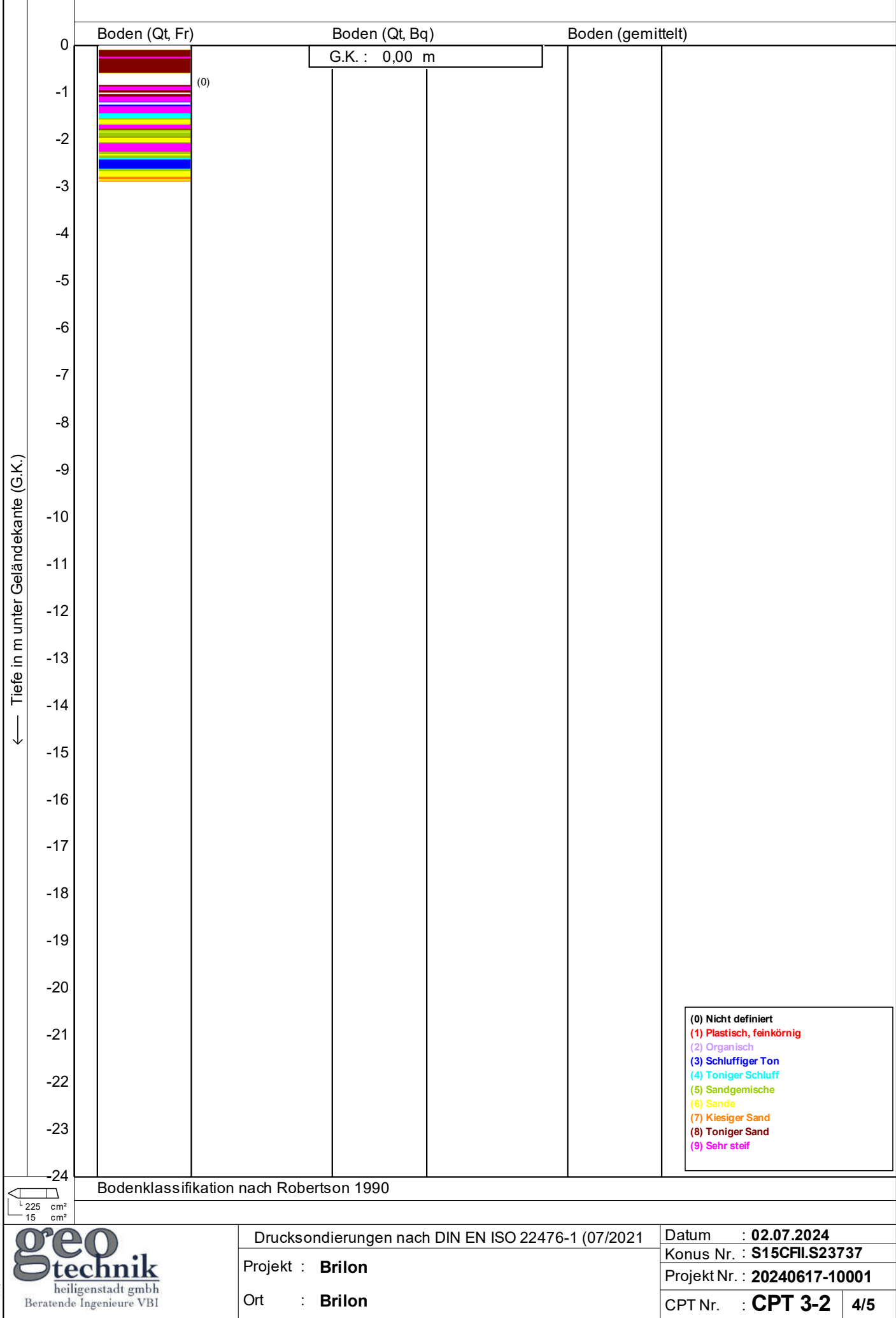
— Undrainierte Scherfestigkeit (Su) in kPa —→

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

G.K. : 0,00 m

Abbruch: Gesamt - Neigung

225 cm²
15 cm²

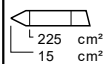


← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

— Winkel der inneren Reibung in Grad —→

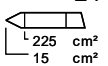
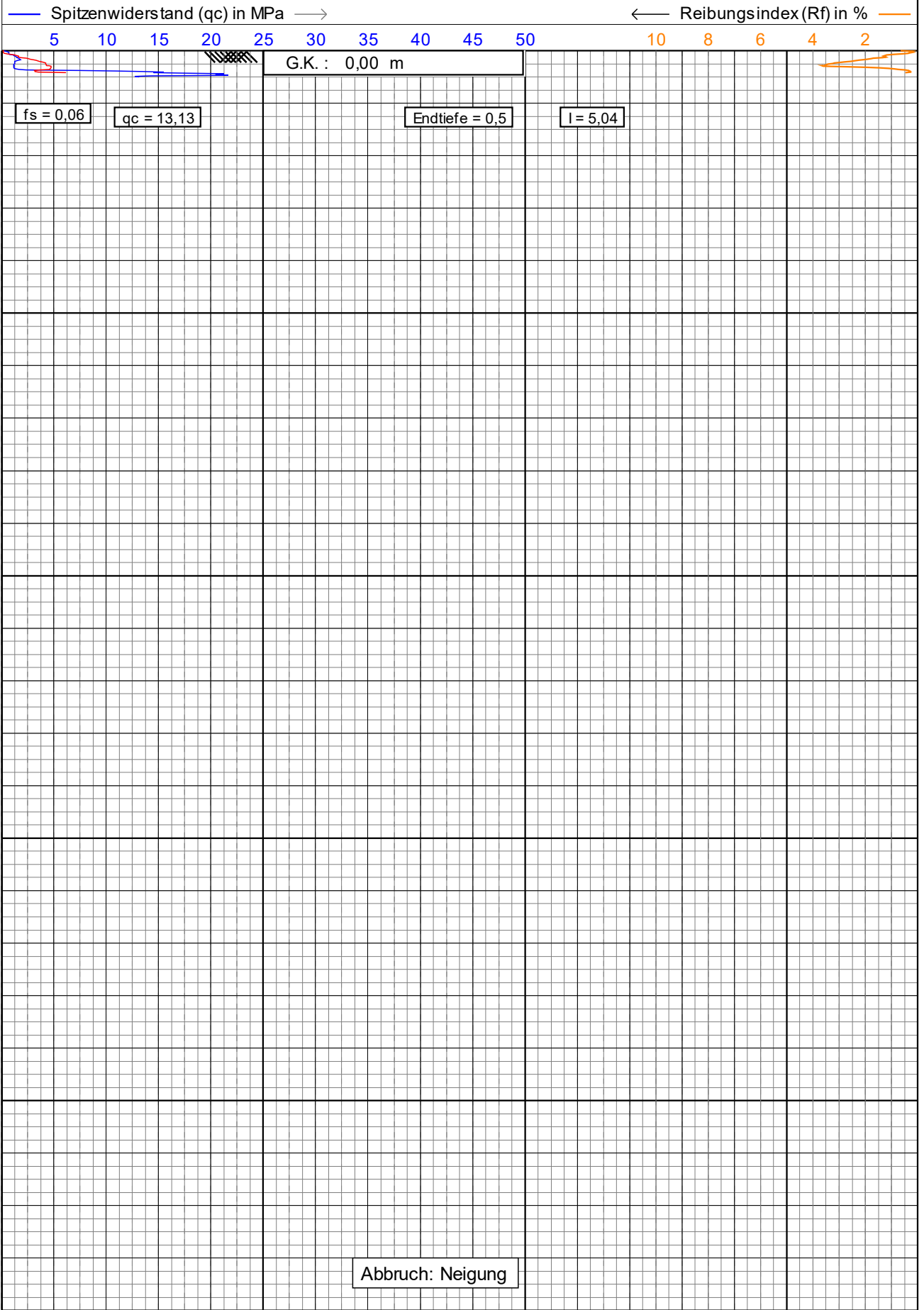
5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75

G.K. : 0,00 m



Abbruch: Gesamt - Neigung

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)



0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 ☒ Neigung (l) in Grad

— Lokale Reibung (fs) in MPa —→

geo
technik
heiligenstadt gmbh
Beratende Ingenieure VBI

Drucksondierungen nach DIN EN ISO 22476-1 (07/2021)
Projekt : **Brilon**
Ort : **Brilon**

Datum : **02.07.2024**
Konus Nr. : **S15CFILS23737**
Projekt Nr. : **20240617-10001**
CPT Nr. : **CPT 3-2a** 1/5

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

— Bodentyp-Index (Ic) —→

0,5 1,0 1,5 2,0 2,5 3,0 3,5 4,0 4,5 5,0 5,5 6,0 6,5 7,0 7,5

G.K. : 0,00 m

(2) Organisch
(3) Ton
(4) Silt mixtures
(5) Sandgemische
(6) Sand-Schluffiger Sand
(7) Kiesiger Sand

225 cm²
15 cm²

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

— Undrainierte Scherfestigkeit (Su) in kPa —→

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

G.K. : 0,00 m

Abbruch: Neigung

225 cm²
15 cm²

Boden (Qt, Fr)		Boden (Qt, Bq)		Boden (gemittelt)	
0		G.K. : 0,00 m			
-1					
-2					
-3					
-4					
-5					
-6					
-7					
-8					
-9					
-10					
-11					
-12					
-13					
-14					
-15					
-16					
-17					
-18					
-19					
-20					
-21					
-22					
-23					
-24					
<div><div><div>←</div><div>Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)</div></div><div><div>225 cm²</div><div>15 cm²</div></div></div> <div>Bodenklassifikation nach Robertson 1990</div>					
<div><div><div>geo</div><div>technik</div></div><div>heiligenstadt gmbh</div><div>Beratende Ingenieure VBI</div></div>		Drucksondierungen nach DIN EN ISO 22476-1 (07/2021)		Datum : 02.07.2024	
		Projekt : Brilon		Konus Nr. : S15CFIL.S23737	
		Ort : Brilon		Projekt Nr. : 20240617-10001	
				CPT Nr. : CPT 3-2a	4/5

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

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

Winkel der inneren Reibung in Grad →

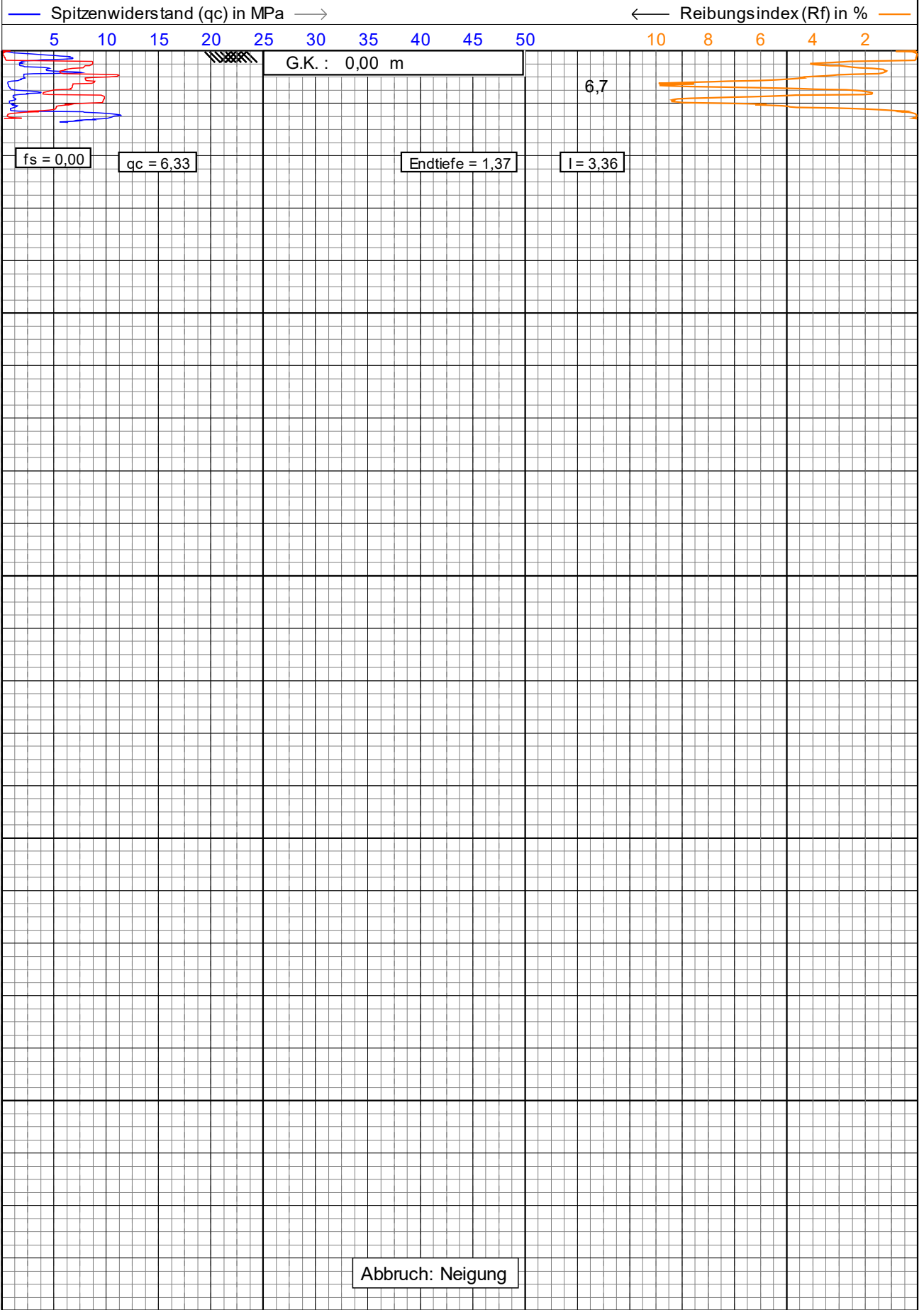
5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75

G.K. : 0,00 m

Abbruch: Neigung

225 cm²
15 cm²

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)



225 cm²
15 cm²

0,1 0,2 0,3 0,4 0,5

— Lokale Reibung (fs) in MPa —→

☒ Neigung (l) in Grad

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

Bodentyp-Index (Ic) →

0,5 1,0 1,5 2,0 2,5 3,0 3,5 4,0 4,5 5,0 5,5 6,0 6,5 7,0 7,5

G.K. : 0,00 m

0
-1
-2
-3
-4
-5
-6
-7
-8
-9
-10
-11
-12
-13
-14
-15
-16
-17
-18
-19
-20
-21
-22
-23
-24

(2) Organisch
(3) Ton
(4) Silt mixtures
(5) Sandgemische
(6) Sand-Schluffiger Sand
(7) Kiesiger Sand

225 cm²
15 cm²

7

6

5

4

3

2

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

— Undrainierte Scherfestigkeit (Su) in kPa —→

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

G.K. : 0,00 m

Abbruch: Neigung

225 cm²
15 cm²

	Boden (Qt, Fr)	Boden (Qt, Bq)	Boden (gemittelt)
0		G.K. : 0,00 m	
-1			
-2			
-3			
-4			
-5			
-6			
-7			
-8			
-9			
-10			
-11			
-12			
-13			
-14			
-15			
-16			
-17			
-18			
-19			
-20			
-21			
-22			
-23			
-24			

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

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

225 cm²
15 cm²

Bodenklassifikation nach Robertson 1990

heiligenstadt gmbh
 Beratende Ingenieure VBI

Drucksondierungen nach DIN EN ISO 22476-1 (07/2021)

Projekt : **Brilon**

Ort : **Brilon**

Datum : **02.07.2024**

Konus Nr. : **S15CFIL.S23737**

Projekt Nr. : **20240617-10001**

CPT Nr. : **CPT 3-3**

4/5

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

Winkel der inneren Reibung in Grad →

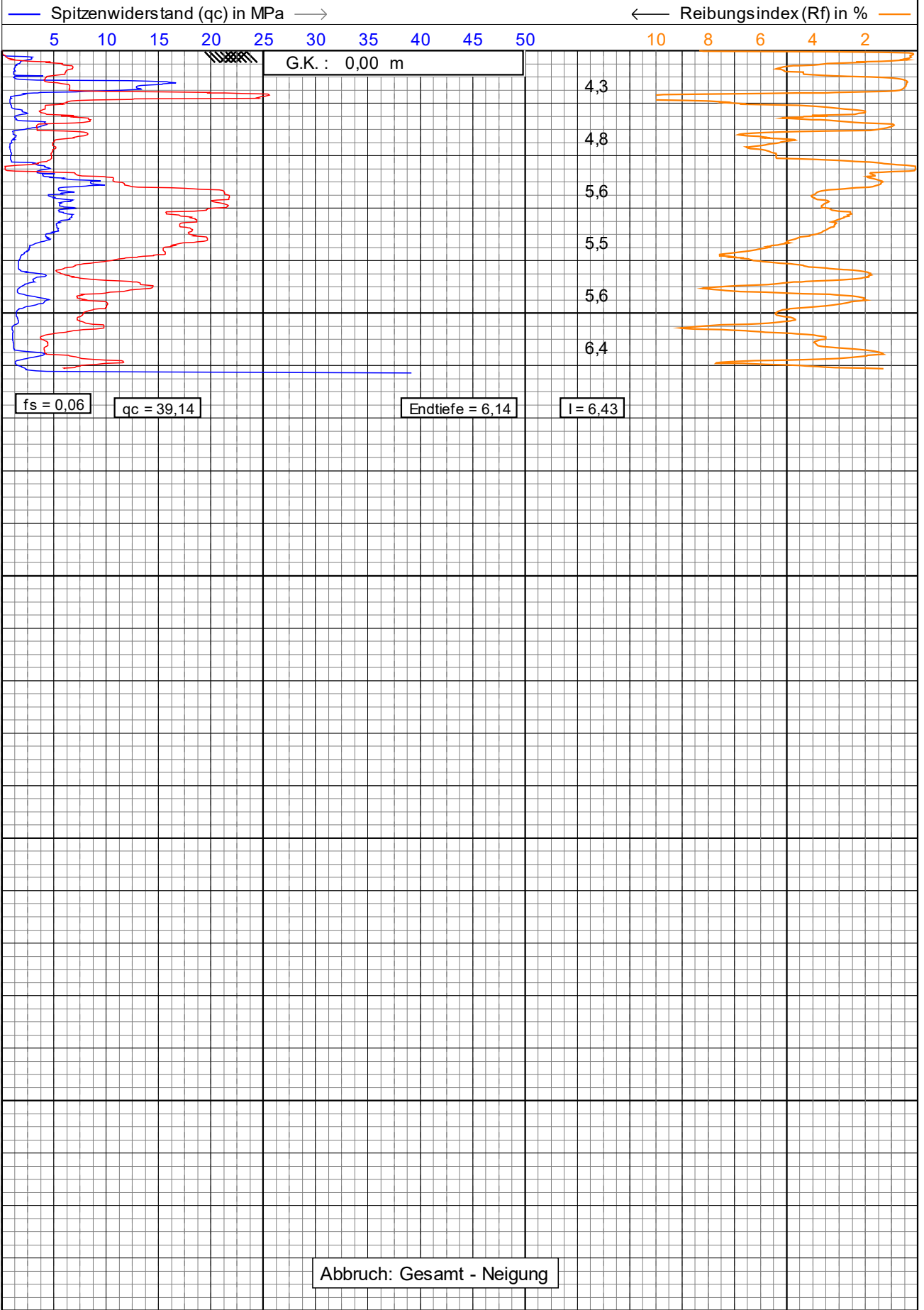
5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75

G.K. : 0,00 m

Abbruch: Neigung

225 cm²
15 cm²

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)



225 cm²
15 cm²

0,1 0,2 0,3 0,4 0,5

— Lokale Reibung (fs) in MPa —→

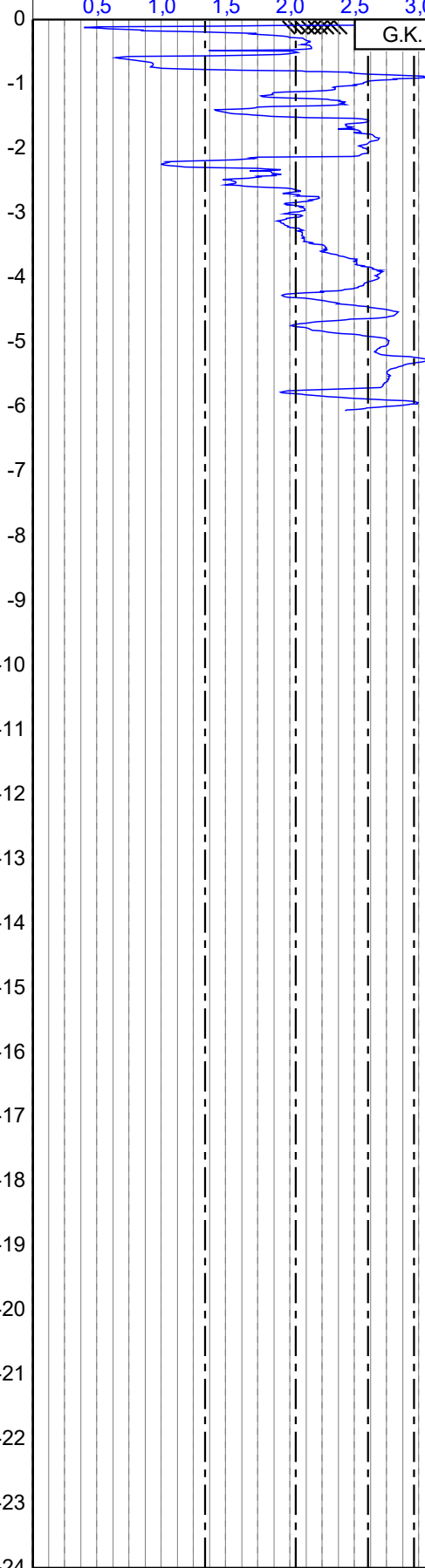
☒ Neigung (I) in Grad

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

— Bodentyp-Index (Ic) —→

0,5 1,0 1,5 2,0 2,5 3,0 3,5 4,0 4,5 5,0 5,5 6,0 6,5 7,0 7,5

G.K. : 0,00 m



(2) Organisch
(3) Ton
(4) Silt mixtures
(5) Sandgemische
(6) Sand-Schluffiger Sand
(7) Kiesiger Sand

225 cm²
15 cm²

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

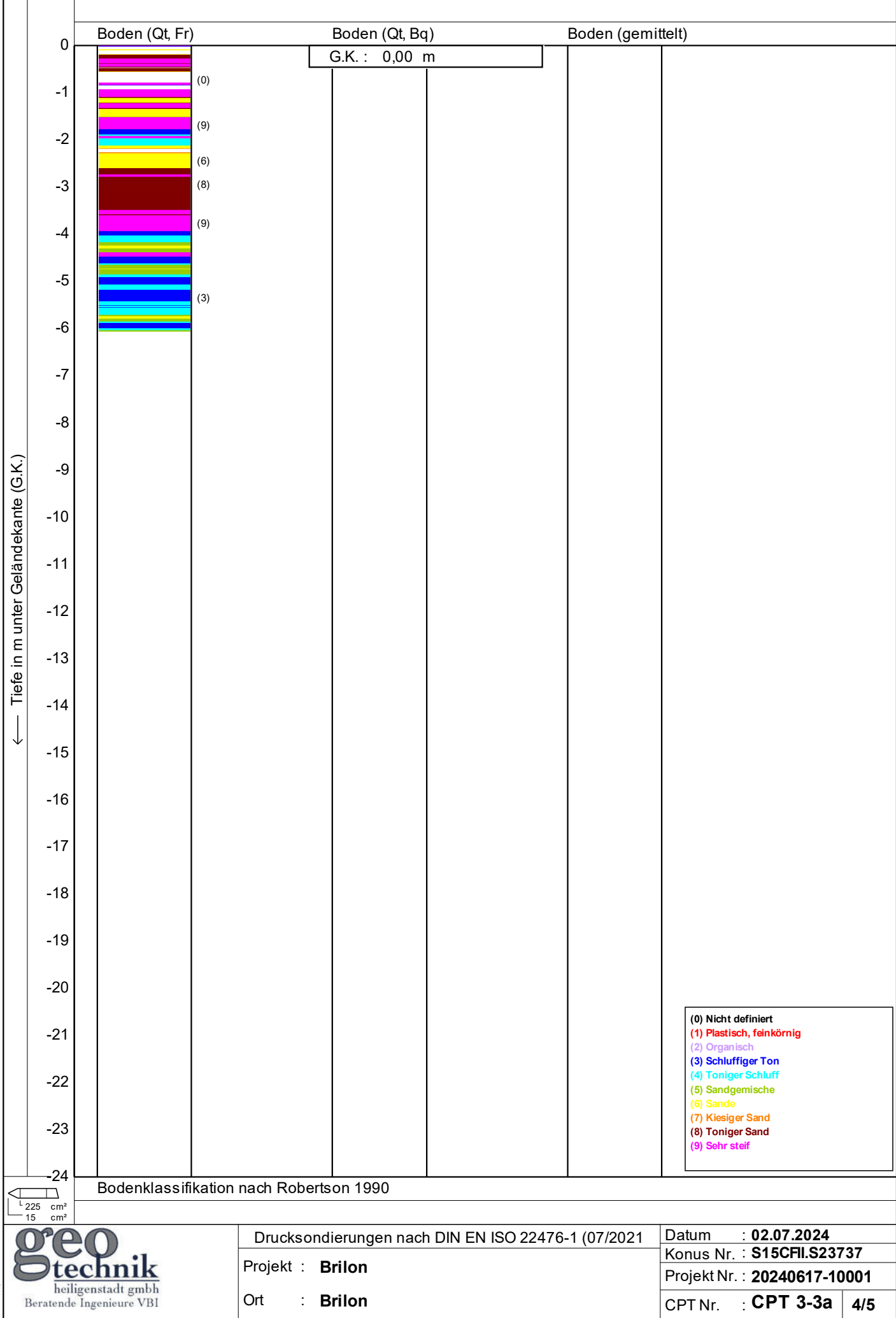
— Undrainierte Scherfestigkeit (Su) in kPa —→

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

G.K. : 0,00 m

Abbruch: Gesamt - Neigung

225 cm²
15 cm²



← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

— Winkel der inneren Reibung in Grad —→

5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75

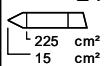
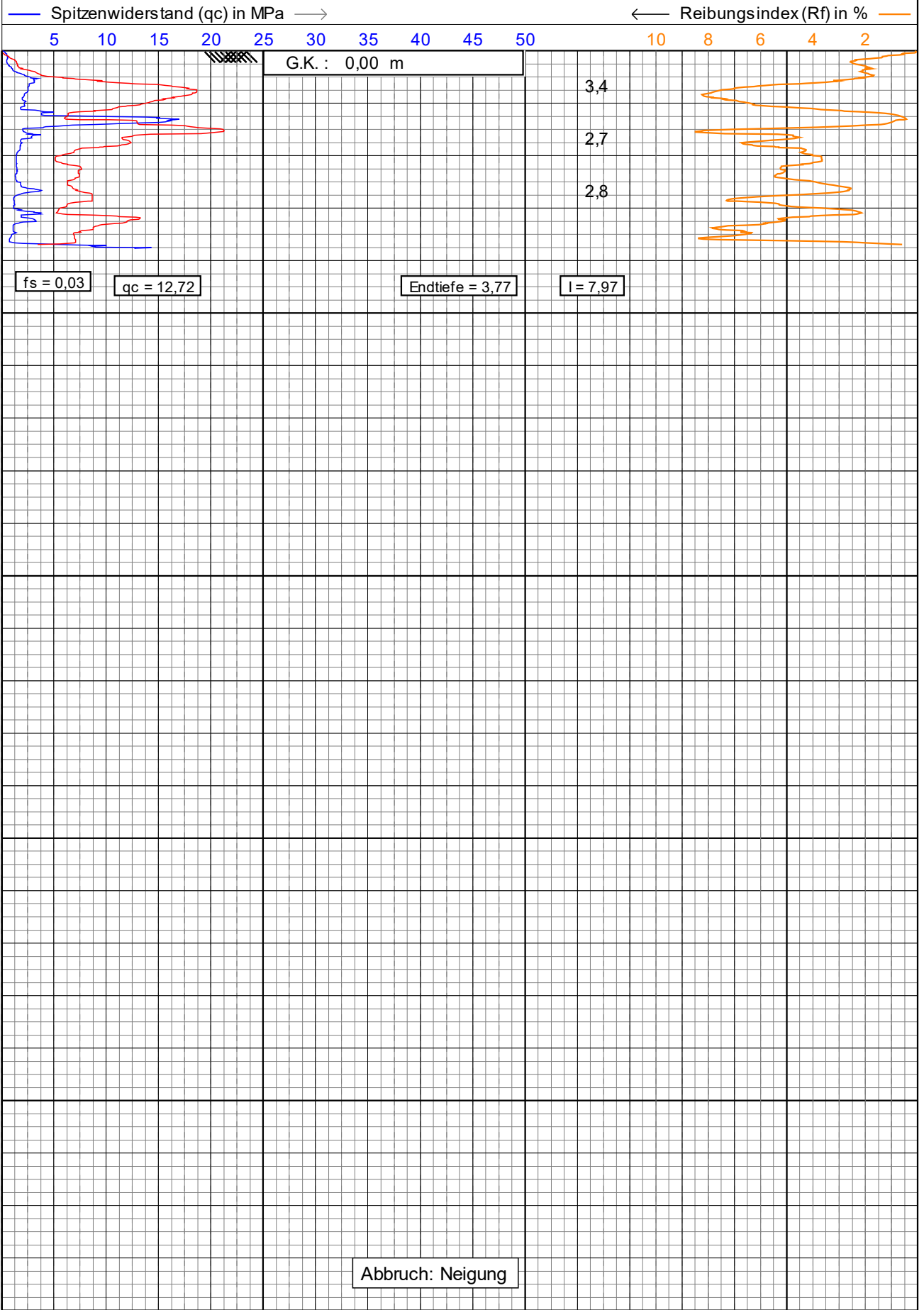
G.K. : 0,00 m

0
-1
-2
-3
-4
-5
-6
-7
-8
-9
-10
-11
-12
-13
-14
-15
-16
-17
-18
-19
-20
-21
-22
-23
-24

Abbruch: Gesamt - Neigung

225 cm²
15 cm²

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)



Drucksondierungen nach DIN EN ISO 22476-1 (07/2021)		Datum : 02.07.2024	
Projekt : Brilon		Konus Nr. : S15CFILS23737	
Ort : Brilon		Projekt Nr. : 20240617-10001	
		CPT Nr. : CPT 4-1	1/5

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

Bodentyp-Index (Ic) →

0,5 1,0 1,5 2,0 2,5 3,0 3,5 4,0 4,5 5,0 5,5 6,0 6,5 7,0 7,5

G.K. : 0,00 m

(2) Organisch
(3) Ton
(4) Silt mixtures
(5) Sandgemische
(6) Sand-Schluffiger Sand
(7) Kiesiger Sand

225 cm²
15 cm²

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

— Undrainierte Scherfestigkeit (Su) in kPa —→

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

G.K. : 0,00 m

Abbruch: Neigung

225 cm²
15 cm²

		Boden (Qt, Fr)	Boden (Qt, Bq)	Boden (gemittelt)	
0			G.K. : 0,00 m		
-1	(9)				
-2	(9)				
-3	(9)				
-4					
-5					
-6					
-7					
-8					
-9					
-10					
-11					
-12					
-13					
-14					
-15					
-16					
-17					
-18					
-19					
-20					
-21					
-22					
-23					
-24					

←

Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

225 cm²

15 cm²

Bodenklassifikation nach Robertson 1990

(0) Nicht definiert

(1) Plastisch, feinkörnig

(2) Organisch

(3) Schluffiger Ton

(4) Toniger Schluff

(5) Sandgemische

(6) Sande

(7) Kiesiger Sand

(8) Toniger Sand

(9) Sehr steif

<div> <div>geo</div> <div>technik</div> <div>heiligenstadt gmbh</div> <div>Beratende Ingenieure VBI</div> </div>	Drucksondierungen nach DIN EN ISO 22476-1 (07/2021)	Datum : 02.07.2024
	Projekt : Brilon	Konus Nr. : S15CFIL.S23737
	Ort : Brilon	Projekt Nr. : 20240617-10001
		CPT Nr. : CPT 4-1 4/5

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

Winkel der inneren Reibung in Grad →

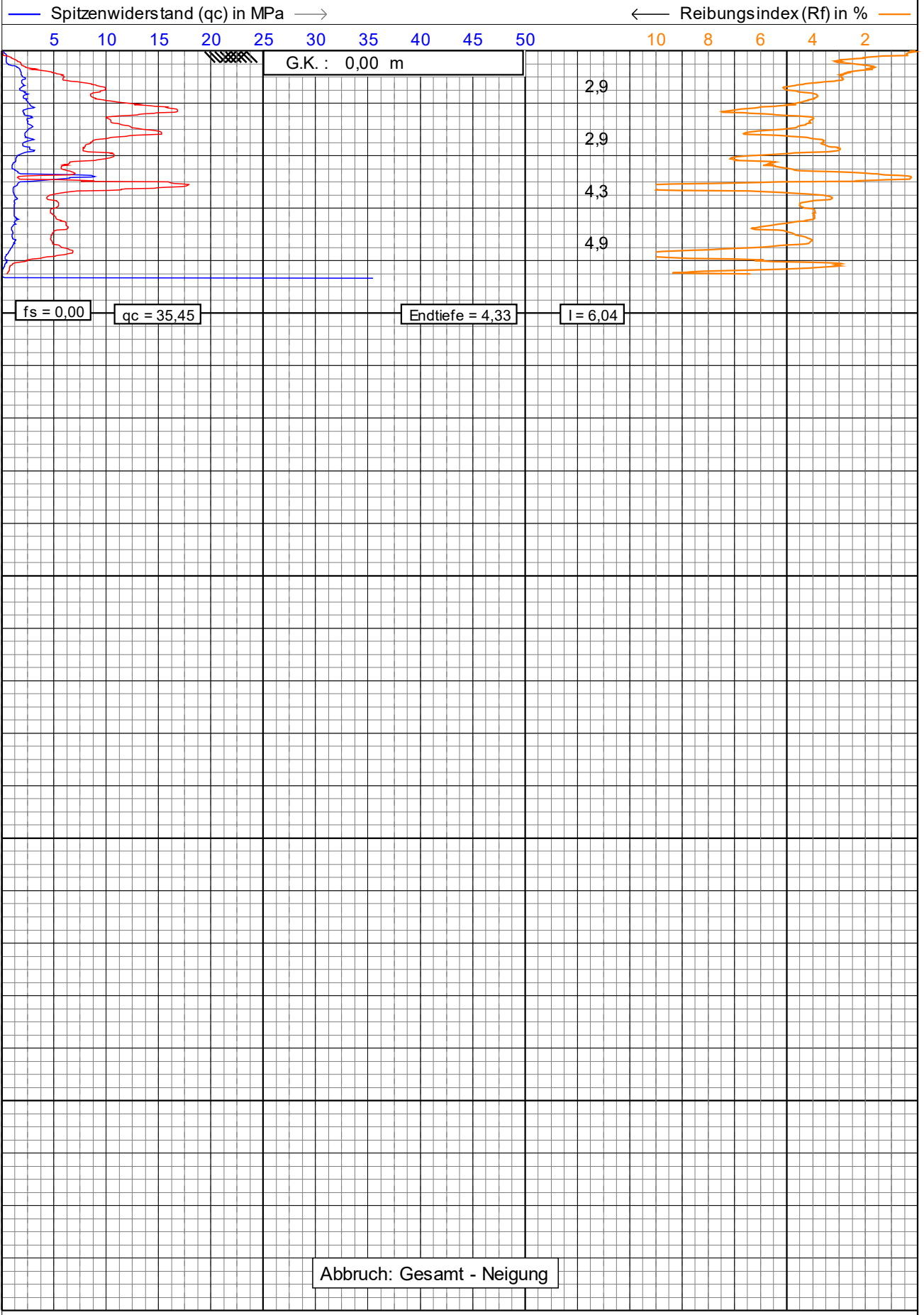
5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75

G.K. : 0,00 m

Abbruch: Neigung

225 cm²
15 cm²

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)



225 cm²
15 cm²

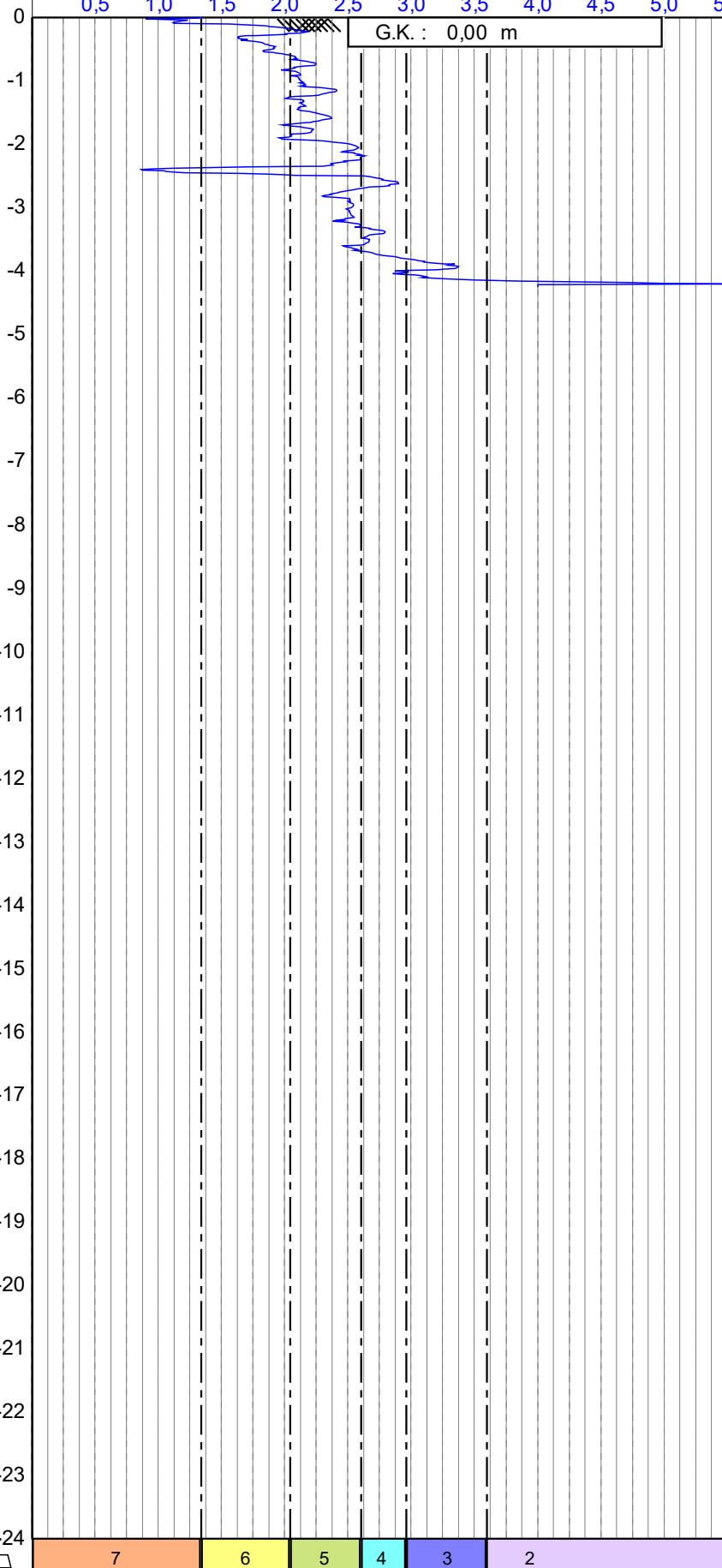
0,1 0,2 0,3 0,4 0,5
— Lokale Reibung (fs) in MPa —→ ☒ Neigung (I) in Grad

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

— Bodentyp-Index (Ic) —→

0,5 1,0 1,5 2,0 2,5 3,0 3,5 4,0 4,5 5,0 5,5 6,0 6,5 7,0 7,5

G.K. : 0,00 m



(2) Organisch
(3) Ton
(4) Silt mixtures
(5) Sandgemische
(6) Sand-Schluffiger Sand
(7) Kiesiger Sand

225 cm²
15 cm²

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

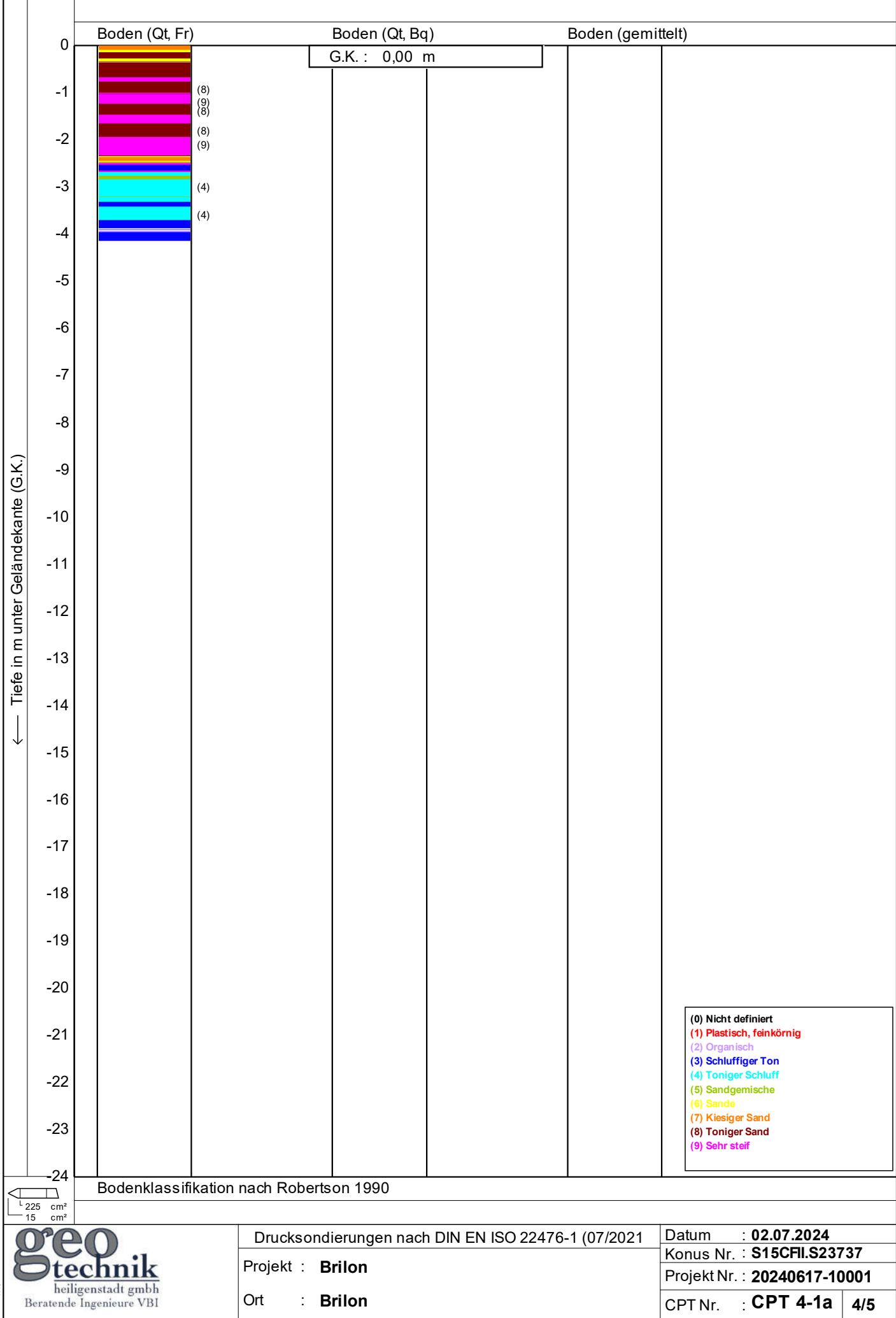
— Undrainierte Scherfestigkeit (Su) in kPa —→

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

G.K. : 0,00 m

Abbruch: Gesamt - Neigung

225 cm²
15 cm²



← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

Winkel der inneren Reibung in Grad →

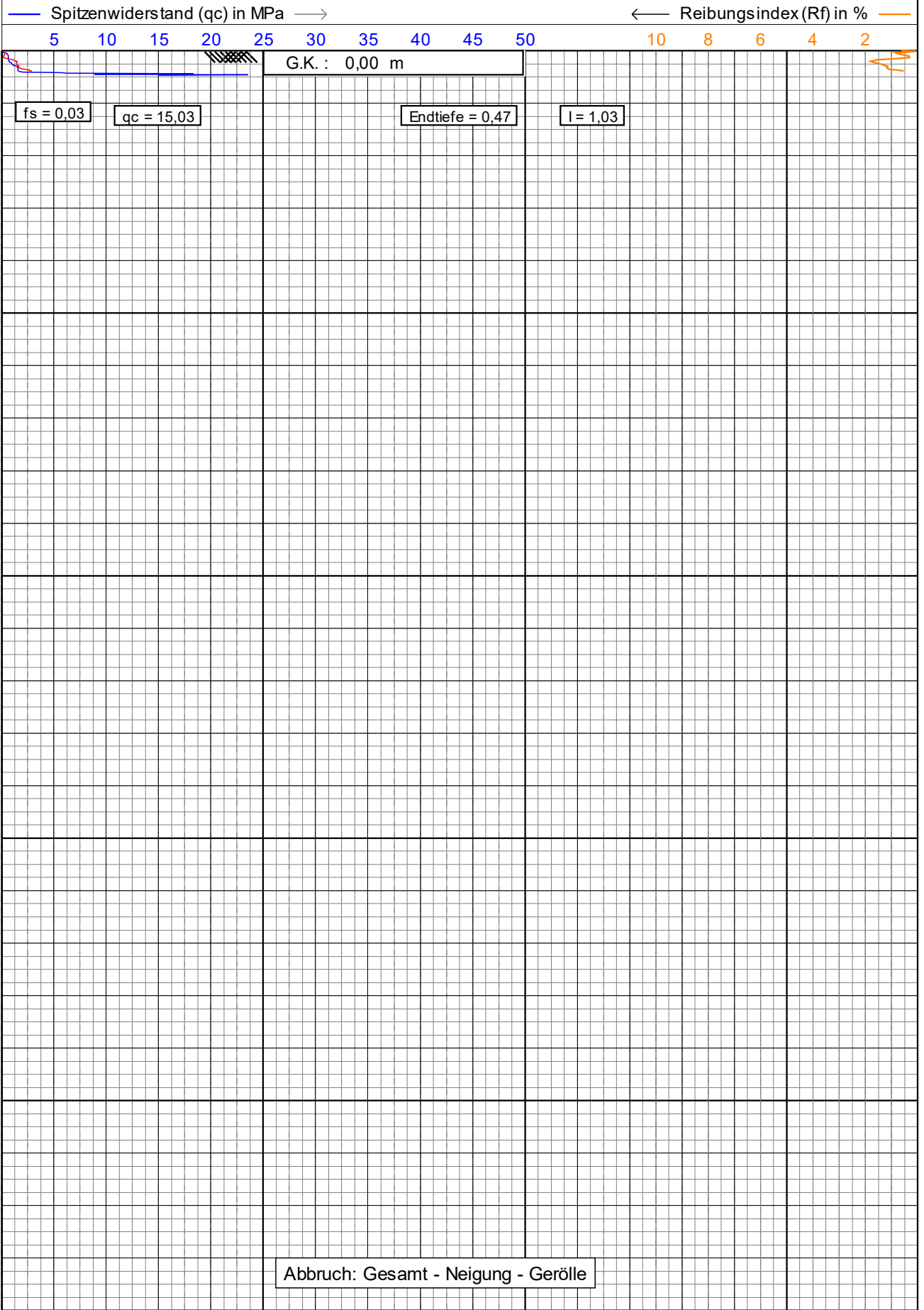
5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75

G.K. : 0,00 m

Abbruch: Gesamt - Neigung

225 cm²
15 cm²

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)



geo
technik
heiligenstadt gmbh
Beratende Ingenieure VBI

Drucksondierungen nach DIN EN ISO 22476-1 (07/2021)

Projekt : **Brilon**

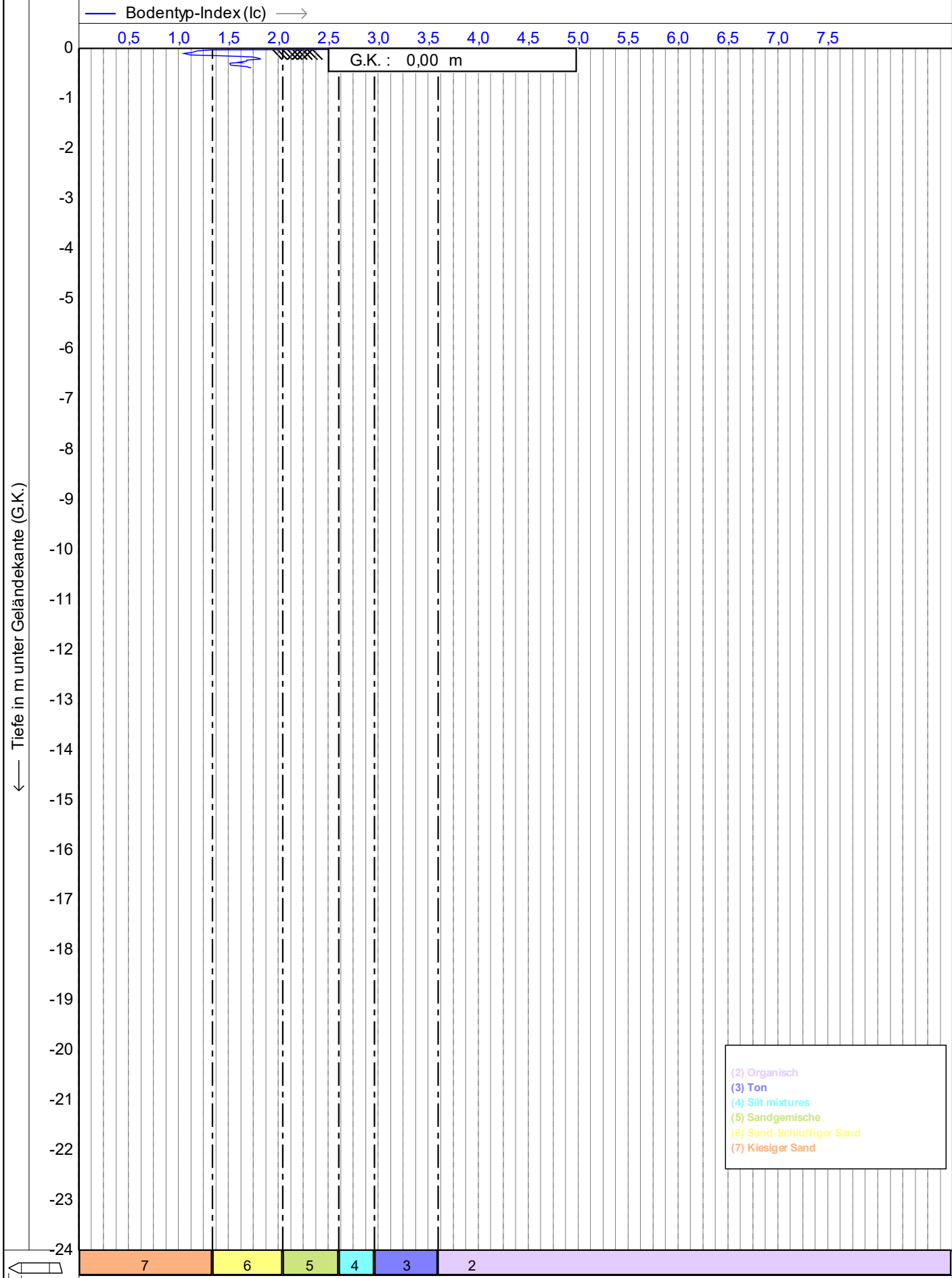
Ort : **Brilon**

Datum : **02.07.2024**

Konus Nr. : **S15CFILS23737**

Projekt Nr. : **20240617-10001**

CPT Nr. : **CPT 4-2** 1/5



← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

— Undrainierte Scherfestigkeit (Su) in kPa —→

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

G.K. : 0,00 m

Abbruch: Gesamt - Neigung - Gerölle

225 cm²
15 cm²

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

0

-1

-2

-3

-4

-5

-6

-7

-8

-9

-10

-11

-12

-13

-14

-15

-16

-17

-18

-19

-20

-21

-22

-23

-24

Boden (Qt, Fr)

Boden (Qt, Bq)

Boden (gemittelt)

G.K. : 0,00 m

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

225 cm²
15 cm²

Bodenklassifikation nach Robertson 1990

geo
technik

heiligenstadt gmbh

Beratende Ingenieure VBI

Drucksondierungen nach DIN EN ISO 22476-1 (07/2021)

Projekt : Brilon

Ort : Brilon

Datum : 02.07.2024

Konus Nr. : S15CFIL.S23737

Projekt Nr. : 20240617-10001

CPT Nr. : CPT 4-2 4/5

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

Winkel der inneren Reibung in Grad →

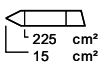
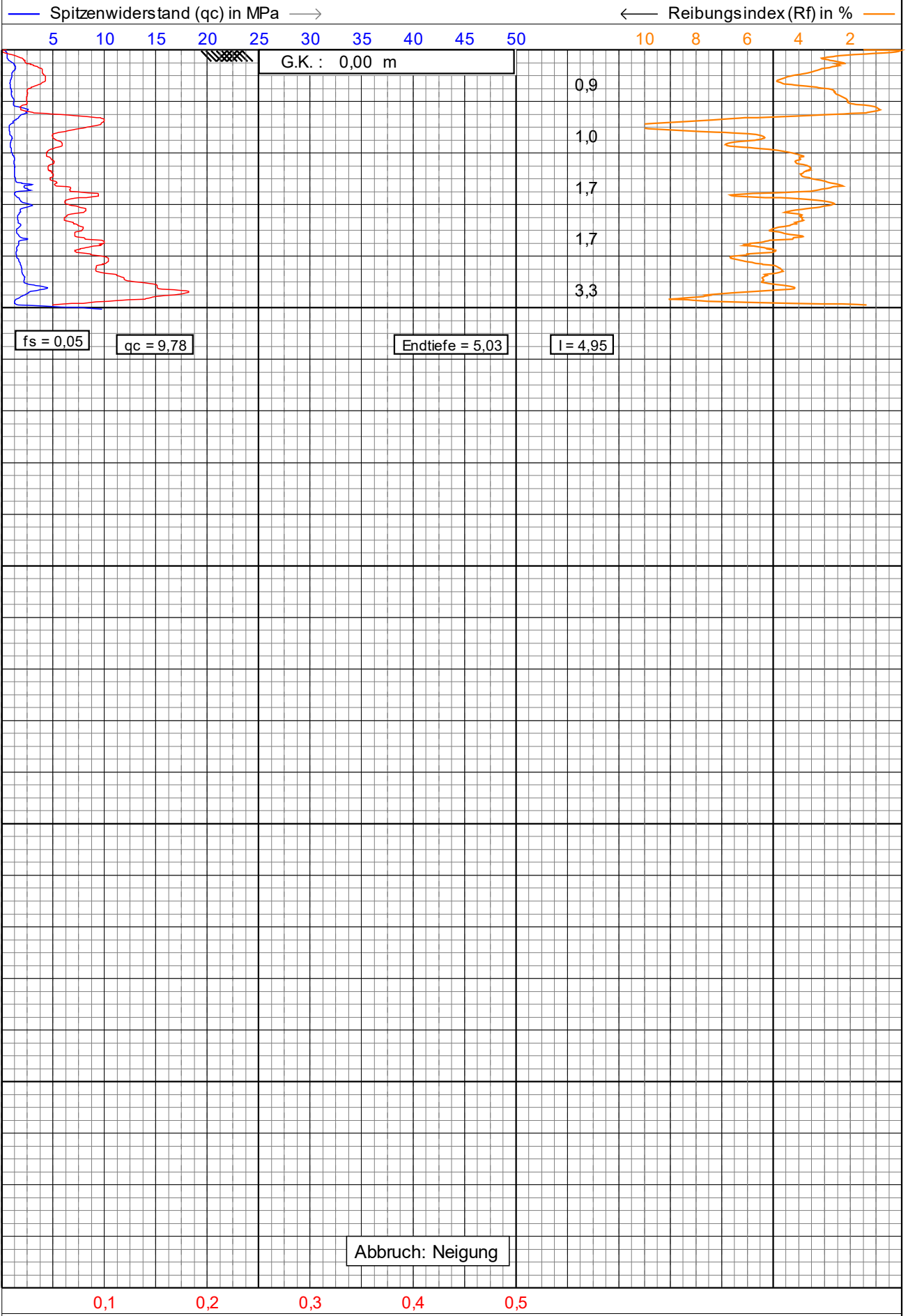
5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75

G.K. : 0,00 m

Abbruch: Gesamt - Neigung - Gerölle

225 cm²
15 cm²

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)



geo
technik
heiligenstadt gmbh
Beratende Ingenieure VBI

Drucksondierungen nach DIN EN ISO 22476-1 (07/2021)

Projekt : Brilon

Ort : Brilon

Datum : 02.07.2024

Konus Nr. : S15CFILS23737

Projekt Nr. : 20240617-10001

CPT Nr. : CPT 4-2a 1/5

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

— Bodentyp-Index (Ic) —→

0,5 1,0 1,5 2,0 2,5 3,0 3,5 4,0 4,5 5,0 5,5 6,0 6,5 7,0 7,5

G.K. : 0,00 m

0
-1
-2
-3
-4
-5
-6
-7
-8
-9
-10
-11
-12
-13
-14
-15
-16
-17
-18
-19
-20
-21
-22
-23
-24

(2) Organisch
(3) Ton
(4) Silt mixtures
(5) Sandgemische
(6) Sand-Schluffiger Sand
(7) Kiesiger Sand

225 cm²
15 cm²

7

6

5

4

3

2

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

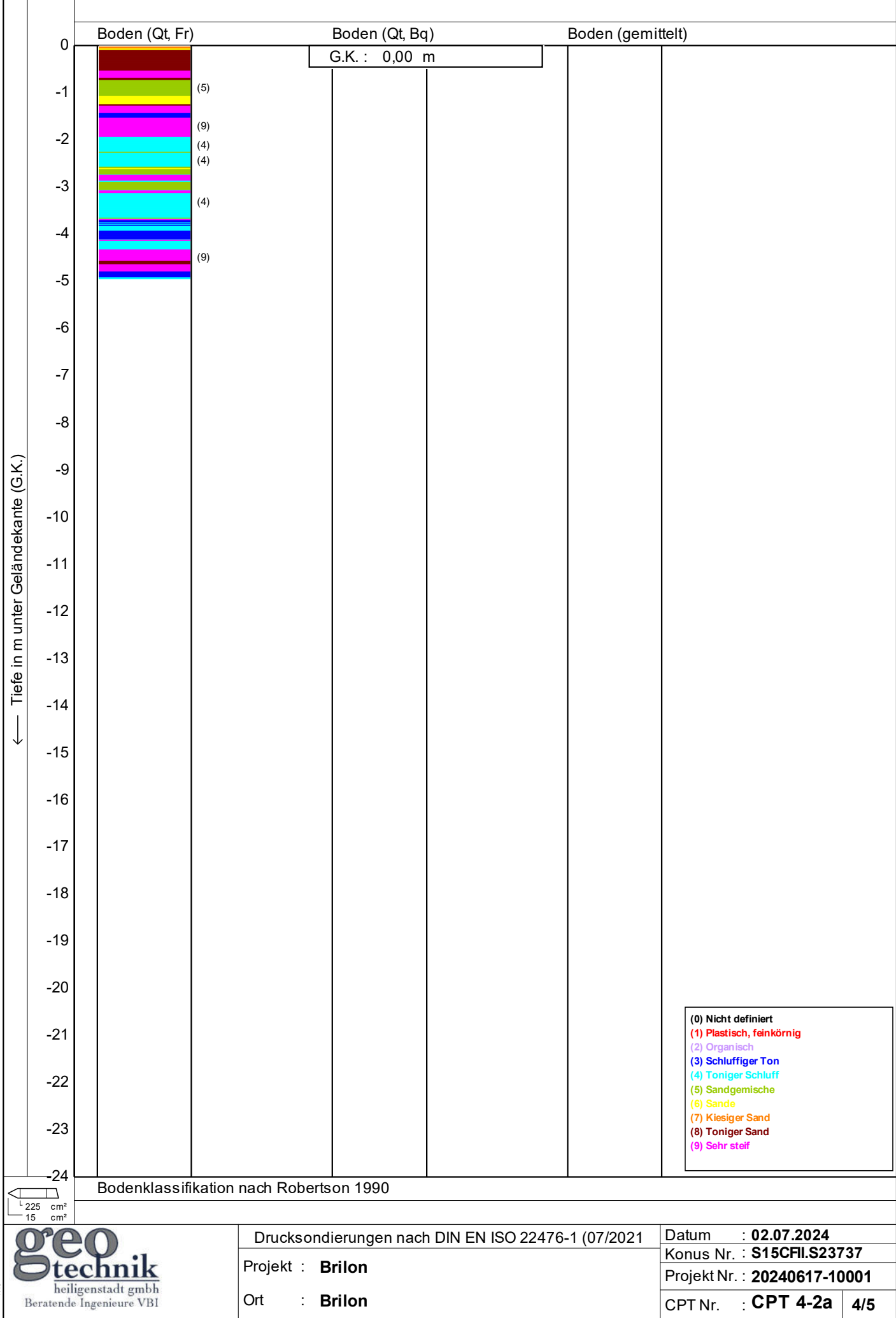
— Undrainierte Scherfestigkeit (Su) in kPa —→

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

G.K. : 0,00 m

Abbruch: Neigung

225 cm²
15 cm²



← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

Winkel der inneren Reibung in Grad →

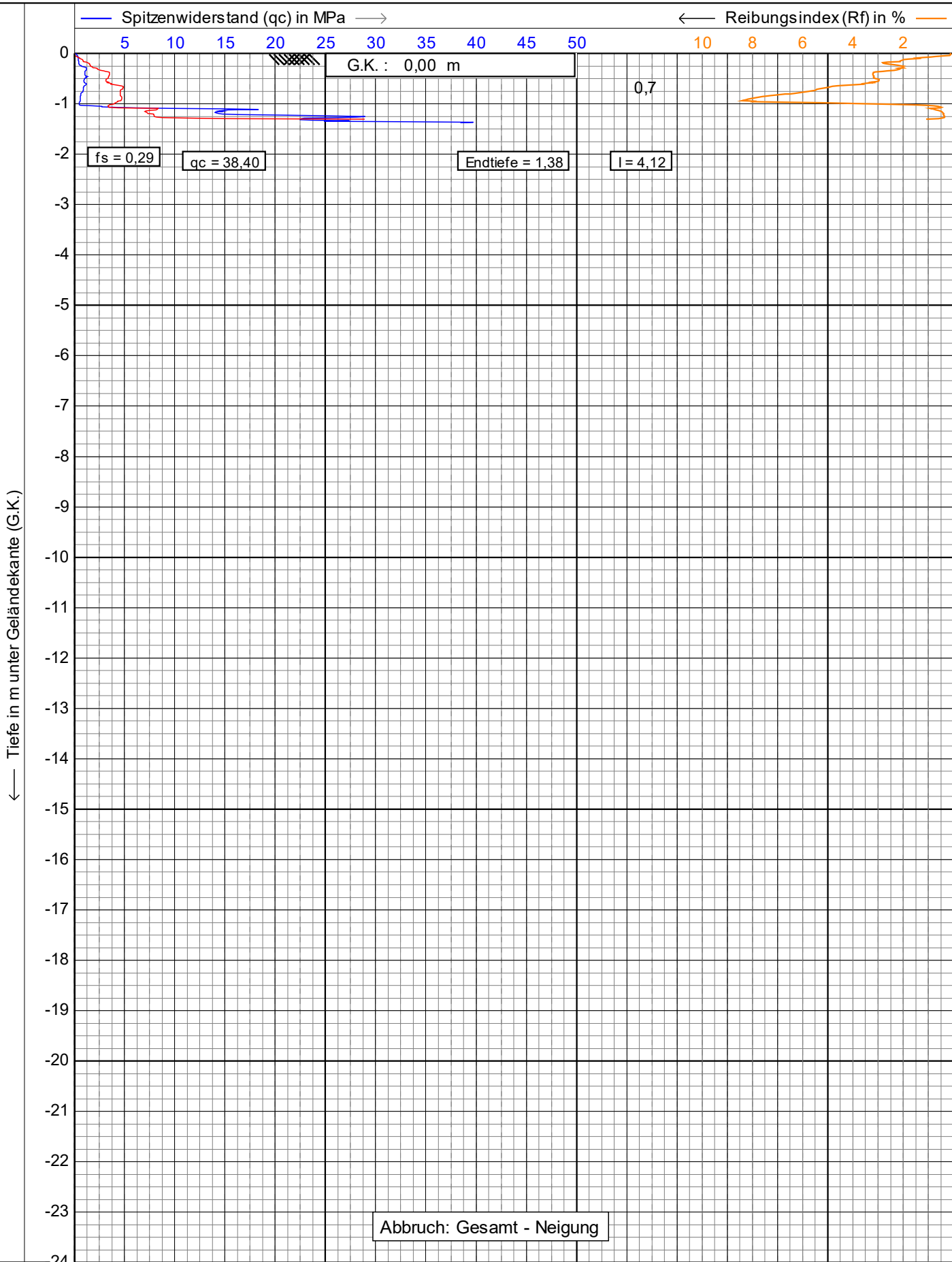
5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75

G.K. : 0,00 m

Abbruch: Neigung

225 cm²
15 cm²

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)



225 cm²
15 cm²

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

— Bodentyp-Index (Ic) —→

0,5 1,0 1,5 2,0 2,5 3,0 3,5 4,0 4,5 5,0 5,5 6,0 6,5 7,0 7,5

G.K. : 0,00 m

0
-1
-2
-3
-4
-5
-6
-7
-8
-9
-10
-11
-12
-13
-14
-15
-16
-17
-18
-19
-20
-21
-22
-23
-24

(2) Organisch
(3) Ton
(4) Silt mixtures
(5) Sandgemische
(6) Sand-Schluffiger Sand
(7) Kiesiger Sand

225 cm²
15 cm²

7

6

5

4

3

2

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

— Undrainierte Scherfestigkeit (Su) in kPa —→

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

G.K. : 0,00 m

Abbruch: Gesamt - Neigung

225 cm²
15 cm²

1.49

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

Winkel der inneren Reibung in Grad →

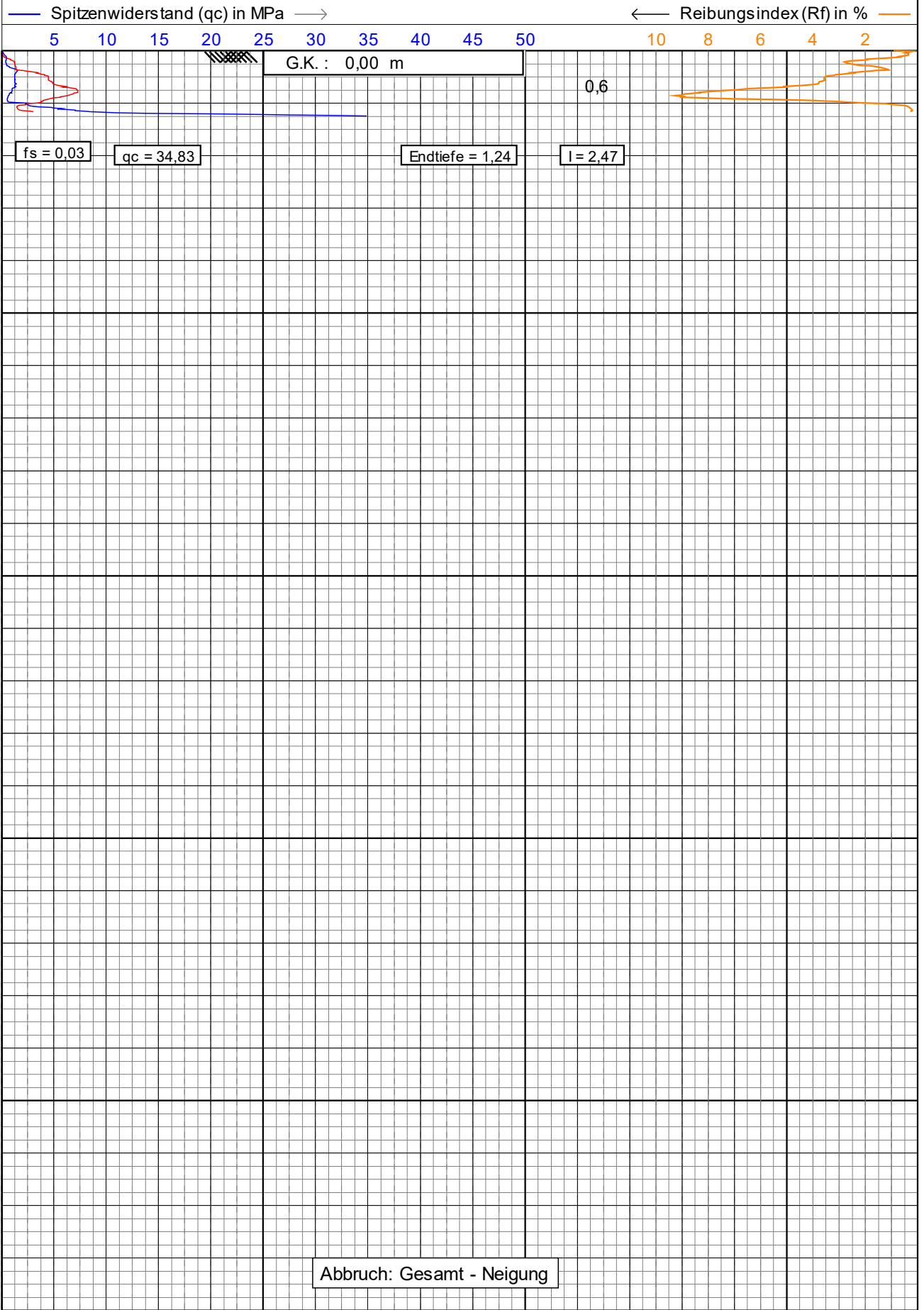
5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75

G.K. : 0,00 m

Abbruch: Gesamt - Neigung

225 cm²
15 cm²

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)



225 cm²
15 cm²

0,1 0,2 0,3 0,4 0,5

— Lokale Reibung (fs) in MPa —→

☒ Neigung (I) in Grad

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

Bodentyp-Index (Ic) →

0,5 1,0 1,5 2,0 2,5 3,0 3,5 4,0 4,5 5,0 5,5 6,0 6,5 7,0 7,5

G.K. : 0,00 m

0
-1
-2
-3
-4
-5
-6
-7
-8
-9
-10
-11
-12
-13
-14
-15
-16
-17
-18
-19
-20
-21
-22
-23
-24

(2) Organisch
(3) Ton
(4) Silt mixtures
(5) Sandgemische
(6) Sand-Schluffiger Sand
(7) Kiesiger Sand

225 cm²
15 cm²

7

6

5

4

3

2

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

— Undrainierte Scherfestigkeit (Su) in kPa —→

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

G.K. : 0,00 m

Abbruch: Gesamt - Neigung

225 cm²
15 cm²

Boden (Qt, Fr)		Boden (Qt, Bq)		Boden (gemittelt)	
G.K. : 0,00 m					
(9)					

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

Boden (Qt, Fr)

Boden (Qt, Bq)

Boden (gemittelt)

G.K. : 0,00 m

(9)

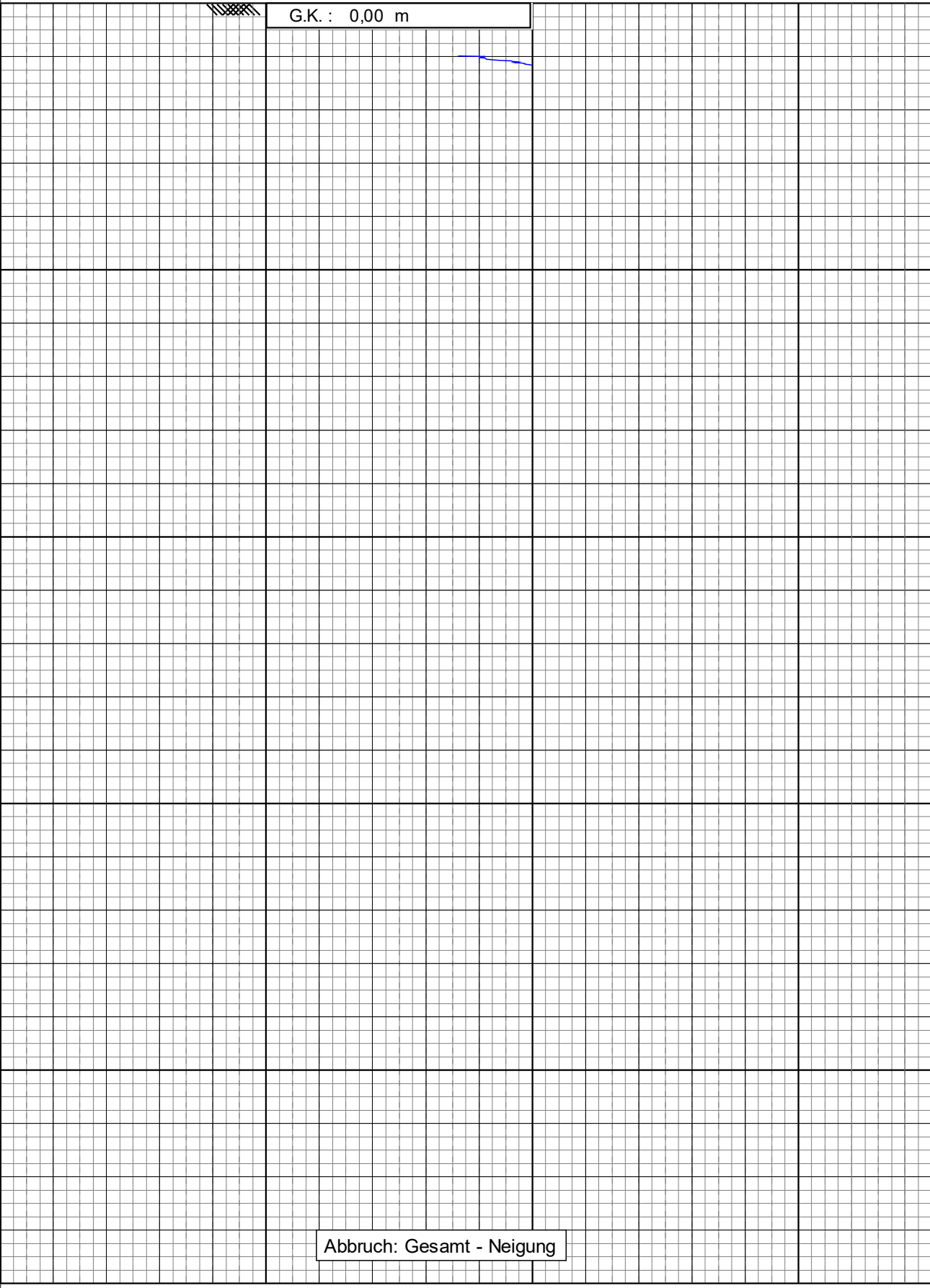
- (0) Nicht definiert
- (1) Plastisch, feinkörnig
- (2) Organisch
- (3) Schluffiger Ton
- (4) Toniger Schluff
- (5) Sandgemische
- (6) Sande
- (7) Kiesiger Sand
- (8) Toniger Sand
- (9) Sehr steif

225 cm²
15 cm²

← Tiefe in m unter Geländekante (G.K.)

Winkel der inneren Reibung in Grad →
5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75

G.K. : 0,00 m



225 cm²
15 cm²

ANLAGE 5

Brilon - Alme, Windpark Brilon II - Errichtung von 2 Windenergieanlagen
Hier: Analysebefund der bauchemischen Bodenbeprobung

AGROLAB Labor GmbH, Dr.-Pauling-Str.3, 84079 Bruckberg

BBU Dr. Schubert GmbH
Glockenplatz 1
34388 Trendelburg-Eberschütz

Datum 04.04.2024
Kundennr. 27055138

PRÜFBERICHT

Auftrag 3533946 223547 Brilon, WP Brilon, G. Grapp
Analysenr. 408390 Mineralisch/Anorganisches Material
Probeneingang 22.03.2024
Probenahme 20.03.2024
Probenehmer Auftraggeber (G. Grapp)
Kunden-Probenbezeichnung WEA 3 MP Boden

Einheit Ergebnis Best.-Gr. Methode

Feststoff

Analyse in der Gesamtfraktion					DIN 19747 : 2009-07
Trockensubstanz	%	°	82,5	0,1	DIN EN 14346 : 2007-03, Verfahren A
Sulfat ^{u)}	mg/kg		<100	100	DIN 4030-2 : 2008-06 in Verbindung mit DIN EN 1744-1 : 2013-03(PL)
Säuregrad n. Baumann-Gully ^{*)}	ml/kg		57	1	DIN 4030-2 : 2008-06

Erläuterung: Das Zeichen "<" oder n.b. in der Spalte Ergebnis bedeutet, der betreffende Parameter ist bei nebenstehender Bestimmungsgrenze nicht quantifizierbar.
Die parameterspezifischen analytischen Messunsicherheiten sowie Informationen zum Berechnungsverfahren sind auf Anfrage verfügbar, sofern die berichteten Ergebnisse oberhalb der parameterspezifischen Bestimmungsgrenze liegen. Die Mindestleistungskriterien der angewandten Verfahren beruhen bezüglich der Messunsicherheit in der Regel auf der Richtlinie 2009/90/EG der Europäischen Kommission.

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

u) externe Dienstleistung eines AGROLAB GROUP Labors

Untersuchung durch

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

Methoden

DIN 4030-2 : 2008-06 in Verbindung mit DIN EN 1744-1 : 2013-03

Beginn der Prüfungen: 22.03.2024

Ende der Prüfungen: 04.04.2024

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

AGROLAB Labor GmbH

Dr.-Pauling-Str. 3, 84079 Bruckberg, Germany
Fax: +49 (08765) 93996-28
www.agrolab.de



Datum 04.04.2024
Kundennr. 27055138

PRÜFBERICHT

Auftrag 3533946 223547 Brilon, WP Brilon, G. Grapp
Analysennr. 408390 Mineralisch/Anorganisches Material
Kunden-Probenbezeichnung WEA 3 MP Boden

AGROLAB Labor GmbH, Sebastian Waldinger, Tel. 08765/93996-700
serviceteam4.bruckberg@agrolab.de
Kundenbetreuung

Dieser elektronisch übermittelte Ergebnisbericht wurde geprüft und freigegeben. Er entspricht den Anforderungen der EN ISO/IEC 17025:2017 an vereinfachte Ergebnisberichte und ist ohne Unterschrift gültig.

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

AGROLAB Labor GmbH, Dr.-Pauling-Str.3, 84079 Bruckberg

BBU Dr. Schubert GmbH
Glockenplatz 1
34388 Trendelburg-Eberschütz

Datum 04.04.2024
Kundennr. 27055138

PRÜFBERICHT

Auftrag 3533946 223547 Brilon, WP Brilon, G. Grapp
Analysenr. 408391 Mineralisch/Anorganisches Material
Probeneingang 22.03.2024
Probenahme 20.03.2024
Probenehmer Auftraggeber (G. Grapp)
Kunden-Probenbezeichnung WEA 4 MP Boden

Einheit Ergebnis Best.-Gr. Methode

Feststoff

Analyse in der Gesamtfraktion					DIN 19747 : 2009-07
Trockensubstanz	%	°	83,7	0,1	DIN EN 14346 : 2007-03, Verfahren A
Sulfat	u) mg/kg		273	100	DIN 4030-2 : 2008-06 in Verbindung mit DIN EN 1744-1 : 2013-03(PL)
Säuregrad n. Baumann-Gully	*) ml/kg		15	1	DIN 4030-2 : 2008-06

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

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

u) externe Dienstleistung eines AGROLAB GROUP Labors

Untersuchung durch

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

Methoden

DIN 4030-2 : 2008-06 in Verbindung mit DIN EN 1744-1 : 2013-03

Beginn der Prüfungen: 22.03.2024

Ende der Prüfungen: 04.04.2024

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

AGROLAB Labor GmbH, Sebastian Waldinger, Tel. 08765/93996-700
serviceteam4.bruckberg@agrolab.de
Kundenbetreuung

AGROLAB Labor GmbH

Dr.-Pauling-Str. 3, 84079 Bruckberg, Germany
Fax: +49 (08765) 93996-28
www.agrolab.de



Datum 04.04.2024
Kundennr. 27055138

PRÜFBERICHT

Auftrag 3533946 223547 Brilon, WP Brilon, G. Grapp
Analysennr. 408391 Mineralisch/Anorganisches Material
Kunden-Probenbezeichnung WEA 4 MP Boden

Dieser elektronisch übermittelte Ergebnisbericht wurde geprüft und freigegeben. Er entspricht den Anforderungen der EN ISO/IEC 17025:2017 an vereinfachte Ergebnisberichte und ist ohne Unterschrift gültig.

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

DOC-015868063-DE-P4

AG Landshut
HRB 7131
Ust/VAT-Id-Nr.:
DE 128 944 188

Geschäftsführer
Dr. Carlo C. Peich
Dr. Paul Wimmer
Dr. Torsten Zurmühl



Deutsche
Akkreditierungsstelle
D-PL-14289-01-00

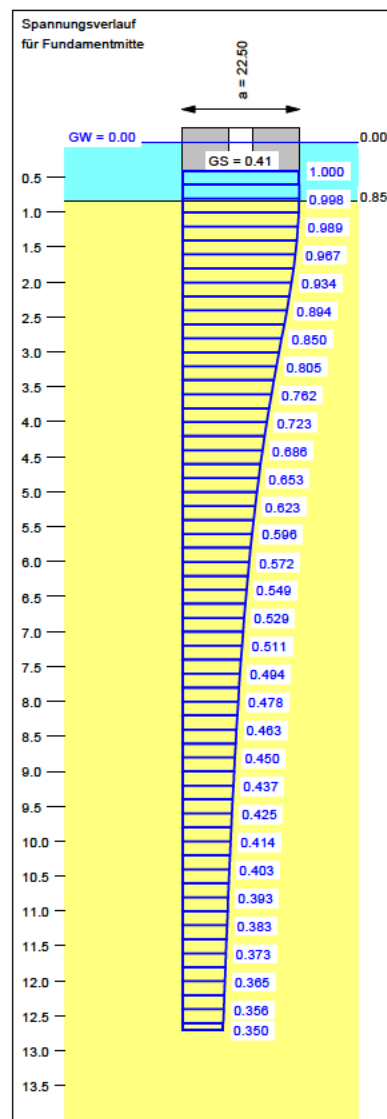
ANLAGE 6

Brilon - Alme, Windpark Brilon II - Errichtung von 2 Windenergieanlagen

Hier: Geotechnische Nachweise "Standort WEA 04"



Anlage: 6.1



$\gamma_{G,dst} = 1.10$
 $\gamma_{G,stab} = 0.90$
 $\gamma_{Q,dst} = 1.50$
 Gründungssohle = 0.41 m
 Grundwasser = 0.00 m
 Grenztiefe mit $p = 20.0 \text{ \%}$
 ——— 1. Kernweite
 ——— 2. Kernweite

Technical drawing of a circular machine component with a central hole and a rectangular cutout. The drawing includes the following dimensions and labels:

- Outer diameter: $D = 22.50$
- Inner hole diameter: $d = 4.40$
- Rectangular cutout width: $b' = 17.14$
- Rectangular cutout height: $H_{x,k} = 1404.0$
- Offset from top edge: $s = 0.0 \text{ cm}$
- Offset from bottom edge: $s = 0.6 \text{ cm}$
- Force applied to cutout: $F_{x,k} = 38530.0$
- Moment applied to central hole: $M_{x,k} = 171153.0$
- Label for the cutout: **Ersatzfläche**
- Bottom dimension: 264.6

Verdrehung(x) (KP) = 1 : 3341.3
Nachweis EQU:
 $M_{\text{Stb}} = 38530.0 \cdot 22.50 \cdot 0.5 \cdot 0.90 = 390116.3$
 $M_{\text{dst}} = 171153.0 \cdot 1.50 = 256729.5$
 $\mu_{\text{EQU}} = 256729.5 / 390116.3 = 0.658$

Grundbruch:
Durchstanzen untersucht,
aber nicht maßgebend.
Teilsicherheit (Grundbruch) $\gamma_{R,v} = 1.40$
 $\sigma_{R,k} / \sigma_{R,d} = 10081.0 / 7200.69 \text{ kN/m}^2$
 $R_{p,k} = 1933550.04 \text{ kN}$
 $R_{p,d} = 1381107.17 \text{ kN}$
 $V_d = 1.35 \cdot 38530.00 + 1.50 \cdot 0.00 \text{ kN}$

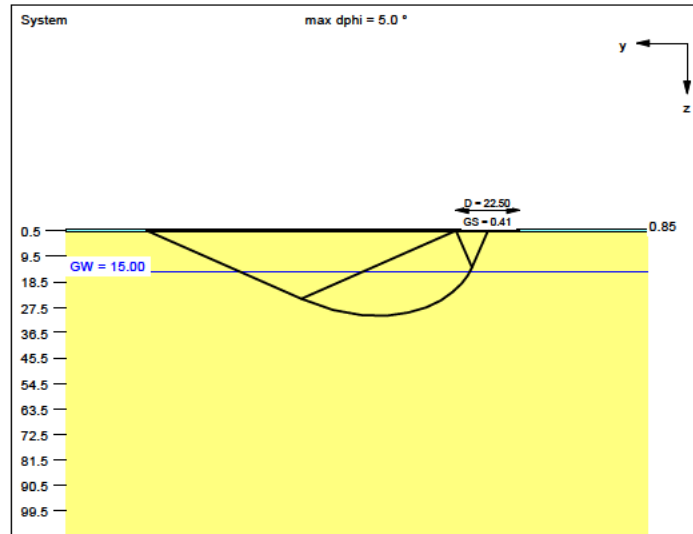
Boden	γ/γ' [kN/m³]	ϕ [°]	c [kN/m²]	v [-]	E_s [MN/m²]	κ [-]	Bezeichnung
	19.0/12.0	37.5	0.0	0.00	100.0	1.000	Bodenaustausch
	24.0/14.0	45.0	0.0	0.00	300.0	1.000	Kalkstein



WP Brilon II WEA 04 LF: BS-P - ohne Auftrieb

Projekt: 223547

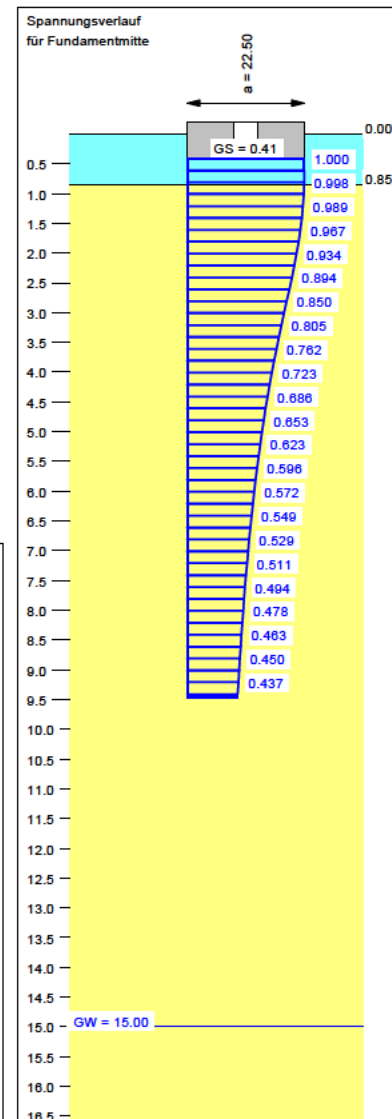
Anlage: 6.2



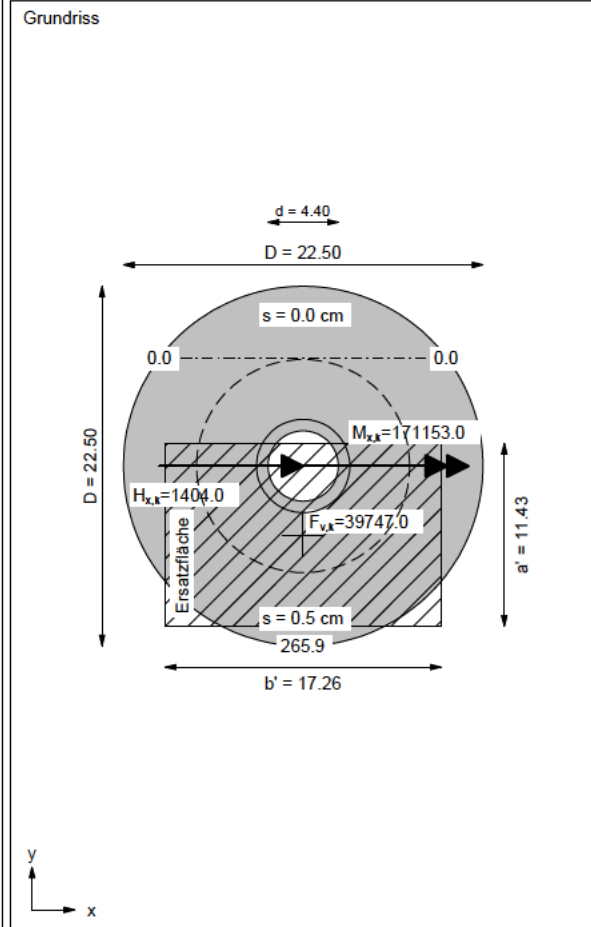
Ergebnisse Einzelfundament:
 Lasten = ständig / veränderlich
 Vertikallast $F_{v,k} = 39747.00 / 0.00$ kN
 Horizontalkraft $F_{h,k} = 0.00 / 1404.00$ kN
 Horizontalkraft $F_{h,Ed} = 0.00 / 0.00$ kN
 Moment $M_{v,k} = 0.00 / 171153.00$ kN-m
 Moment $M_{h,k} = 0.00 / 0.00$ kN-m
 Durchmesser $D = 22.500$ m
 Durchmesser (innen) $d = 4.400$ m
 Unter ständigen Lasten:
 Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
 Exzentrizität $e_y = 0.000$ m
 Resultierende im 1. Kern (= 2.920 m)
 $a' = 19.555$ m
 $b' = 19.555$ m
 Unter Gesamtlasten:
 Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
 Exzentrizität $e_y = -4.306$ m
 Resultierende im 2. Kern (= 6.667 m)
 $a' = 11.431$ m
 $b' = 17.261$ m
 Grundbruch:
 Durchstanzen untersucht,
 aber nicht maßgebend.
 Teilsicherheit (Grundbruch) $\gamma_{R,v} = 1.40$
 $\sigma_{R,k} / \sigma_{R,d} = 15032.0 / 10737.15$ kN/m²
 $R_{n,k} = 2966001.78$ kN
 $R_{n,d} = 2118572.70$ kN
 $V_d = 1.35 \cdot 39747.00 + 1.50 \cdot 0.00$ kN

$V_d = 53658.45$ kN
 μ (parallel zu y) = 0.025
 $\phi = 42.4^\circ$
 ϕ wegen 5° Bedingung abgemindert
 $\text{cal } c = 0.00$ kN/m²
 $\text{cal } \gamma_2 = 20.27$ kN/m³
 $\text{cal } \sigma_0 = 7.79$ kN/m²
 UK log. Spirale = 30.52 m u. GOK
 Länge log. Spirale = 141.59 m
 Fläche log. Spirale = 2312.17 m²
 Tragfähigkeitsbeiwerte (y):
 $N_{d0} = 98.61$; $N_{d0} = 91.20$; $N_{b0} = 82.50$
 Formbeiwerte (y):
 $v_c = 1.452$; $v_d = 1.447$; $v_b = 0.801$
 Neigungsbeiwerte (y):
 $i_c = 0.950$; $i_d = 0.951$; $i_b = 0.917$
 Gleitwiderstand:
 Teilsicherheit (Gleitwiderstand) $\gamma_{R,h} = 1.10$
 $N_k \cdot \tan(\phi) / \gamma_{R,h} = 39747.00 \cdot \tan(35.00^\circ) / 1.10$
 $R_{t,d} = N_k \cdot \tan(\phi) / \gamma_{R,h} = 25301.04$ kN
 $T_d = 2106.00$ kN
 $\mu = T_d / R_{t,d} = 0.083$
 Setzung infolge Gesamtlasten:
 Grenztiefe $t_g = 9.47$ m u. GOK
 Setzung (Mittel aller KPs) = 0.27 cm
 Setzungen der KPs:
 oben = 0.02 cm
 unten = 0.53 cm

Verdrehung(x) (KP) = 1 : 3727.5
 Nachweis EQU:
 $M_{Ed} = 39747.0 \cdot 22.50 \cdot 0.5 \cdot 0.90 = 402438.4$
 $M_{dEd} = 171153.0 \cdot 1.50 = 256729.5$
 $\mu_{EQU} = 256729.5 / 402438.4 = 0.638$



GGU-FOOTING / Version 8.23 / 05.10.2015
 Berechnungsgrundlagen:
 Norm: EC 7
 Grundbruchformel nach DIN 4017:2006
 Teilsicherheitskonzept (EC 7)
 $\gamma_{R,v} = 1.40$
 $\gamma_G = 1.35$
 $\gamma_Q = 1.50$
 $\gamma_{R,h} = 1.10$
 Gleitsicherheit mit $\phi = 35.00^\circ$
 Grenzzustand EQU:
 $\gamma_{G,dst} = 1.10$
 $\gamma_{G,slb} = 0.90$
 $\gamma_{Q,dst} = 1.50$
 Gründungssohle = 0.41 m
 Grundwasser = 15.00 m
 Grenztiefe mit $p = 20.0$ %
 ----- 1. Kernweite
 ----- 2. Kernweite



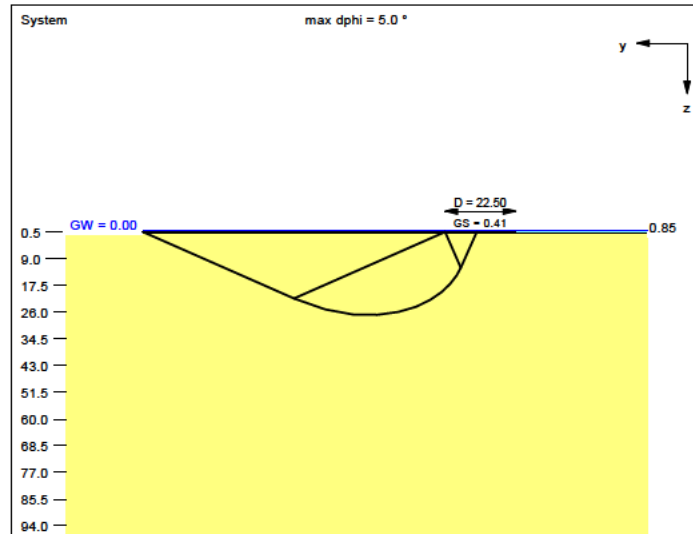
Boden	γ/γ' [kN/m ³]	ϕ [°]	c [kN/m ²]	v [-]	E _s [MN/m ²]	κ [-]	Bezeichnung
	19.0/12.0	37.5	0.0	0.00	100.0	1.000	Bodenaustausch
	24.0/14.0	45.0	0.0	0.00	300.0	1.000	Kalkstein



WP Brilon II WEA 04 LF: BS-A - mit Auftrieb

Projekt: 223547

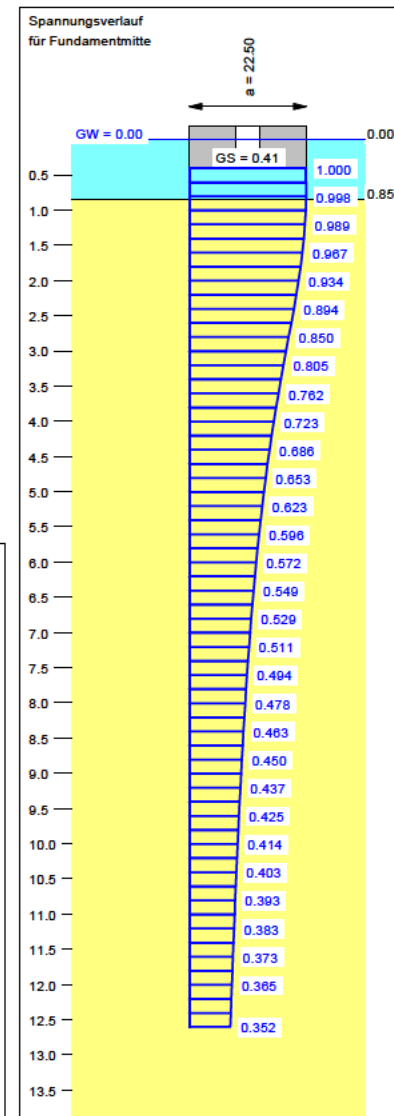
Anlage: 6.3



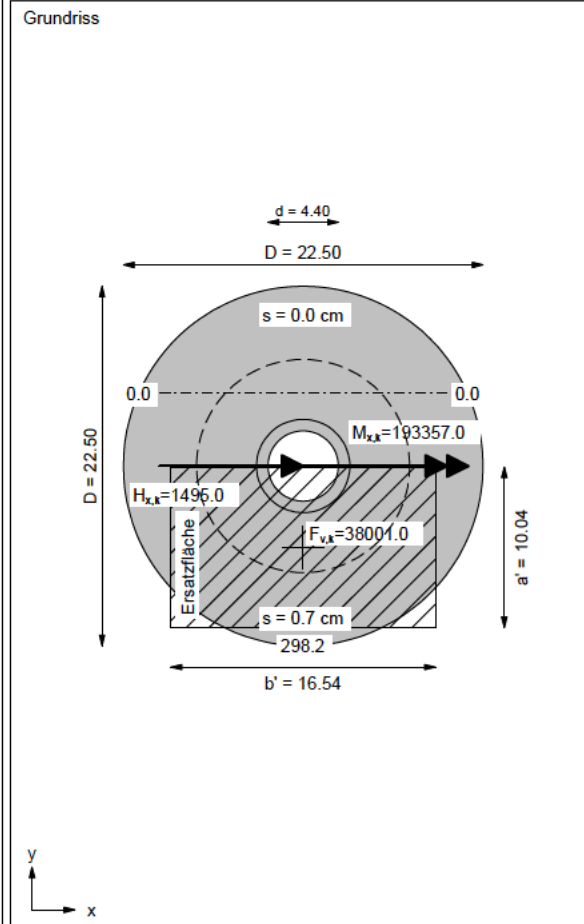
Ergebnisse Einzelfundament:
 Lasten = ständig / veränderlich
 Vertikallast $F_{v,k} = 38001.00 / 0.00$ kN
 Horizontalkraft $F_{h,k} = 0.00 / 1495.00$ kN
 Horizontalkraft $F_{h,Ed} = 0.00 / 0.00$ kN
 Moment $M_{v,k} = 0.00 / 193357.00$ kN-m
 Moment $M_{h,k} = 0.00 / 0.00$ kN-m
 Durchmesser D = 22.500 m
 Durchmesser (innen) d = 4.400 m
 Unter ständigen Lasten:
 Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
 Exzentrizität $e_y = 0.000$ m
 Resultierende im 1. Kern (= 2.920 m)
 $a' = 19.555$ m
 $b' = 19.555$ m
 Unter Gesamtlasten:
 Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
 Exzentrizität $e_y = -5.088$ m
 Resultierende im 2. Kern (= 6.667 m)
 $a' = 10.043$ m
 $b' = 16.538$ m
 Grundbruch:
 Durchstanzen untersucht,
 aber nicht maßgebend.
 Teilsicherheit (Grundbruch) $\gamma_{R,v} = 1.20$
 $\sigma_{R,k} / \sigma_{R,d} = 9170.3 / 7641.89$ kN/m²
 $R_{v,k} = 1523085.16$ kN
 $R_{v,d} = 1269237.63$ kN
 $V_d = 1.10 \cdot 38001.00 + 1.10 \cdot 0.00$ kN

$V_d = 41801.10$ kN
 μ (parallel zu y) = 0.033
 $\alpha = 42.4^\circ$
 ϕ wegen 5° Bedingung abgemindert
 $\alpha = 0.00$ kN/m²
 $\alpha = 13.95$ kN/m²
 $\alpha = 4.87$ kN/m²
 UK log. Spirale = 26.85 m u. GOK
 Länge log. Spirale = 124.33 m
 Fläche log. Spirale = 1783.12 m²
 Tragfähigkeitsbeiwerte (y):
 $N_{d0} = 98.52$; $N_{d0} = 91.09$; $N_{d0} = 82.38$
 Formbeiwerte (y):
 $v_c = 1.414$; $v_d = 1.410$; $v_b = 0.818$
 Neigungsbeiwerte (y):
 $i_c = 0.946$; $i_d = 0.946$; $i_b = 0.909$
 Gleitwiderstand:
 Teilsicherheit (Gleitwiderstand) $\gamma_{R,h} = 1.10$
 $N_k \cdot \tan(\phi) / \gamma_{R,h} = 38001.00 \cdot \tan(35.00^\circ) / 1.10$
 $R_{t,d} = N_k \cdot \tan(\phi) / \gamma_{R,h} = 24189.62$ kN
 $T_d = 1644.50$ kN
 $\mu = T_d / R_{t,d} = 0.068$
 Setzung infolge Gesamtlasten:
 Grenztiefe $t_g = 12.60$ m u. GOK
 Setzung (Mittel aller KPs) = 0.34 cm
 Setzungen der KPs:
 oben = 0.02 cm
 unten = 0.66 cm

Verdrehung(x) (KP) = 1 : 3001.9
 Nachweis EQU:
 $M_{Ed} = 38001.0 \cdot 22.50 \cdot 0.5 \cdot 0.95 = 406135.7$
 $M_{dEd} = 193357.0 \cdot 1.00 = 193357.0$
 $\mu_{EQU} = 193357.0 / 406135.7 = 0.476$



GGU-FOOTING / Version 8.23 / 05.10.2015
 Berechnungsgrundlagen:
 Norm: EC 7
 Grundbruchformel nach DIN 4017:2006
 Teilsicherheitskonzept (EC 7)
 $\gamma_{R,v} = 1.20$
 $\gamma_G = 1.10$
 $\gamma_Q = 1.10$
 $\gamma_{R,h} = 1.10$
 Gleitsicherheit mit $\phi = 35.00^\circ$
 Grenzzustand EQU:
 $\gamma_{G,dst} = 1.00$
 $\gamma_{G,slb} = 0.95$
 $\gamma_{Q,dst} = 1.00$
 Gründungssohle = 0.41 m
 Grundwasser = 0.00 m
 Grenztiefe mit $p = 20.0$ %
 1. Kernweite
 2. Kernweite



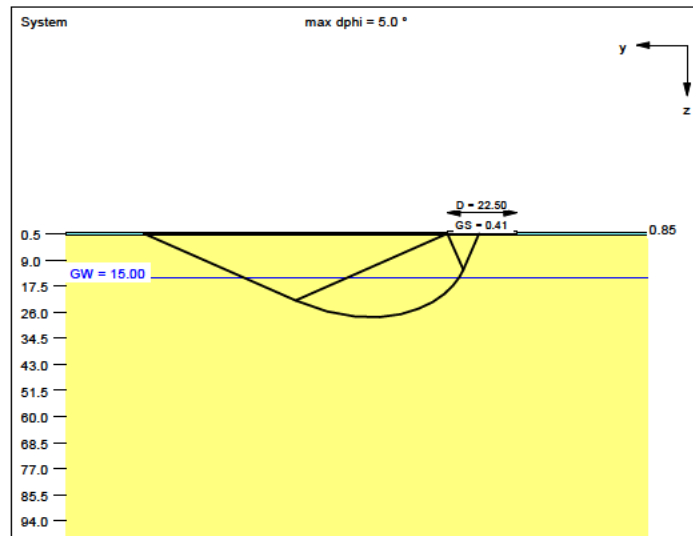
Boden	γ/γ' [kN/m ³]	ϕ [°]	c [kN/m ²]	v [-]	E _s [MN/m ²]	κ [-]	Bezeichnung
	19.0/12.0	37.5	0.0	0.00	100.0	1.000	Bodenaustausch
	24.0/14.0	45.0	0.0	0.00	300.0	1.000	Kalkstein



WP Brilon II WEA 04 LF: BS-A - ohne Auftrieb

Projekt: 223547

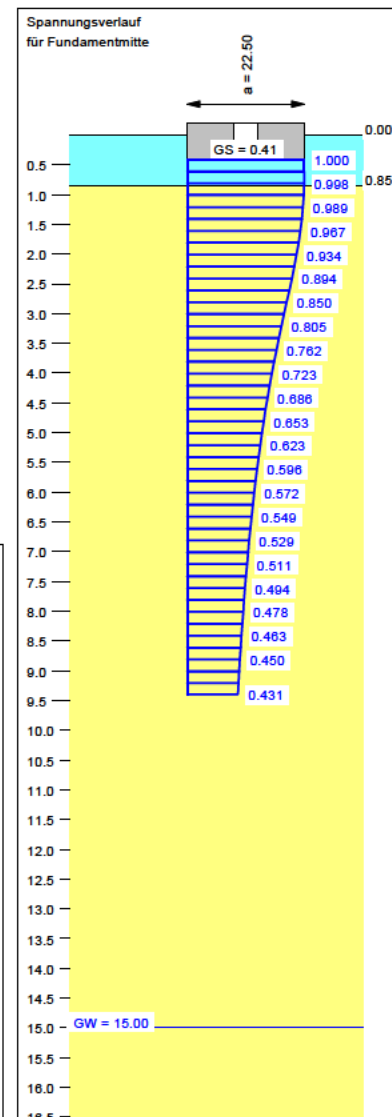
Anlage: 6.4



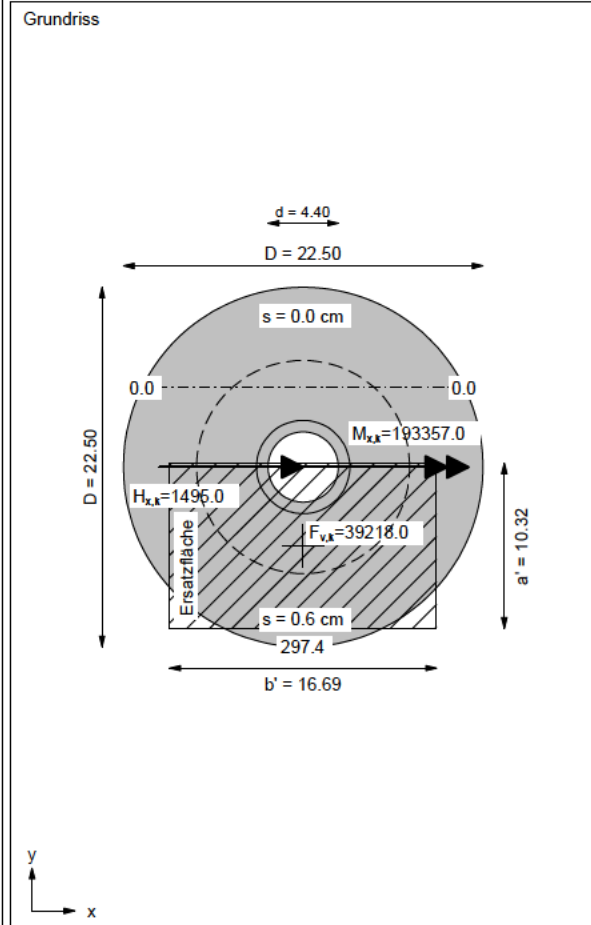
Ergebnisse Einzelfundament:
 Lasten = ständig / veränderlich
 Vertikallast $F_{v,k} = 39218.00 / 0.00$ kN
 Horizontalkraft $F_{h,k} = 0.00 / 1495.00$ kN
 Horizontalkraft $F_{h,y,k} = 0.00 / 0.00$ kN
 Moment $M_{x,k} = 0.00 / 193357.00$ kN-m
 Moment $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$ kN-m
 Durchmesser D = 22.500 m
 Durchmesser (innen) d = 4.400 m
 Unter ständigen Lasten:
 Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
 Exzentrizität $e_y = 0.000$ m
 Resultierende im 1. Kern (= 2.920 m)
 $a' = 19.555$ m
 $b' = 19.555$ m
 Unter Gesamtlasten:
 Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
 Exzentrizität $e_y = -4.930$ m
 Resultierende im 2. Kern (= 6.667 m)
 $a' = 10.321$ m
 $b' = 16.693$ m
 Grundbruch:
 Durchstanzen untersucht,
 aber nicht maßgebend.
 Teilsicherheit (Grundbruch) $\gamma_{R,v} = 1.20$
 $\sigma_{R,k} / \sigma_{R,d} = 14089.9 / 11741.60$ kN/m²
 $R_{n,k} = 2427665.02$ kN
 $R_{n,d} = 2023054.18$ kN
 $V_d = 1.10 \cdot 39218.00 + 1.10 \cdot 0.00$ kN

$V_d = 43139.80$ kN
 μ (parallel zu y) = 0.021
 $\phi = 42.4^\circ$
 ϕ wegen 5° Bedingung abgemindert
 $\text{cal } c = 0.00$ kN/m²
 $\text{cal } \gamma_2 = 20.80$ kN/m³
 $\text{cal } \sigma_0 = 7.79$ kN/m²
 UK log. Spirale = 27.59 m u. GOK
 Länge log. Spirale = 127.80 m
 Fläche log. Spirale = 1883.89 m²
 Tragfähigkeitsbeiwerte (y):
 $N_{d0} = 98.55$; $N_{d0} = 91.12$; $N_{b0} = 82.42$
 Formbeiwerte (y):
 $v_c = 1.422$; $v_d = 1.417$; $v_b = 0.815$
 Neigungsbeiwerte (y):
 $i_c = 0.947$; $i_d = 0.948$; $i_b = 0.912$
 Gleitwiderstand:
 Teilsicherheit (Gleitwiderstand) $\gamma_{R,h} = 1.10$
 $N_k \cdot \tan(\phi) / \gamma_{R,h} = 39218.00 \cdot \tan(35.00^\circ) / 1.10$
 $R_{t,d} = N_k \cdot \tan(\phi) / \gamma_{R,h} = 24964.31$ kN
 $T_d = 1644.50$ kN
 $\mu = T_d / R_{t,d} = 0.066$
 Setzung infolge Gesamtlasten:
 Grenztiefe $t_g = 9.39$ m u. GOK
 Setzung (Mittel aller KPs) = 0.29 cm
 Setzungen der KPs:
 oben = 0.01 cm
 unten = 0.58 cm

Verdrehung(x) (KP) = 1 : 3370.5
 Nachweis EQU:
 $M_{stb} = 39218.0 \cdot 22.50 \cdot 0.5 \cdot 0.95 = 419142.4$
 $M_{dst} = 193357.0 \cdot 1.00 = 193357.0$
 $\mu_{EQU} = 193357.0 / 419142.4 = 0.461$



GGU-FOOTING / Version 8.23 / 05.10.2015
 Berechnungsgrundlagen:
 Norm: EC 7
 Grundbruchformel nach DIN 4017:2006
 Teilsicherheitskonzept (EC 7)
 $\gamma_{R,v} = 1.20$
 $\gamma_G = 1.10$
 $\gamma_Q = 1.10$
 $\gamma_{R,h} = 1.10$
 Gleitsicherheit mit $\phi = 35.00^\circ$
 Grenzzustand EQU:
 $\gamma_{G,dst} = 1.00$
 $\gamma_{G,stb} = 0.95$
 $\gamma_{Q,dst} = 1.00$
 Gründungssohle = 0.41 m
 Grundwasser = 15.00 m
 Grenztiefe mit $p = 20.0$ %
 ----- 1. Kernweite
 ----- 2. Kernweite



Typenprüfung – Hinweis

Die **Typenprüfungsunterlagen** zum Windenergieanlagentyp Enercon E-138 EP3 E3 werden dem Prüfenieur rechtzeitig vor Baubeginn zur Prüfung des Standsicherheitsnachweises vorgelegt.

Erfahrungsgemäß werden die Typenprüfungsunterlagen im Rahmen des Genehmigungsverfahrens keiner behördlichen Prüfung unterzogen. Sollte dies dennoch der Fall sein, können diese gerne bei Bedarf zur Verfügung gestellt werden.

3.6 Berechnungen und Angaben zur Kostenermittlung

Herstellkosten E-138 EP 3 E3 NH = 160 m

Gesamtinvestitionskosten

Rohbaukosten (brutto):

Die Rohbaukosten beinhalten die Kosten für das Flachgründungsfundament, den Hybridturm, das Maschinenhaus und die Rotorblattanlage:

Flachgründungsfundament:

Hybridturm:

Gondel, Maschinenverkleidung, Nabe, Rotor:

Gesamt:

Herstellkosten (brutto):

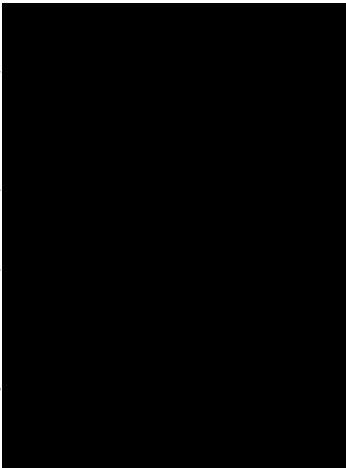
Die Herstellkosten umfassen die Rohbaukosten zuzüglich der Kosten für die maschinenbaulichen und elektrotechnischen Komponenten:

a) Rohbaukosten:

b) Maschinenbauliche und elektrotechnische Komponenten:

Gesamt:

Gesamtinvestitionskosten

Bezeichnung	Betrag in € (brutto)	
Bauwerk: Baukonstruktion		
Bauwerk: technische Einrichtung		
Bau- und Errichtungskosten		
Gutachterkosten, Planung- und Beratungskosten		
Gesamt- Investitionskosten		

3.7 Brandschutz

Standortbezogenes Brandschutzkonzept

Technische Beschreibung Brandschutz ENERCON WEA EP1-3

Allgemeines Brandschutzkonzept E-138 EP3 E3 NH= 160 m

Ergänzung zum allgemeinen Brandschutzkonzept ENERCON WEA

SCHUTZZIELORIENTIERTES BRANDSCHUTZKONZEPT BSK2324
gemäß § 9 der Verordnung über bautechnische Prüfungen (BauPrüfVO)
des staatlich anerkannten Sachverständigen für die Prüfung des Brandschutzes
Architekt Dipl.-Ing. Hanns-Helge Janssen, Aachen

PROJEKT: **ERRICHTUNG UND BETRIEB VON ZWEI WINDENERGIEANLAGEN
DES TYPES ENERCON E-138 EP3 E3 IM WINDPARK BRILON II;
59929 Brilon**

BAUHERRIN: **ALTERRIC DEUTSCHLAND GMBH;
Holzweg 87, 26605 Aurich**

INHALTSVERZEICHNIS:

I. Grundlagen der Konzeptbearbeitung	S. 2
I.1 Lage des Objekts	
I.2 Zuständige Bauaufsicht	
I.3 Vorliegende Projektunterlagen	
I.4 Vorbemerkung	
II. Darstellung des Projekts	S. 3
III. Darstellung der baurechtlichen Brandschutzbelange	S. 4
III.1 Baurechtliche Brandschutzanforderungen	
III.2 Schutzzielorientierte Bewertung der Planung	
IV. Brandschutzkonzept	S. 6
IV.1 Einzelaspekte des Brandschutzkonzeptes gemäß § 9 BauPrüfVO	
IV.1.1 Flächen für die Feuerwehr	
IV.1.2 Nachweis der Löschwasserversorgung	
IV.1.3 Löschwasserrückhaltung	
IV.1.4 Brand- und Rauchabschnitte	
IV.1.5 Rettungswege	
IV.1.6 Nutzeranzahl	
IV.1.7 Haustechnische Anlagen in Rettungswegen	
IV.1.8 Lüftungsanlagen	
IV.1.9 Rauch- und Wärmeabzugsanlagen	
IV.1.10 Alarmierungseinrichtungen	
IV.1.11 Brandbekämpfungseinrichtungen	
IV.1.12 Sicherheitsstromversorgung und elektrischer Funktionserhalt	
IV.1.13 Hydranten	
IV.1.14 Brandmeldeanlagen	
IV.1.15 Feuerwehrpläne	
IV.1.16 Betrieblicher Brandschutz	
IV.1.17 Abweichungen von baurechtlichen Anforderungen und Kompensationsmaßnahmen	
IV.1.18 Verfahren des Brandschutzingenieurwesens	
IV.2 Zusammenfassende Betrachtung des baulichen Brandschutzes	

Das Brandschutzkonzept umfasst 9 Seiten Text.

I. GRUNDLAGEN DER KONZEPTBEARBEITUNG:

I.1 LAGE DER OBJEKTE:

Ort, Straße, Hausnummer: Brilon, Außenbereich
Gemarkung; Flur, Flurstücke: Alme; 19, 3 (WEA03); 19, 21 (WEA04)

I.2 ZUSTÄNDIGE BEHÖRDEN:

Genehmigungsbehörde: Hochsauerlandkreis, Untere Immissionsschutzbehörde; Steinstr. 27, 59872 Meschede

Brandschutzdienststelle: Hochsauerlandkreis, Brandschutzdienststelle; Steinwiese 3, 59872 Meschede

I.3 VORLIEGENDE PROJEKTUNTERLAGEN:

- | | |
|--|------------|
| 1. Übersichtskarte Windpark Brilon M.1:12.500 mit
Zuwegung vom 12.02.2024 | 1 Blatt |
| 2. Technische Beschreibung Enercon Windenergieanlage
E-138 EP3 E3 vom 19.12.2023 | 23 Blätter |
| 3. Technische Beschreibung Wassergefährdende Stoffe
E-138 EP3 E3 vom 27.07.2023 | 19 Blätter |
| 4. Brandschutzkonzept für die Errichtung einer Windenergieanlage des Typs Enercon E-138 EP3 E3 mit 160 m Nabhöhe des Brandschutzbüros Dipl.-Ing. M. Tegtmeier vom 31.03.2023 | 23 Blätter |
| 5. Ergänzung zu den allgemeinen Brandschutzkonzepten der Windenergieanlagen des Herstellers ENERCON des Brandschutzbüros Dipl.-Ing. M. Tegtmeier vom 22.08.2024 | 5 Blätter |

I.4 VORBEMERKUNG

Im Windpark Brilon sollen zu den vorhandenen drei Windenergieanlagen des Typs Enercon E-115 zwei weitere (WEA03 und WEA04) des Typs Enercon E-138 EP3 E3 errichtet werden.

Allgemeine Angaben zum vorgesehenen Anlagentyp:

- Die Windenergieanlagen (WEA) bestehen weitestgehend aus nicht brennbaren Materialien.
- Die Windenergieanlagen werden regelmäßig mindestens einmal jährlich zu Wartungs- und Kontrollarbeiten bestiegen. Zusätzlich können Reparatursätze vorkommen.
- Alle Arbeiten werden ausschließlich von geschultem Personal vorgenommen, die sowohl die Sicherheitshinweise der Handbücher kennen als auch mit der entsprechenden Ausrüstung vertraut sind.
- Die Windenergieanlagen sind baulich und von ihrem Zweck her nicht für einen dauernden bzw. längerfristigen Aufenthalt von Personen vorgesehen. Ein Zutritt für Unbefugte ist nicht möglich.

II. DARSTELLUNG DES PROJEKTS:

Die geplanten Anlagenstandorte liegen im Osten des bisherigen Windparkgebiets zwischen den Briloner Stadtteilen Wülfe im Westen und Nehden im Osten. Im Norden liegt der Stadtteil Alme, im Südwesten die Kernstadt Brilon.

Die beiden geplanten Windenergieanlagen sollen auf einer Meereshöhe von ca. 400 m errichtet werden.

Die Erschließung erfolgt über befestigte Wirtschaftswege von der Kreisstraße K59 („Nehdener Weg“, zwischen Brilon und Nehden) aus, welche das Windparkgebiet südöstlich flankiert. Erreicht werden kann der Windpark auch von Alme Norden und von Wülfe im Westen.

Die Standorte der beiden neu beantragten Anlagen werden untereinander einen Abstand von ca. 400 m haben. Zur nächstgelegenen Bestandsanlage im Südwesten werden die geplanten Anlagen Abstände von ca. 850 m (WEA03) bzw. ca. 630 m (WEA04) haben.

Das zu den geplanten Anlagen nächstgelegene Siedlungsgebiet ist der Stadtteil Nehden im Osten, zu dessen Westrand der Standort der WEA03 einen Abstand von ca. 1,0 m aufweisen wird. Vom Standort der WEA04 zum südlichen Rand von Alme wird die Entfernung ca. 1,4 km betragen.

Die übrigen Siedlungsgebiete in der Umgebung werden größere Abstände zu den Anlagenstandorten haben.

Die geplanten Anlagenstandorte werden sich im Grundsatz in freier Feldlage befinden, wobei sich der nördlich und östlich eine schmale bewaldete Fläche entlang des Bachlaufs der Alme nach Norden zieht. Der Abstand der Anlagen zum nächstgelegenen Waldrand wird zwischen ca. 120 m und ca. 165 m liegen.

Die Antragstellerin sieht die Errichtung und den Betrieb von zwei Anlagen des Typs E-138 EP3 E3 mit 4,26 MW Nennleistung, 160,00 m Nabenhöhe, 138,25 m Rotordurchmesser und einer daraus resultierenden Gesamthöhe von 229,13 m vor.

Die genaue Beschreibung der baulichen, anlagen- und brandschutztechnischen Merkmale der geplanten Windenergieanlagentypen ist, soweit sie nicht im Folgenden enthalten ist, den technischen Spezifikationen und den Brandschutzkonzepten der Herstellerfirma Enercon zu entnehmen.

Die Komponenten der Windenergieanlagen bestehen hauptsächlich aus Metallen. Dazu gehören der obere Turmabschnitt, der Maschinenträger, die Außenhaut des Maschinenhauses, Welle, Bremse, Generator, Kupplung, Antriebe, etc.

Das Fundament der Windenergieanlage besteht aus Stahlbeton.

Neben Anlagenteilen aus Kunststoffen sind an brennbaren Stoffen in beiden Anlagen jeweils vor allem insgesamt ca. 320 l an Ölen und Fetten innerhalb des Maschinenhauses zu berücksichtigen, außerdem der Transformator mit einer Füllung aus 1970 l synthetischem Ester.

Brennbare Komponenten sind hauptsächlich:

- Die Rotorblätter aus glasfaserverstärktem Kunststoff,
- Elektrokabel und -kleinteile,
- Transformatorflüssigkeit,
- Schläuche und sonstige Kunststoffkleinteile,
- Akkumulatoren.

Die möglichen Brandorte ergeben sich aus den Stellen, wo sich die oben genannten Komponenten befinden.

Sämtliche für die Funktion der Windenergieanlagen wichtigen Aggregate werden permanent überwacht. Bei Störungen wie z.B. Temperaturerhöhung oder Spannungsüberschreitung wird die Anlage selbsttätig heruntergefahren und abgeschaltet. Die Störungsmeldung wird an die Fernüberwachung des Wartungsunternehmens weitergeleitet.

Die Zufahrtswege zu den geplanten Anlagen und deren Serviceflächen werden befestigt und über ihre gesamte Betriebszeit vorgehalten.

Der Turm und das Maschinenhaus werden zu Wartungs- und Reparaturzwecken in der Regel mindestens einmal jährlich von geschulten Monteuren befahren. Die Anwesenheit von Personen ist darüber hinaus nicht zu erwarten.

III. DARSTELLUNG DER BAURECHTLICHEN BRANDSCHUTZBELANGE:

III.1 BAURECHTLICHE BRANDSCHUTZANFORDERUNGEN:

Im Sinne des § 50 der **Bauordnung NRW** (BauO NRW in der Fassung vom 01.01.2024) muss die Windkraftanlage als bauliche Anlage besonderer Art und Nutzung (**Sonderbau**) klassifiziert werden, wobei sich die Einordnung in die "großen" Sonderbauten über Nr. 2 der Auflistung in Absatz 2 der genannten Vorschrift ergibt.

Die bauliche Anlage weist keine Aufenthaltsräume auf, so dass die Definitionen des § 2 (3) BauO NRW nicht greifen.

Folgende technische Regeln sind weiterhin als Grundlage des Brandschutzkonzeptes zu berücksichtigen:

1. DIN 4102 - Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, verschiedene Normteile, insbesondere:
Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile;
2. DIN ISO 23 601 - Sicherheitskennzeichnung;
3. DIN 14 034 - Graphische Symbole für das Feuerwehrwesen;
4. DIN 14 096 - Brandschutzordnung (Normteile 1 - 3);

5. Arbeitsblatt W405 des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW): „Bereitstellung von Löschwasser durch die öffentliche Trinkwasserversorgung“;
6. Arbeitsstättenregel ASR A2.2: „Maßnahmen gegen Brände“;
7. VdS 3523: 2008-07 – Windenergieanlagen (WEA), Leitfaden für den Brandschutz;
8. Erlass über die Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen und Hinweise für die Zielsetzung und Anwendung (Windenergieerlass in der Fassung vom 22.05.2018).

Weitere sicherheitstechnische Anforderungen des Arbeitsstättenrechts sind ggf. unabhängig von der baurechtlichen Bewertung hinsichtlich des baulichen Brandschutzes zusätzlich zu beachten.

III.2 SCHUTZZIELORIENTIERTE BEWERTUNG DER PLANUNG:

Die Erreichung der in § 14 BauO NRW genannten Schutzziele:

1. Vermeidung der Brandentstehung und der Ausbreitung von Feuer und Rauch;
2. Ermöglichung der Rettung von Menschen und Tieren;
3. Ermöglichung wirksamer Löscharbeiten

ist bei dem hier betrachteten Bauvorhaben unter Berücksichtigung der sehr speziellen baulichen Bedingungen zu interpretieren:

- Die Bauweise und verwendeten Materialien – es finden in größtmöglichem Umfang nicht brennbare Baustoffe Verwendung – sind im Sinne der Vermeidung einer Brandausbreitung als positiv zu bewerten.
- Die Rettung von Personen, die möglicherweise bei Wartungs- oder Reparaturarbeiten selbst zu einer erfolgten Brandentstehung beigetragen haben – statistisch eine der häufigsten Brandursachen an Windenergieanlagen – kann nur als Selbstrettung erfolgen.
- Löscharbeiten sind ebenfalls – einmal abgesehen von einem möglichen Brand am Turmfuß – nur durch Sofortbekämpfung eines Entstehungsbrandes mittels Handfeuerlöcher durch den vorgenannten Personenkreis durchzuführen.
- Die Wahrscheinlichkeit einer Brandentstehung wird durch ein durchgängiges Überwachungssystem mit automatischer Abschaltung der Anlage sowie durch den Einsatz von ausschließlich gut geschultem Wartungspersonal erheblich verringert.

Der verwendete Anlagentyp zeichnet sich durch eine vergleichsweise geringe Brandlast im Maschinenhaus aus, da er auf ein Getriebe mit den darin verwendeten Hydraulikölen und Schmierstoffen verzichtet.

IV. BRANDSCHUTZKONZEPT:

IV.1 EINZELASPEKTE DES BRANDSCHUTZKONZEPTES GEMÄSS § 9 BauPrüfVO:

IV.1.1 Flächen für die Feuerwehr:

Der Standort der Windkraftanlagen muss im Hinblick auf die Montageabläufe bei der Herstellung der baulichen Anlagen eine Anfahrbarkeit durch Lastverkehr (Mobilkran, 12 t) gewährleisten.

Da ein Einsatz der Feuerwehr sich aller Voraussicht nach auf die Absperrung der Flächen um eine brennende Anlage beschränken dürfte, kann auf die Ausweisung weiterer befestigter Flächen im Sinne des § 5 BauO NRW verzichtet werden.

Die an die Anlagenfundamente angrenzenden Kranstellflächen bleiben nach der Inbetriebnahme als befestigte Flächen erhalten und können von der Feuerwehr genutzt werden, insbesondere auch für den Lösch-einsatz bei einem Brand im Turmfuß.

IV.1.2 Nachweis der Löschwasserversorgung:

Die zum Windpark nächstgelegenen Hydranten der öffentlichen Wasserversorgung befinden sich in Nehden in ca. 1,1 km Entfernung vom Standort der WEA03 sowie in Alme in ca. 1,4 km Entfernung vom WEA04.

Da die Durchführung eines Löschangriffs bei einem Brand des Maschinenhauses oder der Nabe bzw. der Rotoren nicht möglich sein dürfte und zur Verhinderung einer Brandausbreitung auch nicht notwendig erscheint, kann auf eine Löschwasserversorgung in unmittelbarer Nähe der geplanten Anlagen verzichtet werden.

IV.1.3 Löschwasserrückhaltung:

Eine Löschwasserrückhaltung ist gemäß Ziffer 2.2 des Runderlasses des MBW vom 14.10.1992 nicht erforderlich.

IV.1.4 Brand- und Rauchabschnitte:

Die nach dem Baurecht (vgl. § 6 (10) BauO NRW) sowie dem Windenergie-Erlass (insbesondere Abschnitt 8.2.5) zu berücksichtigenden Abstände der geplanten Windenergieanlage von benachbarten Gebäuden, Naturschutzzonen, Verkehrsanlagen u.ä. werden eingehalten.

Abschottungen zwischen Nutzungsbereichen, die eine Feuerwiderstandsdauer aufweisen, sind aufgrund der Bauweise der Anlage nicht vorhanden.

IV.1.5 Rettungswege:

Als Rettungsweg aus dem Maschinenhaus existieren in allen Anlagen die Steigleiter mit einer Fallschutzschiene sowie die Möglichkeit des Abseilens aus dem Maschinenhaus.

Die Befahranlage darf im Brandfall nicht benutzt werden.

Da die Windenergieanlagen in der Regel nur von sachkundigen Arbeitskräften betreten werden, erübrigt sich die Beschilderung der Steigleiter.

Alle Anschlagpunkte für das Abseilgerät sind jeweils farblich gekennzeichnet.

Die Wartungsmonteure werden in der Benutzung dieser Sicherheitseinrichtung regelmäßig geschult und unterwiesen.

(Bei Feuer im Maschinenhaus verbietet sich das Abseilen. Bei Feuer im Turmfuß ist das Abseilen die erste Wahl.)

Die Beleuchtung ist auch im Brandfall gesichert. Bei Stromausfall schaltet sich die Notbeleuchtung automatisch ein.

IV.1.6 Nutzeranzahl:

Entfällt.

IV.1.7 Haustechnische Anlagen in Rettungswegen:

Entfällt.

IV.1.8 Lüftungsanlagen:

Entfällt.

IV.1.9 Rauch- und Wärmeabzugsanlagen:

Eine ausreichende Entrauchung wird durch ständig offene Flächen und weitere Undichtigkeiten in der Gondelbekleidung verbunden mit der Thermik im Turm sichergestellt. Daher erübrigt sich die Ausweisung gesonderter Rauchabzüge.

IV.1.10 Alarmierungseinrichtungen:

Zu den Überwachungsvorkehrungen siehe Abschnitt IV.1.14!

Bei Überschreitung von Grenzwerten wird eine Sicherheitskette ausgelöst. Innerhalb dieser läuft das Störsignal in der Überwachungszentrale des Herstellers auf, von wo aus nach Überprüfung umgehend die Kreisleitstelle der Feuerwehr alarmiert und die gesamte Anlage sofort gestoppt wird.

IV.1.11 Brandbekämpfungseinrichtungen:

In der Gondel der Windenergieanlagen wird jeweils ein tragbarer CO₂-Feuerlöscher (5kg) vorgehalten. Gleiches gilt für den Turmfuß mit jeweils 2kg CO₂.

Ein weiterer Feuerlöscher wird vom Wartungspersonal mitgeführt.

Weitere Vorkehrungen zur Brandbekämpfung sind nicht geplant und nach Auffassung des Unterzeichners auch nicht erforderlich.

IV.1.12 Sicherheitsstromversorgung und elektrischer Funktionserhalt / Blitzschutz:

Die normale Turmbeleuchtung wird vom allgemeinen Versorgungsnetz gespeist, hat also keinen Bezug zum Funktionszustand der Windkraftanlage. Für den Fall eines Versorgungsnetzausfalls, während Wartungs- oder Reparaturarbeiten im Maschinenhaus oder während eines Auf- oder Abstiegs im Turm, wird eine akkugepufferte Sicherheitsbeleuchtung im Maschinenhaus und Turm für mindestens eine halbe Stunde aufrechterhalten.

Für den wahrscheinlicheren Fall, dass bereits zu Arbeitsbeginn ein Beleuchtungsausfall vorliegt, werden von dem Servicepersonal Handlampen mitgeführt.

Die Rotorblätter und die Gondel sind mit Blitzableitern ausgerüstet. Dadurch ist die Ableitung einer Blitzentladung über Verbindungselemente in der Rotornabe und im Azimutbereich über die Stahlkonstruktion des oberen Turmabschnitts und leitende Metallbänder im Stahlbetonturm in das Erdreich gewährleistet. Ein Blitzschlag als Brandursache kann somit weitestgehend ausgeschlossen werden.

IV.1.13 Hydranten:

Entfällt.

IV.1.14 Brandmeldeanlagen:

In allen Teilen der Windenergieanlagen sind Temperatursensoren installiert, die die Betriebstemperaturen der Räume und Aggregate kontrollieren.

Bei Überschreitung bestimmter Grenzwerte wird automatisch eine Warnmeldung an die Fernüberwachung gesendet und die Windenergieanlage wird automatisch abgeschaltet.

Ein Ausfall einzelner Komponenten oder der gesamten Windenergieanlage wird der Fernüberwachung automatisch gemeldet.

IV.1.15 Feuerwehrpläne:

Sollten bislang für den Windpark Brilon keine Feuerwehrpläne vorhanden sein, entsteht nach Auffassung des Unterzeichners durch die Errichtung der zusätzlichen Anlagen keine Notwendigkeit zu deren Erstellung.

IV.1.16 Betrieblicher Brandschutz:

Das Wartungspersonal wird für das Verhalten im Brandfall geschult. In diesem Zusammenhang wird eine objektspezifisch angepasste Brandschutzordnung Teil A gemäß DIN 14 096-1 erstellt und am Turmzugang ausgehängt.

Die Service-Techniker sind angehalten, jegliche vorbeugenden Maßnahmen durchzuführen, die Brände verhindern. Dazu gibt es zusätzlich zur Brandschutzordnung ausführliche Anweisungen in den entsprechenden Betriebs- und Wartungshandbüchern.

IV.1.17 Abweichungen von baurechtlichen Anforderungen und Kompensationsmaßnahmen:

Entfällt.

IV.1.18 Verfahren des Brandschutzingenieurwesens:

Wurden bei der Bearbeitung nicht verwendet.

IV.3 ZUSAMMENFASSENDE BETRACHTUNG DES BAULICHEN BRANDSCHUTZES:

Maßgeblich für die brandschutztechnische Beurteilung der geplanten Anlage sind deren sehr spezielle bauliche und nutzungsmäßige Bedingungen:

Den eingeschränkten Voraussetzungen und Möglichkeiten des baulichen und abwehrenden Brandschutzes stehen eine geringe Brandentstehungswahrscheinlichkeit und eine sehr geringe Nutzungsdichte – ausschließlich Wartungs- oder Reparatur- und Kontrolleinsätze durch geschultes Personal – gegenüber.

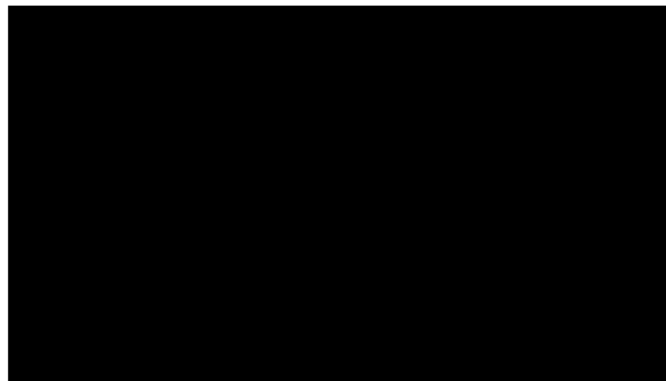
Die unter diesen Vorgaben getroffenen Vorkehrungen zur Erreichung der baurechtlich relevanten Schutzziele sind als voll ausreichend zu bewerten.

Nach Auffassung des Unterzeichners ist das Vorhaben ohne Einschränkung als genehmigungsfähig zu beurteilen.

Aufgestellt:

Aachen, den 21. Okt. 2024

Der Sachverständige:



Technische Beschreibung

Brandschutz

ENERCON Windenergieanlagen EP1, EP2, EP3

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	D0253903/4.1-de		
Vermerk	Originaldokument		
Datum	Sprache	DCC	Werk / Abteilung
2021-03-18	de	DB	WRD Management Support 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
DIN 4102	Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen
DIN EN 60204-1:2007*VDE 0113-1:2007	Sicherheit von Maschinen - Elektrische Ausrüstung von Maschinen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen
DIN EN 60332-1-2:2005*VDE 0482-332-1-2:2005	Prüfungen an Kabeln, isolierten Leitungen und Glasfaserkabeln im Brandfall - Teil 1-2: Prüfung der vertikalen Flammenausbreitung an einer Ader, einer isolierten Leitung oder einem Kabel - Prüfverfahren mit 1-kW-Flamme mit Gas-/Luft-Gemisch
DIN EN 61100:1994	Einteilung von Isolierflüssigkeiten nach dem Brennpunkt und dem spezifischen Heizwert Hu
DIN VDE 0100-430:2010	Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 4-43: Schutzmaßnahmen - Schutz bei Überstrom
DIN VDE 0100-520:2013	Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 5-52: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel – Kabel- und Leitungsanlagen
DIN VDE 0298	Verwendung von Kabeln und isolierten Leitungen für Starkstromanlagen

Dieses Dokument gilt für Windenergieanlagen der Plattformen EP1 bis EP3 (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-115 EP3 E4, E-126 EP3, E-138 EP3, E-138 EP3 E2, E-138 EP3 E3).

Brandschutz

Für ENERCON Windenergieanlagen wurden zahlreiche Maßnahmen getroffen, die die Brandeintrittswahrscheinlichkeit, die Brand- und Rauchausbreitung und den Personen- und Sachschaden auf ein Minimum reduzieren.

Technische Brandschutzmaßnahmen

Vermeidung von Zündquellen

Die Windenergieanlage ist mit einem Blitzschutzsystem ausgestattet, das Blitzeinschläge ableitet, ohne dass Schäden an der Windenergieanlage entstehen.

Das Antriebssystem der Windenergieanlage ist getriebeles. Wesentliche Brandgefahren, erzeugt durch heißlaufende Getriebe und entflammbare Getriebeöle, werden dadurch beseitigt.

Die elektrische Ausrüstung und die Überstromschränkeinrichtungen entsprechen der DIN EN 60204-1:2007*VDE 0113-1:2007. Kabel und Leitungen werden entsprechend der DIN VDE 0100-430:2010, DIN VDE 0100-520:2013 und DIN VDE 0298 ausgewählt und dimensioniert. Am Generator, an der Turmverkabelung und an der Rotorblattheizung der Prototypen werden Thermografieuntersuchungen durch einen Sachverständigen durchgeführt. Anhand der Ergebnisse wird ggf. die Konstruktion angepasst.

Vermeidung der Brandentstehung

Brennbare Baustoffe und Materialien sind möglichst so angeordnet, dass sie durch mögliche Zündquellen (z. B. Wärmeenergie, ungewöhnliche Temperaturanstiege, elektrische Energie, zufällige Funken und Lichtbögen, hoher Spitzenstrom von Transienten und mechanische Energie) nicht entzündet werden können. Elektrische Komponenten werden in Schaltschränken aus Stahlblech gekapselt. Lüftungsschläuche beginnen in einem ausreichenden Abstand zu den Leistungsschränken, so dass Brandgase herunterkühlen und die Lüftungsschläuche voraussichtlich nicht entzünden können. Da die Lüftungsschläuche aus wenig Material bestehen und schon weit unter der Gondel enden, begünstigen sie die Übertragung eines Brandes vom Turmfuß in die Gondel nicht.

Eingesetzt werden, wo möglich, schwer entflammable Baustoffe (Baustoffklasse B1 oder besser nach DIN 4102), sowie selbstverlöschende/flammwidrige oder nicht brennbare Materialien, z. B. flammwidrige und selbstverlöschende Leistungskabel nach DIN EN 60332-1-2:2005*VDE 0482-332-1-2:2005. Als Isolations- und Kühlungsflüssigkeit des Leistungstransformators wird synthetischer Ester eingesetzt, der schwerentflammbar ist, einen hohen Brennpunkt von $> 300\text{ °C}$ (Kühlmittelart K3 nach DIN EN 61100:1994) hat und einen geringen spezifischen Heizwert aufweist. Der Einsatz brennbarer Materialien, z. B. geschäumte Kunststoffe wie Polyurethan oder Polystyrol als Dämmstoff oder glasfaserverstärkte Kunststoffe für Abdeckungen und sonstige Bauteile, wird, wo möglich, vermieden.

Sensorische Überwachung

Mögliche Zündquellen in der Windenergieanlage werden laufend durch Sensoren überwacht.

Zur Detektion von Bränden werden zudem Rauchschalter eingesetzt. Die Rauchschalter reagieren bei Rauch, Verschmutzung, Störung und zu hoher Temperatur. Die Rauchschalter sind so in der Windenergieanlage positioniert, dass Brände im Turm und in der Gondel erkannt werden. Die genaue Position und die Anzahl der Rauchschalter sind abhängig vom Windenergieanlagentyp.

Wenn die Windenergieanlage eine potentiell sicherheitsrelevante Störung (z. B. Rauch) erkennt, hält die Windenergieanlage an (auch bei Netzausfall) und generiert eine Statusmeldung, die das ENERCON SCADA System sofort an den ENERCON Service weiterleitet.

Fluchtwege

Der erste Fluchtweg führt von der Gondel durch den Turm nach draußen. Dieser Fluchtweg wird benutzt, falls der Abstieg im Turm möglich ist.

Ein alternativer zweiter Fluchtweg führt durch die Kranluke der Gondel nach draußen. Über diesen zweiten Fluchtweg kann die Gondel verlassen werden, ohne dass der Turm betreten werden muss.

In der Windenergieanlage ist entlang der Fluchtwege eine akkugestützte Beleuchtung mit einer Leuchtdauer von mindestens 1 Stunde installiert. Bei einem Netzausfall schaltet sich die Beleuchtung automatisch ein.

Organisatorische Brandschutzmaßnahmen

Schutzmaßnahmen während des Betriebs

Während des Betriebs befinden sich in der Regel keine Personen in der Windenergieanlage. Die Windenergieanlage ist verschlossen.

Falls eine empfangene Statusmeldung auf einen Brand hindeutet, entsendet der ENERCON Service umgehend ein Serviceteam zur Windenergieanlage und alarmiert die Feuerwehr, die vor Ort über weitere Maßnahmen entscheidet. Der ENERCON Service ist täglich 24 Stunden erreichbar.

Schutzmaßnahmen während der Wartung

Die Windenergieanlage wird im Rahmen der Wartung, die bei Bedarf, jedoch mindestens einmal jährlich stattfindet, von 2 bis 4 Personen betreten. Diese Personen sind mit der Windenergieagenteknik und der Rettung aus der Windenergieanlage vertraut. Während der Wartung ist die Windenergieanlage die meiste Zeit außer Betrieb. Die Leistungselektronik ist abgeschaltet. Nur wenige Komponenten, z. B. Beleuchtung, Steckdosen und Steuerung, bleiben aktiv. Dadurch wird das Brandrisiko bei Anwesenheit von Personen reduziert.

Bei detektiertem Rauch schaltet die Windenergieanlage die optisch-akustischen Signalmelder im Turmfuß, im Maschinenhaus und im Rotorkopf ein. Die Signalmelder erzeugen ein rotes Dauersignal mit Lichtblitzen und einen Dauerton mit schnell schwankender Tonhöhe. Gegebenenfalls anwesende Personen werden dadurch gewarnt. Der Signalmelder im Turmfuß ist nur bei eingeschaltetem Wartungsschalter aktiv. Die Signalmelder im Maschinenhaus und im Rotorkopf sind nur bei eingeschalteter Gondelbeleuchtung aktiv. Dadurch wird gewährleistet, dass die Signalmelder nur bei Anwesenheit von Personen in der Windenergieanlage aktiv sind.

Zur Bekämpfung von Entstehungsbränden stehen CO₂-Feuerlöscher im Turmfuß, im Maschinenhaus und im ENERCON Servicefahrzeug bereit. Der Wartungsschalter ist eingeschaltet, wodurch Statusmeldungen nicht an den ENERCON Service weitergeleitet werden. Wartungen an Branderkennungselementen führen somit nicht zu Fehlalarmen beim ENERCON Service.

Für den Brandfall sind alle ggf. benötigten Informationen zur Windenergieanlage (Koordinaten, Anfahrtsbeschreibung, wichtige Rufnummern naher Stellen) und zum Verhalten im Brandfall und bei Unfällen im Notruf-Ablaufplan bzw. im Flucht- und Rettungsplan eingetragen. Die Pläne sind im Turmeingangsbereich und im Gondelausstiegsbereich angebracht. Das Verhalten im Brandfall und bei Unfällen wird zusätzlich in der Betriebsanleitung der Windenergieanlage beschrieben.

Brandschutz und Brandbekämpfung durch die Feuerwehr

Die Feuerwehr kann aufgrund der Alarmierung durch den ENERCON Service schnell am Einsatzort sein und Brände ggf. vor der weiteren Ausbreitung löschen. Die Kranstellfläche steht als Stellfläche zur Verfügung. Der Ablauf der Brandbekämpfung durch die Feuerwehr wird im Brandschutzkonzept der Windenergieanlage genauer beschrieben.

Brand im Turmfuß

Ein Brand im Turmfuß ist örtlich begrenzt. Der Brand kann sich weder auf die Gondel ausbreiten noch auf die Umgebung der Windenergieanlage auswirken. Sobald die Windenergieanlage spannungsfrei geschaltet wurde, kann der Brand im Turmfuß gelöscht werden.

Brand in der Gondel

Ein Brand in der Gondel kann zu einem Ausbrennen der Gondel und zu einem Übergreifen auf die Rotorblätter führen. Die Rotorblätter stehen zu diesem Zeitpunkt bereits still. Ein brennendes Rotorblatt wird nach längerer Brandeinwirkung aufgrund seines Gewichts an der Blattwurzel abknicken und auf die Aufstellfläche herabfallen.

Die Feuerwehr kann einen Brand in der Gondel nicht bekämpfen, jedoch den Zugang zum Gefahrenbereich der Windenergieanlage weiträumig absperren und die Gondel und herabfallende Teile kontrolliert abbrennen lassen.

BV-Nr. E-138EP3/E3/160/HT
Index B

31.03.2023

Brandschutzkonzept

für die Errichtung einer Windenergieanlage

des Typs ENERCON E-138 EP3 E3

mit 160 m Nabenhöhe

Auftraggeber:

WRD Management Support GmbH
Innovationszentrum
Borsigstr. 26
26607 Aurich

INHALTSÜBERSICHT

Seite

1	Einleitung	4
1.1	Auftrag	4
1.2	Gesetzliche Grundlagen, Regelwerke	5
1.3	Verwendete Unterlagen	5
1.4	Schutzziele.....	6
1.5	Bestimmung der Gesamthöhe	6
1.6	Einstufung des Gebäudes.....	6
1.7	Risikobeurteilung der Maschine	6
2	Gebäudetechnische Daten und Nutzungen.....	7
2.1	Allgemein	7
2.2	Äußere Erschließung	7
2.3	Innere Erschließung	7
2.4	Nutzung der Windenergieanlage.....	8
2.4.1	Allgemeines.....	8
2.4.2	Funktion	8
2.4.3	Zahl der Nutzer	8
2.4.4	Betrieb; Wartung	9
2.4.5	Beschreibung der Einrichtungen der WEA.....	9
2.5	Risikoanalyse	10
2.5.1	Brandlasten und Brandgefährdungspotential.....	10
2.5.2	Wahrscheinlichkeit eines Brandereignisses.....	11
3	Vorbeugender Brandschutz.....	13
3.1	System der äußeren und inneren Abschottungen; Anforderungen an Bauteile und Baustoffe	13
3.1.1	Anordnung und Lage von Rauchabschnitten	13
3.1.2	Brandschutztechnische Abschnittsbildung.....	13
3.1.3	Feuerwiderstandsdauer der tragenden und aussteifenden Bauteile	13
3.1.4	Nichttragende Außenwände und -bekleidungen	13
3.2	Flucht- und Rettungswege	13
4	Vorbeugender anlagentechnischer Brandschutz	14
4.1	Brandmeldeanlage	14
4.2	Alarmierungseinrichtung	14
4.3	Anlagentechnische Branderkennung und Brandmeldung	14
4.3.1	Sensoren.....	14
4.3.2	Rauchscharter	15
4.4	Lüftungsanlagen.....	16
4.5	Rauch- und Wärmeabzugsanlagen.....	16
4.6	Blitzschutz	16
5	Organisatorischer Brandschutz	17
5.1	Betriebliche Maßnahmen zur Brandverhütung und Brandbekämpfung sowie zur Rettung von Personen	17
5.2	Kennzeichnung von Rettungswegen.....	17
5.3	Flucht- und Rettungspläne	17
5.4	Alarmierung der Feuerwehr	17
5.5	Einrichtungen zur Brandbekämpfung	18
5.6	Prüfungen technischer Anlagen und Einrichtungen	18
5.7	Übung mit der Zuständigen Feuerwehr.....	18
6	Abwehrender Brandschutz	19
6.1	Flächen für die Feuerwehr	19

6.2	Löschwasserversorgung	19
6.3	Löschwasserrückhaltung.....	19
6.4	Feuerwehrpläne	20
6.5	Hydrantenpläne.....	20
6.6	Brandbekämpfung	20
6.6.1	Brand im Turmfuß	20
6.6.2	Brand in der Gondel	21
6.6.3	Brand der Rotorblätter	21
6.6.4	Brandweiterleitung auf die Umgebung.....	21
7	Verwendete Rechenverfahren nach Methoden des Brandschutzingenieurwesens	22
8	Abweichungen	22
9	Zusammenfassung	23

1 Einleitung

1.1 Auftrag

Die Unterzeichnerin wurde am 25.10.2022 beauftragt, für die Errichtung der Windenergieanlage (WEA) des Typs ENERCON E-138 EP3 E3 mit 160 m Nabenhöhe, ein Brandschutzkonzept gemäß Musterbauverordnung zu erstellen.

Ein Brandschutzkonzept ist eine zielorientierte Gesamtbewertung des baulichen und abwehrenden Brandschutzes bei Gebäuden besonderer Art oder Nutzung. Bauliche Anlagen sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch vorgebeugt wird. Die nachfolgend aufgeführten Maßnahmen berücksichtigen die Anforderungen für dieses Objekt.

Das Brandschutzkonzept beinhaltet die Einzelmaßnahmen aus

- vorbeugendem Brandschutz
- organisatorischem (betrieblichem) Brandschutz und
- abwehrendem Brandschutz.

Unter Berücksichtigung

- der Nutzung
- des Brandrisikos und
- des zu erwartenden Schadenausmaßes

werden im Brandschutzkonzept die Einzelkomponenten und ihre Verknüpfung im Hinblick auf die Schutzziele beschrieben.

Es werden nur die brandschutztechnischen Belange berücksichtigt, Eiswurf oder immissionsschutzrechtliche Belange werden nicht betrachtet.

1.2 Gesetzliche Grundlagen, Regelwerke

Folgende Gesetze und Richtlinien wurden zur Erstellung des vorliegenden Brandschutzkonzeptes berücksichtigt:

- /1/ MBO – Musterbauordnung, vom 1. November 2002 in der Fassung vom 25.09.2019 (ARGEBAU)
- /2/ MBauVorIV – Musterbauvorschriftenverordnung, Muster einer Verordnung über Bauvorschriften und bauaufsichtliche Anzeigen, Fassung Februar 2007 (Fachkommission Bauaufsicht der ARGEBAU)
- /3/ DIN 4102: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, in der zurzeit gültigen Fassung und allen veröffentlichten Teilen
- /4/ DIN EN 62305-1, Blitzschutz – Teil 1: Allgemeine Grundsätze, Ausgabe Oktober 2011; Berichtigung 1, Ausgabe Dezember 2015
- /5/ Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG, vom 17.05.2006
- /6/ 9. ProdSV - Maschinenverordnung, Neunte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Maschinenrichtlinie) vom 12.05.1993 zuletzt geändert am 08.11.2011
- /7/ M-VVTB – Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen, Ausgabe 2021/1 in der Fassung vom 4. März 2022

1.3 Verwendete Unterlagen

Zur Erstellung standen folgende Unterlagen zur Verfügung:

Unterlagen	Dokument	Datum
Technische Beschreibung Enercon Windenergieanlage E-138 EP3 E3	D1018637/4.0	07.07.2022
Gondelschnitt M1:50 E-138-EP3 E3	D02162509/0.0	02.12.2020
Datenblatt Gondelabmessung E-138-EP3 E3	D1019598/4.1	22.06.2022
Datenblatt Rotorblatt E-138 EP3-RB-02	D0769859-3.1	19.11.2021
Ansicht Hybridturm E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01	EP3.00.250-2	06.10.2022
Technische Beschreibung Turm E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01	D02352828/2.0	18.07.2022
Technisches Datenblatt Turm E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01	D02352664/2.1	19.07.2022
Technische Information Enercon Windenergieanlage E-138 EP3 E3 Wassergefährdende Stoffe*	D02298629/1.1	27.03.2023
Technische Beschreibung Warnsignalisierung bei unsicheren Betriebszuständen	D0421975/3.1	29.06.2022
Technische Beschreibung Einrichtungen zum Arbeits-, Personen- und Brandschutz	D0446785/2.3	22.03.2021
Verhalten im Notfall	ID0X11	-
Technische Beschreibung Brandschutz EP1, EP2, EP3	D0253903/4.1	18.03.2021
Technische Beschreibung ENERCON Windenergieanlagen Blitzschutz	D0260891/15.0	23.09.2022
Datenblatt Installationsorte der Rauchschalter	D0701831/5.1	27.09.2022
Technische Beschreibung Aufstiegshilfe	D0917105-1	12.11.2020
Technisches Datenblatt Installationsorte der Feuerlöscher	D0648865/9.1	27.09.2022

Tabelle 1: Unterlagen

*In dem Dokument Wassergefährdende Stoffe sind alle Stoffe mit Mengenangaben aufgeführt, die in der WEA Verwendung finden, mit der Auflistung der entsprechenden Sicherheitsdatenblätter.

1.4 Schutzziele

Für die Beurteilung der zu errichtenden Windenergieanlagen gelten die materiellen Vorschriften der Musterbauordnung. Bauliche Anlagen sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch (Brandausbreitung) vorgebeugt wird und bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten möglich sind (§ 14 MBO).

1.5 Bestimmung der Gesamthöhe

Die Windenergieanlage weist eine Nabenhöhe von ca. 160 m auf und der Rotor hat einen Durchmesser von ca. 138 m. Die Rotorblattlänge beträgt ca. 68 m. Damit ergibt sich eine Gesamthöhe von ca. 229 m.

1.6 Einstufung des Gebäudes

In den WEA befinden sich keine Aufenthaltsräume gemäß § 47 MBO. Die Anlagen werden nur temporär zu Wartungs- und Reparaturzwecken begangen.

Sie ist eine freistehende Maschine gemäß Maschinenrichtlinie.

Die WEA mit mehr als 30 m Höhe über der Geländeoberfläche im Mittel werden als Sonderbauten im Sinne des § 2 (4) Nr. 2 MBO eingestuft.

Eine Windenergieanlage ist eine bauliche Anlage besonderer Art und Nutzung, an der im Einzelfall zur Verwirklichung der allgemeinen Anforderungen besondere Anforderungen gestellt werden. Erleichterungen können gestattet werden, soweit es der Einhaltung von Vorschriften wegen der besonderen Art oder Nutzung baulicher Anlagen nicht bedarf.

1.7 Risikobeurteilung der Maschine

Der Hersteller ist verpflichtet für die komplette WEA eine Risikobeurteilung nach Maschinenrichtlinie 2006/42/EG durchzuführen.

Der auf dem Turm angeordnete maschinentechnische Teil der Windenergieanlage, hierzu zählen u.a. die Rotorblätter sowie die Nabe, die regelungs- und elektrotechnischen Komponenten, der Generator, die Lager und die Bremse, entsprechen laut Hersteller den anerkannten Regeln der Technik.

2 Gebäudetechnische Daten und Nutzungen

2.1 Allgemein

Bei dem Bauvorhaben handelt es sich um eine Errichtung einer Windenergieanlage der Firma ENERCON mit der Typbezeichnung E-138 EP3 E3 mit 160 m Nabenhöhe.

Als Träger der Windenergieanlage Typ E-138 EP3 dient ab Fundamentoberkante ein Hybridturm (HT), bestehend aus 34 Betonsegmenten und Stahlsektionen.

Der untere Bereich ist eine Spannbetonkonstruktion aus 30 Fertigteilbetonsegmenten. Auf die Spannbetonkonstruktion sind 3 Stahlsektionen aufgesetzt. Die Verbindung der Stahlsektionen erfolgt mit vorgespannten Schraubverbindungen.

Im Bereich der Gondel besteht das Maschinenhaus aus einer Aluminiumverkleidung auf einer Stahlprofilkonstruktion, die Generatorverkleidung aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) auf einer Stahlprofilkonstruktion und die Rotorblätter werden aus GFK, Balsaholz und Schaumstoff hergestellt.

2.2 Äußere Erschließung

Die äußere Erschließung erfolgt über die öffentliche Verkehrsfläche.

2.3 Innere Erschließung

Der Zugang in den Turm erfolgt über die Turmeingangstür auf Ebene Fundamentoberkante. Die Turmeingangstür ist abschließbar und kann von innen jederzeit ohne Schlüssel und Werkzeug geöffnet werden. Der Zutritt von außen ist nur mit Schlüssel möglich.

Der Aufstieg im Turm erfolgt über eine Aufstiegshilfe in Kombination mit einer Steigschutteinrichtung gemäß DIN EN ISO 14122-4:2016. Im oberen Bereich jeder Stahlsektion sind Podeste angeordnet. Diese Podeste werden im Werk vorinstalliert und während des Montageprozesses komplettiert. Sie dienen als feste Arbeitsbühne sowie als Ruhebühne beim Auf- und Abstieg. Zum problemlosen Durchstieg befinden sich in den Podesten mit Klappen abgedeckte Öffnungen. Entlang des Steigwegs befinden sich auch bewegliche Ruhepodeste.

Zusätzlich wird eine Aufstiegshilfe (Nutzlast 240 kg) nach Maschinenrichtlinie 2006/42/EG eingebaut. Sie fährt leitergeführt bis zu einem Podest einige Meter unterhalb des Turmkopfs. Für die restliche Strecke wird die Sicherheitssteigleiter mit Steigschutteinrichtung benutzt.

Auf der Eingangsebene befindet sich das E-Modul, hier ist ein Energieverteilerschrank, die Mittelspannungsschaltanlage, der Steuerschrank zur Bedienung der Windenergieanlage, sowie eine unterbrechungsfreie Stromversorgung untergebracht. Die Bedienung erfolgt über das Human Machine Interface (HMI).

Der Aufstieg im Turm ist für die Feuerwehr im Brandfall nicht vorgesehen.

2.4 Nutzung der Windenergieanlage

2.4.1 Allgemeines

Die WEA dient zur Wandlung der kinetischen Energie des Windes in elektrische Energie. Durch das getriebelose Anlagenkonzept (Direktantrieb) besitzt der Antriebsstrang keine schnell drehenden Komponenten, kein Getriebeöl. Auf Grund dessen verringert sich wesentlich die Brandentstehungswahrscheinlichkeit.

2.4.2 Funktion

Im Maschinenhaus, das auf dem Turm montiert ist, liefert ein fremderregter Synchrongenerator, der direkt an der Nabe mit den Rotorblättern angekoppelt ist, die elektrische Energie. Die erzeugte Energie wird in einem Wechselrichtersystem in eine netzkonforme Spannung umgewandelt. Der Transformator in der Gondel transformiert die erzeugte Spannung auf das Niveau des Stromnetzes, in das der Strom eingespeist wird. Über die Mittelspannungsschaltanlage im Turmfuß wird der Transformator mit dem aufnehmenden Stromnetz zusammengeschaltet.

2.4.3 Zahl der Nutzer

Die Zahl der Nutzer wird vom Grundsatz mit „keine“ angegeben. Es befinden sich keine Aufenthaltsräume in der Windenergieanlage, nur zu Wartungszwecken halten sich 2 bis 6 Personen in der Anlage auf.

2.4.4 Betrieb; Wartung

Die WEA ist im Betrieb unbemannt und verschlossen. Der Betrieb wird automatisch durch eine Fernabfrage überwacht. Die Daten werden in einer Zentrale ausgewertet, die permanent besetzt ist. Bei Störungen schaltet die WEA selbsttätig ab, wobei die Abschaltung über eine die betriebliche Steuerung überlagernde Sicherheitssteuerung, auch bei Netzausfall, erfolgt. Die WEA wird bei einer Störung bis zur Reparatur nicht freigegeben.

Die Begehung zur Wartung findet mindestens einmal jährlich routinemäßig statt. Bei den Begehungen ist die Anlage außer Betrieb. Wird ein Probelauf notwendig, muss hierfür das Servicepersonal ihre Persönliche Schutzausrüstung gegen Absturz (PSAgA) tragen, um sich bei eventuellen Störungen oder einem Brand über den 1. Fluchtweg durch den Turm oder bei versperrten 1. Fluchtweg über den 2. Fluchtweg durch die Luke im Maschinenhaus zu retten.

Die Wartungen werden nur durch Fachpersonal ausgeführt, welches auf die Anlagentechnik und die Rettung aus der Windenergieanlage geschult ist. Für diesen kurzzeitigen Probelauf bestehen aus brandschutztechnischer Sicht keine Bedenken.

2.4.5 Beschreibung der Einrichtungen der WEA

Bezeichnung	Anlagen	Zugangsberechtigung
Gondel mit Rotoren	Synchrongenerator Nebenaggregate Schaltschränke Transformator	unterwiesenes Personal, Elektrofachkräfte
Turm	Mittelspannungskabel (je nach Netz 10 kV, 20 kV oder 30 kV)	unterwiesenes Personal, Elektrofachkräfte
Fuß	Schaltschränke Eigenversorgungstrafo (optional)	Feuerwehr / unterwiesenes Personal/ Elektrofachkräfte

Tabelle 2: Einrichtungen

2.5 Risikoanalyse

2.5.1 Brandlasten und Brandgefährdungspotential

Die folgende Tabelle dient als Übersicht in welchen Anlagenteilen sich die wesentlichen Brandlasten befinden und wodurch ein Brand entstehen kann:

Bezeichnung	Anlagen	Brandlasten	Brandgefahren
Gondel	Schaltschränke	Kabel	elektrische Störung
	diverse Kabel	Kabel	
	Azimutgetriebe	5 Stellmotoren zur Windnachführung je 16,7 l Öl	durch Reibung und elektrische Störungen
	Blattverstellantriebe	3 Antriebe für die Blattverstellung je 15 l Öl	
	Azimutlager	ca. 17 l Fett	
	Zentralschmiereinheit	Schmierstoffe insgesamt ca. 320 l	
	Hydrauliksystem	Rotorarretierung und -bremse 35 l Öl	
	Transformator	max. 1.970 l synthetische Ester MDEL 7131	
	Maschinenhausverkleidung	Aluminium	keine direkte Brandgefahr
	Generatorverkleidung	glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK)	
Turm	Mittelspannungskabel	Kabel	durch elektrische Störungen
	Aufstiegshilfe	Schmierstoffe 2,6 l	
Fuß	Schaltschränke	Kabel Verteiler	durch elektrische Störungen
	USV-Schaltsschrank Schaltschränke		
Rotor	Rotorblatt	Glasfaserverstärkter Kunststoff, Epoxidharz, Holz, Schaumstoff 20,2 t optional mit Blattheizung (20,5 t)	Blitzschlag; Brandüberschlag zwischen Gondel und Rotorblättern, durch elektrische Störungen der Blattheizung

Tabelle 3: Brandlasten

2.5.2 Wahrscheinlichkeit eines Brandereignisses

Der Brand lässt sich nach den Normen der Feuerwehren DIN 14011 als nicht bestimmungsgemäßes Brennen, das sich unkontrolliert ausbreiten kann, definieren. Bei einer Brandentstehung und auch für eine Brandausbreitung müssen bestimmte Voraussetzungen vorhanden sein. Diese Voraussetzungen können in die Gruppe der stofflichen Voraussetzungen und in die Gruppe der energetischen Voraussetzungen unterteilt werden. Damit es zum Brennen kommt, bedarf es eines energetischen Anstoßes, d.h. es muss dem Brandgut genügend Zündenergie zugeführt werden. Neben der Zündtemperatur, die für das Einleiten der Verbrennung bzw. das Entzünden ausschlaggebend ist, wird für das selbstständige Brennen eine Mindestverbrennungstemperatur benötigt. Die Mindestverbrennungstemperatur kennzeichnet den Reaktionszustand eines Systems, bei dem die Reaktionswärme gerade noch ausreicht, um den Energiekreislauf unter Berücksichtigung der Wärmeverluste zu schließen, so dass das Feuer nicht erlischt. Aufgrund der überschüssigen Reaktionswärme, die für die Aufbereitung und Aktivierung nicht verbraucht wird, steigt die Temperatur im System selbständig weiter auf die Brandtemperatur an, welche letztendlich getrennt als Flammentemperatur und als Brandraumtemperatur (Rauchgastemperatur) interpretiert wird.

Brandereignisse sind gefährliche Brände, bei denen angenommen wird, dass sich ein Entstehungsbrand zu einem fortentwickelten Brand ausbreiten kann.

Während zur Gewährleistung der Standsicherheit in der Bauordnung gefordert und formuliert wird, dass die baulichen Anlagen standsicher sein müssen, wird demgegenüber die Anforderung zur Gewährleistung des Brandschutzes auf die Beschaffenheit der baulichen Anlage abgestellt:

Es wird in der Bauordnung offenbar nicht auf eine bestimmte Sicherheit (Brandsicherheit) abgestellt, sondern es werden vielmehr die Schutz- und Sicherungsziele ganz allgemein benannt. Deren Erfüllung entsprechend den bauordnungsrechtlichen Einzelvorschriften ergibt jedoch „stillschweigend“, analog zur Standsicherheit, ein bestimmtes Sicherheitsniveau. Dieses Sicherheitsniveau lässt sich semiprobabilistisch derzeit mittels der Versagenswahrscheinlichkeit von 1×10^{-6} (bei großen Risiken pro Ereignis) bis 1×10^{-5} pro Gebäude je m^2 und Jahr beschreiben. Das Risiko ist theoretisch durch die Wahrscheinlichkeit für die Entstehung eines

Brandes und die Ausbreitung zu einem gefährlichen Brand pro Bezugsfläche und pro Zeiteinheit sowie dem zu erwartenden Schadensumfang gegeben.

Nach der Normdefinition gelten brennbare Stoffe in geschlossenen Behältern aus Stahlblech oder anderen nicht zerbrechlichen und im Brandverhalten vergleichbaren Werkstoffen als „geschützt“ (TSF, Leistungsschrank, Steuerschrank und USV). Die Schutzwirkung der Systeme ist gewährleistet, d.h. die Stahlschränke werden durch das Gehäuse und dadurch, dass kein Sauerstoff zugeführt wird, geschützt.

Die Zündwahrscheinlichkeit von nicht erhitzten Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt $> 100^{\circ}\text{C}$ in Maschinen (hier Dielektrikum im Transformator) wird vom DIN-Ausschuss für so gering angesehen, dass hier ein Beitrag zur Brandbelastung nur bei Leckage vorstellbar ist.

Die Mittelspannungs-Schaltanlage ist eine SF_6 -gasisolierte Anlage und somit nicht brennbar. Diese Brandlast bleibt unberücksichtigt.

Die Windenergieanlage besitzt ein getriebeloses Antriebssystem. Rotornabe und Ringgenerator sind ohne Getriebe als feste Einheit direkt miteinander verbunden. Das Fehlen von Getriebe und Getriebeöl verringert wesentlich die Brandentstehungswahrscheinlichkeit.

Ein Brand an den Rotorblättern ist unwahrscheinlich, jedoch nicht endgültig auszuschließen. Ein Vollbrand in der Gondel oder die Installation einer Blattheizung können Brandursachen für den Brand eines Rotorblattes sein.

Sofern eine Blattheizung installiert ist, ist sie Teil der Rotoren und unterliegt den allgemein Technischen Regeln für Maschinen. Entsprechend sind anlagentechnische Sicherungen als Konsequenz der Risikobeurteilung des Herstellers eingebaut die dazu führen, dass die Blattheizung oder die gesamte WEA abgeschaltet wird und dass eine Alarmierung über die Weiterschaltung an eine ständig besetzte Stelle erfolgt. Die Folgemaßnahmen sind im organisatorischen Brandschutz unter anderem durch Begutachtung durch das Service-Personal geregelt.

Daraus resultiert, dass aufgrund der besonderen Konstruktionsart und der Anlagenüberwachung der Windenergieanlage der Firma ENERCON keine erhöhte Brandgefährdung besteht und dem Brandschutz anlagentechnisch und organisatorisch erheblich Rechenschaft getragen wird.

3 Vorbeugender Brandschutz

3.1 System der äußeren und inneren Abschottungen; Anforderungen an Bauteile und Baustoffe

3.1.1 Anordnung und Lage von Rauchabschnitten

Eine Unterteilung in Rauchabschnitte ist nicht erforderlich.

3.1.2 Brandschutztechnische Abschnittsbildung

Eine brandschutztechnische Abschnittsbildung in dem Sonderbau ist nicht erforderlich.

3.1.3 Feuerwiderstandsdauer der tragenden und aussteifenden Bauteile

An den Hybridturm werden keine Anforderungen hinsichtlich der Feuerwiderstandsklasse des Turmes gestellt.

3.1.4 Nichttragende Außenwände und -bekleidungen

Die Maschinenhausverkleidung der Gondel besteht aus Aluminium und die Generatorverkleidung der Gondel besteht aus GFK. Die Rotorblätter bestehen aus GFK-Material mit Epoxidharz/Balsaholz/Schaumstoff. Es sind keine weiteren Maßnahmen notwendig.

3.2 Flucht- und Rettungswege

In der WEA sind keine Aufenthaltsräume vorhanden. Es gelten nicht die Vorschriften an bauliche Rettungswege.

Der Maschinenraum der Gondel wird nur von geschultem Personal begangen, welches mit einer persönliche Schutzausrüstung gegen Absturz (PSAgA) ausgestattet ist. Die Flucht aus der Gondel der WEA erfolgt über eine über die gesamte Turmhöhe zur Verfügung stehende Steigleiter. Für sonstige Notfälle sowie zur Rettung von Verletzten ist in der Gondel ein Evakuierungsgerät installiert, mit dem ein Notabstieg aus der Windenluke im Heck der Maschine möglich ist. Das Gerät ermöglicht den zweiten Rettungsweg und kann alle Personen in der Gondel nacheinander abseilen, wobei immer zwei Personen, im Pendelhub, zusammen abgeseilt werden. Die Geräte müssen regelmäßig gewartet werden.

Die Flucht- und Rettungswege sind ausreichend.

4 Vorbeugender anlagentechnischer Brandschutz

4.1 Brandmeldeanlage

Es ist keine Brandmeldeanlage erforderlich.

4.2 Alarmierungseinrichtung

Eine Alarmierungseinrichtung ist nicht erforderlich.

Die Gondel wird nur von geschultem Personal zu Wartungszwecke begangen. Für Notfälle trägt das Wartungspersonal immer ein Mobiltelefon bei sich. In der WEA ist weiterhin eine direkte Gegensprechanlage von der Gondel zum Turmfuß vorhanden. Bei detektiertem Rauch schaltet die WEA die optisch-akustischen Signalmelder im Turmfuß, im Maschinenraum und im Rotorkopf ein. Die Signalmelder erzeugen ein rotes Dauersignal mit Lichtblitzen und einen Dauerton mit schnell schwankender Tonhöhe.

Gegebenenfalls anwesende Personen werden dadurch gewarnt.

4.3 Anlagentechnische Branderkennung und Brandmeldung

Brandursachen aufgrund mechanischer Reibung wird vorgebeugt, indem wenig schnell drehende Teile verwendet werden und kein Hauptgetriebe vorhanden ist. Alle wichtigen Komponenten werden mit Temperaturfühlern überwacht. Erhöhte Temperaturen oder Überdrehzahlen führen zur sofortigen Abschaltung der WEA und Absendung einer Störmeldung über das ENERCON SCADA System zur Service-Zentrale.

Falls die betriebliche Steuerung der Windenergieanlage einen unzulässigen Zustand erkennt, wird die Windenergieanlage mit verminderter Leistung weiter betrieben bzw. angehalten.

4.3.1 Sensoren

Mögliche Zündquellen werden laufend durch Sensoren überwacht.

Der Generator wird auf Plausibilität geprüft (Temperaturen, Leistung in Abhängigkeit der Drehzahl). Fehler führen zur sofortigen Abschaltung der Anlage und Übermittlung einer Störmeldung zur Service-Zentrale.

Folgende Parameter werden in der WEA permanent kontrolliert und bei Störungen wird die Anlage automatisch außer Betrieb genommen und die Störmeldung weitergeleitet.

- Temperatur in der Maschine
- Temperatur im Rotorkopf
- Lagertemperaturen der beiden Rotorlager
- Temperatur im Turm
- Außentemperatur
- Temperatur in allen Schaltschränken
- Temperatur, Druck und Öllevel des Transformators
- Funktionsbereitschaft der Kondensatorpakete für die Notabschaltung
- Erdschlusskennung für den Generator
- Differenzstromüberwachung für alle elektrischen Antriebe, um schwergängige bzw. überlastete Antriebe zu erkennen, u.a. Antriebe der Blattverstellung und die Windnachführung
- Fehlerstromerkennung für die Versorgungsleitungen Licht und Steckdose
- Funktion der Fernüberwachung
- Temperaturüberwachung Lüfter und Heizregister

Jedes der drei Rotorblätter der WEA ist mit einem im Fehlerfall energieautarken Blattverstellungssystem ausgestattet. In diesem Blattverstellungssystem ist eine Sicherheitssteuerung integriert, die die Rotorblätter bei einer Notfahrt gesteuert in Fahnenstellung fahren und beim Erreichen der Fahnenstellung die Energie von den Antriebsmotoren sicher abschaltet.

Bei einer Notbremsung des Rotors wird zusätzlich eine elektromechanische Rotorbremse eingesetzt.

4.3.2 Rauchschalter

Zur Detektion von Bränden werden zudem Rauchschalter eingesetzt, die bei Rauch, Verschmutzung, Störung und zu hoher Temperatur reagieren.

Bei den Rauchschaltern handelt es sich um Brandmelder mit optischer Rauchererkennung und zusätzlichem Temperaturfühler, der ab einer Umgebungstemperatur von 70 °C anspricht. Es wird ein Signal an die Anlagensteuerung gesendet und die Gondellüfter werden ausgeschaltet.

Bei der Detektion von Feuer oder Rauch schaltet die Leistungselektronik ab, die Blätter drehen aus dem Wind, hierdurch wird die Rotationsbewegung auf ein Minimum reduziert bis hin zum Stillstand. Diese Statusmeldung wird mittels ENERCON SCADA an die ENERCON Service-Zentrale gesendet.

In der Gondel der E-138 EP3 E3 wird die Temperatur an mehreren Stellen gemessen. Bei der E-Gondel sind drei Rauchschalter vorhanden, a) im Maschinenhaus, b) im Transformatorraum und c) am Maschinenträger. Der Rauchschalter am Maschinenträger ist im unteren Bereich der Gondel verbaut und dient der Erkennung von Rauch im Turm.

Im unteren Turmbereich befindet sich ein Rauchschalter in der Nähe der Mittelspannungsanlage.

4.4 Lüftungsanlagen

Aus brandschutztechnischer Sicht werden keine Anforderungen an die Lüftung gestellt.

In der maschinenhausseitigen Kapselung des aktiven Generatorteils sind 12 Gondellüfter eingebaut. Die Lüfter saugen Luft durch Abscheidersegmente in der Gondelverkleidung an. Diese Generator-Luftkühlung bewirkt als Nebeneffekt auch eine Kühlung des Maschinenhauses.

4.5 Rauch- und Wärmeabzugsanlagen

Es werden aus brandschutztechnischer Sicht keine Rauchabzüge benötigt. Eine Entrauchung ist durch permanente Öffnungen in der Gondel und der Thermik im Turm vorhanden. Durch das Kühlsystem der WEA strömt Luft aus dem Turmfuß mit hoher Geschwindigkeit nach oben in Richtung Gondel.

4.6 Blitzschutz

Bauliche Anlagen, bei denen nach Lage, Bauart oder Nutzung Blitzschlag leicht eintreten oder zu schweren Folgen führen kann, sind mit dauernd wirksamen Blitzschutzanlagen gemäß DIN EN 62305 zu versehen. Es ist ein integrierter Blitzschutz von der Rotorblattspitze bis ins Fundament vorhanden und notwendig.

Die Blitzschutzanlage wird nach der DIN EN 61400-24 Blitzschutz (Blitzschutzklasse I) für Windenergieanlagen ausgeführt.

5 Organisatorischer Brandschutz

5.1 Betriebliche Maßnahmen zur Brandverhütung und Brandbekämpfung sowie zur Rettung von Personen

Die WEA wird regelmäßig in einem Abstand von maximal 12 Monaten gewartet und laufend überwacht. Das Verhalten im Brandfall und die Selbsthilfemaßnahmen werden entsprechend einer Gefährdungsbeurteilung regelmäßig geschult und geübt. Während der Wartung wird die Anlage außer Betrieb genommen, damit ist das Gefahrenrisiko verringert. Das Servicepersonal trägt bei den Wartungsarbeiten und einem eventuell notwendigen Probelauf der WEA seine PSaGA, somit ist ein Abseilen aus der Windenluke mit dem Abseilgerät sofort möglich.

5.2 Kennzeichnung von Rettungswegen

Zur Beleuchtung der Wege während der Wartung ist eine Sicherheitsbeleuchtung gemäß ASR A3.4/3 erforderlich und wird installiert. Diese kann über batteriegepufferte Einzelleuchten realisiert werden.

Die Sicherheitsbeleuchtung der Windenergieanlage entspricht der DIN EN 50308 – Windenergieanlage - Schutzmaßnahmen - Anforderungen für Konstruktion, Betrieb und Wartung–, DIN EN 1838 –Angewandte Lichttechnik - Notbeleuchtung– und die DIN EN 50172 –Sicherheitsbeleuchtungsanlagen–.

5.3 Flucht- und Rettungspläne

Flucht- und Rettungspläne werden mit allen relevanten Daten erstellt und angebracht.

5.4 Alarmierung der Feuerwehr

Durch die zuvor beschriebene Anlagentechnik wird die WEA bei einer Detektion von Feuer oder Rauch automatisch abgeschaltet. Dabei wird eine Nachricht an eine vom Betreiber zu bestimmende Service-Zentrale gesendet. Diese benachrichtigt daraufhin die Leitstelle der Feuerwehr.

Gleichzeitig wird das Servicepersonal informiert, um umgehend die Windenergieanlage anzufahren und die Lage zu erkunden.

5.5 Einrichtungen zur Brandbekämpfung

Zur Bekämpfung von Entstehungsbränden während der Wartung sind in der Gondel zwei CO₂-Löscher (5 kg) und im Eingangsbereich ein weiterer CO₂-Löscher (2 kg) vorgehalten. Diese sind für die Bekämpfung von allenfalls kleinsten Entstehungsbränden ausreichend. Selbstrettung geht vor Brandbekämpfung.

Zusätzlich befindet sich ein CO₂-Löscher (2 kg) im ENERCON-Service-Fahrzeug.

Die Feuerlöscher sind mindestens alle zwei Jahre durch einen Sachkundigen zu prüfen. Ein Vermerk über die letzte Prüfung ist fest oder plombiert am Feuerlöscher anzubringen.

5.6 Prüfungen technischer Anlagen und Einrichtungen

Die Prüfungen von technischen Anlagen oder Einrichtungen werden durch Fachpersonal in Abständen von max. 12 Monaten durchgeführt.

5.7 Übung mit der Zuständigen Feuerwehr

Vor Inbetriebnahme ist der örtlichen Feuerwehr und in Abstimmung mit der Brandschutzdienststelle, die Gelegenheit zu geben sich mit dem Bauwerk vertraut zu machen.

6 Abwehrender Brandschutz

6.1 Flächen für die Feuerwehr

Die Anfahrt zur WEA erfolgt über die öffentliche Straße. Die Anfahrt bis an den Turmfuß geschieht über die befestigte Zuwegung. Die ausreichend befestigte und tragfähige Kranaufstellfläche während der Bauzeit bleibt nach Fertigstellung bestehen und kann durch die Feuerwehr genutzt werden.

Die Zufahrts- und Bewegungsflächen müssen hinsichtlich ihrer Radien und Belastbarkeit der durch die Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen eingeführte Muster-Richtlinie „Flächen für die Feuerwehr“ entsprechen, sowie frei und instandgehalten werden.

6.2 Löschwasserversorgung

Aufgrund der besonderen Konstruktionsart der Windenergieanlagen der Firma ENERCON besteht keine erhöhte Brandlast oder Brandgefährdung. Im Falle eines Brandes werden eine größere Anzahl von Menschen, Tiere oder erhebliche Sachwerte nicht gefährdet.

Deshalb ist eine örtliche Löschwasserbereitstellung (Hydranten, Löschwasserbehälter usw.) nicht notwendig. Zur Erfüllung des abwehrenden Brandschutzes haben die Gemeinden die notwendige Löschwasserversorgung bereitzustellen und zu unterhalten. Bei einem Brand in der Gondel ist zunächst die Sicherung der Umgebung notwendig, und Löschwasser wird erst benötigt, wenn brennende Teile herabstürzen. Bei einem Brand im Turmfuß muss zunächst die Abschaltung der Anlage bestätigt werden, bis Löschwasser benötigt wird.

6.3 Löschwasserrückhaltung

Es ist ein Transformator verbaut, der mit max. 1.970 Liter synthetischer, dielektrischer Flüssigkeit auf Esterbasis, dem Dielektrikum, gefüllt ist. Die Esterflüssigkeit ist ungiftig, leicht biologisch abbaubar und als allgemein wassergefährdend eingestuft. Esterflüssigkeiten zeichnen sich durch einen hohen Flammpunkt $> 300\text{ °C}$ aus. Die Flüssigkeit kann vollständig in einer dafür vorgesehenen Wanne, welche sich unterhalb des Transformators befindet, aufgefangen werden.

Zur Kühlung der Leistungsschränke in der Gondel wird als Kühlmittel 300 Liter Wasser-Monoethylenglykol-Gemisch (Glykosol N45%) eingesetzt. Die Kühlflüssigkeit ist nicht toxisch und gut biologisch abbaubar und in der Wassergefährdungsklasse 1

eingestuft. Der Gondelboden der E-138 EP3 E3 besteht aus einer geschlossenen 4-6 mm starken verzinkten Stahlblechkonstruktion. Diese ist in mehrere Sektionen unterteilt. Die Sektionen links und rechts unterhalb der Umrichter haben ein Auffangvolumen von ca. 280 Liter. Die Sektion im hinteren Bereich unterhalb der Kühler hat eine Auffangkapazität von ca. 300 Liter. Der Transformator im Transformatorraum im hinteren Teil der Gondel steht zusätzlich in der Auffangwanne Transformator mit einer Auffangkapazität von 2222 Litern.

Es werden in der WEA keine weiteren Stoffe gelagert. Eine Löschwasser-Rückhaltung ist bei diesen geringen Mengen nicht notwendig.

6.4 Feuerwehrpläne

Der einzige Zugang und die Aufstellfläche der WEA sind eindeutig. Der Turm ist für die Feuerwehr nicht zugänglich und der Turmfuß ist übersichtlich, damit sind keine Feuerwehrpläne notwendig.

6.5 Hydrantenpläne

Hydrantenpläne sind nicht notwendig.

6.6 Brandbekämpfung

Die Verhütung von Brandgefahren (vorbeugender Brandschutz) und die Brandbekämpfung (abwehrender Brandschutz) ist Aufgabe der Gemeinden und Landkreise sowie des Landes.

Die Brandbekämpfung der WEA muss mit Hilfe der örtlichen Feuerwehr durchgeführt werden.

Es müssen folgende Brandszenarien unterschieden werden:

6.6.1 Brand im Turmfuß

Die Windenergieanlage gilt als abgeschlossene elektrische Betriebsstätte, die von der Feuerwehr nicht allein oder nur nach Freigabe begangen werden darf. Die gesamte Anlage muss spannungsfrei gemeldet werden. Die ständig besetzte Service-Zentrale informiert die Leitstelle der Feuerwehr. Bis zur Freigabe der Spannungsfreiheit der Transformatoren muss die Feuerwehr in einem angemessenen Abstand in Bereitstellung verbleiben.

Ein Brand im Turmfuß ist örtlich begrenzt. Der Brand kann sich weder auf die Gondel ausbreiten noch auf die Umgebung der Windenergieanlage auswirken.

6.6.2 Brand in der Gondel

Ein Brand in der Gondel ist von der Feuerwehr nicht beherrschbar und stellt auch aufgrund der geringen Eintrittswahrscheinlichkeit somit das gesellschaftlich akzeptierte Risiko dar. Ein Feuer in der Gondel kann zu einem Ausbrennen der Gondel einschließlich der Gondelhülle und zu einem Übergreifen auf die Rotorblätter führen. Der Brand führt zum Abfallen der Teile. Bei einem Brand in der Gondel ist die Feuerwehr zunächst zum Schützen der Umgebung präsent.

6.6.3 Brand der Rotorblätter

Ein Brand der Rotorblätter ist nicht beherrschbar. Da die Windenergieanlage bei Schäden sofort abgeschaltet ist, werden keine brennenden Teile durch weiter anhaltende Rotation umhergeschleudert. Ein Rotorblatt wiegt ca. 20,5 t, es wird direkt herabfallen und dort weiterbrennen, eine Brandweiterleitung auf die Gondel ist nicht auszuschließen. Ein Brand der Rotorblätter führt in der Hauptsache zu brennend direkt herabfallenden mehr oder weniger großen Teilen. Bei einem Brand der Rotorblätter ist die Feuerwehr zunächst zum Schützen der Umgebung präsent.

6.6.4 Brandweiterleitung auf die Umgebung

Die Alarmierung der Feuerwehr ist bei einem Schadeneintritt an der WEA wahrscheinlich früher als bei einem Sekundärbrand. Bei einem der o.g. Brände ist zunächst die Sicherung der Umgebung notwendig. Bei herabfallenden brennenden Teilen wird die Einsatzleitung geeignete Maßnahmen zur Brandbekämpfung nach Erkundung einleiten.

Da die Feuerwehr bereits vor Ort ist, können Entstehungsbrände sofort gelöscht werden. Eine Brandweiterleitung auf die Umgebung wird somit verhindert.

7 Verwendete Rechenverfahren nach Methoden des Brandschutzingenieurwesens

Es wurden keine Rechenverfahren des Brandschutzingenieurwesens verwendet.

8 Abweichungen

Es sind keine brandschutztechnischen Abweichungen zu berücksichtigen.

9 Zusammenfassung

Die Unterzeichnerin wurde beauftragt, für die Errichtung einer Windenergieanlage der Firma ENERCON mit der Typbezeichnung E-138 EP3 E3 mit 160 m Nabenhöhe ein Brandschutzkonzept gemäß Musterbauordnung zu erstellen.

Bei Beachtung der dargestellten Maßnahmen, Anforderungen und Hinweise sowie der allgemein anerkannten Regeln der Technik bestehen aus brandschutztechnischer Sicht

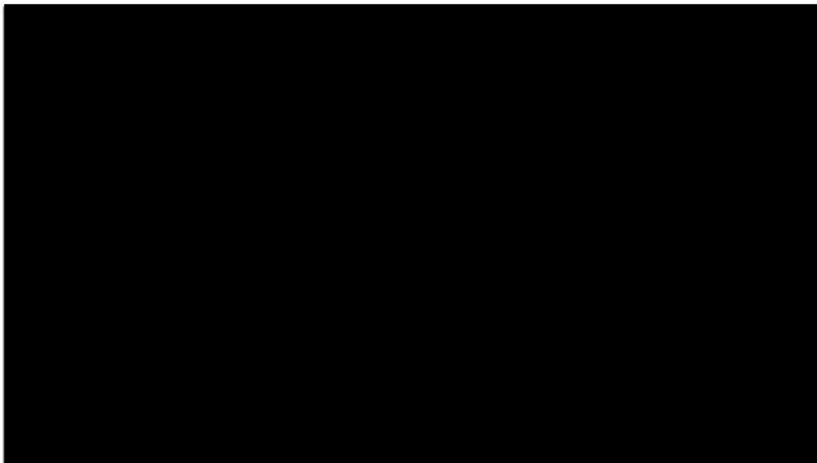
keine Bedenken

für die Errichtung der Windenergieanlage Typ ENERCON E-138 EP3 E3.

Vorstehende Stellungnahme wurde nach bestem Wissen und Gewissen unter Zugrundelegung der anerkannten Regeln der Technik ohne Ansehen der Person des Auftraggebers angefertigt.

Aufgestellt

Sandkrug, den 31.03.2023



BV-Nr. 1143-464/24
Index A

22.08.2024

Ergänzung

zu den allgemeinen Brandschutzkonzepten der Windenergieanlagen des Herstellers ENERCON

**Diese Ergänzung gilt für alle allgemeinen Brandschutzkonzepte mit
Datum vor dem 22.08.2024.**

Auftraggeber: WRD GmbH
Borsigstr. 26
26607 Aurich

INHALTSÜBERSICHT

Seite

1	Einleitung.....	3
1.1	Auftrag.....	3
1.2	Verwendete Unterlagen.....	3
2	Stellungnahme	4
2.1	Allgemein.....	4
2.2	Löschwasserversorgung	4
2.3	Feuerwehrpläne	4
3	Zusammenfassung	5

1 Einleitung

1.1 Auftrag

Die Unterzeichnerin wurde beauftragt eine Ergänzung zu den allgemeinen Brandschutzkonzepten aller ENERCON Windenergieanlagen (WEA) zu erstellen, die vom Bearbeitungsstand ein Datum vor dem 23.08.2024 aufweisen.

Für die Windenergieanlagen (WEA) der Typen ENERCON liegt jeweils ein allgemeines auf den WEA-Typ ausgelegtes Brandschutzkonzept (BSK) vor. In diesen wird auf den baulichen, technischen und organisatorischen Brandschutz eingegangen. Dabei wird beschrieben welche Maßnahmen in den jeweiligen Bereich standardmäßig erfüllt werden.

Ein weiterer Teil ist die allgemeine Beschreibung des abwehrenden Brandschutzes, der für die Windenergieanlagen erforderlich ist. In dieser Ergänzung wird dabei eine Überarbeitung der Punkte 6.2 – Löschwasserversorgung und 6.4 – Feuerwehrpläne vorgenommen, da durch zum Teil in einigen Bundesländern zusätzlich geltende landesspezifische Erlasse oder Merkblätter für Windenergieanlagen eine Überarbeitung dieser Punkte erforderlich macht, damit die Brandschutzkonzepte nicht im Widerspruch zu diesen stehen. Eine zusätzliche Ergänzung wird somit erforderlich, da die Brandschutzkonzepte eines jeweiligen Windenergieanlagentyps nur bei technischen oder baulichen Änderungen aufgrund von Neuentwicklungen vollständig überarbeitet werden. Somit ergibt sich ein Zeitraum, in dem die benannten Punkte 6.2 und 6.4 der anlagenspezifischen Brandschutzkonzepte im Widerspruch mit etwaigen landesspezifischen Zusatzanforderungen stehen können.

1.2 Verwendete Unterlagen

Zur Erstellung dieser Stellungnahme standen folgende Planungs-/ Unterlagen zur Verfügung:

Unterlagen	Nummer	Ersteller	Datum
Brandschutzkonzepte	alle aktuellen Brandschutzkonzepte für Windenergieanlagen des Herstellers ENERCON	Brandschutzbüro Monika Tegtmeier	diverse
Windenergieerlasse und Merkblätter der Länder	-	zuständige Ministerien der Bundesländer	-
Brandschutzgesetze der Länder	-	zuständige Ministerien der Bundesländer	-

Tabelle 1: Unterlagen

2 Stellungnahme

2.1 Allgemein

Aufgrund etwaiger landespezifischer Merkblätter und Erlasse, die zur Planung, Errichtung und den Betrieb von Windenergieanlagen im jeweiligen Bundesland Beachtung finden müssen, werden die beiden nachfolgenden Punkte 2.2 und 2.3 als Ergänzung zu den Punkten 6.2 – Löschwasserversorgung (aus 2.2) und 6.4 – Feuerwehrpläne (aus 2.3) formuliert.

2.2 Löschwasserversorgung

Aufgrund der besonderen Konstruktionsart der Windenergieanlagen der Firma ENERCON und der Minimierung brennbarer Betriebsstoffe besteht keine erhöhte Brandlast oder Brandgefährdung.

Im Falle eines Brandes werden eine größere Anzahl von Menschen, Tiere oder erhebliche Sachwerte nicht gefährdet. Deshalb ist eine örtliche Löschwasserbereitstellung (Hydranten, Löschwasserbehälter usw.) nicht notwendig.

Gemeinden unterhalten gemäß dem landesspezifischen Brandschutzgesetz die notwendige und auf die örtlichen Gegebenheiten abgestimmte Löschwasserversorgung und stellt so den Grundschutz sicher.

Bei einem Brand in der Gondel ist zunächst die Sicherung der Umgebung notwendig, und Löschwasser wird erst benötigt, wenn brennende Teile herabstürzen. Bei einem Brand im Turmfuß muss zunächst die Abschaltung der Anlage bestätigt werden, bis Löschwasser benötigt wird.

Das hierfür erforderliche Löschwasser kann im Regelfall mit Hilfe des Grundschutzes über den abwehrenden Brandschutz bereitgestellt werden. Dies geschieht über die örtlichen Feuerwehren mittels mitgeführten Löschwassers. Die Bereitstellung findet dabei in der Regel über die Einsatzfahrzeuge (Löschfahrzeuge) der Feuerwehr statt.

2.3 Feuerwehrpläne

Der einzige Zugang und die Aufstellfläche der WEA sind eindeutig. Der Turm ist für die Feuerwehr nicht zugänglich und der Turmfuß ist übersichtlich, damit sind grundsätzlich keine Feuerwehrpläne erforderlich. Gegebenenfalls gelten hier landesspezifische Vorgaben, die die Erstellung von Feuerwehrplänen erforderlich machen.

3 Zusammenfassung

Somit wird etwaiger landesspezifischer Erlasse und Merkblätter Rechnung getragen bis bestehende Brandschutzkonzepte um die beschriebenen Vorgaben ergänzt werden.

Die anlagenspezifischen Brandschutzkonzepte, denen diese Ergänzung beigelegt wird, behalten im allgemeinen Umfang in allen weiteren Punkten weiterhin ihre Gültigkeit.

Vorstehende Stellungnahme wurde nach bestem Wissen und Gewissen unter Zugrundelegung der anerkannten Regeln der Technik ohne Ansehen der Person des Auftraggebers angefertigt.

Aufgestellt

Sandkrug, den 22.08.2024

