

GEOTECHNIK GmbH

Prof. Dr. -Ing. Herrmann & Partner

Lammelbach 5

91567 Herrieden

Web: www.geotechnik-gmbh.com
e-mail: GEOTECHNIK_GmbH@t-online.de

Büro 2: Hans-Böckler-Straße 1
57223 Kreuztal – Buschhütten

Büro 1: Lammelbach 5
91567 Herrieden

Telefon: 09825 – 9 34 13
09825 – 9 34 14
Telefax: 09825 – 9 34 15

Funktelefon 1: 0170 – 4751946
Funktelefon 2: 0170 – 5533881

Telefon: 02732 – 55 28 26
Telefax: 02732 – 55 28 27

Windpark Ohrenbach Windenergieanlage

WEA 2

**Vestas Typ V162 6,0MW
169 m Nabhöhe**

in 57319 Bad Berleburg

Auftraggeber:

**Krug Energie GmbH & Co. KG
35117 Münchhausen**

**Ergebnisse
der geotechnischen Untersuchungen
- Baugrund- / Gründungsgutachten -**

Auftraggeber:	Firma Krug Energie GmbH & Co. KG Dorfstraße 53 35117 Münchhausen-Wollmar
Projekt:	Windpark Ohrenbach, Windenergieanlage WEA 2 Fa. Vestas Typ V162 6,0MW, 169 m Naben- höhe bei Bad Berleburg 57319 Bad Berleburg
Auftrag:	Geotechnische Untersuchungen - Baugrund-/Gründungsgutachten (Geotechnischer Bericht nach DIN 4020)
Ihre Zeichen:	Herr Hans-Hermann Zacharias Auftrag vom 27.05.2021 (E-Mail)
Unsere Zeichen:	GEO-210129
Bearbeitung:	Dipl.-Ing. (FH) Thorsten Lauber Univ.-Prof. Dr.-Ing. Richard A. Herrmann
Lammelbach,	den 21.10.2021

Inhaltsverzeichnis:		Seite
1	Vorgang	4
2	Allgemeines	4
3	Geotechnische Untersuchungen	6
4	Geologie und Morphologie	13
5	Baugrundbeurteilung	14
6	Gründungsempfehlungen	15
7	Zusammenfassung und Schlussbemerkungen	32

Anlagen:

Anlage 1:	Lageplan der Aufschlüsse
Anlagengruppe 2:	Darstellung des direkten Aufschlusses Bohrung BK WEA 2 (nach DIN EN ISO 22475-1) - Bohrprofil (Anlage 2.1) - Bilddokumentation (Anlage 2.2 - 2.3)
Anlagengruppe 3:	Darstellung der indirekten Aufschlüsse Ergebnisse der schweren Rammsondierungen WEA2-DPH-1 bis WEA2-DPH-5 - (Anlage 3.1 - 3.10)
Anlage 4:	Abwicklung des direkten Aufschlusses und der indirekten Aufschlüsse
Anlagengruppe 5:	Ergebnisse der felsmechanischen Laborversuche Punktlastversuche und Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit an Festgesteinsproben - (Anlage 5.1 - 5.4)
Anlagengruppe 6:	Fundamentberechnung - Sohlspannung, Setzung, Grundbruch, Gleiten u.a. - (Anlage 6.1 - 6.10)

1 Vorgang

Die Firma Krug Energie GmbH & Co. KG als Bauherr und Investor, vertreten durch Herrn Hans-Hermann Zacharias beauftragte uns am 27.05.2021 mit der Durchführung von geotechnischen Untersuchungen und der Ausarbeitung von Baugrund-/Gründungsgutachten (Geotechnischer Bericht nach DIN 4020) für die Errichtung von 8 Windenergieanlagen (WEA 2 – WEA 9) im Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg.

Grundlage der Beauftragung ist unser Kostenangebot vom 29.01.2021.

2 Allgemeines

Das Bauvorhaben sieht nach den vorliegenden Planunterlagen den Bau von insgesamt 8 Windenergieanlagen der Firma Vestas Wind Systems A/S, DK-8200 Aarhus vom Typ V162, 6,0 MW mit einer Nabenhöhe von 169 m vor. Der Hybridturm aus einem ca. 74,76 m hohen Stahlrohrturm über einem ca. 89,09 m hohen Spannbetonschaft steht auf einer kreisförmigen Fundamentplatte mit einem Durchmesser von 24,5 m. Das Fundament weist eine Höhe von 2,90 m auf und wird auf einer ca. 10 cm dicken Sauberkeitsschicht hergestellt. Im Zentrum des Fundamentes wird mit einem Durchmesser von 4,4 m eine Weichschicht mit $d = 5$ cm auf der Sauberkeitsschicht eingebaut und zusätzlich außerhalb des Sockels mit einer Breite von 2 m eine Weichschicht $d = 15$ cm in die Sauberkeitsschicht eingebaut.

Der Windpark Ohrenbach befindet sich südöstlich der Stadt Bad Berleburg im Waldgebiet zwischen den Einzelgehöften Lützelbach/Steinbach im Nordwesten, den Dörfern Arfeld im Südwesten, Schwarzenau mit dem Oberen Hüttental im Südosten und dem Hof Brücher im Nordosten. Neben den geplanten 8 Anlagen erfolgen benachbart für 4 bereits genehmigte Anlagen der Eder Energy Erdarbeiten für die Erschließung und Baufeldvorbereitung.

Das Gelände wird von den Erhebungen des Großen Prenzenberger Kopfes (653 mNN) im Nordwesten, Ohrenbachsrücken (593 mNN) im Südwesten, dem Hahnschuß (600 mNN) im Südosten, der Schlade Seite (635 mNN) im Osten und dem Nesselbergkopf (671 mNN) im Nordosten geprägt und dazwischen hat sich das Arfetal in das Gelände eingeschnitten.

Der Standort der WEA 2 mit den Mittelpunktkoordinaten im ETRS/UTM 32N-System von Re 459717 und Ho 5654401 und einer Höhe von ca. 579,0 mNHN (im Zentrum) liegt südwestlich des Großen Prenzenberger Kopf am nordwestlichen Rand des geplanten Windparks.

Das Baugrundstück befindet sich im Wald und grenzt im Norden an einen Waldwirtschaftsweg an. Für die Durchführung der Baugrunderkundung, d.h. Erreichbarkeit für ein Bohrgerät und das zugehörige Equipment wurde der Weg aufgeschottert und eine kleine Schneise vom Weg zum Zentrum der Anlage hergestellt.

Zur Bearbeitung des Baugrund-/Gründungsgutachtens und als Vorinformation zum Bauvorhaben wurden uns bisher folgende Planunterlagen zur Verfügung gestellt:

- **Prüfbericht für eine Typenprüfung „Prüfung der Standsicherheit - Hybridturm T20“**, Prüfnr.: 3108363-13-d (15 Seiten [mit Anlagen]), aufgestellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Prüfamts für Standsicherheit für die bautechnische Prüfung von Windenergieanlagen, 80686 München, am 17.02.2020
- **Prüfbericht für eine Typenprüfung „Prüfung der Standsicherheit - Flachgründung“**, Prüfnr.: 3108363-23-d, (201 Seiten [mit Anlagen]), aufgestellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Prüfamts für Standsicherheit für die bautechnische Prüfung von Windenergieanlagen, 80686 München, am 17.02.2020
- **Gutachterliche Stellungnahme für Lastannahmen zur Turmberechnung der Vestes V162-5.6 MW mit 169 m Nabenhöhe (Hybrid-Turm, Entwurfslebensdauer 20 Jahre) für Windzone WZ2GK2 (S)**“, Berichts-Nr. L-05629-A052-3 Rev. 1, (243 Seiten [mit Anlagen]), aufgestellt von DNV GL Energy Renewables Certification, Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH, 20457 Hamburg, am 05.02.2020
- **Plan „Übersichtsplan 1/2, Übersicht WEA 2 - 6 [Planung]**, M.: 1:5000, aufgestellt von Windenergie Wenger-Rosenau GmbH & Co. KG, 16816 Neuruppin, gezeichnet am 29.07.2021
- **Plan „Übersicht 8 WEA [Entwurf]**, M.: 1:10000, aufgestellt von Windenergie Wenger-Rosenau GmbH & Co. KG, 16816 Neuruppin, gezeichnet am 20.04.2021
- **Koordinatenliste der Anlagen-Mittelpunkte**, Stand: 01.06.2021
- **Liste „Geländehöhen der Anlagen-Mittelpunkte“**, übermittelt von Dipl.-Ing. Burghaus, ÖbVI, Stand: 14.10.2021, Messgenauigkeit ca. $\pm 10 - 15$ cm

3 Geotechnische Untersuchungen

3.1 Allgemeines

Die geotechnischen Untersuchungen des Baugrundes und der örtlichen Situation für die geplante Errichtung der Windenergieanlage WEA 2 im Windpark Ohrenbach wurden am 24.06.2021 mit der Durchführung von fünf schweren Rammsondierungen DPH nach DIN EN ISO 22476-2 zur Ermittlung der relativen Baugrundfestigkeiten sowie zur Abgrenzung eines vorhandenen Grenzhorizontes begonnen. Die Felduntersuchungen wurden am 29.-30.06.2021 mit dem Niederbringen einer Bohrung nach DIN EN ISO 22475-1 Tabelle 2 + 5 zur Schaffung eines *direkten* Baugrundaufschlusses und der Wiederverfüllung des Bohrloches abgeschlossen.

Die Bohrung wurde zur Schaffung eines direkten Baugrundaufschlusses mit der Gewinnung durchgehend gekernter Boden- und Felsproben und damit zur Beurteilung der Baugrundverhältnisse im Bereich der geplanten neuen Windenergieanlage abgeteuft. Die Rammsondierungen dienten zur Ermittlung geotechnischer insitu Kenngrößen nach DIN EN 1997-2, aus denen geotechnische Kennwerte für die Bemessung nach DIN EN 1997-1 abgeleitet werden, sowie zur Abgrenzung von Festigkeits- und Grenzhorizonten.

Die Festlegung der Bohr- und Sondierpunkte wurde in Anlehnung an die DIN 4020 und die örtlichen Gegebenheiten an definierten Punkten in Form eines Rasters (hier zentralsymmetrische Anordnung) ausgewählt, um eine flächenhafte Erkundung des Baugrundes im Bereich des Turmfundamentes zu erzielen.

Die geodätische Einmessung der einzelnen Aufschlusspunkte bzw. der Ansatzhöhen erfolgte auf den mit einem Pflock markierten Mittelpunkt der Anlage sowie mit einer GPS-Vermessung. Die Ansatzhöhen sind auf das Normalhöhennull (mNHN) im System des Deutschen Haupthöhennetzes (DHHN 2016) bezogen.

Die Lage der durchgeführten Untersuchungen im Bereich des Baugrundstückes wurde mit den Orten der Bohrung und Sondierungen auf dem Grundriss des Baugeländes eingemessen. Diese Einmessung wurde in einem Lageplan dargestellt und ist dem Baugrund-/ Gründungsgutachten als **Anlage 1** beigefügt. Als Grundplan diente ein Auszug aus dem Plan „Übersichtsplan 1/2, Übersicht WEA 2 - 6 [Planung] des Büros Windenergie Weniger-Rosenau GmbH & Co. KG, 16816 Neuruppin.

3.2 Direkter Aufschluss mit einer Bohrung nach DIN EN ISO 22475-1

Bohrung BK WEA 2

Die Bohrung BK WEA 2 wurde von dem von der Firma Krug Energie direkt beauftragten Bohrunternehmen Stölben GmbH, 56856 Zell/Mosel, mit Bohrverfahren nach Tabelle 2 und 5 der DIN EN ISO 22475-1 abgeteuft. Der Bohrpunkt für BK WEA 2 wurde ca. 1 m neben dem Zentrum des geplanten Fundamentes der Windenergieanlage festgelegt. Die Bohrung wurde als Rotationskernbohrung mit Einfachkernrohr im Überlagerungsbereich im Trockenbohrverfahren und im Felsbereich mit Wasserspülung mit dem Doppelkernrohr abgeteuft und wurde bei einer Bohrtiefe von 12 m planmäßig beendet. Das Spülwasser wurde aus dem Trinkwassernetz in Bad Berleburg entnommen und mit einem Wasserfass zur Bohrstelle transportiert.

Die Lage der Bohrung ist im Lageplan der *Anlage 1* dargestellt.

Bohrung BK WEA 2

Die Bohrung BK WEA 2 wurde ca. 1 m neben dem Mittelpunkt des geplanten Kreisringfundamentes der Windenergieanlage WEA 2 niedergebracht. Der Oberboden war im Bereich um das Zentrum der Anlage mit der Herstellung einer Arbeitsebene für das Bohrgerät bereits abgetragen worden.

Bohrung BK WEA 2 (Ansatzpunkt = 579,00 mNHN)

Die Bohrung BK WEA 2 ergab folgendes Bohrprofil:

0,00 – 0,50 m Schluff, kiesig, schwach steinig, steif, gelbbraun

0,50 – 3,50 m Tonstein, schiefrig, stark verwittert, schlechte bis mäßige Kornbindung, dicht, nichtkörnig, oxidierte Kluffflächen, braun

- 3,50 – 3,80 m Tonstein, schiefrig, stark verwittert, schlechte Kornbindung, dicht, nichtkörnig, schwarzgrau
- 3,80 – 4,50 m Tonstein/Grauwacke, mäßig verwittert, plattig, mäßige bis gute Kornbindung, dicht, nichtkörnig, braun-dunkelgrau
- 4,50 – 5,20 m Tonstein, schiefrig, stark verwittert, schlechte bis mäßige Kornbindung, dicht, nichtkörnig, braun
- 5,20 – 5,80 m Tonstein, schiefrig, stark bis vollständig verwittert, schlechte Kornbindung, grusig, dicht, nichtkörnig, braun
- 5,80 – 12,00 m Tonstein, schwach verwittert, bankig, schwach klüftig, gute bis sehr gute Kornbindung, dicht, nichtkörnig, teils tonige Kluffüllungen, schräg geklüftet, dunkelgrau
- Ein Grund-/Schichtenwasser wurde im Bohrloch der Bohrung BK WEA 2 im Beobachtungszeitraum nicht festgestellt.

Die Bohrung BK WEA 2 wurde planmäßig in einer Tiefe von 12,00 m unter GOF bei 567,00 mNHN beendet. Das Bohrloch wurde nach Beendigung der Bohrarbeiten mit hoch quellaktivem Tongranulat verfüllt.

Die Ergebnisse des direkten Aufschlusses (Bohrung BK WEA 2) sind in der **Anlage 2** als Bodenprofil nach DIN 4023 dargestellt.

3.3 Indirekte Aufschlüsse mit Rammsondierungen nach DIN EN ISO 22476-2

Rammsondierungen DPH

Die Lage der Sondierpunkte ist im Lageplan der **Anlage 1** dargestellt.

Schwere Rammsondierungen DPH-1 bis DPH-5

Zur Ermittlung der Baugrundfestigkeiten und zur Abgrenzung der Verwitterungshorizonte (Überlagerung) sowie des Grenzhorizontes wurden im Bereich des Baugrundstücks fünf schwere Rammsondierungen DPH nach DIN EN ISO 22476-2 durchgeführt. Die Rammsondierungen dienten zur Ermittlung geotechnischer insitu Kenngrößen nach DIN EN 1997-2, aus denen geotechnische Kennwerte für die Bemessung nach DIN EN 1997-1 abgeleitet werden, sowie zur Abgrenzung von Festigkeits- und Grenzhorizonten.

Die Rammsondierungen DPH wurden im Zentrum und in einem Radius von 12,25 m um das Zentrum der geplanten Windenergieanlage absondiert und waren mit Rammwiderständen $N_{10} \geq 50$ Schläge pro 10 cm Eindringung planmäßig zu beenden.

Die Sondierungen ergaben oberflächennah bis in eine Tiefe von 0,5 bis 0,8 m eine Zone mit geringen bis mittleren Rammwiderständen mit 2 bis 9 (Schlägen pro 10 cm Eindringung)* und nachfolgend einen Anstieg auf wechselnde höhere und hohe Sondierwiderstände ($N_{10} \geq 10^*$). Darunter wurde bei DPH-1 und DPH-2 im Tiefenbereich von 2,0 bis 2,5 m, bei DPH-3 bei 1,8 und 1,9 m sowie bei DPH-5 im Tiefenbereich von 1,5 bis 2,7 m ein leichter Rückgang auf mittlere N_{10} -Werte von 4* bis 9* gemessen. Anschließend folgte wieder ein Anstieg auf höhere Schlagzahlen und die Sondierungen DPH-1 bis DPH-5 wurden in einer Tiefe von 1,9 bis 4,4 m nach einem steilen treppenförmigen Anstieg der Sondierwiderstände am Grenzhorizont, ausgewiesen mit $N_{10} \geq 50$ beendet.

Die Sondierungen DPH-1 bis DPH-5 wurden bei ca. 573,0 bis 577,5 mNHN mit Erreichen des Grenzhorizontes beendet.

In der Zusammenfassung lassen sich der direkte und die indirekten Aufschlüsse wie folgt bewerten:

In Verbindung mit dem direkten Aufschluss sind die -nach dem erfolgten Oberbodenabtrag-gemessenen geringen bis mittleren Rammwiderstände auf (stark) kiesige, schwach steinige

Schluffe in steifer Konsistenz zurückzuführen. Der Anstieg der Sondierwiderstände auf höhere N_{10} -Werte ist mit dem Erreichen des Verwitterungshorizontes der Dachschiefer-Folge in Form von stark verwitterten Tonsteinen, schiefrig, mit schlechter und schlechter bis mäßiger Kornbindung und teils zwischengelagerten Grauwackeplatten verbunden. Die Zone mit mittleren Sondierwiderständen resultiert aus stark bis vollständig verwitterten Tonsteinen, grusig, mit schlechter Kornbindung. Den Grenzhorizont der Sondierungen bilden die darunter erkundeten schwach verwitterten Tonsteine, bankig, schwach klüftig, mit guter bis sehr guter Kornbindung und teils tonigen Kluffüllungen, schräg geklüftet.

In der nachfolgenden Tabelle werden die Koten für die Rammwiderstandshorizonte mit $N_{10} \geq 10$ und $N_{10} \geq 50$ für den Bereich des geplanten Fundamentes dargestellt.

Tabelle 3.3-1: Höhenkoten Rammwiderstandshorizont $N_{10} \geq 10$ und $N_{10} \geq 50$ [Schläge/10 cm]

DPH	Höhenkote Sondieransatzpunkt	Höhenkote (Tiefe u. ASP) RW-Horizont $N_{10} \geq 10$ [Schläge/10 cm]	Höhenkote (Tiefe u. ASP) RW-Horizont $N_{10} \geq 50$ [Schläge/10 cm]
Nr.	mNHN	mNHN (m)	mNHN (m)
DPH-1	579,06	576,46 (2,6)	576,26 (2,8)
DPH-2	578,76	576,16 (2,6)	574,66 (4,1)
DPH-3	579,84	577,84 (2,0)	576,04 (3,8)
DPH-4	579,43	578,73 (0,7)	577,53 (1,9)
DPH-5	577,40	574,60 (2,8)	573,00 (4,4)

Die Ergebnisse der schweren Rammsondierungen sind in der **Anlagengruppe 3** (Anlagen 3.1 - 3.10) in Form von Sondierprotokollen und Rammdiagrammen nach DIN EN ISO 22476-2 zusammengestellt.

3.4 Laboruntersuchungen

Die bei der Kernbohrung BK WEA 2 gewonnenen Bohrkern aus der Dachschieferfolge wurden zur Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit an das Labor FeBoLab GmbH, 91747 Westheim übergeben.

3.4.1 Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit q_u nach DIN 18141-1

Die einaxiale Druckfestigkeit q_u wurde nach DIN 18141-1 bestimmt.

Die Ergebnisse sind nachfolgend und tabellarisch in der **Anlage 5.4** dargestellt.

Tabelle 3.4-1: Einaxiale Druckfestigkeit q_u

Bohrung (Nr.)	Probe Nr.	Entnahmetiefe [m]	Feuchtdichte [t/m ³]	Einaxiale Druckfestigkeit [MN/m ²]
BK WEA 2	BK 2/10	9,30 - 9,50	2.494	4,25

Der untersuchte Tonstein weist eine Feuchtdichte von 2,494 [t/m³] und eine einaxiale Druckfestigkeit von 4,25 [MN/m²] auf. Die Stauchung beim Bruch betrug 0,27 %. Der belastungsmodul B wurde mit 2170 MN/m² ermittelt.

3.4.2 Ermittlung der einaxialen Druckfestigkeit q_u mittels Punktlastversuchen gemäß den Empfehlungen Nr. 5 der DGGT

Die Ermittlung der einaxialen Druckfestigkeit q_u wurde über Korrelationsbeziehungen aus Punktlastversuchen gemäß den Empfehlungen Nr. 5 der DGGT durchgeführt. Die Ergebnisse der Punktlastversuche sind mit der Angabe der Probenabmessungen, der Bruchlast und der mit Korrelationsbeziehungen errechneten einaxialen Druckfestigkeit q_u der Felsproben tabellarisch dargestellt (siehe auch Versuchsprotokoll in der **Anlage 5.1 - 5.3**).

Tabelle 3.4-2: Punktlastindex $I_{s(50)}$

Aufschluss Bohrung (Nr.)	Entnahmetiefe unter Ansatzpunkt [m]	Punktlastindex $I_{s(50)}$ [MN/m²]
BK WEA 2	8,00 - 8,10	1,925 (s)
BK WEA 2	8,10 - 8,30	2,125 (s)
BK WEA 2	8,30 - 8,45	2,142 (s)
BK WEA 2	8,45 - 8,55	2,716 (s)
BK WEA 2	8,45 - 8,55	0,974 (p)
BK WEA 2	8,55 - 8,60	2,443 (s)
BK WEA 2	8,60 - 8,80	1,862 (s)
BK WEA 2	8,80 - 8,90	3,699 (s)
BK WEA 2	9,00 - 9,10	3,235 (s)
BK WEA 2	9,10 - 9,20	2,083 (s)
BK WEA 2	9,50 - 9,60	3,227 (s)
BK WEA 2	9,50 - 9,60	0,800 (p)
BK WEA 2	9,70 - 9,80	2,237 (s)
BK WEA 2	9,80 - 9,90	1,690 (s)

Die untersuchten Tonsteine weisen im Punktlastversuch unter Ansatz des Korrekturdiagramms der BAW (Korrekturfaktor = 20) eine einaxiale Druckfestigkeit von 34 bis 74 [MN/m²] (senkrechte Belastungsrichtung) bzw. 16 bis 19 [MN/m²] (parallele Belastungsrichtung) auf.

Das Ergebnis der Laboruntersuchungen ist in Form von Versuchsprotokollen in der **Anlagegruppe 5** (Anlage 5.1 - 5.5) diesem Baugrund-/Gründungsgutachten beigelegt.

4 Geologie und Morphologie

4.1 Allgemeine Geologische Situation

Die Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen, Blatt Nr. 4916 Bad Berleburg weist für das Baugelände den Übergang vom Unteren Quarzit (nördl. Teil) zur Dachschieferfolge (südl. Teil) der Eifel-Stufe aus der Formation Mitteldevon aus.

Die durchgeführten geotechnischen Untersuchungen stehen in Einklang mit der geologischen Karte und zeigen, dass am Standort der WEA 2 die Dachschieferfolge ansteht. Die Dachschieferfolge besteht aus Tonstein, geschiefert, dunkelgrau bis grauschwarz, mit Einschaltungen von Tuffen, Kalklinsen und örtlich detritischen Kalksteinen und bildet in diesem Bereich das Liegende.

4.2 Erdbebenzone

Das Baugrundstück befindet sich in der Erdbebenzone 0 nach DIN EN 1998-1/NA. Für die Erdbebenzone 0 ist der Grad der Erdbebengefährdung als so gering einzuschätzen, dass ein Nachweis der Standsicherheit für den Lastfall Erdbeben nicht erforderlich ist.

4.3 Morphologie

Der Windpark Ohrenbach befindet sich südöstlich der Stadt Bad Berleburg im Waldgebiet zwischen den Einzelgehöften Lützelbach/Steinbach im Nordwesten, den Dörfern Arfeld im Südwesten, Schwarzenau mit dem Oberen Hüttental im Südosten und dem Hof Brücher im Nordosten. Neben den geplanten 8 Anlagen erfolgen benachbart für 4 bereits genehmigte Anlagen der Eder Energy Erdarbeiten für die Erschließung und Baufeldvorbereitung.

Das Gelände wird von den Erhebungen des Großen Prenzenberger Kopfes (653 mNN) im Nordwesten, Ohrenbachsrücken (593 mNN) im Südwesten, dem Hahnschuß (600 mNN) im Südosten, der Schlade Seite (635 mNN) im Osten und dem Nesselbergskopf (671 mNN) im Nordosten geprägt und dazwischen hat sich das Arfetal in das Gelände eingeschnitten.

Der Standort der WEA 2 liegt etwa 560 m südwestlich des Großen Prenzenberger Kopfes in einer nach Westen abfallenden Geländemulde am nördlichen Rand des geplanten Windparks. Die Hangneigung beträgt am Anlagenstandort ca. 6°.

5 Baugrundbeurteilung

Die geotechnischen Untersuchungen zeigen, dass unter dem Wald-/Oberboden bis in eine Tiefe von ca. 1,4 m (stark) kiesige, schwach steinige Schluffe in steifer Konsistenz anstehen. Darunter folgen stark verwitterte, schiefrige Tonsteine, mit schlechter bis mäßiger Kornbindung und teils oxidierten Klufflächen, die im Tiefenbereich von 3,8 bis 4,5 m von mäßig verwitterten Tonsteine mit Grauwacke, plattig, mit mäßiger bis guter Kornbindung unterbrochen werden. Nachfolgend wurde zwischen 5,2 und 5,8 m ein stark bis vollständig verwitterter Tonstein, schiefrig, grusig, mit schlechter Kornbindung erbohrt. Anschließend stehen schwach verwitterte Tonsteine, bankig, schwach klüftig, mit guter bis sehr guter Kornbindung, teils tonigen Kluffüllung und schräg verlaufender Klüftung an.

Die Dachschieferfolge stellt in den Zonen mit höheren Sondierwiderständen einen ausreichend bis gut tragfähigen Baugrund für die Gründung der Windkraftanlage und am bzw. unterhalb dem Grenzhorizont der Sondierungen einen gut tragfähigen Baugrund für die Gründung der Windkraftanlage dar. Die Tonsteine sind oberflächennah unterschiedlich stark verwittert, so dass der Grenzhorizont der Sondierungen in variierenden Tiefen von 1,9 bis 4,4 m unter Geländeoberfläche erkundet wurde.

Ein Grund-/Schichtenwasser wurde im Bohrloch der Bohrung BK WEA 2 -im Zeitraum der Grundwasserbeobachtung- nicht festgestellt.

6 Gründungsempfehlungen

6.1 Gründungsvariante

Gründung der Windkraftanlage mit einem Kreisfundament auf dem Tonsteinhorizont der Dachschieferfolge

Allgemeines

Das Gelände im Bereich der geplanten Windenergieanlage WEA 2 fällt nach Nordwesten von ca. 579,8 mNHN auf 577,4 mNHN um ca. 2,4 m ab. Die Geländehöhe im Zentrum der Anlage beträgt ca. 579,0 mNHN.

Für die Gründung der Windenergieanlage wird auf der Grundlage der Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen eine Gründungskote (UK Sauberkeitsschicht) bei ca. 576,5 mNHN empfohlen. Diese Kote liegt ca. 0,9 bis 3,3 m unter der derzeitigen Geländeoberfläche.

Die empfohlene Gründungskote liegt nach den Ergebnissen der geotechnischen Untersuchungen vorwiegend in stark verwitterten Tonsteinen, schiefrig, mit schlechter bis mäßiger Kornbindung und bei DPH-2 und DPH-5 im Bereich eines vollständig verwitterten Tonsteins, der in den Sondierdiagrammen mit mittleren Schlagzahlen ausgewiesen ist.

Ein Grund-/Schichtenwasser wurde bei der Bohrung BK WEA 2 im Beobachtungszeitraum nicht festgestellt. Zur Wasserhaltung im Bauzustand und Sicherung gegen Aufschwimmen im Endzustand wird in Verbindung mit der Gefällesituation der Einbau einer drucklosen, wartungsfreien Drainage empfohlen, siehe nachfolgende Empfehlungen.

Im Bereich von DPH-2 und DPH-5 wird bei der empfohlenen Gründungskote noch ein Bodenaustausch zum Ausräumen der geringer tragfähigen Zonen bis zum Erreichen der stark verwitterten, schiefrigen Tonsteine erforderlich, um eine annähernd setzungsfreie, insbesondere aber verkantungs-/verkipfungsfreie Auflagerung des hohen und schlanken Bauteiles sicherzustellen. Die Austauschmächtigkeit beträgt voraussichtlich 1,5 m (DPH-2) bis 2,1 m (DPH-5).

Nach dem vorliegenden Prüfbericht für eine Typenprüfung „Prüfung der Standsicherheit - Flachgründung“ zur geplanten Windenergieanlage vom Typ Vestas V162, 6,0 MW mit einer Nabenhöhe von 169 m kann die Gründung als Flachgründung mit einem Kreisfundament mit einem Durchmesser D_A von 24,5 m erfolgen, wobei der höchste, für den Auftrieb maßgebende Wasserstand bei 0,24 m über Fundamentunterkante liegen darf.

Im genannten Prüfbericht werden für den Baugrund folgende Anforderungen gestellt:

3.3 Baugrund

Die Mindestwerte der dynamischen und statischen Drehfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Fundament betragen gemäß Dokument [4] $k_{\varphi,dyn} \geq 95 \text{ GNm/rad}$ und $k_{\varphi,stat} \geq 40 \text{ GNm/rad}$.

Der höchste für den Auftrieb maßgebende Wasserstand liegt bei 0,24 m über Fundamentunterkante.

...

Auflagen

Baugrund

1. *Die vorhandenen Bodenkennwerte, die Zuordnung des Bodens zu Expositionsklassen nach DIN EN 1992-1-1/3/3 und der höchste für den Auftrieb maßgebende Wasserstand sind für den jeweiligen Standort zu ermitteln und im geotechnischen Untersuchungsbericht zu beschreiben.*
2. *Grundbautechnische Berechnungen sind im Rahmen des geotechnischen Entwurfsberichts durchzuführen. Die Schnittgrößen an Fundamentunterkante sind in [2] angegeben.*
3. *Die Mindestwerte der dynamischen und statischen Drehfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Fundament gemäß Abschnitt 3.3 müssen für den jeweiligen Standort nachgewiesen werden. Dabei kann das Fundament in guter Näherung als Starrkörper angenommen werden.*
4. *Die im geotechnischen Entwurfsbericht angenommenen Baugrundverhältnisse sind beim Baugrubenaushub vom Bodengutachter zu überprüfen und zu bestätigen. Vor Aufbringen der Sauberkeitsschicht ist die Tragfähigkeit der Baugrubensohle durch den Bodengutachter zu bestätigen.*

Aus den geotechnischen Untersuchungen und den v.g. technischen Anforderungen ergeben sich die nachfolgenden Empfehlungen:

Herstellung des Baugrubenaushubs und des Bodenaustausches

Die empfohlene Gründungskote mit 576,5 mNHN liegt -bis auf den Bereich DPH-2 und DPH-5- unterhalb bzw. am Übergang zum Grenzhorizont der Sondierungen mit $DPH-N_{10} \geq 50^*$ und damit im ausreichend bis gut tragfähigen Tonsteinhorizont.

Zur Erreichung der Gründungssohle ist nach dem Abtrag des Ober-/Waldbodens zunächst die (stark) kiesige Schluffschicht in steifer Konsistenz auszuräumen und zu beseitigen.

Anschließend sind die stark verwitterten, schiefrigen Tonsteine bis zur Gründungssohle auszuheben bzw. auszubrechen.

Der Baugrubenaushub sollte mit einem Kettenbagger, der mit einem Baggerlöffel mit Felszähnen ausgestattet ist, erfolgen, um die erkundeten Tonsteine lösen zu können. Der Endaushub, d.h. das Abziehen der Baugrubensohle sollte zur Vermeidung von tiefer reichenden Auflockerungen mit einem Baggerlöffel ohne Zähne oder einer Fräse erfolgen. Gegebenfalls ist die Gründungssohle von Hand nachzuarbeiten.

Anschließend ist im Bereich von DPH-2 und DPH-5 ein Bodenaustausch zum Ausräumen der geringer tragfähigen Zonen bis zum Erreichen der stark verwitterten, schiefrigen Tonsteine in einer Mächtigkeit von ca. 1,5 bis 2,1 m erforderlich. Dieser Bodenaustausch ist zur Erzielung einer Lastausbreitung mit einem Überstand von mindestens der Höhe des Tragschichtaufbaues/Bodenaustausches über die Außenkante des Kreisfundamentes hinauszuführen, was bei DPH-2 und DPH-5 eine Baugrubenverbreiterung der kreisrunden Baugrube erforderlich macht.

Danach sind die unterhalb der planmäßigen Gründungssohle anstehenden stark bis vollständig verwitterten Tonsteine bis in eine Tiefe von mindestens 1,5 m (DPH-2) bis maximal 2,1 m (DPH-5) auszuheben und

Variante a) durch gering verwittertes Tonsteinmaterial aus den benachbarten Aushubbereichen zu ersetzen mit einem qualifizierten, lagenweisen Einbau $d \leq 25$ cm mit den Anforderungen für $E_{v2} \geq 120$ MN/m², $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,0$, lagenweise nachgewiesen
oder

Variante b) das ausgehobene Material durch Zugabe von Zement qualifiziert zu verbessern und danach lagenweise wieder bis zur UK Sauberkeitsschicht einzubauen und qualifiziert zu verdichten.

Zur qualifizierten Bodenverbesserung bzw. Verbesserung von granularem Felsmaterial wird ein Bindemittelgehalt von ca. 3 Gew.-% empfohlen, woraus eine Menge von ca. 60 kg je m³ verbesserten Boden-/Felsbruchmaterial resultiert. Das Bindemittel kann mit einer Anbaufräse, Schaufelseparator oder anderem geeigneten Gerät eingearbeitet und das Aushubmaterial mit dem Bindemittel vermischt werden. Beim Einfräsen des Bindemittels kann ggf. eine dosierte Wasserzugabe für die Hydratation des Zementanteils erforderlich werden. Die Wassermenge ist bei der Bauausführung mit einer Beurteilung des Bindemittel-Boden-Fels-Gemisches örtlich festzulegen. Anschließend wird das Boden-Bindemittel-Gemisch mit einem geeigneten Verdichtungsgerät (z.B. Walzenzug, optimal mit Stampffußbandage oder Bagger-Anbauverdichtungsplatte) in Schüttlagen ≤ 25 cm lagenweise eingebaut und verdichtet.

Ergänzend wird auf die Empfehlungen im Merkblatt über Bodenverfestigungen und Bodenverbesserungen mit Bindemitteln der FGSV, Ausgabe 2004 hingewiesen.

Die qualifizierte Boden- bzw. Felsverbesserung ist ohne Arbeitsunterbrechungen in einem Zuge herzustellen, so dass ein Einbau im „frischen“ Zustand erfolgt und der Abbindeprozess nicht unnötig lange durch die Verdichtungsarbeiten beeinflusst wird.

Ein Befahren des Planums nach der qualifizierten Bodenverbesserung mit Radfahrzeugen ist zu vermeiden.

Die Festigkeit des verbesserten Materials ist mit einaxialen Druckversuchen zu prüfen und die Druckfestigkeit mit $q_u \geq 5 \text{ MN/m}^2$ festzulegen.

Die Festlegungen zu den Varianten a) oder b) können im Rahmen des Baugrubenausbaus bzw. der Sohlabnahme getroffen werden.

Der schiefrige Tonsteinausbruch ist auf einer Miete neben dem Anlagenstandort zwischenzulagern, durch eine Folienabdeckung vor Witterungseinflüssen zu schützen und nach Fertigstellung des Fundamentes für die Hinterfüllung und Überschüttung wieder lagenweise einzubauen, siehe auch Empfehlungen zur Bauteilhinterfüllung und -überschüttung.

Zum Schutz der Gründungssohle vor Witterungseinflüssen ist die Sauberkeitsschicht unmittelbar nach dem Aushub bzw. dem teilweisen Bodenaustausch und einer Abnahme durch den geotechnischen Sachverständigen einzubauen.

Nach dem das Fundament nicht in das ständige Grundwasser eintaucht, tritt kein Betonangriff aus dem Grundwasser auf das Fundament auf und der Fundamentbeton kann für die Expositionsklasse XA 0 ausgelegt werden.

**Bemessungswert des Sohlwiderstandes nach DIN EN 1997-1 (EC 7-1)/
DIN 1054:2010-12**

Für die Gründungssohle auf den stark verwitterten, schiefrigen Tonsteinen der Dachschieferfolge kann der Sohlwiderstand wie nachfolgend angegeben angesetzt werden:

Kreisfundament

$$\sigma_{R,d} \leq 550^* \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

mit

$$d \geq 1,5 \text{ [m]} \quad \text{Einbindetiefe unter GOK; DPH-N}_{10} \geq 20^*$$

- Gründungskote: Tonstein, stark verwittert

sowie v.g. Qualitätsanforderung für die Austauschbereiche

Der angegebene Sohlwiderstand stellt bei der Gründung den maximalen Sohlwiderstand dar.

***) Anmerkung:**

Dies entspricht einer zulässigen Sohlspannung $\sigma_{k,vorh}$ von ca. 393 [kN/m²] nach DIN 1054:2005-01.

Wichtiger Hinweis:

Der Bemessungswert des Sohlwiderstandes stellt keine zulässige Sohlspannung nach DIN 1054:2005 oder früheren Ausgaben der DIN 1054 dar !

Nachweisverfahren nach DIN 1054:2010-12 in Verbindung mit EC 7

Es ist nachzuweisen, dass die Bemessungswerte $\sigma_{E,d}$ der Sohldruckbeanspruchung höchstens so groß sind wie die Bemessungswerte $\sigma_{R,d}$ des Sohlwiderstands: $\sigma_{E,d} \leq \sigma_{R,d}$

Der Bemessungswert der Sohldruckbeanspruchung ergibt sich aus der ungünstigsten Einwirkungskombination. Hierfür kommen folgende Wege in Frage:

- Sofern die Schnittgrößen mit charakteristischen bzw. repräsentativen Werten der Einwirkungen ermittelt wurden, ergibt sich $\sigma_{E,d}$ aus den charakteristischen bzw. repräsentativen Vertikalbeanspruchungen $N_{G,k}$ und $N_{Q,k}$ bzw. $N_{Q,rep}$, multipliziert mit den Teilsicherheitsbeiwerten γ_G und γ_Q für Grenzzustände GEO und das Nachweisverfahren 2 (GEO-2).
- Sofern die Schnittgrößen mit Bemessungswerten der Einwirkungen ermittelt wurden, ergibt sich der Bemessungswert der Sohldruckbeanspruchung aus dem Bemessungswert der Vertikalbeanspruchung $V_d = N_d$.

Eine Berechnung der Setzungen des Fundamentes unter Ansatz der charakteristischen statischen Lasten ergab maximale Setzungen bis 0,7 cm, siehe Fundamentberechnung in der **Anlagengruppe 6**.

Ein Nachweis zur Geländebruchsicherheit war infolge der Lage der Gründungsebene im talseitigen Bereich mit dem Bodenaustausch auf dem Felshorizont nicht zu führen.

Die unterhalb der Gründungssohle erkundeten Tonsteine unterliegen nicht einer Konsolidation oder Kriechverformungen, wie sie bei bindigen Böden auftreten. Damit sind für die Baugrundverhältnisse am geplanten Anlagenstandort keine Berechnungen des Konsolidations- und Kriechverhaltens über die zu betrachtende Standzeit von 20 Jahren erforderlich.

Zur Qualitätssicherung, d.h. zur Kontrolle des Bemessungsansatzes des Sohlwiderstandes sollten die Gründungskoten vom geotechnischen Sachverständigen in Form einer Prüfabnahme abgenommen werden.

Herstellung einer drucklosen, wartungsfreien Dränage

Aufgrund der Gefällesituation ist am Standort der WEA 2 die Herstellung einer drucklosen, wartungsfreien Dränage möglich.

Mit dem Endaushub der Baugrube zur Herstellung des Turmfundamentes ist am Rand ein flacher Graben für die Ableitung der Dränage herzustellen, so dass im Bauzustand eine Ableitung des der Baugrube zulaufenden Niederschlags-/Sickerwassers im freien Gefälle nach Nordwesten (Tiefpunkt bei DPH-5) möglich ist.

Nach der Herstellung des Turmfundamentes ist im Arbeitsraum in Höhe der Sauberkeitsschicht eine Dränage ringförmig um das Fundament mit einem Gefälle von mindestens 1 ‰ herzustellen. Die Dränage ist auf einer Sohlgerinne aus Beton zu verlegen, das ein Gefälle in radialer Richtung nach außen aufweist, so dass kein Dränwasser dem Fundament zufließen kann. Die Fläche aus dem Überstand der Baugrube bei DPH-4 und DPH-5 ist mit einem

Gefälle (Sohlfläche aus Beton) zur Dränage hin auszubilden. Die Dränage ist aus einem Dränrohr DN 150 mit einer Ummantelung aus Filtersand 0,2/2 mm und einer filterstabilen Abgrenzung aus einem Geotextil (Masse $\geq 250 \text{ g/m}^2$) zum anstehenden Boden und der über der Dränage einzubauenden Bauwerkshinterfüllung herzustellen. Die Ableitung des Dränwassers erfolgt über 2 Auslauf-/ Vollrohre zum Geländetiefpunkt nach Nordwesten. Am Auslaufpunkt der Dränage sollte eine Sickerrigole (Schottergraben) mit umlaufendem Geotextil, einem Gefälle von 5 % und einer Verfüllung z.B. mit Grobschotter 20/100 mm hergestellt werden, um einen konzentrierten Auslauf des Dränwassers und mit dem hier einzuleitenden Niederschlagswasser vom Turmschaft eine mögliche Vernässung im Waldbereich zu vermeiden.

Dynamische Drehfedersteifigkeit $k_{\varphi,dyn}$

Die dynamische Drehfedersteifigkeit wird für starre Kreisfundamente mit nachfolgender Gleichung berechnet:

$$k_{\varphi,dyn} = \frac{8 \cdot G \cdot r^3}{3 \cdot (1 - \nu)}$$

mit

r Radius des Kreisfundamentes = 12,25 [m]

G Dyn. Schubmodul

ν Poissonzahl, $\nu = 0,25$ (für Tonstein)

Dyn. Schubmodul:

$$G = \frac{E_{dyn}}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

mit $E_{dyn}/E_{stat} \approx 6$ (nach Placzek)

$$E_{stat} = \frac{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2}{1 - \nu} \cdot E_{s,stat}$$

Tonsteinhorizont unter dem Fundament (ab 624,1 mNHN)

$E_{s,stat} = 80$ [MN/m²] (unterster Wert für Tonsteinhorizont),
siehe Homogenbereich X2 - Kapitel 6.4

$$\rightarrow E_{stat} = 0,833 \cdot 80$$
 [MN/m²] = 66,6 [MN/m²]

$$\rightarrow E_{dyn} = 400$$
 [MN/m²]

$$\rightarrow G_{dyn} = 160$$
 [MN/m²] = 0,16 [GN/m²]

$$k_{\varphi,dyn} = \frac{8 \cdot 0,160 \cdot 12,25^3}{3 \cdot (1 - 0,25)} = 1.045,767$$
 [GNm/rad] > 95 [GNm/rad] = min. $k_{\varphi,dyn}$

Die in den Herstellerangaben gestellte Anforderung mit einer Mindestdrehfedersteifigkeit $k_{\varphi, \text{dyn}}$ von 95 [GNm/rad] wird für den erkundeten Baugrund mit einem Wert von 1.045 [GNm/rad] überschritten. Die Anforderungen werden mit einer hohen Sicherheit erfüllt.

Die Anforderung an die statische Mindestdrehfedersteifigkeit wird damit auch sicher erfüllt.

6.2 Baugrubensicherung, Wasserhaltung und Bauteilhinterfüllung

Sicherung der Baugrube

Aufgrund der Platzverhältnisse kann die Baugrube für die Herstellung der Fundamentplatte mit einer frei geböschten Baugrube erfolgen. Die vorgenannten Bereiche können unter folgenden angegebenen Böschungswinkeln β_{zul} frei geböscht werden:

Schluff, kiesig, schwach steinig, steif	$\beta_{\text{zul}} \leq 45$ [°] Standzeit temporär
Tonstein, stark verwittert, schiefrig, schlechte - mäßige Kornbindung	$\beta_{\text{zul}} \leq 70$ [°] Standzeit temporär

Die angegebene Böschungsneigung gilt für unbelastete Böschungen.

Wasserhaltung

Die geotechnischen Untersuchungen ergaben kein Grund-/Schichtenwasser.

Zur Wasserhaltung im Bauzustand wird empfohlen, dass in Verbindung mit dem Aushub der Baugrube und der Herstellung einer drucklosen Dränage zunächst ein flacher offener Graben ausgehoben wird, über den eine Ableitung des der Baugrube zulaufenden Wassers im freien Gefälle zum tieferen Gelände (nach Nordwesten) erfolgt. In diesen Graben ist nach Fertigstellung des Turmfundamentes die Ableitung des Drainwassers und einer Sickerrigole am Rohrauslauf herzustellen, siehe Ausführungen auf Seite 20.

Hinterfüllung und Überschüttung des Fundamentes

Die Arbeitsräume zur Herstellung des Fundamentes sind nach der Fertigstellung wieder zu verfüllen und die Platte im Randbereich bis zur derzeitigen mittleren Geländehöhe mit einem talseitigen Gefälle zu überschütten.

Für die Hinterfüllung und Überschüttung sollte das beim Baugrubenaushub ab einer Baugrubentiefe von ca. 0,5 m unter GOK gewonnene schiefrige Tonsteinbruchmaterial verwendet werden. Die Wiederverwendung des Aushubmaterials setzt voraus, dass dieses fachgerecht auf einer Miete zwischengelagert und mit einer Folie zum Schutz vor Witterungseinflüssen abgedeckt wird.

Die Verdichtung der Hinterfüllung und Überschüttung des Fundamentes sollte mit Hilfe von Plattendruckversuchen nach DIN 18134 oder alternativ dynamischen Plattendruckversuchen nach TP BF-StB Teil B 8.3 als Qualitätssicherung Erdbau kontrolliert werden.

Der Verdichtungsgrad D_{Pr} sollte ≥ 100 [%] der einfachen Proctordichte betragen.

Die Verdichtungsanforderungen gelten mit:

$$E_{v2} \geq 45 \text{ [MN/m}^2\text{]}$$

$$\text{bei einem Verhältniswert } E_{v2}/E_{v1} \leq 2,3$$

Die beim Aushub oberflächennah gewonnene kiesige Schluffschicht ist ohne Verbesserungsmaßnahmen für eine qualifizierte Bauwerkshinterfüllung nicht geeignet und sollte daher -bis auf die Masse zur Geländeabdeckung- beseitigt werden.

Mit dem Wiedereinbau des geologisch originären Tonsteinmaterials wird der Zulauf von Oberflächenwasser in die „geologische Störungszone“, die mit dem Baugrubenaushub entstanden ist, reduziert und es werden die Dränwassermengen deutlich verringert.

6.3 Bodenkundliche Bewertung

Nach dem Ergebnis einer bodenkundlichen Bewertung aus dem Jahre 2016, siehe hierzu unser Gutachten zur Abfallwirtschaftlichen und Bodenkundlichen Bewertung zur UVP vom 30.06.2016, steht an den Anlagenstandorten unter einer dünnen Humus-/ Waldbodenüberdeckung Braunerde, z.T. Ranker-Braunerde oder Podsol-Braunerde an, wobei die Mächtigkeit aufgrund des vorwiegend hoch anstehenden Festgesteins (Gebirge) gering ist.

Nach der Bodenkarte NRW ist am Anlagenstandort WEA2 die Bodeneinheit L4813_B33e als Braunerde ohne Grundwasser und ohne Staunässe ausgewiesen.

Die unter der Humus-/Waldbodenaufgabe erkundete Schluffschicht mit kiesigen, schwach steinigen Nebenanteilen in steifer Konsistenz weist unter Berücksichtigung der geringen Schichtmächtigkeit von 0,5 m eine geringe Verdichtungsempfindlichkeit sowie geringe Erosionsempfindlichkeit auf.

Zusammenfassend ergibt sich damit die Bewertung, dass am Anlagenstandort der WEA 2 bei der geotechnischen Erkundung keine schutzwürdigen Böden festgestellt wurden.

Altlasten:

Hinweise auf Altlasten wurden bei den geotechnischen Untersuchungen nicht festgestellt.

Ableitung von Niederschlagswasser:

Die Ableitung von Niederschlagswasser während der Bauzeit -aus den Baugrubenbereichen- erfolgt mit der Anlage von Entwässerungsmulden/-gräben und einer großflächigen Versickerung -mit Biotopcharakter- in den angrenzenden Waldflächen.

6.4 Homogenbereiche - Boden- und Felskenngrößen

(Charakteristische Werte)

Zur Bemessung der Bauteile -dem geotechnischen Design- sowie zum Lösen, Fördern, Laden, Verdichten und Wiedereinbauen werden die Böden und der Fels in die nachfolgenden Homogenbereiche unterteilt.

Homogenbereich B1

Schluff, kiesig, schwach steinig, steif

Korngrößenverteilung	[DIN 18123]	Kornkennziffern 1/2 - 6/4 - 1/0 - 2/3 - 0/1
m_x Massenanteil an Steinen ($D > 63$ mm):	[DIN EN ISO 14688-1]	< 10 %
m_B Blöcken ($D > 200$ mm):		0 %
Dichte ρ :	[DIN EN ISO 17892-2/ DIN 18125-2]	1,90 t/m ³
Feuchtwichte γ :		19,0 kN/m ³
Wichte unter Auftrieb γ' :		9,5 kN/m ³
Kohäsion c'_k :	[DIN 18137-T1 bis T3]	5,0 kPa
Undrainede Scherfestigkeit c_u :	[DIN 18136/DIN 18137-2]	75 – 150 kPa
drainede Scherfestigkeit φ'_k :	[DIN 18136/DIN 18137-2]	25,0 °
Reibungswinkel φ'_k		
Steifemodul $E_{s1,k}$:	[DIN 18135]	30 - 50 MN/m ²
Sensitivität:	[DIN 4094-4]	1-2 (1)
Wassergehalt:	[DIN EN ISO 17892-1]	20 – 30 %
Konsistenzgrenzen:	[DIN 18122-1]	steif
Konsistenzzahl:	[DIN 18122-1]	0,75 - 1,0
Plastizität:	[DIN 18122-1]	leicht- bis mittelplastisch
Lagerungsdichte (bezogene Lagerungsdichte):	[DIN EN ISO 14688-2/ DIN 18126]	n.d.
Organischer Anteil:	[DIN 18128]	< 5 %
Bodengruppe:	[DIN 18196]	UL-UM
Frostempfindlichkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	F3
Verdichtbarkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	V3 (weniger gut/schlecht verdichtbar) +)
Ortsübliche Bezeichnung:		Hangschutt

+) Wichtiger Hinweis:

Die Angaben zu den Verdichtbarkeitsklassen setzen optimale erdbauliche Bedingungen (Lösen, Laden, Witterungsschutz, Zwischenlagerung u.a.) voraus.

Für einen Wiedereinbau in Verbindung mit einer Bodenverbesserung mit Bindemittelzugabe ist eine Eignungsprüfung nach TP BF-StB Teil B 11.1 oder das verwendete Bindemittel und der Bindemittelgehalt aufgrund von Erfahrungswerten festzulegen.

Homogenbereich X1

Tonstein, teils mit Grauwackeplatten, stark/mäßig verwittert, schiefrig/plattig, schlechte - mäßige, teils mäßige - gute Kornbindung

Benennung	[DIN EN ISO 14689-1]	Tonstein, mit Grauwackeplatten
Dichte ρ : Feuchtwichte γ : Wichte unter Auftrieb γ' :	[DIN EN ISO 17892-2/DIN 18125-2]	2,30 t/m ³ 23,0 kN/m ³ 13,0 kN/m ³
Verwitterung	[DIN EN ISO 14689-1]	stark/mäßig verwittert, schlechte - mäßige Kornbindung
Veränderlichkeit	[DIN EN ISO 14689-1]	wasserempfindlich, mittlere/geringe Quellfähigkeit
Druckfestigkeit q_u	[DIN 18141/DGGT Empfehlung Nr. 1]	1 - 20 N/mm ²
Abrasivität CAI	[NF P94-430-1]	0 – 1,5
Trennflächenrichtung α, β	[DIN EN ISO 14689-1]	unregelmäßig (360 °)
Fallrichtung α	[DIN EN ISO 14689-1]	0 - 75 ° (gefaltet)
Gesteinskörperform	[DIN EN ISO 14689-1]	schiefrig / dünnplattig geschichtet
Trennflächenabstand	[DIN EN ISO 14689-1]	< 1,0 m
Öffnungsweite der Trennflächen	[DIN EN ISO 14689-1]	0 – 15 mm
Kluffüllung:	[DIN EN ISO 14689-1]	keine / tonig
Kohäsion c'_k :	[DIN 18137-T1 bis T3]	30,0 kPa
Undrainede Scherfestigkeit c_u :	[DIN 4094-4/DIN 18136/DIN 18137-2]	-
drainede Scherfestigkeit φ'_k : Reibungswinkel φ'_k	[DIN 4094-4/DIN 18136/DIN 18137-2]	25,0 °
Steifemodul $E_{s1,k}$:	[DIN 18135]	100 MN/m ²
Frostempfindlichkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	F2 - F3
Verdichtbarkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	V2 (weniger gut – gut verdichtbar *)
Ortsübliche Bezeichnung:		Dachschieferfolge 1

Homogenbereich X2

Tonstein, stark-vollständig verwittert, schiefrig, schlechte Kornbindung, grusig

Benennung	[DIN EN ISO 14689-1]	Tonstein
Dichte ρ :	[DIN EN ISO 17892-2/DIN 18125-2]	2,20 t/m ³
Feuchtwichte γ :		22,0 kN/m ³
Wichte unter Auftrieb γ' :		12,0 kN/m ³
Verwitterung	[DIN EN ISO 14689-1]	stark/vollständig verwittert, schlechte - mäßige Kornbindung
Veränderlichkeit	[DIN EN ISO 14689-1]	wasserempfindlich, mittlere/geringe Quellfähigkeit
Druckfestigkeit q_u	[DIN 18141/DGGT Empfehlung Nr. 1]	1 - 20 N/mm ²
Abrasivität CAI	[NF P94-430-1]	0 – 1,5
Trennflächenrichtung α, β	[DIN EN ISO 14689-1]	unregelmäßig (360 °)
Fallrichtung α	[DIN EN ISO 14689-1]	0 - 75 ° (gefaltet)
Gesteinskörperform	[DIN EN ISO 14689-1]	schiefrig / dünnplattig geschichtet
Trennflächenabstand	[DIN EN ISO 14689-1]	< 1,0 m
Öffnungsweite der Trennflächen	[DIN EN ISO 14689-1]	0 – 15 mm
Kluffüllung:	[DIN EN ISO 14689-1]	keine / tonig
Kohäsion c'_k :	[DIN 18137-T1 bis T3]	20,0 kPa
Undrained Scherfestigkeit c_u :	[DIN 4094-4/DIN 18136/DIN 18137-2]	-
drained Scherfestigkeit φ'_k :	[DIN 4094-4/DIN 18136/DIN 18137-2]	25,0 °
Reibungswinkel φ'_k		
Steifemodul $E_{s1,k}$:	[DIN 18135]	80 - 100 MN/m ²
Frostempfindlichkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	F2 - F3
Verdichtbarkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	V2 (weniger gut – gut verdichtbar) *)
Ortsübliche Bezeichnung:		Dachschieferfolge 2

Homogenbereich X3

Tonstein, schwach verwittert/angewittert, bankig, schwach klüftig, gute - sehr gute Kornbindung

Benennung	[DIN EN ISO 14689-1]	Tonstein
Dichte ρ :	[DIN EN ISO 17892-2/DIN 18125-2]	2,40 t/m ³
Feuchtwichte γ :		24,0 kN/m ³
Wichte unter Auftrieb γ' :		14,0 kN/m ³
Verwitterung	[DIN EN ISO 14689-1]	schwach verwittert/angewittert, gute - sehr gute Kornbindung
Veränderlichkeit	[DIN EN ISO 14689-1]	wasserempfindlich, geringe Quellfähigkeit
Druckfestigkeit q_u	[DIN 18141/DGGT Empfehlung Nr. 1]	5 - 20 N/mm ²
Abrasivität CAI	[NF P94-430-1]	1,5 – 2,0
Trennflächenrichtung α, β	[DIN EN ISO 14689-1]	unregelmäßig (360 °)
Fallrichtung α	[DIN EN ISO 14689-1]	0 - 75 ° (bankig gelagert/gefaltet)
Gesteinskörperform	[DIN EN ISO 14689-1]	quaderig, würfelig, Blöcke $V < 0,1 \text{ m}^3$ längste Seite a / kurze Seite $c \approx 1 - 5^+$)
Trennflächenabstand	[DIN EN ISO 14689-1]	< 1,0 m
Öffnungsweite der Trennflächen	[DIN EN ISO 14689-1]	0 – 10 mm
Klufffüllung:	[DIN EN ISO 14689-1]	keine / tonig
Kohäsion c'_k :	[DIN 18137-T1 bis T3]	50,0 kPa
Undrained Scherfestigkeit c_u :	[DIN 4094-4/DIN 18136/DIN 18137-2]	-
drained Scherfestigkeit φ'_k :	[DIN 4094-4/DIN 18136/DIN 18137-2]	25,0 °
Reibungswinkel φ'_k		
Steifemodul $E_{s1,k}$:	[DIN 18135]	120 MN/m ²
Frostempfindlichkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	F2 - F3
Verdichtbarkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	V2 (weniger gut – gut verdichtbar) *)
Ortsübliche Bezeichnung:		Dachschieferfolge 3

[†]) Kantenmaße a, b, c der ausgebrochenen Felspartien

*) Zum Lösen (insbesondere bei kleinräumigen Baugruben) ist der Einsatz eines Felsmeißels und/oder einer Felsfräse vorzusehen.

6.5 Übersicht zu den Homogenbereichen

Homogenbereiche Boden/Fels	Homogenbereiche nach DIN 18300
Oberboden/Waldboden	Homogenbereich O
Homogenbereich B1 Schluff , kiesig, schwach steinig, steif	Homogenbereich B1
Homogenbereich X1 Tonstein , teils mit Grauwackeplatten, stark/mäßig verwittert, schiefrig/plattig, schlechte - mäßige, teils mäßige - gute Kornbindung	Homogenbereich X1
Homogenbereich X2 Tonstein , stark-vollständig verwittert, schiefrig, schlechte Kornbindung, grusig	Homogenbereich X2
Homogenbereich X3 Tonstein , schwach verwittert/angewittert, bankig, schwach klüftig, gute - sehr gute Kornbindung	Homogenbereich X3

Anmerkungen und Hinweise:

Eine genaue Zuordnung kann erst im Rahmen einer boden- und felsmechanischen Klassifizierung (Festlegung der Homogenbereiche) vor Ort erfolgen. Bestehen zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer unterschiedliche Auffassungen zur Einordnung der vorgenannten Homogenbereiche, so kann eine genaue Einordnung im Rahmen einer Klassifizierung und damit Festlegung der Homogenbereiche vor Ort erfolgen.

Im Einvernehmen mit dem Auftraggeber sollen wegen des Zeit- und Kostenaufwandes nicht alle Parameter der Homogenbereiche versuchstechnisch ermittelt werden. Damit basieren die für die Homogenbereiche angegebenen Eigenschaften/Kennwerte -die nicht versuchstechnisch ermittelt wurden- auf gesicherten Korrelationsbeziehungen für Labor- und Feldversuche.

7 Zusammenfassung und Schlussbemerkungen

Im Rahmen der geotechnischen Untersuchungen wurde der Baugrund im Sinne der DIN 4020 mit direkten und indirekten Aufschlüssen nach DIN EN ISO 22475-1 und DIN EN ISO 22476-2 erkundet.

Die geotechnischen Untersuchungen zeigen, dass unter dem Wald-/Oberboden bis in eine Tiefe von ca. 1,4 m (stark) kiesige, schwach steinige Schluffe in steifer Konsistenz anstehen. Darunter folgen stark verwitterte, schiefrige Tonsteine, mit schlechter bis mäßiger Kornbindung und teils oxidierten Kluffflächen, die im Tiefenbereich von 3,8 bis 4,5 m von mäßig verwitterten Tonsteine mit Grauwacke, plattig, mit mäßiger bis guter Kornbindung unterbrochen werden. Nachfolgend wurde zwischen 5,2 und 5,8 m ein stark bis vollständig verwitterter Tonstein, schiefrig, grusig, mit schlechter Kornbindung erbohrt. Anschließend stehen schwach verwitterte Tonsteine, bankig, schwach klüftig, mit guter bis sehr guter Kornbindung, teils tonigen Kluffüllung und schräg verlaufender Klüftung an.

Die Dachschieferfolge stellt in den Zonen mit höheren Sondierwiderständen einen ausreichend bis gut tragfähigen Baugrund für die Gründung der Windkraftanlage und am bzw. unterhalb dem Grenzhorizont der Sondierungen einen gut tragfähigen Baugrund für die Gründung der Windkraftanlage dar. Die Tonsteine sind oberflächennah unterschiedlich stark verwittert, so dass der Grenzhorizont der Sondierungen in variierenden Tiefen von 1,9 bis 4,4 m unter Geländeoberfläche erkundet wurde.

Ein Grund-/Schichtenwasser wurde im Bohrloch der Bohrung BK WEA 2 -im Zeitraum der Grundwasserbeobachtung- nicht festgestellt.

Auf den Ergebnissen der geotechnischen Untersuchungen basierend werden Gründungsempfehlungen zum vorgegebenen Gründungssystem Kreisfundament für die Windenergieanlage gegeben.

Der Bemessungswert des Sohlwiderstandes wird mit den Bodenkenngößen angegeben und mit den Anforderungswerten der Herstellerangaben verglichen. Dieser Vergleich ergab, dass die Sicherheitsanforderungen mit einem hohen Sicherheitsabstand erfüllt werden.

Zum Lösen und Fördern des Bodens sind die Homogenbereiche nach DIN 18 300 benannt.

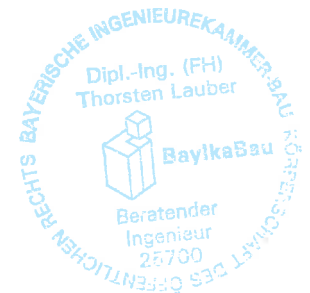
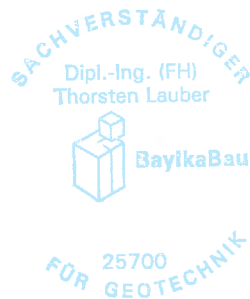
Treten im Rahmen der Bauausführung Abweichungen von den erkundeten Verhältnissen auf, so bitten wir um eine umgehende Benachrichtigung.

Wir empfehlen -zur Qualitätssicherung- die Abnahme der Gründungssohlen und damit verbunden die Umsetzung unserer gutachterlichen Empfehlungen im Sinne einer Qualitätssicherung.

Wir stehen den am Bau Beteiligten zu weiteren geotechnischen Fragen im Rahmen der Ausführungsplanung und der Bauausführung jederzeit gerne zur Verfügung.

(i.A. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Richard A. Herrmann)
GEOTECHNIK GmbH

(Dipl.-Ing. (FH) Thorsten Lauber)
Sachverständiger für Geotechnik



Anlage 1

EWOS

VESTAS V162-6

Standortkoordinat

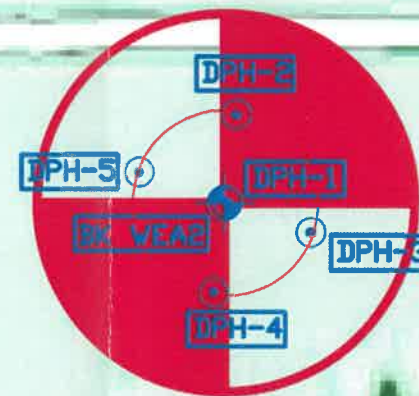
re=459717

ho=5654401

Naben

Rotorr

Gesan



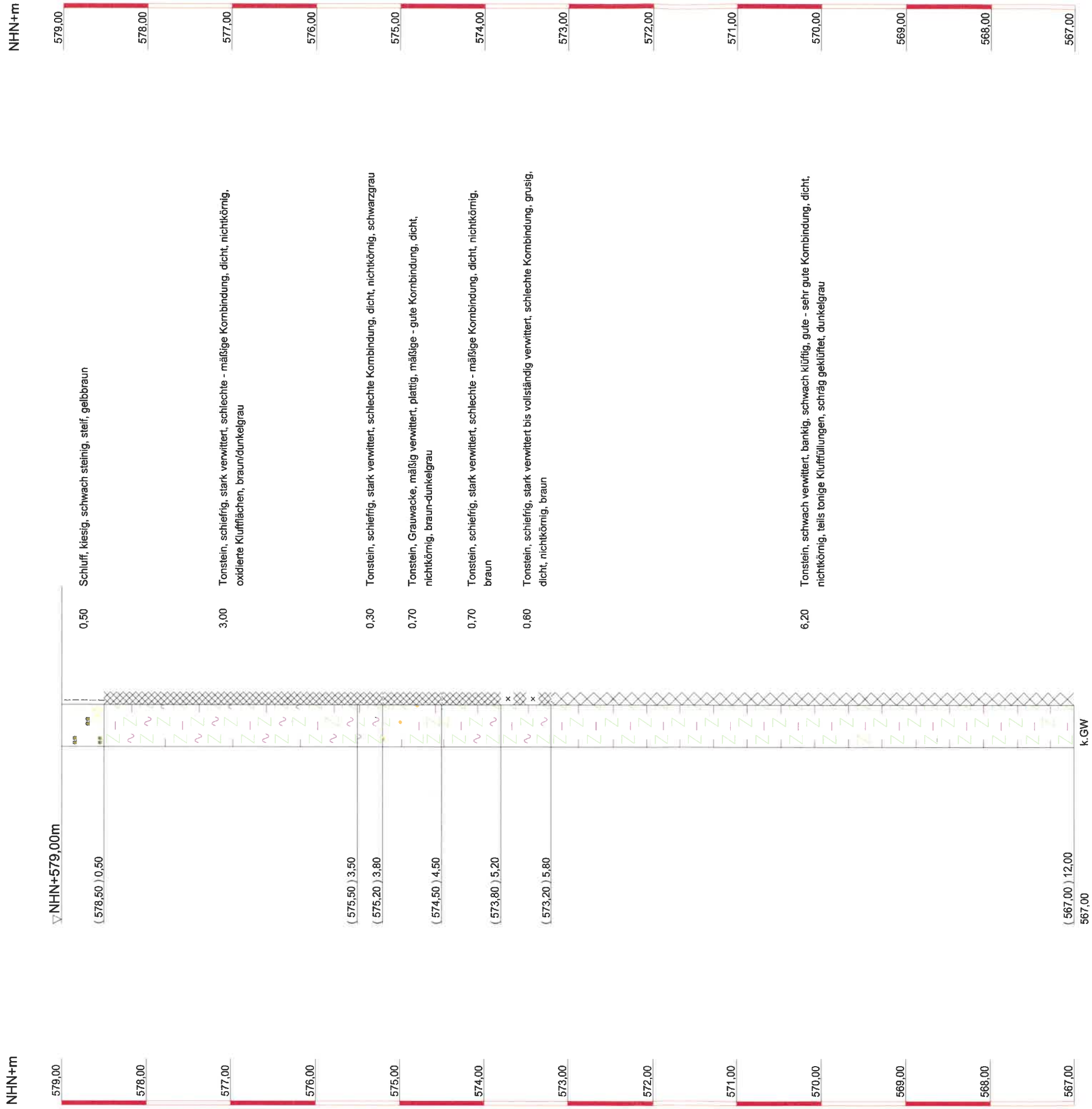
Legende:

- Bohrung BK
- Sondierung DPH

		GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lammelbach 5 Tel.: 09825/93413 Fax.: 09825/93415	
Projekt Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg WEA 2			
	Name	Datum	Maßstab
gezeichnet	Lauber	29.08.2021	1 : 1000
			Projekt Nr. GEO-210118
Auftraggeber	Krug Energie GmbH & Co. KG Dorfstraße 53 35117 Münchhausen-Wollmar		Lageplan
Bauort	Windpark Ohrenbach - WEA 2		Anlage 1

Anlagengruppe 2

BK WEA 2
(Stöben GmbH)
29.-30.06.2021
M.: 1:50



GEOTECHNIK GmbH
Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner
Lammelbach 5
91567 Herrieden
Tel.: 09825/93413
Fax: 09825/93415

Bauvorhaben:
Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg
- WEA 2
Planbezeichnung:
BK WEA 2

Plan-Nr: 2.1
Projekt-Nr: GEO-210118
Datum: 29.09.2021
Maßstab: 1 : 50
Bearbeiter: T.Lauber



Bild 1 Übersichtsaufnahme Standort WEA 2 (vom Waldweg aus aufgenommen) nach Baufeldfreimachung und mit hergestellter Zufahrt für die Bohrarbeiten



Bild 2 Aufnahme Bohrkern BK WEA 2

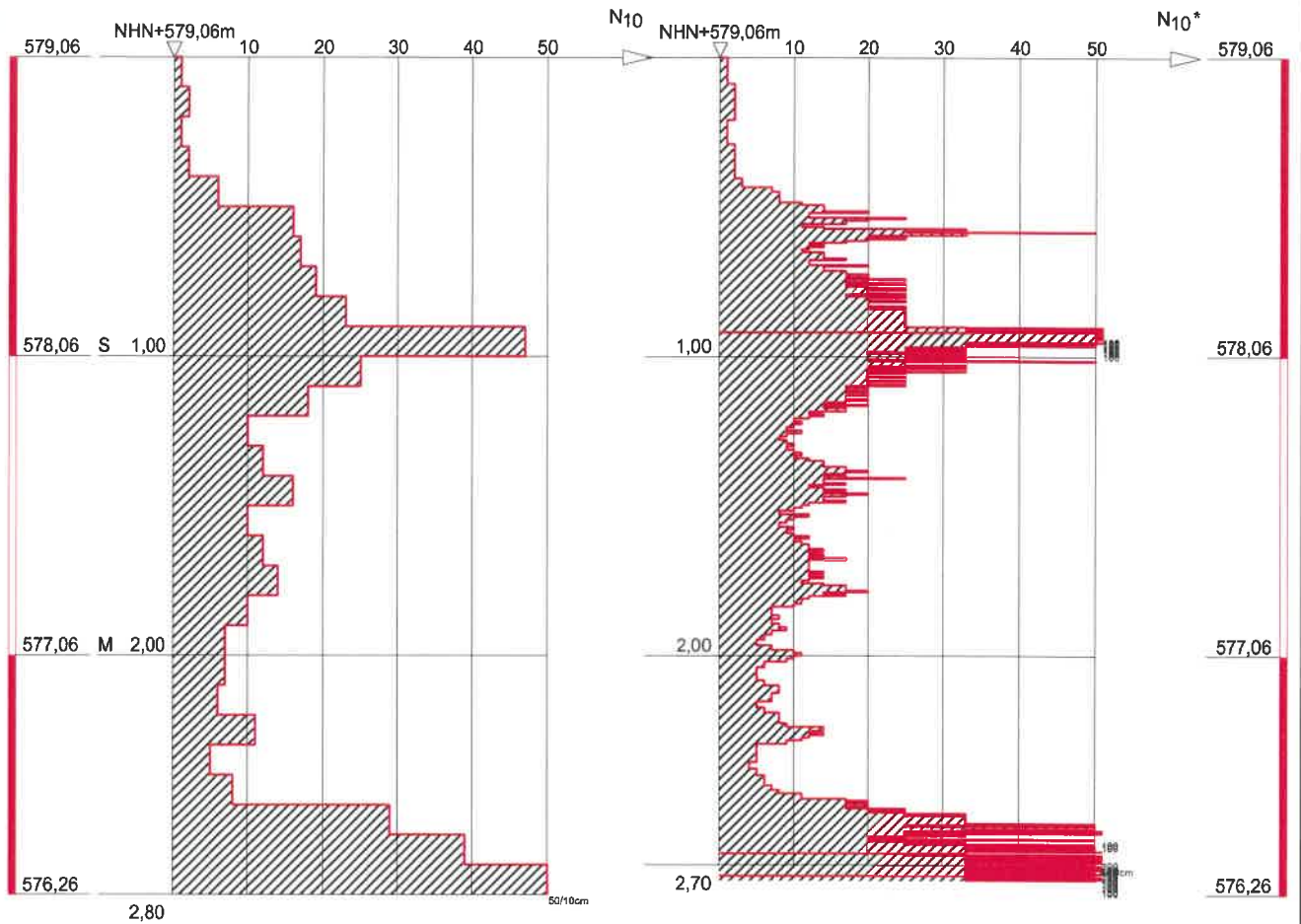
Anlagengruppe 3

WEA2 - DPH-1
(24.06.2021)

WEA2 - DPH-1*
(24.06.2021)

NHN+m

NHN+m



<p>GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lammelbach 5 91567 Herrieden Tel.: 09825/93413 Fax: 09825/93415</p>	<p>Bauvorhaben: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg - WEA 2 Planbezeichnung: WEA2 - DPH-1</p>	Plan-Nr: 3.1
		Projekt-Nr: GEO-210118
		Datum: 29.09.2021
		Maßstab: 1 : 25
		Bearbeiter: T.Lauber



Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2

Geräteleiter: T. Lauber

Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 2

Sondierungsnummer: WEA2-DPH-1

Datum: 24.06.2021

Sondierart: DPH

Ansatzpunkt [m]:

Ansatzpunkt auf NHN [m]: 579,06

Grundwassersp.[m u. ASP]:

Bemerkung:

Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	1	3,10		6,10		9,10		12,10	
0,20	2	3,20		6,20		9,20		12,20	
0,30	1	3,30		6,30		9,30		12,30	
0,40	2	3,40		6,40		9,40		12,40	
0,50	6	3,50		6,50		9,50		12,50	
0,60	16	3,60		6,60		9,60		12,60	
0,70	17	3,70		6,70		9,70		12,70	
0,80	19	3,80		6,80		9,80		12,80	
0,90	23	3,90		6,90		9,90		12,90	
1,00	47	4,00		7,00		10,00		13,00	
*)	schwer	*)		*)		*)		*)	
1,10	25	4,10		7,10		10,10		13,10	
1,20	18	4,20		7,20		10,20		13,20	
1,30	10	4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40	12	4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50	16	4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60	10	4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70	12	4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80	14	4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90	10	4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00	7	5,00		8,00		11,00		14,00	
*)	mittel	*)		*)		*)		*)	
2,10	7	5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20	6	5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30	11	5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40	5	5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50	8	5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60	29	5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70	39	5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80	50	5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90		5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00		6,00		9,00		12,00		15,00	
*)		*)		*)		*)		*)	

*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]

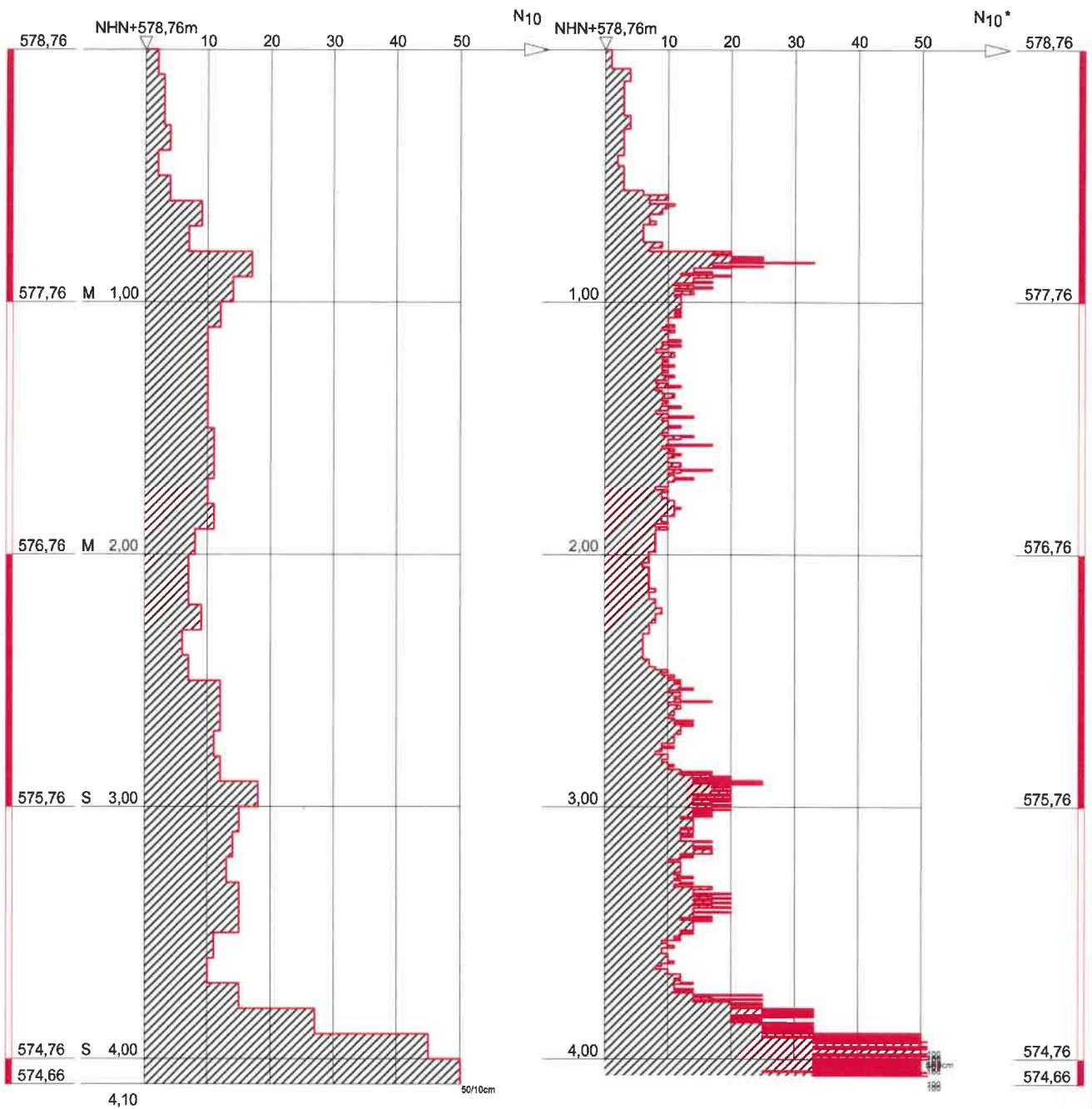
Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefern pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm-datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.

WEA2 - DPH-2
(24.06.2021)

WEA2 - DPH-2*
(24.06.2021)

NHN+m

NHN+m



GEOTECHNIK GmbH
Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner
Lammelbach 5
91567 Herrieden
Tel.: 09825/93413
Fax: 09825/93415

Bauvorhaben:
Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg
- WEA 2
Planbezeichnung:
WEA2 - DPH-2

Plan-Nr: 3.3
Projekt-Nr: GEO-210118
Datum: 29.09.2021
Maßstab: 1 : 25
Bearbeiter: T.Lauber



Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2

Geräteleiter: T. Lauber

Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 2

Sondierungsnummer: WEA2-DPH-2

Datum: 24.06.2021

Sondierart: DPH

Ansatzpunkt [m]:

Ansatzpunkt auf NHN [m]: 578,76

Grundwassersp.[m u. ASP]:

Bemerkung:

Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	2	3,10	15	6,10		9,10		12,10	
0,20	3	3,20	14	6,20		9,20		12,20	
0,30	3	3,30	13	6,30		9,30		12,30	
0,40	4	3,40	15	6,40		9,40		12,40	
0,50	2	3,50	15	6,50		9,50		12,50	
0,60	4	3,60	11	6,60		9,60		12,60	
0,70	9	3,70	10	6,70		9,70		12,70	
0,80	7	3,80	15	6,80		9,80		12,80	
0,90	17	3,90	27	6,90		9,90		12,90	
1,00	14	4,00	45	7,00		10,00		13,00	
*)	mittel	*)	schwer	*)		*)		*)	
1,10	12	4,10	50	7,10		10,10		13,10	
1,20	10	4,20		7,20		10,20		13,20	
1,30	10	4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40	10	4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50	10	4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60	11	4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70	11	4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80	10	4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90	11	4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00	8	5,00		8,00		11,00		14,00	
*)	mittel	*)		*)		*)		*)	
2,10	7	5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20	7	5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30	9	5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40	6	5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50	7	5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60	12	5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70	12	5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80	11	5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90	12	5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00	18	6,00		9,00		12,00		15,00	
*)	schwer	*)		*)		*)		*)	

*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]

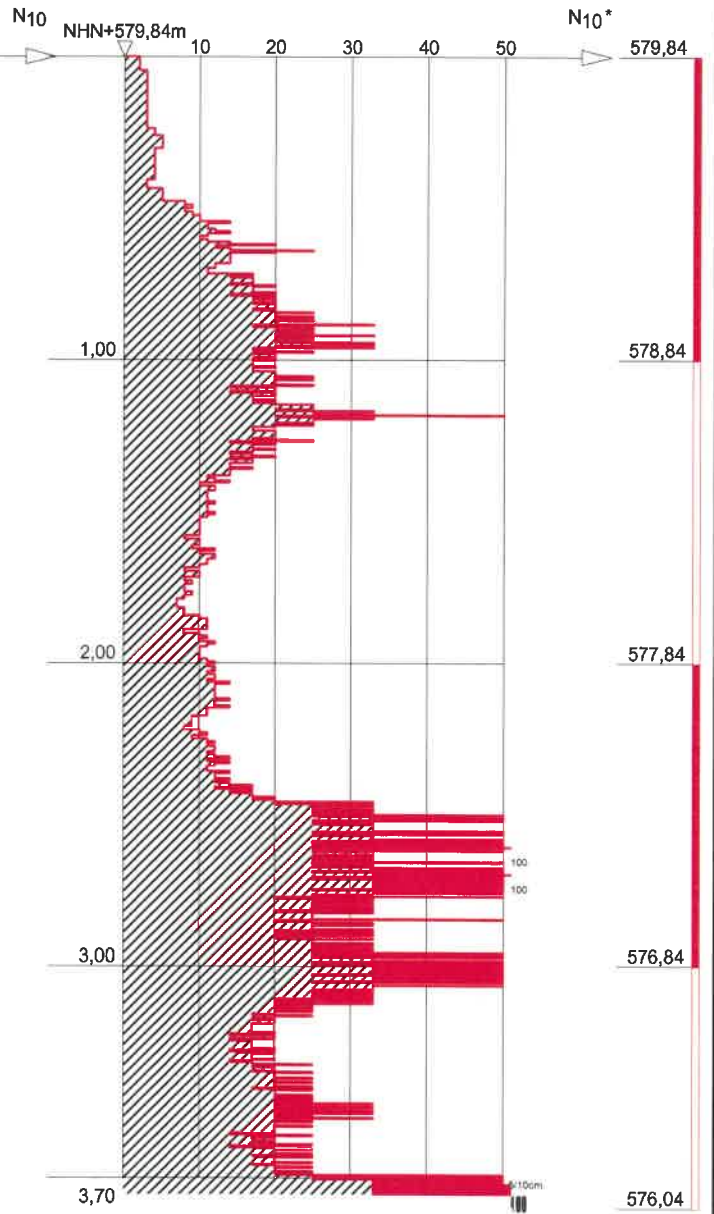
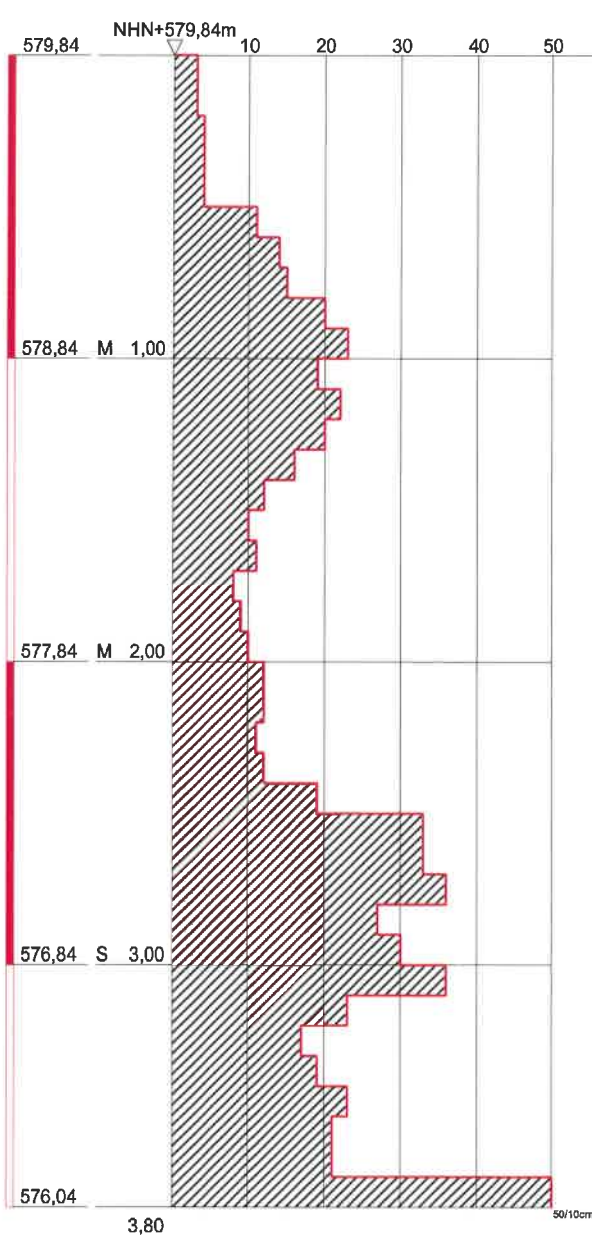
Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefern pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm- datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.

WEA2 - DPH-3
(24.06.2021)

WEA2 - DPH-3*
(24.06.2021)

NHN+m

NHN+m



<p>GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lammelbach 5 91567 Herrieden Tel.: 09825/93413 Fax: 09825/93415</p>	<p>Bauvorhaben: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg - WEA 2</p> <p>Planbezeichnung: WEA2 - DPH-3</p>	Plan-Nr: 3.5
		Projekt-Nr: GEO-210118
		Datum: 29.09.2021
		Maßstab: 1 : 25
		Bearbeiter: T.Lauber



Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2

Geräteleiter: T. Lauber

Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 2

Sondierungsnummer: WEA2-DPH-3

Datum: 24.06.2021

Sondierart: DPH

Ansatzpunkt [m]:

Ansatzpunkt auf NHN [m]: 579,84

Grundwassersp.[m u. ASP]:

Bemerkung:

Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	3	3,10	36	6,10		9,10		12,10	
0,20	3	3,20	23	6,20		9,20		12,20	
0,30	4	3,30	17	6,30		9,30		12,30	
0,40	4	3,40	19	6,40		9,40		12,40	
0,50	4	3,50	23	6,50		9,50		12,50	
0,60	11	3,60	21	6,60		9,60		12,60	
0,70	14	3,70	21	6,70		9,70		12,70	
0,80	15	3,80	50	6,80		9,80		12,80	
0,90	20	3,90		6,90		9,90		12,90	
1,00	23	4,00		7,00		10,00		13,00	
*)	mittel	*)		*)		*)		*)	
1,10	19	4,10		7,10		10,10		13,10	
1,20	22	4,20		7,20		10,20		13,20	
1,30	20	4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40	16	4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50	12	4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60	10	4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70	11	4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80	8	4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90	9	4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00	10	5,00		8,00		11,00		14,00	
*)	mittel	*)		*)		*)		*)	
2,10	12	5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20	12	5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30	11	5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40	12	5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50	19	5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60	33	5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70	33	5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80	36	5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90	27	5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00	30	6,00		9,00		12,00		15,00	
*)	schwer	*)		*)		*)		*)	

*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]

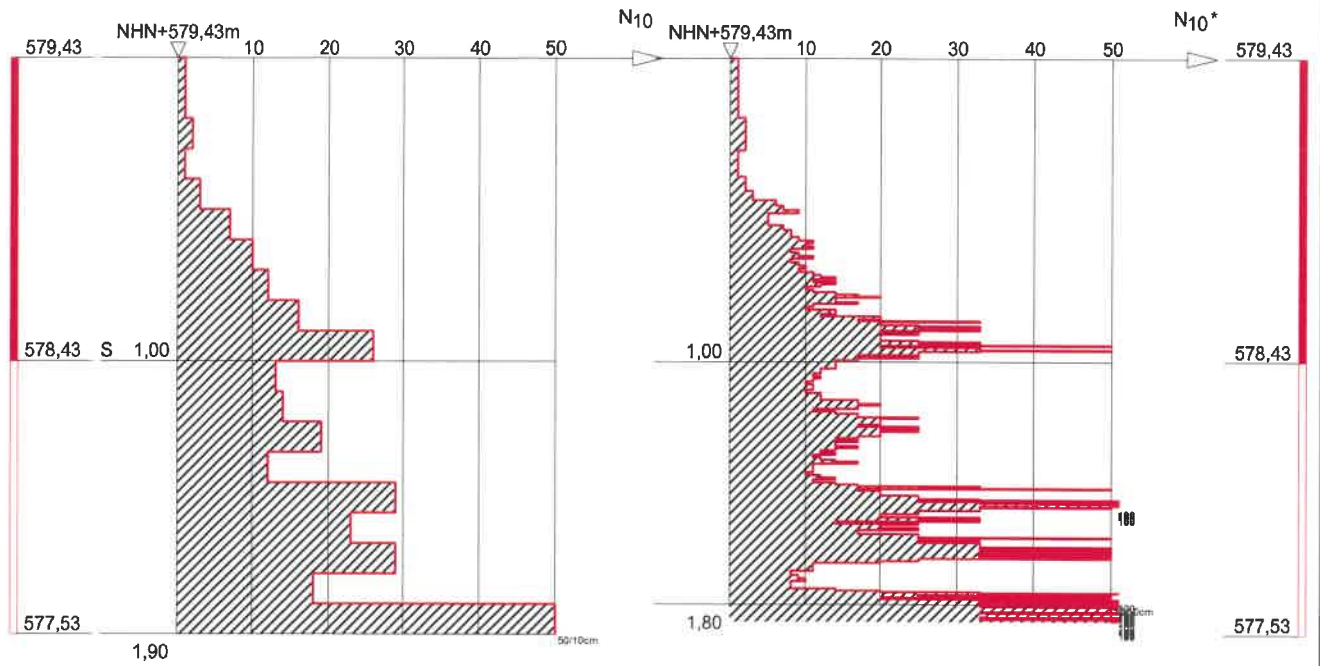
Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefen pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm- datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.

WEA2 - DPH-4
(24.06.2021)

WEA2 - DPH-4*
(24.06.2021)

NHN+m

NHN+m



<p>GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lammelbach 5 91567 Herrieden Tel.: 09825/93413 Fax: 09825/93415</p>	<p>Bauvorhaben: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg - WEA 2</p> <p>Planbezeichnung: WEA2 - DPH-4</p>	Plan-Nr: 3.7
		Projekt-Nr: GEO-210118
		Datum: 29.09.2021
		Maßstab: 1 : 25
		Bearbeiter: T.Lauber



Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2

Geräteleiter: T. Lauber

Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 2

Sondierungsnummer: WEA2-DPH-4

Datum: 24.06.2021

Sondierart: DPH

Ansatzpunkt [m]:

Ansatzpunkt auf NHN [m]: 579,43

Grundwassersp.[m u. ASP]:

Bemerkung:

Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	1	3,10		6,10		9,10		12,10	
0,20	1	3,20		6,20		9,20		12,20	
0,30	2	3,30		6,30		9,30		12,30	
0,40	1	3,40		6,40		9,40		12,40	
0,50	3	3,50		6,50		9,50		12,50	
0,60	7	3,60		6,60		9,60		12,60	
0,70	10	3,70		6,70		9,70		12,70	
0,80	12	3,80		6,80		9,80		12,80	
0,90	16	3,90		6,90		9,90		12,90	
1,00	26	4,00		7,00		10,00		13,00	
*)	schwer	*)		*)		*)		*)	
1,10	13	4,10		7,10		10,10		13,10	
1,20	14	4,20		7,20		10,20		13,20	
1,30	19	4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40	12	4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50	29	4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60	23	4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70	29	4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80	18	4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90	50	4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00		5,00		8,00		11,00		14,00	
*)		*)		*)		*)		*)	
2,10		5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20		5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30		5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40		5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50		5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60		5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70		5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80		5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90		5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00		6,00		9,00		12,00		15,00	
*)		*)		*)		*)		*)	

*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]

Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefern pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm- datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.



Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2

Geräteleiter: T. Lauber

Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 2

Sondierungsnummer: WEA2-DPH-5

Datum: 24.06.2021

Sondierart: DPH

Ansatzpunkt [m]:

Ansatzpunkt auf NHN [m]: 577,40

Grundwassersp.[m u. ASP]:

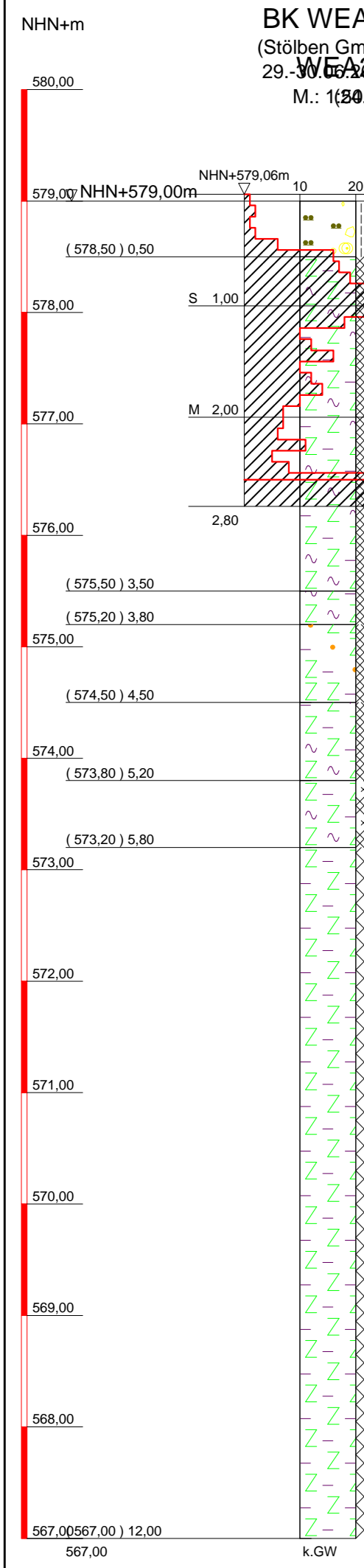
Bemerkung:

Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	2	3,10	20	6,10		9,10		12,10	
0,20	2	3,20	25	6,20		9,20		12,20	
0,30	2	3,30	34	6,30		9,30		12,30	
0,40	3	3,40	29	6,40		9,40		12,40	
0,50	5	3,50	27	6,50		9,50		12,50	
0,60	7	3,60	25	6,60		9,60		12,60	
0,70	8	3,70	27	6,70		9,70		12,70	
0,80	14	3,80	22	6,80		9,80		12,80	
0,90	15	3,90	27	6,90		9,90		12,90	
1,00	16	4,00	34	7,00		10,00		13,00	
*)	mittel	*)	schwer	*)		*)		*)	
1,10	26	4,10	30	7,10		10,10		13,10	
1,20	19	4,20	22	7,20		10,20		13,20	
1,30	15	4,30	30	7,30		10,30		13,30	
1,40	11	4,40	50	7,40		10,40		13,40	
1,50	7	4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60	7	4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70	7	4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80	6	4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90	6	4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00	5	5,00		8,00		11,00		14,00	
*)	mittel	*)		*)		*)		*)	
2,10	7	5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20	5	5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30	5	5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40	5	5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50	7	5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60	9	5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70	9	5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80	12	5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90	15	5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00	19	6,00		9,00		12,00		15,00	
*)	schwer	*)		*)		*)		*)	

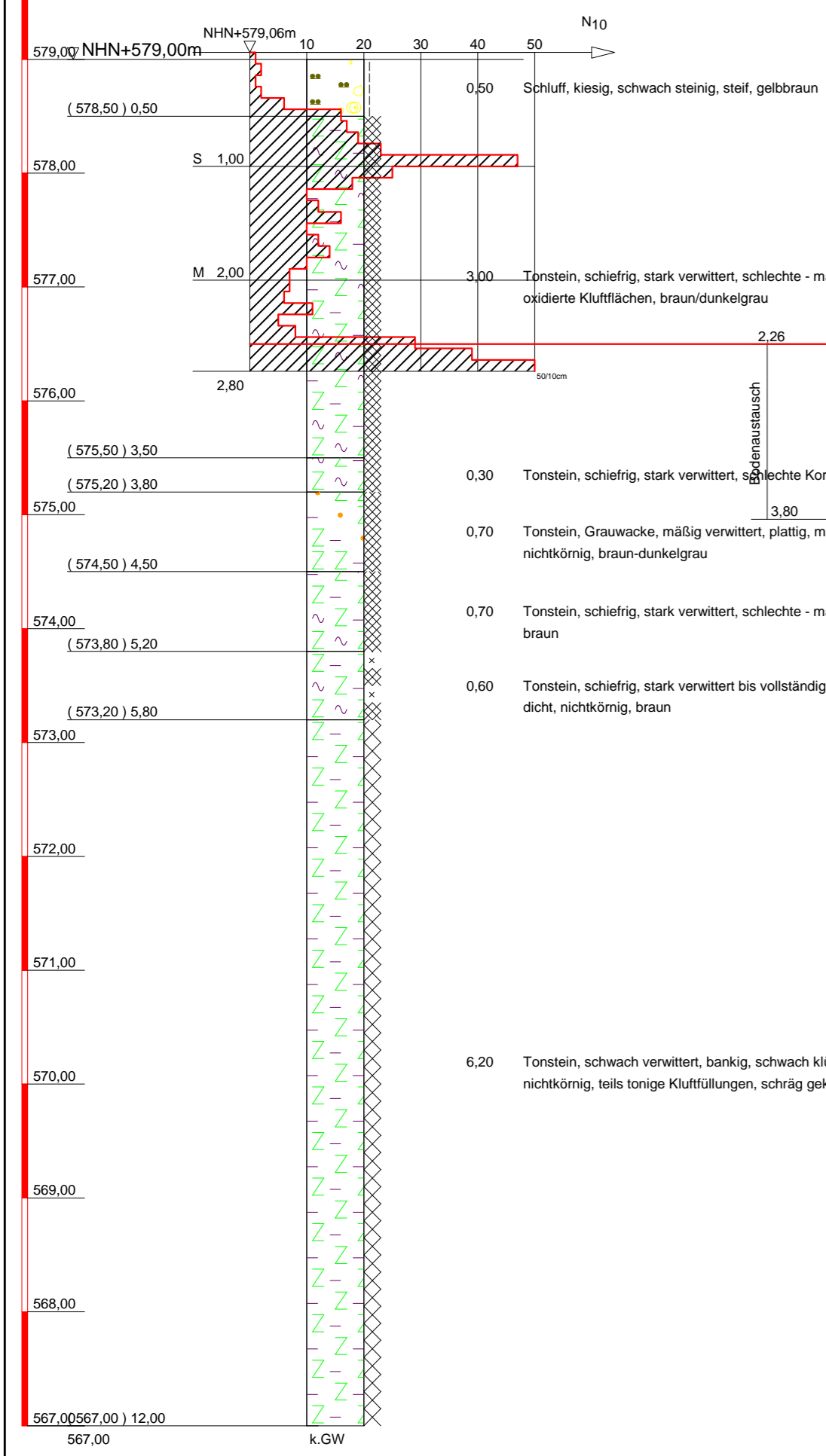
*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]

Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefen pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm- datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.

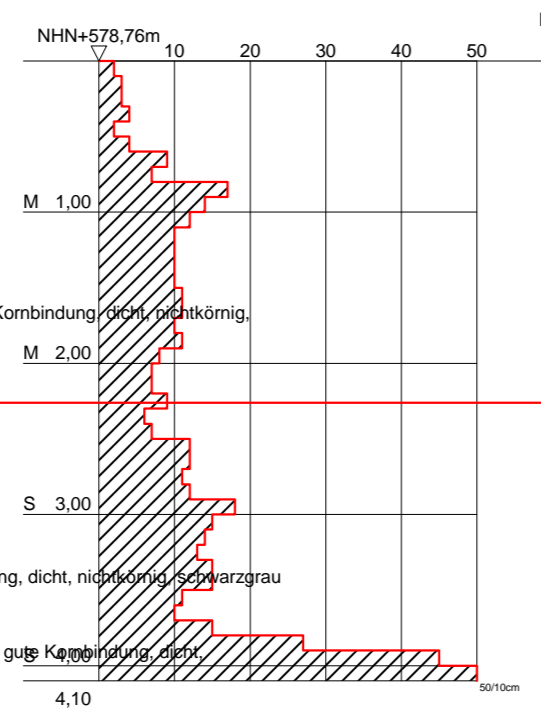
Anlage 4



BK WEA 2
(Stöben GmbH)
29.09.2021
M.: 1:50 (24.06.2021)



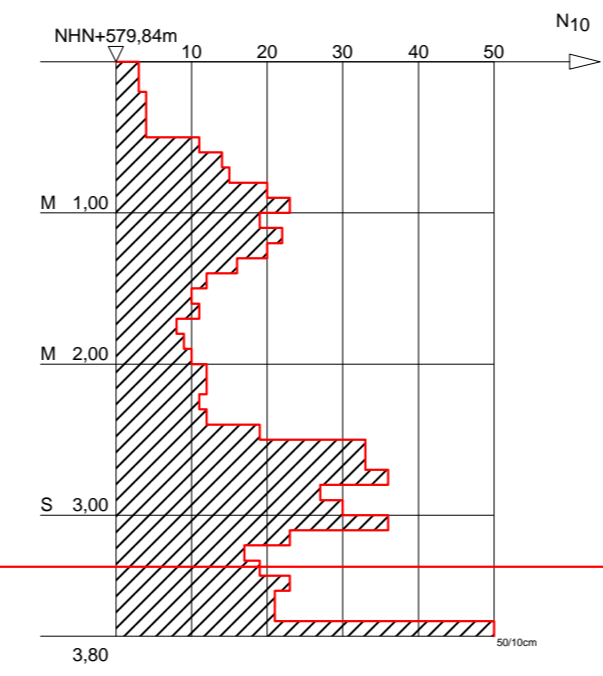
WEA2 - DPH-2
(24.06.2021)



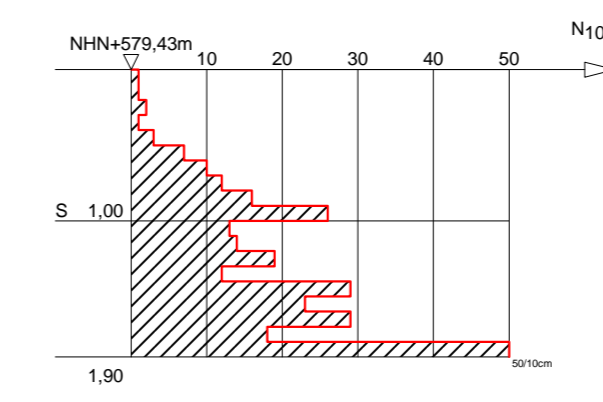
- 3.00 Tonstein, schiefrig, stark verwittert, schlechte - mäßige Kombination, dicht, nichtkörnig, oxidierte Klufflächen, braun/dunkelgrau
- 0.30 Tonstein, schiefrig, stark verwittert, schlechte Kombination, dicht, nichtkörnig, schwarzgrau
- 0.70 Tonstein, Grauwacke, mäßig verwittert, plattig, mäßige - gute Kombination, dicht, nichtkörnig, braun-dunkelgrau
- 0.70 Tonstein, schiefrig, stark verwittert, schlechte - mäßige Kombination, dicht, nichtkörnig, braun
- 0.60 Tonstein, schiefrig, stark verwittert bis vollständig verwittert, schlechte Kombination, grusig, dicht, nichtkörnig, braun
- 6.20 Tonstein, schwach verwittert, bankig, schwach klüftig, gute - sehr gute Kombination, dicht, nichtkörnig, teils tonige Kluffüllungen, schräg geklüftet, dunkelgrau

▽ empfohlene Gründungskote = 576,5 mNHN

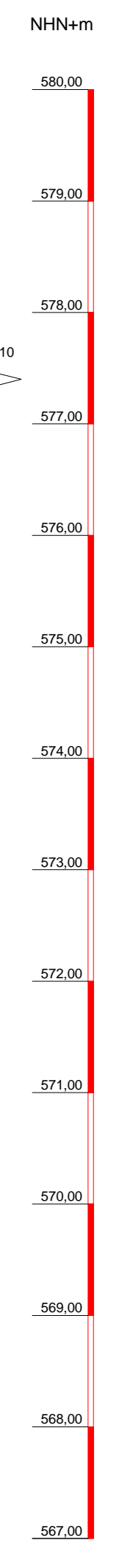
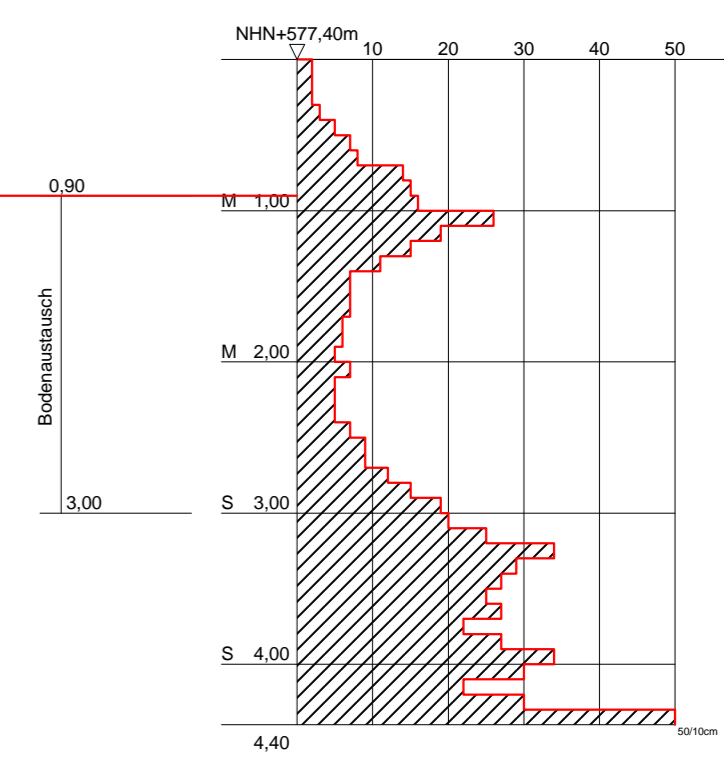
WEA2 - DPH-3
(24.06.2021)



WEA2 - DPH-4
(24.06.2021)



WEA2 - DPH-5
(24.06.2021)



<p>GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lammelbach 5 91567 Herrieden Tel.: 09825/93413 Fax: 09825/93415</p>	<p>Bauvorhaben: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg - WEA 2</p> <p>Planbezeichnung: Abwicklung</p>	Plan-Nr: 4
		Projekt-Nr: GEO-210118
		Datum: 29.09.2021
		Maßstab: 1:100/50
		Bearbeiter: T.Lauber

Anlagengruppe 5

Zusammenstellung der geomechanischen Versuchsergebnisse (Fels)

Erntahmedaten	Proben-Nr.		Zellen-Nr.:	WEA	WEA	WEA	WEA	WEA	WEA		
	Entnahmestelle			02	02	02	02	02	02		
	Zusätzliche Angaben										
	Entnahmetiefe	von		m	8,00	8,10	8,30	8,45	8,55	8,60	
		bis		m	8,10	8,30	8,45	8,55	8,60	8,80	
Entnahmetiefe			ungestört	ungestört	ungestört	ungestört	ungestört	ungestört			
Entnahmetiefe			Tst	Tst	Tst	Tst	Tst	Tst			
Probenbeschreibung											
Stratigraphie											
Dichte- bestimmung	Korndichte	ρ_s	t/m^3	31							
	Feuchtdichte	ρ	t/m^3	32							
	Wassergehalt	w	%	33							
	Trockendichte	ρ_d	t/m^3	34							
Einaxialer Druckversuch	Einax. Druckfestigkeit	σ_u	MN/m ²	35							
	Belastungsmodul	B									
	Wiederbelastungsmodul	V	MN/m ²								
	Entlastungsmodul	E									
Poisson- zahlen	für Belastung,	ν_B									
	Wiederbelastung	ν_V									
	und Entlastung	ν_E									
Dreiaxialer Druckversuch	Vers. Typ/Probendurchm.	- / cm	37								
	Anzahl der Zyklen	-									
	Reibungswinkel	φ	°	38							
	technische Kohäsion	c	MN/m ²								
Punktlastindex	diametral axial	$I_{S(50)}$	MN/m ²	39	1,925 (s)	2,125 (s)	2,142 (s)	2,716 (s)	0,974 (p)	2,443 (s)	1,862 (s)
Spaltzugversuch	\perp \parallel	σ_z	MN/m ²	40							
Reibungsversuch	Probenfläche	A	cm ²	41							
	Anzahl der Laststufen	-									
	Trennflächentyp	-									
	Trennflächengeometrie	-		42							
	Reibungswinkel	φ	°								
technische Kohäsion	c	MN/m ²									
Quellversuche	Quellspannung	σ_o	MN/m ²	43							
	Versuchsdauer	d		44							
	Quelldehnung	ϵ_{s0}	%	45							
	Versuchsdauer	d		46							
	Quellversuch nach Huder und Amberg	K	%	47							
	Versuchsdauer	d		48							
DIN 52103	Wasseraufnahme		%	49							
	Absplitterung										
	Kennziffer der Absplitt.	-		50							
Veränderlichk. in Wasser DIN 4022		-		51							
Cerchar	CAI	-		53							
Abrasivitätsindex	Klassifizierung	-		54							
Frostversuch nach DIN 52104 / 4226	Absplitt.	%		55							
	Kennzi.	-		56							
Einaxialer Kriechversuch	% von einax. Druckfestigkeit		%	57							
	Kriechrate am 10. Tag (LS 1)		%								
	% von einax. Druckfestigkeit		%								
	Kriechrate am 10. Tag (LS 2)		%								
% von einax. Druckfestigkeit		%	58								
Kriechrate am 10. Tag (LS 3)		%									
Slake Durability Test	I_{d1}	%									
	I_{d2}	%									

zu Zeile 51: w- / w' / w / w* = nicht veränderlich / mäßig veränderlich / veränderlich / stark veränderlich

zu Zeile 54 u. 56: Kennziffer der Absplitter.

Bemerkungen:

Zusammenstellung der geomechanischen Versuchsergebnisse (Fels)


Entnahmedaten	Proben-Nr.		Zeilen-Nr.:	WEA	WEA	WEA	WEA	WEA	WEA	
	Entnahmestelle			02	02	02	02	02	02	
	Zusätzliche Angaben									
	Entnahmetiefe	von		m	8,80	9,00	9,10	9,30	9,50	9,70
		bis		m	8,90	9,10	9,20	9,50	9,60	9,80
Entnahmetiefe			ungestört	ungestört	ungestört	ungestört	ungestört	ungestört		
Entnahmetiefe			Tst	Tst	Tst	Tst	Tst	Tst		
Probenbeschreibung										
Stratigraphie										
Dichte- bestimmung	Korndichte	ρ_s	t/m ³	31						
	Feuchtdichte	ρ	t/m ³	32						
	Wassergehalt	w	%	33						
	Trockendichte	ρ_d	t/m ³	34						
Einaxialer Druckversuch	Einax. Druckfestigkeit	σ_u	MN/m ²				4,250			
	Belastungsmodul	B					2170			
	Wiederbelastungsmodul	V	MN/m ²	35						
	Entlastungsmodul	E								
Poisson- zahlen	für Belastung,	ν_B								
	Wiederbelastung	ν_V								
	und Entlastung	ν_E								
Dreiaxialer Druckversuch	Vers. Typ/Probendurchm.	- / cm		37						
	Anzahl der Zyklen	-								
	Reibungswinkel	φ	°	38						
	technische Kohäsion	c	MN/m ²							
Punktlastindex	diametral axial	$I_{S(50)}$	MN/m ²	39	3,699 (s)	3,235 (s)	2,083 (s)	3,227 (s)	0,800 (p)	2,237 (s)
Spaltzugversuch			σ_z	MN/m ²	40					
Reibungsversuch	Probenfläche	A	cm ²	41						
	Anzahl der Laststufen	-								
	Trennflächentyp	-								
	Trennflächengeometrie	-		42						
	Reibungswinkel	φ	°							
technische Kohäsion	c	MN/m ²								
Quellversuche	Quellspannung	σ_q	MN/m ²	43						
	Versuchsdauer	d		44						
	Quelldehnung	ϵ_{q0}	%	45						
	Versuchsdauer	d		46						
	Quellversuch nach Huder und Amberg	K	%	47						
	Versuchsdauer	d		48						
DIN 52103	Wasseraufnahme		%	49						
	Absplitterung									
	Kennziffer der Absplitt.	-		50						
Veränderlichk. in Wasser	DIN 4022	-		51						
Cerchar	CAI	-		53						
Abrasivitätsindex	Klassifizierung	-		54						
Frostversuch nach	Absplitt.	%		55						
DIN 52104 / 4226	Kennzi.	-		56						
Einaxialer Kriechversuch	% von einax. Druckfestigkeit		%	57						
	Kriechrate am 10. Tag (LS 1)		%							
	% von einax. Druckfestigkeit		%							
	Kriechrate am 10. Tag (LS 2)		%							
% von einax. Druckfestigkeit		%	58							
Kriechrate am 10. Tag (LS 3)		%								
Stake Durability Test			I_{d1}	%						
			I_{d2}	%						

zu Zeile 51: w - / w' / w / w* = nicht veränderlich / mäßig veränderlich / veränderlich / stark veränderlich

zu Zeile 54 u. 56: Kennziffer der Absplitter.

Bemerkungen:

Zusammenstellung der geomechanischen Versuchsergebnisse (Fels)

Entnahmedaten		Proben-Nr.		Zellen-Nr.:	WEA					
Entnahmestelle					02					
Zusätzliche Angaben										
Entnahmetiefe		von	m		9,80					
		bis	m		9,90					
Entnahmearart				ungestört						
Probenbeschreibung				Tst						
Stratigraphie										
Dichte- bestimmung	Korndichte	ρ_s	1/m ³	31						
	Feuchtdichte	ρ	1/m ³	32						
	Wassergehalt	w	%	33						
	Trockendichte	ρ_d	1/m ³	34						
Einaxialer Druckversuch	Einax. Druckfestigkeit	σ_u	MN/m ²	35						
	Belastungsmodul	B	MN/m ²							
	Wiederbelastungsmodul	V								
	Entlastungsmodul	E								
Poisson- zahlen	für Belastung,	ν_B		-	36					
	Wiederbelastung	ν_V								
	und Entlastung	ν_E								
Dreiaxialer Druckversuch	Vers. Typ/Probendurchm.	- / cm	37							
	Anzahl der Zyklen	-	38							
	Reibungswinkel	φ								
	technische Kohäsion	c		MN/m ²						
Punktlastindex	diametral axial	$I_{S(50)}$	MN/m ²	39	1,690 (s)					
Spaltzugversuch		σ_z	MN/m ²	40						
Reibungsversuch	Probenfläche	A	cm ²	41						
	Anzahl der Laststufen	-	MN/m ²	42						
	Trennflächentyp	-								
	Trennflächengeometrie	-								
	Reibungswinkel	φ								
	technische Kohäsion	c								
Quellversuche	Quellspannung	σ_q			MN/m ²	43				
	Versuchsdauer	d		44						
	Quelldehnung	$\epsilon_{q,0}$	%	45						
	Versuchsdauer	d		46						
	Quellversuch nach Huder und Amberg	K	%	47						
	Versuchsdauer	σ_0	MN/m ²	48						
DIN 52103	Wasseraufnahme		%	49						
	Absplitterung									
	Kennziffer der Absplitt.	-			50					
Veränderlichk. in Wasser DIN 4022				-	51					
Cerchar				CAI	-	53				
Abrasiveitätsindex				Klassifizierung	-	54				
Frostversuch nach				Absplitt.	%	55				
DIN 52104 / 4226				Kennzi.	-	56				
Einaxialer Kriechversuch	% von einax. Druckfestigkeit		%	57						
	Kriechrate am 10. Tag (LS 1)		%							
	% von einax. Druckfestigkeit		%							
	Kriechrate am 10. Tag (LS 2)		%							
	% von einax. Druckfestigkeit		%							
Kriechrate am 10. Tag (LS 3)		%								
Slake Durability Test				I_{d1}	%	58				
				I_{d2}	%					

zu Zeile 51: w- / w' / w / w* = nicht veränderlich / mäßig veränderlich / veränderlich / stark veränderlich

zu Zeile 54 u. 56: Kennziffer der Absplitt.

Bemerkungen:

Einaxialer Druckversuch

Felsprobe ohne Messung der Querdehnung
nach DGGT-Empfehlung Nr. 1

Entnahmestelle

WEA 02

Tiefe unter GOK:

9,30 - 9,50 m

Entnahmearart:

ungestört

Probenbeschreibung:

Tst

Bodengruppe:

Stratigraphie:

Entn. am:

von: Geotechnik Herrmann

Ausgeführt von: J. Bergen

am: 10.08.2021

Gepr.:

Ausgewertet von: Frühwirth

am: 01.09.2021

Probenhöhe: 175,2 mm

Feuchtdichte: 2,494 t/m³

Verformungsgeschwindigkeit:

0,20 mm/min

Durchmesser: 101,4 mm

Wassergehalt: %

Höhen/Durchmesserverhältnis(h/d):

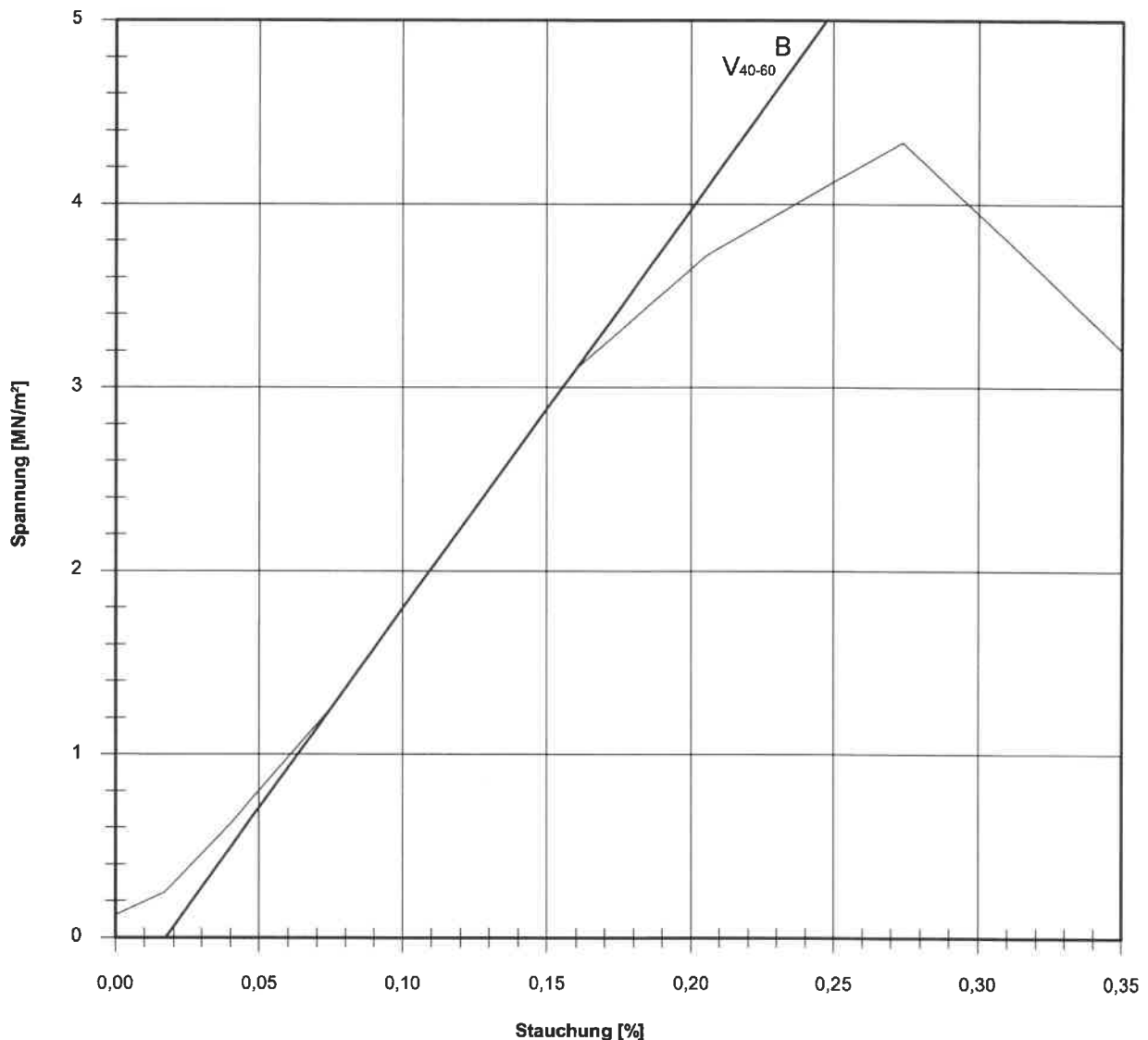
1,73

Querschnittsfläche: 80,75 cm²

Trockendichte: t/m³

Korrekturfaktor; $f = 8/(7+2d/h)$:

0,981



Bruchspannung σ : 4,334 MN/m²
Einaxiale Druckfestigkeit
 $f \cdot \sigma = q_U$ bzw. σ_U : 4,250 MN/m²
Stauchung beim Bruch: 0,27 %
Querdehnung beim Bruch:

Verformungsmodul:
Belastungsmodul V_{40-60} : 2170 MN/m²
Modul d. einaxialen Druckf. E_U :
Belastungsmodul B : 2170 MN/m²
Wiederbelastungsmodul V :
Entlastungsmodul E :

Poissonzahl:
für Belastung ν_B :
für Wiederbelastung ν_V :
für Entlastung ν_E :

Bemerkungen:

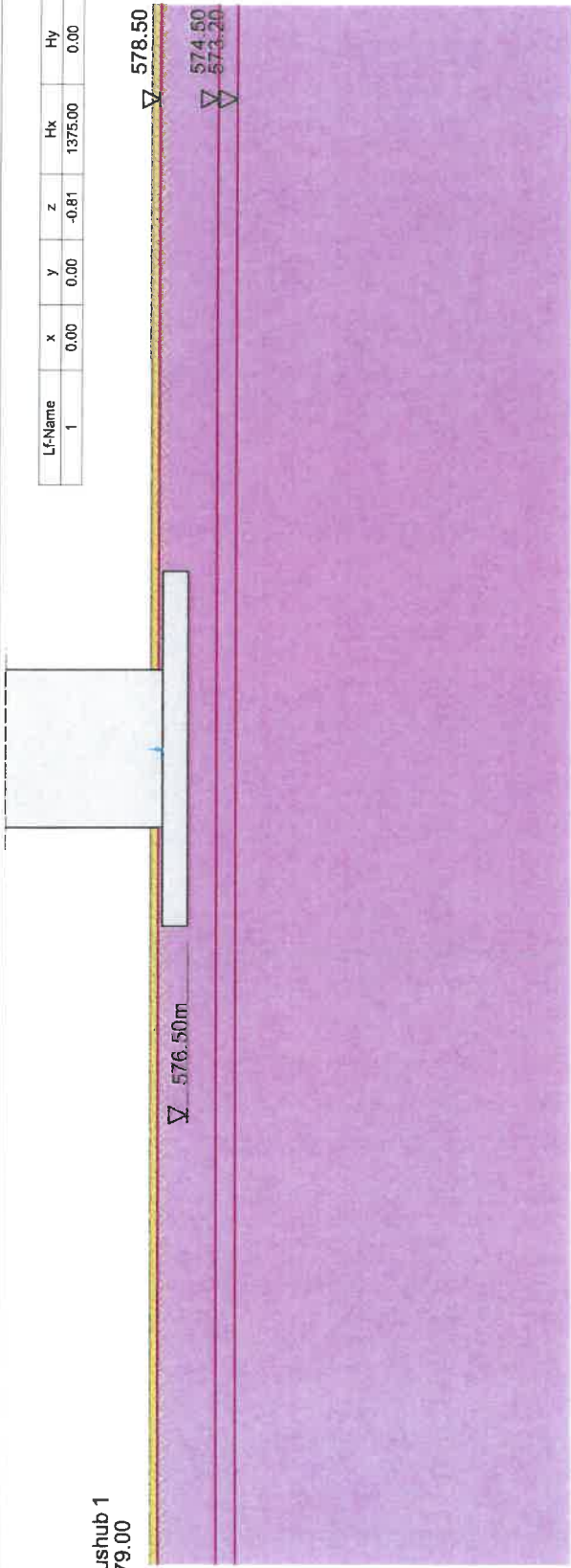
Anlagengruppe 6

Lf-Name	x	y	z	Hx	Hy	Vz	Mx	My	Typ
1	0.00	0.00	-0.81	1375.00	0.00	18150.00	214800.00	0.00	S

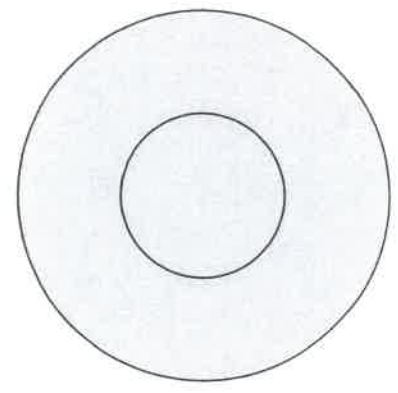
Aushub 1
579.00

▽ 576.50m
▽ 578.50 + 579.00

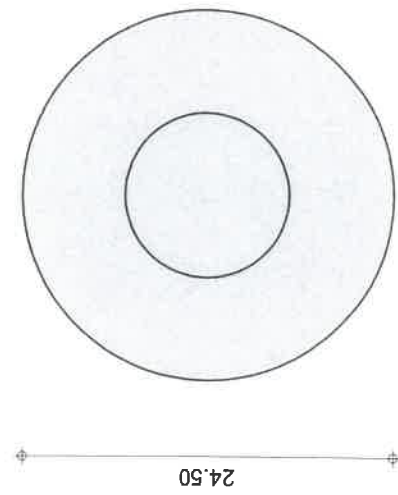
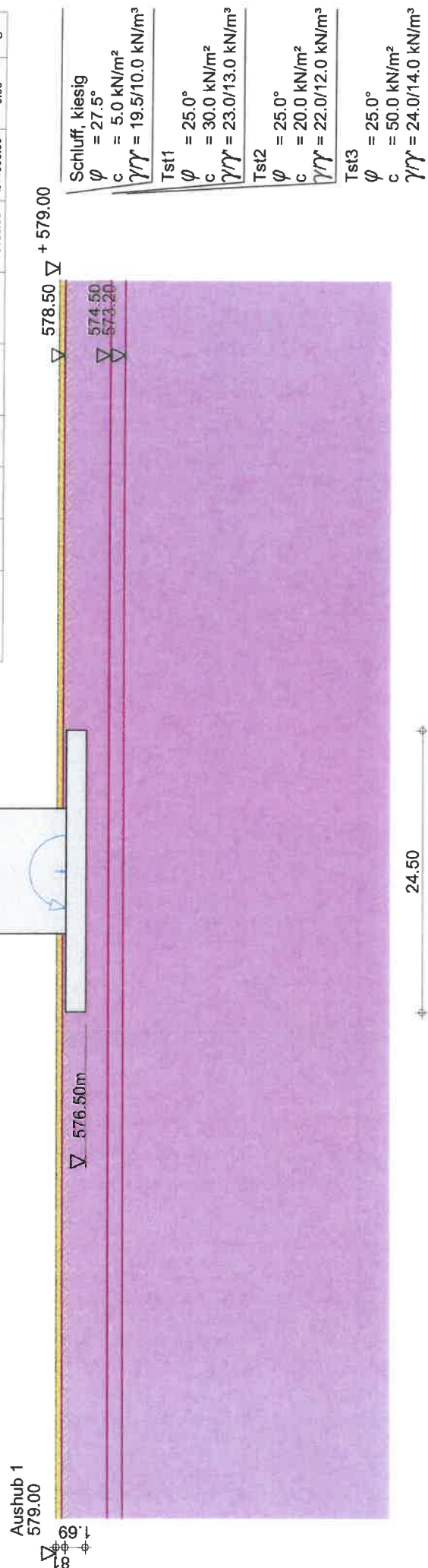
- Schluff, kiesig
 $\varphi = 27.5^\circ$
 $c = 5.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma\gamma = 19.5/10.0 \text{ kN/m}^3$
- Tst1
 $\varphi = 25.0^\circ$
 $c = 30.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma\gamma = 23.0/13.0 \text{ kN/m}^3$
- Tst2
 $\varphi = 25.0^\circ$
 $c = 20.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma\gamma = 22.0/12.0 \text{ kN/m}^3$
- Tst3
 $\varphi = 25.0^\circ$
 $c = 50.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma\gamma = 24.0/14.0 \text{ kN/m}^3$



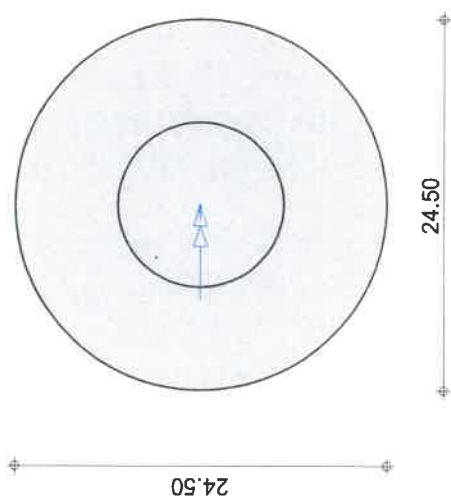
24.50



Lf-Name	x	y	z	Hx	Hy	Vz	Mx	My	Typ
1	0.00	0.00	-0.81	1375.00	0.00	18150.00	214800.00	0.00	S



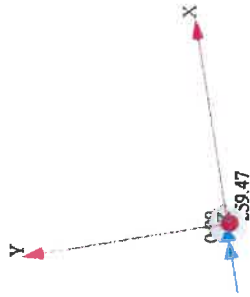
Lf-Name	x	y	z	Hx	Hy	Vz	Mx	My	Typ
1	0.00	0.00	-0.81	1375.00	0.00	18150.00	214800.00	0.00	S



GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner
 Lammelbach 5, 91567 Herrrieden
 Windpark Ohrenbach
 WEA 2

Seite 3

Maßstab : 1 : 500



Programm DC-Fundament - Copyright 2006-2021: DC-Software Doster & Christmann GmbH, D-81245 München

Eingabedatei: C:\ProgramData\DC-Grundbaustatik\Daten\WEA2.dbf

**Fundament-Berechnung nach DIN EN 1997-1 (Eurocode 7)
und DIN 1054:2010**

Erddruck nach DIN 4085:2017

Berechnung mit Nachweisverfahren 2

Kombination mit Teilsicherheitsbeiwerten der Gruppen A1 + M1 + R2

Fundamenttyp: Einzelfundament, kreisförmig

Fundamentabmessungen

Durchmesser d : 24.50 m
 Unterkante : 576.50 mNN
 Höhe h : 1.69 m
 Wichte γ : 25.00 kN/m³
 Geländeoberkante auf 579.00 mNN

Schichtdaten

		Schluff, kiesig	Tst1	Tst2	Tst3
Schichthöhe Δh	[m]	0.50	4.00	1.30	94.20
Innere Reibung $\text{cal } \varphi'$	[°]	27.50	25.00	25.00	25.00
Kohäsion c	[kN/m ²]	5.00	30.00	20.00	50.00
Wichte Boden γ	[kN/m ³]	19.50	23.00	22.00	24.00
Wichte unter Auftrieb γ'	[kN/m ³]	10.00	13.00	12.00	14.00
Steifemodul E_s	[MN/m ²]	40.00	100.00	80.00	120.00
zul. Bodenpressung	[kN/m ²]		550.00	450.00	550.00

Lastfall BS
 1 P

Einzellasten

Lastfall	Kat.	V [kN]	H _x [kN]	H _y [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	x [m]	y [m]	z [m]	γ Grundbau	γ Bemess.	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Eigengew.	G	19953.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	-2.50	1.35	1.35			
1	G	18150.0	1375.0	0.0	214800.0	0.0	0.00	0.00	-0.81	1.35	1.35			

Teilsicherheitsbeiwerte für statisches Gleichgewicht (EQU):

γ -	G, stb	G, dst	Q, dst
BS-P	0.90	1.10	1.50
BS-T	0.90	1.05	1.25
BS-A	0.95	1.00	1.00
BS-T/A	0.93	1.03	1.13

Teilsicherheitsbeiwerte (STR, GEO) für Nachweisverfahren 2

γ -	G	Q	R,v	R,h	γ	φ	c	cu	Ea	E0g	Ep
BS-P	1.35	1.50	1.40	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.35	1.20	1.40
BS-T	1.20	1.30	1.30	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.10	1.30
BS-A	1.10	1.10	1.20	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.10	1.00	1.20
BS-T/A	1.15	1.20	1.25	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.15	1.05	1.25

- γ - Teilsicherheitsbeiwert für ...
- G ständige Lasten
- Q veränderliche Lasten
- R,v Grundbruchwiderstand
- R,h Gleitwiderstand
- γ Wichte
- φ Reibungsbeiwert $\tan \varphi$
- c Kohäsion c
- cu Kohäsion undräniert cu
- Ea Aktiver Erddruck
- E0g Ruhedruck
- Ep Passiver Erddruck
- G, stb günstige ständige Lasten
- G, dst ungünstige ständige Lasten
- Q, dst ungünstige veränderliche Lasten

Lastfall-Kombinationen für Grundbaunachweise:

Komb.Nr.	Bem.sit.	Eigengew.	1
1	BS-P	1.00	1.00
2	BS-P	1.00	1.35
3	BS-P	1.35	1.00
4	BS-P	1.35	1.35

Lastfall-Kombinationen für Bemessung:

Komb.Nr.	Eigengew.	1
1	1.00	1.00
2	1.00	1.35
3	1.35	1.00
4	1.35	1.35

Ergebnisse:

Komb.Nr.	Sohl-normalsp. [kN/m ²]	max.Boden- pressung [kN/m ²]	Gleiten T _d /R _d	Grundbr. N _d /R _d	max. Setzung [mm]	e/d ständig	e/d gesamt	EQU: E _{d,dst} /E _{d,stab}
1	185.7	259.5	0.07	0.08	20.0	0.380	0.141	0.002
2	185.7	259.5	0.09	0.09	20.0	0.380	0.141	0.002
3	185.7	259.5	0.07	0.09	20.0	0.380	0.141	0.002
4	185.7	259.5	0.09	0.10	20.0	0.380	0.141	0.002

Maßgebend:

Komb.Nr.	Sohl-normalsp. [kN/m ²]	max.Boden- pressung [kN/m ²]	Gleiten T _d /R _d	Grundbr. N _d /R _d	max. Setzung [mm]	e/d ständig	e/d gesamt	EQU: E _{d,dst} /E _{d,stab}
	185.7	259.5	0.09	0.10	20.0	0.380	0.141	0.002

Nachweis der Lagesicherheit im GZ EQU

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 1, maßgebende Richtung: -y

Lage der Kippkante: (-12.25 m; -2.50 m)

E_{d,dst} = 543.55 kNm <= E_{d,stab} = 321270.92 kNm

*** Nachweis erfüllt ***

Nachweis der max. Bodenpressung

Schnittgrößen in der Sohlfuge

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 4

Belastung aus Eigengewicht: V = 19953.5 kN

Belastung aus Erdauflast: V = 8522.1 kN, M_y = 0.0 kNm, M_x = 0.0 kNm

Gesamtlast:

N = 46625.6 kN, Q_x = 1375.0 kN, M_y = 2327.9 kNm, Q_y = 0.0 kN, M_x = 214800.0 kNm

σ_{1(-x)} = 259.5 kN/m², σ_{2(+x)} = 0.0 kN/m²

Ersatzbreiten: b' = 15.29 m, a' = 16.43 m

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 4

(char. Sohlnormalspannung σ_{or,k} = 185.7 kN/m²)

Nachweis mit Bemessungswerten:

σ_{or,d} = 250.7 kN/m² < Bemessungswert Sohlwiderstand σ_{Rd} = 550.0 kN/m²

*** Nachweis erfüllt ***

Nachweis der Gleitsicherheit im Nachweisverfahren 2

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 2, maßgebende Richtung: +x

	Charakteristisch	Bemessungswerte
Belastung T	= 1375.0 kN	1856.3 kN
Erdwiderstand E _{ph} (δ _p = 0)	= 1375.0 kN	982.1 kN
Belastung V	= 46625.6 kN	
Reibungswinkel Sohle δ	= 25.00 °	
Gleitwiderstand R _t	= 21741.9 kN	19765.3 kN
Nachweis: T_d / (R_{t,d} + E_{p,d})	= 0.09 < 1.0	

*** Nachweis erfüllt ***

Nachweis der Grundbruchsicherheit im Nachweisverfahren 2

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 4, maßgebende Richtung: +x

Belastung		Charakteristisch	Bemessungswerte
Auflast P	=	26672.12 kN	36007.36 kN
Eigengewicht G	=	19953.50 kN	26937.22 kN
Gesamtlast V	=	46625.61 kN	62944.58 kN
Horizontallast H	=	1375.00 kN	1856.25 kN
Moment M_y	=	2327.88 kNm	3142.63 kNm
Moment M_x	=	214800.00 kNm	289980.00 kNm
Neigung der Resultierenden $\tan(\delta_s) = H/V$	=	0.03	
Lastrichtung zur Querrichtung ω	=	90.00 °	

Abmessungen

Einbindetiefe d	=	2.50 m
Ersatzbreite b'	=	15.29 m
Ersatzbreite quer a'	=	17.31 m

Ergebnisse

Breite der Grundbruchfigur	=	62.45 m
Tiefe der Grundbruchfigur	=	19.45 m
Maßgebende Bodenkennwerte: γ oberhalb Gründungssohle	=	22.30 kN/m ³
γ unterhalb Gründungssohle	=	23.70 kN/m ³
Reibungswinkel φ	=	25.00 °
Kohäsion c	=	46.80 kN/m ²
Tragfähigkeitsbeiwerte N_c, N_q, N_γ	=	20.72 10.66 4.51
Lastneigungsbeiwerte i_c, i_q, i_γ	=	0.95 0.96 0.93
Formbeiwerte s_c, s_q, s_γ	=	1.47 1.42 0.70

Grundbruchspannung p_d	=	2298.93 kN/m ²
Bemessungswert Grundbruchwiderstand R_d	=	608255.97 kN
Bemessungswert Beanspruchung N_d	=	62944.58 kN

Nachweis: $N_d / R_d = 0.10 < 1.0$

***** Nachweis erfüllt *****

Setzungsberechnung (GZG)

bezogen auf die Bodenpressungen an den kennzeichnenden Punkten:

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 1

Setzung am Randpunkt (-r; 0):	8.5 mm
Setzung am Randpunkt (+r; 0):	8.8 mm
Setzung am Randpunkt (0;-r):	20.0 mm
Setzung am Randpunkt (0;+r):	-2.7 mm (Hebung)

Maximale Setzung:	20.0 mm
Angesetzte Grenztiefe:	13.80 m

Setzung nur aus Normalkraft

Setzung am Randpunkt (-r; 0):	6.2 mm
Setzung am Randpunkt (+r; 0):	6.4 mm
Setzung am Randpunkt (0;-r):	6.3 mm
Setzung am Randpunkt (0;+r):	6.3 mm

Maximale Setzung:	6.4 mm
Angesetzte Grenztiefe:	9.80 m

Lf-Name	x	y	z	Hx	Hy	Vz	Mx	My	Typ
1	0.00	0.00	-0.81	1375.00	0.00	18150.00	214800.00	0.00	S

Aushub 1
579.00

▽ 578.50 ∇ + 579.00

▽ 576.50m

▽ 574.50
▽ 573.20

$$\sigma_{s, \max} = 259.5 \text{ kN/m}^2$$

$$\max. s = 20.0 \text{ mm}$$

$$E_{d,Gr}/R_{d,Gr} = 0.10 < 1.0 (+x)$$

$$E_{d,Gl}/R_{d,Gl} = 0.09 < 1.0$$

$$e/d = 0.19$$

Schluff, kiesig
 $\varphi = 27.5^\circ$
 $c = 5.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma\gamma = 19.5/10.0 \text{ kN/m}^3$

Tst1

$$\varphi = 25.0^\circ$$

$$c = 30.0 \text{ kN/m}^2$$

$$\gamma\gamma = 23.0/13.0 \text{ kN/m}^3$$

Tst2

$$\varphi = 25.0^\circ$$

$$c = 20.0 \text{ kN/m}^2$$

$$\gamma\gamma = 22.0/12.0 \text{ kN/m}^3$$

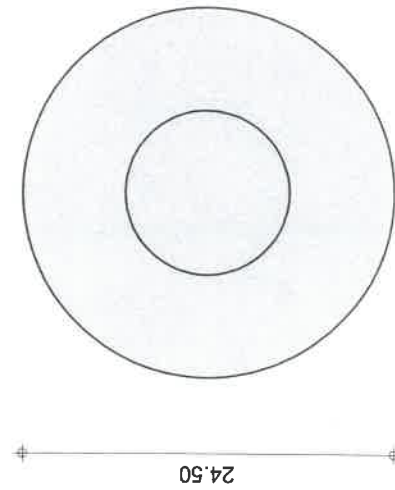
Tst3

$$\varphi = 25.0^\circ$$

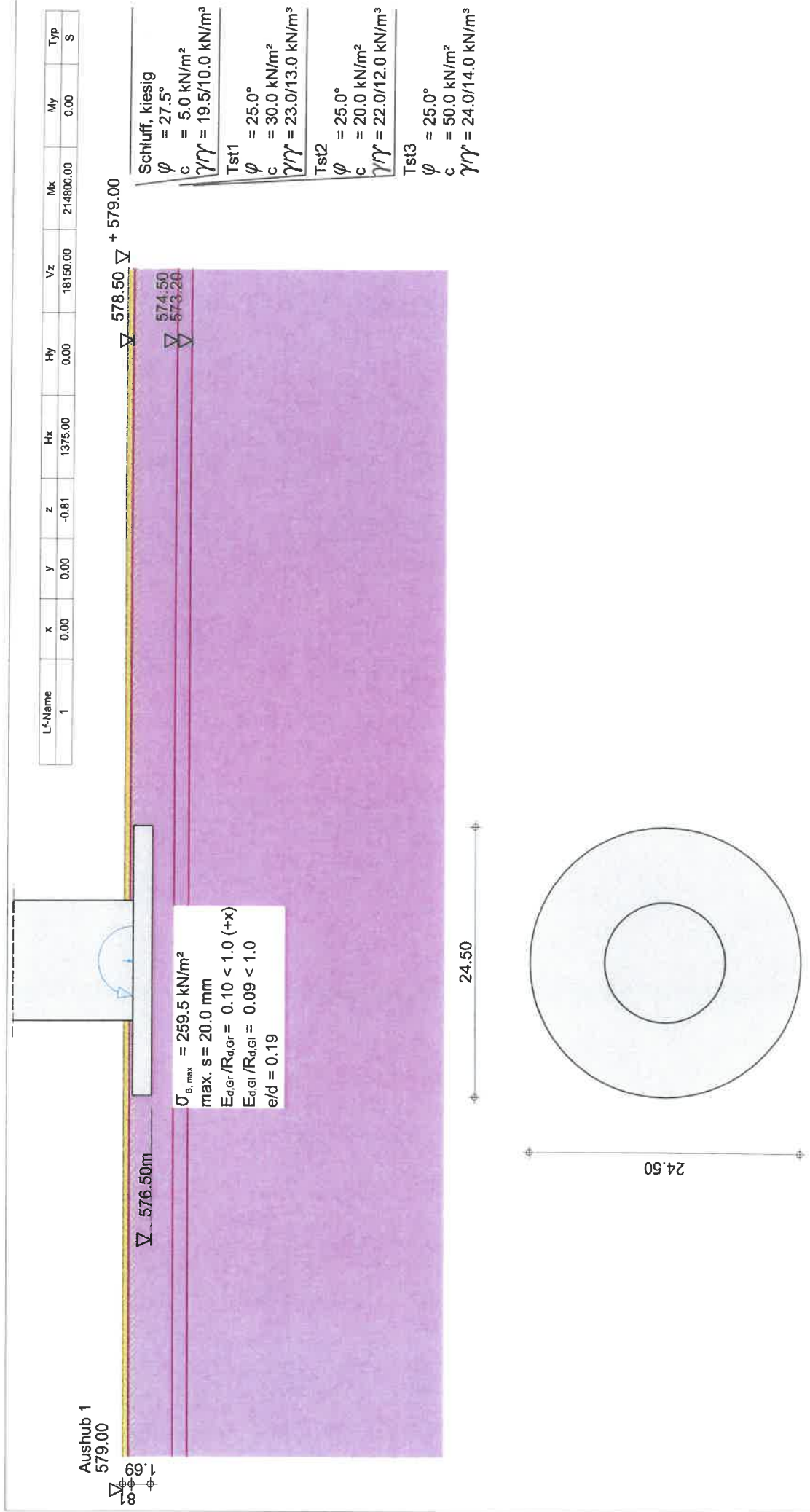
$$c = 50.0 \text{ kN/m}^2$$

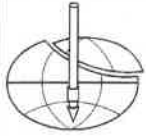
$$\gamma\gamma = 24.0/14.0 \text{ kN/m}^3$$

24.50



24.50





GEOTECHNIK GmbH

Prof. Dr. -Ing. Herrmann & Partner

Lammelbach 5

91567 Herrieden

Web: www.geotechnik-gmbh.com
e-mail: GEOTECHNIK_GmbH@t-online.de

Büro 2: Hans-Böckler-Straße 1
57223 Kreuztal – Buschhütten

Büro 1: Lammelbach 5
91567 Herrieden

Telefon: 09825 – 9 34 13
09825 – 9 34 14
Telefax: 09825 – 9 34 15

Funktelefon 1: 0170 – 4751946
Funktelefon 2: 0170 – 5533881

Telefon: 02732 – 55 28 26
Telefax: 02732 – 55 28 27

**Windpark
Ohrenbach
Windenergieanlage
WEA 3
Vestas Typ V162 6,0MW
169 m Nabhöhe
in 57319 Bad Berleburg
Auftraggeber:
Krug Energie GmbH & Co. KG
35117 Münchhausen**

**Ergebnisse
der geotechnischen Untersuchungen
- Baugrund- / Gründungsgutachten -**

Auftraggeber:	Firma Krug Energie GmbH & Co. KG Dorfstraße 53 35117 Münchhausen-Wollmar
Projekt:	Windpark Ohrenbach, Windenergieanlage WEA 3 Fa. Vestas Typ V162 6,0MW, 169 m Naben- höhe bei Bad Berleburg 57319 Bad Berleburg
Auftrag:	Geotechnische Untersuchungen - Baugrund-/Gründungsgutachten (Geotechnischer Bericht nach DIN 4020)
Ihre Zeichen:	Herr Hans-Hermann Zacharias Auftrag vom 27.05.2021 (E-Mail)
Unsere Zeichen:	GEO-210129/2
Bearbeitung:	Dipl.-Ing. (FH) Thorsten Lauber Univ.-Prof. Dr.-Ing. Richard A. Herrmann
Lammelbach,	den 20.10.2021

Inhaltsverzeichnis:		Seite
1	Vorgang	4
2	Allgemeines	4
3	Geotechnische Untersuchungen	6
4	Geologie und Morphologie	13
5	Baugrundbeurteilung	14
6	Gründungsempfehlungen	15
7	Zusammenfassung und Schlussbemerkungen	32

Anlagen:

Anlage 1:	Lageplan der Aufschlüsse
Anlagengruppe 2:	Darstellung des direkten Aufschlusses Bohrung BK WEA 3 (nach DIN EN ISO 22475-1) - Bohrprofil (Anlage 2.1) - Bilddokumentation (Anlage 2.2 - 2.3)
Anlagengruppe 3:	Darstellung der indirekten Aufschlüsse Ergebnisse der schweren Rammsondierungen WEA3-DPH-1 bis WEA3-DPH-5 - (Anlage 3.1 - 3.10)
Anlage 4:	Abwicklung des direkten Aufschlusses und der indirekten Aufschlüsse
Anlagengruppe 5:	Ergebnisse der felsmechanischen Laborversuche Punktlastversuche und Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit an Festgesteinsproben - (Anlage 5.1 - 5.3)
Anlagengruppe 6:	Fundamentberechnung - Sohlspannung, Setzung, Grundbruch, Gleiten u.a. - (Anlage 6.1 - 6.10)

1 Vorgang

Die Firma Krug Energie GmbH & Co. KG als Bauherr und Investor, vertreten durch Herrn Hans-Hermann Zacharias beauftragte uns am 27.05.2021 mit der Durchführung von geotechnischen Untersuchungen und der Ausarbeitung von Baugrund-/Gründungsgutachten (Geotechnischer Bericht nach DIN 4020) für die Errichtung von 8 Windenergieanlagen (WEA 2 – WEA 9) im Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg.

Grundlage der Beauftragung ist unser Kostenangebot vom 29.01.2021.

2 Allgemeines

Das Bauvorhaben sieht nach den vorliegenden Planunterlagen den Bau von insgesamt 8 Windenergieanlagen der Firma Vestas Wind Systems A/S, DK-8200 Aarhus vom Typ V162, 6,0 MW mit einer Nabenhöhe von 169 m vor. Der Hybridturm aus einem ca. 74,76 m hohen Stahlrohrturm über einem ca. 89,09 m hohen Spannbetonschaft steht auf einer kreisförmigen Fundamentplatte mit einem Durchmesser von 24,5 m. Das Fundament weist eine Höhe von 2,90 m auf und wird auf einer ca. 10 cm dicken Sauberkeitsschicht hergestellt. Im Zentrum des Fundamentes wird mit einem Durchmesser von 4,4 m eine Weichschicht mit $d = 5$ cm auf der Sauberkeitsschicht eingebaut und zusätzlich außerhalb des Sockels mit einer Breite von 2 m eine Weichschicht $d = 15$ cm in die Sauberkeitsschicht eingebaut.

Der Windpark Ohrenbach befindet sich südöstlich der Stadt Bad Berleburg im Waldgebiet zwischen den Einzelgehöften Lützelbach/Steinbach im Nordwesten, den Dörfern Arfeld im Südwesten, Schwarzenau mit dem Oberen Hüttental im Südosten und dem Hof Brücher im Nordosten. Neben den geplanten 8 Anlagen erfolgen benachbart für 4 bereits genehmigte Anlagen der Eder Energy Erdarbeiten für die Erschließung und Baufeldvorbereitung.

Das Gelände wird von den Erhebungen des Großen Prenzenberger Kopfes (653 mNN) im Nordwesten, Ohrenbachsrücken (593 mNN) im Südwesten, dem Hahnschuß (600 mNN) im Südosten, der Schlade Seite (635 mNN) im Osten und dem Nesselbergkopf (671 mNN) im Nordosten geprägt und dazwischen hat sich das Arfetal in das Gelände eingeschnitten.

Der Standort der WEA 3 mit den Mittelpunktkoordinaten im ETRS/UTM 32N-System von Re 459545 und Ho 5653884 und einer Höhe von ca. 531,5 mNHN (im Zentrum) liegt südwestlich des Ohrenbach (Erhebung mit 625 mNHN) am nach Süden zum Bilzterbach abfallenden Hang am westlichen Rand des geplanten Windparks.

Das Baugrundstück befindet sich im Wald und grenzt im Norden und Süden an einen Waldwirtschaftsweg an. Für die Durchführung der Baugrunderkundung, d.h. Erreichbarkeit für ein Bohrgerät und das zugehörige Equipment wurde ein Weg zum Zentrum der Anlage aufgeschottert und eine kleine Schneise vom südlichen Weg zum Zentrum der Anlage hergestellt.

Zur Bearbeitung des Baugrund-/Gründungsgutachtens und als Vorinformation zum Bauvorhaben wurden uns bisher folgende Planunterlagen zur Verfügung gestellt:

- **Prüfbericht für eine Typenprüfung „Prüfung der Standsicherheit - Hybridturm T20“**, Prüfnr.: 3108363-13-d (15 Seiten [mit Anlagen]), aufgestellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Prüfamts für Standsicherheit für die bautechnische Prüfung von Windenergieanlagen, 80686 München, am 17.02.2020
- **Prüfbericht für eine Typenprüfung „Prüfung der Standsicherheit - Flachgründung“**, Prüfnr.: 3108363-23-d, (201 Seiten [mit Anlagen]), aufgestellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Prüfamts für Standsicherheit für die bautechnische Prüfung von Windenergieanlagen, 80686 München, am 17.02.2020
- **Gutachterliche Stellungnahme für Lastannahmen zur Turmberechnung der Vestes V162-5.6 MW mit 169 m Nabenhöhe (Hybrid-Turm, Entwurfslebensdauer 20 Jahre) für Windzone WZ2GK2 (S)“**, Berichts-Nr. L-05629-A052-3 Rev. 1, (243 Seiten [mit Anlagen]), aufgestellt von DNV GL Energy Renewables Certification, Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH, 20457 Hamburg, am 05.02.2020
- **Plan „Übersichtsplan 1/2, Übersicht WEA 2 - 6 [Planung]**, M.: 1:5000, aufgestellt von Windenergie Wenger-Rosenau GmbH & Co. KG, 16816 Neuruppin, gezeichnet am 29.07.2021
- **Plan „Übersicht 8 WEA [Entwurf]**, M.: 1:10000, aufgestellt von Windenergie Wenger-Rosenau GmbH & Co. KG, 16816 Neuruppin, gezeichnet am 20.04.2021
- **Koordinatenliste der Anlagen-Mittelpunkte**, Stand: 01.06.2021
- **Liste „Geländehöhen der Anlagen-Mittelpunkte“**, übermittelt von Dipl.-Ing. Burghaus, ÖbVI, Stand: 14.10.2021, Messgenauigkeit ca. $\pm 10 - 15$ cm

3 Geotechnische Untersuchungen

3.1 Allgemeines

Die geotechnischen Untersuchungen des Baugrundes und der örtlichen Situation für die geplante Errichtung der Windenergieanlage WEA 3 im Windpark Ohrenbach wurden am 04.06.2021 mit der Durchführung von fünf schweren Rammsondierungen DPH nach DIN EN ISO 22476-2 zur Ermittlung der relativen Baugrundfestigkeiten sowie zur Abgrenzung eines vorhandenen Grenzhorizontes begonnen. Die Felduntersuchungen wurden am 24.06.2021 mit dem Niederbringen einer Bohrung nach DIN EN ISO 22475-1 Tabelle 2 + 5 zur Schaffung eines *direkten* Baugrundaufschlusses und der Wiederverfüllung des Bohrloches abgeschlossen.

Die Bohrung wurde zur Schaffung eines direkten Baugrundaufschlusses mit der Gewinnung durchgehend gekernter Boden- und Felsproben und damit zur Beurteilung der Baugrundverhältnisse im Bereich der geplanten neuen Windenergieanlage abgeteuft. Die Rammsondierungen dienten zur Ermittlung geotechnischer insitu Kenngrößen nach DIN EN 1997-2, aus denen geotechnische Kennwerte für die Bemessung nach DIN EN 1997-1 abgeleitet werden, sowie zur Abgrenzung von Festigkeits- und Grenzhorizonten.

Die Festlegung der Bohr- und Sondierpunkte wurde in Anlehnung an die DIN 4020 und die örtlichen Gegebenheiten an definierten Punkten in Form eines Rasters (hier zentralsymmetrische Anordnung) ausgewählt, um eine flächenhafte Erkundung des Baugrundes im Bereich des Turmfundamentes zu erzielen.

Die geodätische Einmessung der einzelnen Aufschlusspunkte bzw. der Ansatzhöhen erfolgte auf den mit einem Pflock markierten Mittelpunkt der Anlage sowie mit einer GPS-Vermessung. Die Ansatzhöhen sind auf das Normalhöhennull (mNHN) im System des Deutschen Haupthöhennetzes (DHHN 2016) bezogen.

Die Lage der durchgeführten Untersuchungen im Bereich des Baugrundstückes wurde mit den Orten der Bohrung und Sondierungen auf dem Grundriss des Baugeländes eingemessen. Diese Einmessung wurde in einem Lageplan dargestellt und ist dem Baugrund-/ Gründungsgutachten als **Anlage 1** beigefügt. Als Grundplan diente ein Auszug aus dem Plan „Übersichtsplan 1/2, Übersicht WEA 2 - 6 [Planung] des Büros Windenergie Wenger-Rosenau GmbH & Co. KG, 16816 Neuruppin.

3.2 Direkter Aufschluss mit einer Bohrung nach DIN EN ISO 22475-1

Bohrung BK WEA 3

Die Bohrung BK WEA 3 wurde von dem von der Firma Krug Energie direkt beauftragten Bohrunternehmen Stölben GmbH, 56856 Zell/Mosel, mit Bohrverfahren nach Tabelle 2 und 5 der DIN EN ISO 22475-1 abgeteuft. Der Bohrpunkt für BK WEA 3 wurde ca. 1 m neben dem Zentrum des geplanten Fundamentes der Windenergieanlage festgelegt. Die Bohrung wurde als Rotationskernbohrung mit Einfachkernrohr im Überlagerungsbereich im Trockenbohrverfahren und im Felsbereich mit Wasserspülung mit dem Doppelkernrohr abgeteuft und wurde bei einer Bohrtiefe von 12 m planmäßig beendet. Das Spülwasser wurde aus dem Trinkwassernetz in Bad Berleburg entnommen und mit einem Wasserfass zur Bohrstelle transportiert.

Die Lage der Bohrung ist im Lageplan der **Anlage 1** dargestellt.

Bohrung BK WEA 3

Die Bohrung BK WEA 3 wurde ca. 1 m neben dem Mittelpunkt des geplanten Kreisringfundamentes der Windenergieanlage WEA 2 niedergebracht. Der Oberboden war im Bereich um das Zentrum der Anlage mit der Herstellung einer Arbeitsebene für das Bohrgerät bereits abgetragen worden.

Bohrung BK WEA 3 (Ansatzpunkt = 531,27 mNHN)

Die Bohrung BK WEA 3 ergab folgendes Bohrprofil:

0,00 – 0,30 m Schluff, kiesig, weich, hellbraun

0,30 – 2,30 m Kies, schluffig, schwach steinig, (Grauwacke-Zersatz), hellbraun

2,30 – 2,60 m Tonstein, stark verwittert, dünnplattig, schlechte Kornbindung, dicht, nicht-körnig, oxidiert, rostbraun

- 2,60 – 4,00 m Grauwacke, vollständig verwittert, (Kies, schluffig, schwach steinig), hellbraun
- 4,00 – 5,90 m Grauwacke, mäßig verwittert, plattig bis bankig, gute Kornbindung, dicht, nichtkörnig, oxidierte Kluffflächen, grau
- 5,90 – 6,50 m Tonstein, stark verwittert, blättrig bis plattig, schlechte – mäßige Kornbindung, dicht, nichtkörnig, braun
- 6,50 – 12,00 m Grauwacke, schwach verwittert, plattig bis bankig, klüftig, gute – sehr gute Kornbindung, dicht, braun
- Ein Grund-/Schichtenwasser wurde im Bohrloch der Bohrung BK WEA 3 im Beobachtungszeitraum nicht festgestellt.

Die Bohrung BK WEA 3 wurde planmäßig in einer Tiefe von 12,00 m unter GOF bei 519,27 mNNH beendet. Das Bohrloch wurde nach Beendigung der Bohrarbeiten mit hoch quellaktivem Tongranulat verfüllt.

Die Ergebnisse des direkten Aufschlusses (Bohrung BK WEA 3) sind in der **Anlage 2** als Bodenprofil nach DIN 4023 dargestellt.

3.3 Indirekte Aufschlüsse mit Rammsondierungen nach DIN EN ISO 22476-2

Rammsondierungen DPH

Die Lage der Sondierpunkte ist im Lageplan der **Anlage 1** dargestellt.

Schwere Rammsondierungen DPH-1 bis DPH-5

Zur Ermittlung der Baugrundfestigkeiten und zur Abgrenzung der Verwitterungshorizonte (Überlagerung) sowie des Grenzhorizontes wurden im Bereich des Baugrundstücks fünf schwere Rammsondierungen DPH nach DIN EN ISO 22476-2 durchgeführt. Die Rammsondierungen dienen zur Ermittlung geotechnischer insitu Kenngrößen nach DIN EN

1997-2, aus denen geotechnische Kennwerte für die Bemessung nach DIN EN 1997-1 abgeleitet werden, sowie zur Abgrenzung von Festigkeits- und Grenzhorizonten.

Die Rammsondierungen DPH wurden im Zentrum und in einem Radius von 12,25 m um das Zentrum der geplanten Windenergieanlage absondiert und waren mit Rammwiderständen $N_{10} \geq 50$ Schläge pro 10 cm Eindringung planmäßig zu beenden.

Die Sondierungen ergaben oberflächennah bis in eine Tiefe von 0,4 bis 0,7 m eine Zone mit geringen Rammwiderständen mit 1 bis 4 (Schlägen pro 10 cm Eindringung)* und nachfolgend einen Anstieg auf wechselnde höhere und hohe Sondierwiderstände ($N_{10} \geq 10^*$), die vereinzelt auf kurzen Sondierstrecken auch geringfügig niedriger lagen. Darunter wurde bei DPH-1 im Tiefenbereich von 3,1 bis 3,2 m ein leichter Rückgang auf mittlere N_{10} -Werte von 3* und 6* gemessen. Anschließend folgte wieder ein Anstieg auf höhere Schlagzahlen und die Sondierungen DPH-1 bis DPH-5 wurden in einer Tiefe von 2,5 bis 4,2 m nach einem steilen treppenförmigen Anstieg der Sondierwiderstände am Grenzhorizont, ausgewiesen mit $N_{10} \geq 50$ beendet.

Die Sondierungen DPH-1 bis DPH-5 wurden bei ca. 526,7 bis 529,2 mNHN mit Erreichen des Grenzhorizontes beendet.

In der Zusammenfassung lassen sich der direkte und die indirekten Aufschlüsse wie folgt bewerten:

In Verbindung mit dem direkten Aufschluss sind die -nach dem erfolgten Oberbodenabtrag gemessenen geringen Rammwiderstände auf eine kiesige Schluffschicht in weicher Konsistenz zurückzuführen. Der Anstieg der Sondierwiderstände auf höhere und hohe N_{10} -Werte ist mit dem Erreichen des Verwitterungshorizontes des Oberen Quarzit in Form von zunächst Grauwackezersatz (Kies, schluffig, schwach steinig) und vollständig verwitterter Grauwacke, mit zwischengelagert stark verwitterten Tonsteinen, blättrig bis dünnplattig, mit schlechter und schlechter bis mäßiger Kornbindung verbunden. Den Grenzhorizont der Sondierungen bilden die darunter erkundeten mäßig und schwach verwitterten Grauwacken, plattig bis bankig, klüftig, mit guter und guter bis sehr guter Kornbindung.

In der nachfolgenden Tabelle werden die Koten für die Rammwiderstandshorizonte mit $N_{10} \geq 10$ und $N_{10} \geq 50$ für den Bereich des geplanten Fundamentes dargestellt.

Tabelle 3.3-1: Höhenkoten Rammwiderstandshorizont $N_{10} \geq 10$ und $N_{10} \geq 50$ [Schläge/10 cm]

DPH	Höhenkote Sondieransatzpunkt	Höhenkote (Tiefe u. ASP) RW-Horizont $N_{10} \geq 10$ [Schläge/10 cm]	Höhenkote (Tiefe u. ASP) RW-Horizont $N_{10} \geq 50$ [Schläge/10 cm]
Nr.	mNHN	mNHN (m)	mNHN (m)
DPH-1	531,46	528,16 (3,3)	527,56 (3,9)
DPH-2	533,39	531,29 (2,1)	529,19 (4,2)
DPH-3	531,31	528,51 (2,8)	527,31 (4,0)
DPH-4	529,18	527,18 (2,0)	526,68 (2,5)
DPH-5	531,60	528,80 (2,8)	527,40 (4,2)

Die Ergebnisse der schweren Rammsondierungen sind in der **Anlagengruppe 3** (Anlagen 3.1 - 3.10) in Form von Sondierprotokollen und Rammdiagrammen nach DIN EN ISO 22476-2 zusammengestellt.

3.4 Laboruntersuchungen

Die bei der Kernbohrung BK WEA 3 gewonnenen Bohrkern aus der Dachschieferfolge wurden zur Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit an das Labor FeBoLab GmbH, 91747 Westheim übergeben.

3.4.1 Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit q_u nach DIN 18141-1

Die einaxiale Druckfestigkeit q_u wurde nach DIN 18141-1 (nach DGGT-Empfehlung Nr. 1) bestimmt.

Die Ergebnisse sind nachfolgend und tabellarisch in der **Anlage 5.3** dargestellt.

Tabelle 3.4-1: Einaxiale Druckfestigkeit q_u

Bohrung (Nr.)	Probe Nr.	Entnahmetiefe [m]	Feuchtdichte [t/m ³]	Einaxiale Druckfestigkeit [MN/m ²]
BK WEA 3	BK 13/13	9,85 - 10,00	2.475	21,82

Die untersuchte Grauwacke weist eine Feuchtdichte von 2,475 [t/m³] und eine einaxiale Druckfestigkeit von 21,82 [MN/m²] auf. Die Stauchung beim Bruch betrug 1,15 %. Der Belastungsmodul B wurde mit 4216 MN/m² ermittelt.

3.4.2 Ermittlung der einaxialen Druckfestigkeit q_u mittels Punktlastversuchen gemäß den Empfehlungen Nr. 5 der DGGT

Die Ermittlung der einaxialen Druckfestigkeit q_u wurde über Korrelationsbeziehungen aus Punktlastversuchen gemäß den Empfehlungen Nr. 5 der DGGT durchgeführt. Die Ergebnisse der Punktlastversuche sind mit der Angabe der Probenabmessungen, der Bruchlast und den mit Korrelationsbeziehungen errechneten Punktlastindex $I_{s(50)}$ der Felsproben tabellarisch dargestellt (siehe auch Versuchsprotokoll in der **Anlage 5.1 - 5.2**).

Tabelle 3.4-2: Punktlastindex $I_{s(50)}$

Aufschluss Bohrung (Nr.)	Entnahmetiefe unter Ansatzpunkt [m]	Punktlastindex $I_{s(50)}$ [MN/m²]
BK WEA 3	8,00 - 8,10	2,894 (s)
BK WEA 3	8,10 - 8,20	2,099 (s)
BK WEA 3	8,10 - 8,20	0,845 (s)
BK WEA 3	8,40 - 8,50	4,361 (s)
BK WEA 3	8,60 - 8,70	4,366 (p)
BK WEA 3	8,70 - 8,80	4,505 (s)
BK WEA 3	8,85 - 8,95	2,625 (s)
BK WEA 3	9,10 - 9,20	1,308 (s)
BK WEA 3	9,20 - 9,30	2,083 (s)
BK WEA 3	9,30 - 9,40	3,029 (s)
BK WEA 3	9,40 - 9,50	2,614 (s)
BK WEA 3	9,60 - 9,70	1,579 (p)
BK WEA 3	9,70 - 9,80	2,057 (s)

Die untersuchte Grauwacke weist im Punktlastversuch unter Ansatz des Korrekturdiagramms der BAW (Korrekturfaktor = 20) eine einaxiale Druckfestigkeit q_u von 16 bis 90 [MN/m²] (senkrechte Belastungsrichtung) bzw. 88 [MN/m²] (parallele Belastungsrichtung) auf.

Das Ergebnis der Laboruntersuchungen ist in Form von Versuchsprotokollen in der **Anlagegruppe 5** (Anlage 5.1 - 5.3) diesem Baugrund-/Gründungsgutachten beigelegt.

4 Geologie und Morphologie

4.1 Allgemeine Geologische Situation

Die Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen, Blatt Nr. 4916 Bad Berleburg weist für das Baugelände der WEA 3 den Übergang von der Styliolinenschiefer- und Sandstein-Folge zum Oberen Quarzit (nördl. Teil) der Eifel-Stufe aus der Formation Mitteldevon aus. Östlich angrenzend ist eine Störungszone ausgewiesen. Das Gebirge ist hier mit einem Winkel von ca. 66° überkippt.

Die durchgeführten geotechnischen Untersuchungen stehen in Einklang mit der geologischen Karte und zeigen, dass am Standort der WEA 3 der Obere Quarzit ansteht. Der Obere Quarzit besteht aus Feinsandstein, quarzitisch, z.T. Schluffstein, z.T. karbonatisch, dünn- bis mittelbankig, grau bis hellgrau, untergeordnet Tonstein, dunkelgrau, geschiefert und bildet in diesem Bereich das Liegende.

4.2 Erdbebenzone

Das Baugrundstück befindet sich in der Erdbebenzone 0 nach DIN EN 1998-1/NA. Für die Erdbebenzone 0 ist der Grad der Erdbebengefährdung als so gering einzuschätzen, dass ein Nachweis der Standsicherheit für den Lastfall Erdbeben nicht erforderlich ist.

4.3 Morphologie

Der Windpark Ohrenbach befindet sich südöstlich der Stadt Bad Berleburg im Waldgebiet zwischen den Einzelgehöften Lützelbach/Steinbach im Nordwesten, den Dörfern Arfeld im Südwesten, Schwarzenau mit dem Oberen Hüttental im Südosten und dem Hof Brücher im Nordosten. Neben den geplanten 8 Anlagen erfolgen benachbart für 4 bereits genehmigte Anlagen der Eder Energy Erdarbeiten für die Erschließung und Baufeldvorbereitung.

Das Gelände wird von den Erhebungen des Großen Prenzenberger Kopfes (653 mNN) im Nordwesten, Ohrenbachsrücken (593 mNN) im Südwesten, dem Hahnschuß (600 mNN) im Südosten, der Schlade Seite (635 mNN) im Osten und dem Nesselbergskopf (671 mNN) im Nordosten geprägt und dazwischen hat sich das Arfetal in das Gelände eingeschnitten.

Der Standort der WEA 3 liegt etwa 450 m südwestlich des Ohrenbach (Erhebung) in einem nach Süden zum Talraum des Bilzterbachs abfallenden Hang am westlichen Rand des geplanten Windparks. Die Hangneigung beträgt am Anlagenstandort ca. 10°.

5 Baugrundbeurteilung

Die geotechnischen Untersuchungen zeigen, dass unter dem Wald-/Oberboden bis in eine Tiefe von ca. 0,3 m eine kiesige Schluffschicht in weicher Konsistenz ansteht. Darunter folgen Grauwackezersatz und vollständig verwitterte Grauwacke (Kies, schluffig, schwach steinig) mit zwischengelagert stark verwitterten Tonsteinen, blättrig bis dünnplattig, mit schlechter und schlechter bis mäßiger Kornbindung. Nachfolgend wurde ab 4,0 m mäßig verwitterte Grauwacke, plattig bis bankig, mit guter Kornbindung und teils oxidierten Klüftflächen erbohrt, die den Grenzhorizont der Sondierungen bildet. Anschließend steht im Tiefenbereich von 5,9 bis 6,5 m ein stark verwitterter Tonstein, blättrig bis plattig, mit schlechter bis mäßiger Kornbindung und darunter schwach verwitterte Grauwacke, plattig bis bankig, klüftig, mit guter bis sehr guter Kornbindung an.

Der Obere Quarzit stellt in den Zonen mit höheren Sondierwiderständen einen ausreichend bis gut tragfähigen Baugrund für die Gründung der Windkraftanlage und am bzw. unterhalb dem Grenzhorizont der Sondierungen einen gut tragfähigen Baugrund für die Gründung der Windkraftanlage dar. Der Grenzhorizont der Sondierungen weist aufgrund der Hanglage eine Höhendifferenz von ca. 2,5 m innerhalb der Fundamentfläche auf.

Ein Grund-/Schichtenwasser wurde im Bohrloch der Bohrung BK WEA 3 -im Zeitraum der Grundwasserbeobachtung- nicht festgestellt.

6 Gründungsempfehlungen

6.1 Gründungsvariante

Gründung der Windkraftanlage mit einem Kreisfundament auf dem Grauwackehorizont des Oberen Quarzit

Allgemeines

Das Gelände im Bereich der geplanten Windenergieanlage WEA 3 fällt nach Süden von ca. 533,4 mNHN auf 529,2 mNHN um ca. 4,2 m ab. Daraus resultiert eine Hangneigung von ca. 10°. Die Geländehöhe im Zentrum der Anlage beträgt ca. 531,5 mNHN.

Für die Gründung der Windenergieanlage wird auf der Grundlage der Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen eine Gründungskote (UK Sauberkeitsschicht) bei ca. 528,0 mNHN empfohlen. Diese Kote liegt ca. 1,2 bis 5,4 m unter der derzeitigen Geländeoberfläche.

Die empfohlene Gründungskote liegt nach den Ergebnissen der geotechnischen Untersuchungen in vollständig verwitterter Grauwacke ca. 1 m oberhalb von mäßig verwitterter Grauwacke, plattig bis bankig, mit guter Kornbindung mit geringem Abstand zum Grenzhorizont der Sondierungen bzw. bei DPH-2 unterhalb dem Grenzhorizont der Sondierungen. Im Bereich von DPH-4 und DPH-5 können unterhalb der Gründungskote noch zersetzte Zonen anstehen, die in den Sondierdiagrammen mit Schlagzahlen von 9 bis 15* ausgewiesen sind.

Ein Grund-/Schichtenwasser wurde bei der Bohrung BK WEA 3 im Beobachtungszeitraum nicht festgestellt. Zur Wasserhaltung im Bauzustand und Sicherung gegen Aufschwimmen im Endzustand wird in Verbindung mit der Gefällesituation der Einbau einer drucklosen, wartungsfreien Drainage empfohlen, siehe nachfolgende Empfehlungen.

Im Bereich von DPH-4 und DPH-5 kann bei der empfohlenen Gründungskote noch ein Bodenaustausch zum Ausräumen der geringer tragfähigen Zonen bis zum Erreichen der mäßig verwitterten Grauwacke erforderlich werden, um eine annähernd setzungsfreie, insbesondere aber verkantungs-/verkippungsfreie Auflagerung des hohen und schlanken Bauteiles sicherzustellen. Die Austauschmächtigkeit beträgt voraussichtlich 0,4 m (DPH-5) bis 0,9 m (DPH-4).

Nach dem vorliegenden Prüfbericht für eine Typenprüfung „Prüfung der Standsicherheit - Flachgründung“ zur geplanten Windenergieanlage vom Typ Vestas V162, 6,0 MW mit einer Nabenhöhe von 169 m kann die Gründung als Flachgründung mit einem Kreisfundament mit einem Durchmesser D_A von 24,5 m erfolgen, wobei der höchste, für den Auftrieb maßgebende Wasserstand bei 0,24 m über Fundamentunterkante liegen darf.

Im genannten Prüfbericht werden für den Baugrund folgende Anforderungen gestellt:

3.3 Baugrund

Die Mindestwerte der dynamischen und statischen Drehfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Fundament betragen gemäß Dokument [4] $k_{\varphi,dyn} \geq 95 \text{ GNm/rad}$ und $k_{\varphi,stat} \geq 40 \text{ GNm/rad}$.

Der höchste für den Auftrieb maßgebende Wasserstand liegt bei 0,24 m über Fundamentunterkante.

...

Auflagen

Baugrund

1. Die vorhandenen Bodenkennwerte, die Zuordnung des Bodens zu Expositionsklassen nach DIN EN 1992-1-1/3/3 und der höchste für den Auftrieb maßgebende Wasserstand sind für den jeweiligen Standort zu ermitteln und im geotechnischen Untersuchungsbericht zu beschreiben.
2. Grundbautechnische Berechnungen sind im Rahmen des geotechnischen Entwurfsberichts durchzuführen. Die Schnittgrößen an Fundamentunterkante sind in [2] angegeben.
3. Die Mindestwerte der dynamischen und statischen Drehfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Fundament gemäß Abschnitt 3.3 müssen für den jeweiligen Standort nachgewiesen werden. Dabei kann das Fundament in guter Näherung als Starrkörper angenommen werden.
4. Die im geotechnischen Entwurfsbericht angenommenen Baugrundverhältnisse sind beim Baugrubenaushub vom Bodengutachter zu überprüfen und zu bestätigen. Vor Aufbringen der Sauberkeitsschicht ist die Tragfähigkeit der Baugrubensohle durch den Bodengutachter zu bestätigen.

Aus den geotechnischen Untersuchungen und den v.g. technischen Anforderungen ergeben sich die nachfolgenden Empfehlungen:

Herstellung des Baugrubenaushubs und des Bodenaustausches

Die empfohlene Gründungskote mit 528,0 mNHN liegt -bis auf den Bereich DPH-4 und DPH-5- unterhalb bzw. am Übergang zum Grenzhorizont der Sondierungen mit $DPH-N_{10} \geq 50^*$ und damit im ausreichend bis gut tragfähigen Grauwackehorizont.

Zur Erreichung der Gründungssohle ist nach dem Abtrag des Ober-/Waldbodens zunächst die kiesige Schluffschicht in weicher Konsistenz auszuräumen und zu beseitigen.

Anschließend sind der Grauwackezersatz aus Kies, schluffig, schwach steinig, der stark verwitterte, dünnplattige Tonstein mit schlechter Kornbindung und vollständig verwitterte Grauwacke bis zur Gründungssohle auszuheben bzw. auszubrechen.

Der Baugrubenaushub sollte mit einem Kettenbagger, der mit einem Baggerlöffel mit Felszähnen ausgestattet ist, erfolgen, um die erkundeten Grauwacken/Tonsteine lösen zu können. Der Endaushub, d.h. das Abziehen der Baugrubensohle sollte zur Vermeidung von tiefer reichenden Auflockerungen mit einem Baggerlöffel ohne Zähne oder einer Fräse erfolgen. Gegebenfalls ist die Gründungssohle von Hand nachzuarbeiten.

Anschließend ist im Bereich von DPH-5 im Rahmen der geotechnischen Sohlabnahme mit Plattendruckversuchen zu prüfen, welche Tragfähigkeit die an der Gründungssohle anstehende vollständig verwitterte Grauwacke aufweist. Sofern dabei die Qualitätsanforderungen mit $E_{v2} \geq 120 \text{ MN/m}^2$ bei einem Verhältniswert $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,0$ erreicht werden, kann die Sauberkeitsschicht direkt auf dem anstehenden Felshorizont eingebaut werden. Im Bereich DPH-4 ist -zur Geländeinbindung/Geländebruchsicherheit- bis zur Kote $N_{10} \geq 20$ auszutauschen.

Werden die Anforderungswerte nicht erreicht, sind Maßnahmen zur Erhöhung der Tragfähigkeit der Gründungssohle in Form eines Boden-/Felsaustausches erforderlich.

Ein ggf. erforderlicher Bodenaustausch zum Ausräumen der geringer tragfähigen Zonen bis zum Erreichen der mäßig verwitterten Grauwacke ist in einer Mächtigkeit von ca. 0,5 bis 1,0 m vorzusehen. Dieser Bodenaustausch ist zur Erzielung einer Lastausbreitung mit einem Überstand von mindestens der Höhe des Tragschichtaufbaues/Bodenaustausches über die Außenkante des Kreisfundamentes hinauszuführen, was bei DPH-4 und DPH-5 eine Baugrubenverbreiterung der kreisrunden Baugrube erforderlich macht.

Danach sind -voraussichtlich- die unterhalb der planmäßigen Gründungssohle anstehenden vollständig verwitterten Grauwacken bis in eine Tiefe von mindestens 0,4 m (DPH-5) bis maximal 0,9 m (DPH-4) auszuheben und mit

Variante a) durch gering verwittertes Grauwackematerial aus den benachbarten Aushubbereichen zu ersetzen mit einem qualifizierten, lagenweisen Einbau $d \leq 25$ cm mit den Anforderungen für $E_{v2} \geq 120$ MN/m², $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,0$, lagenweise nachgewiesen oder

Variante b) das ausgehobene Material durch Zugabe von Zement qualifiziert zu verbessern und danach lagenweise wieder bis zur UK Sauberkeitsschicht einzubauen und qualifiziert zu verdichten.

Zur qualifizierten Bodenverbesserung bzw. Verbesserung von granularem Felsmaterial wird ein Bindemittelgehalt von ca. 3 Gew.-% empfohlen, woraus eine Menge von ca. 60 kg je m³ verbesserten Boden-/Felsbruchmaterial resultiert. Das Bindemittel kann mit einer Anbaufräse, Schaufelseparator oder anderem geeigneten Gerät eingearbeitet und das Aushubmaterial mit dem Bindemittel vermischt werden. Beim Einfräsen des Bindemittels kann ggf. eine dosierte Wasserzugabe für die Hydratation des Zementanteils erforderlich werden. Die Wassermenge ist bei der Bauausführung mit einer Beurteilung des Bindemittel-Boden-Fels-Gemisches örtlich festzulegen. Anschließend wird das Boden-Bindemittel-Gemisch mit einem geeigneten Verdichtungsgerät (z.B. Walzenzug, optimal mit Stampffußbandage oder Bagger-Anbauverdichtungsplatte) in Schüttlagen ≤ 25 cm lagenweise eingebaut und verdichtet.

Ergänzend wird auf die Empfehlungen im Merkblatt über Bodenverfestigungen und Bodenverbesserungen mit Bindemitteln der FGSV, Ausgabe 2004 hingewiesen.

Die qualifizierte Boden- bzw. Felsverbesserung ist ohne Arbeitsunterbrechungen in einem Zuge herzustellen, so dass ein Einbau im „frischen“ Zustand erfolgt und der Abbindeprozess nicht unnötig lange durch die Verdichtungsarbeiten beeinflusst wird.

Ein Befahren des Planums nach der qualifizierten Bodenverbesserung mit Radfahrzeugen ist zu vermeiden.

Die Festigkeit des verbesserten Materials ist mit einaxialen Druckversuchen zu prüfen und die Druckfestigkeit mit $q_u \geq 5$ MN/m² festzulegen.

Die Festlegungen zu den Varianten a) oder b) können im Rahmen des Baugrubenaushubs bzw. der Sohlabnahme getroffen werden.

Der Aushub/Ausbruch des Grauwackezersatz und der vollständig verwitterten Grauwacke (Kies, schluffig, schwach steinig) sowie stark verwitterten Tonsteine ist auf einer Miete neben dem Anlagenstandort zwischenzulagern, durch eine Folienabdeckung vor Witterungseinflüssen zu schützen und nach Fertigstellung des Fundamentes für die Hinterfüllung und Überschüttung wieder lagenweise einzubauen, siehe auch Empfehlungen zur Bauteilhinterfüllung und -überschüttung.

Zum Schutz der Gründungssohle vor Witterungseinflüssen ist die Sauberkeitsschicht unmittelbar nach dem Aushub bzw. dem teilweisen Bodenaustausch und einer Abnahme durch den geotechnischen Sachverständigen einzubauen.

Nach dem das Fundament nicht in das ständige Grundwasser eintaucht, tritt kein Betonangriff aus dem Grundwasser auf das Fundament auf und der Fundamentbeton kann für die Expositionsklasse XA 0 ausgelegt werden.

***Bemessungswert des Sohlwiderstandes nach DIN EN 1997-1 (EC 7-1)/
DIN 1054:2010-12***

Für die Gründungssohle auf den stark verwitterten, schiefrigen Tonsteinen der Dachschieferfolge kann der Sohlwiderstand wie nachfolgend angegeben angesetzt werden:

Kreisfundament

$$\sigma_{R,d} \leq 550^* \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

mit

- $d \geq 1,5$ [m] Einbindetiefe unter GOK; DPH-N₁₀ $\geq 20^*$
- Gründungskote: Grauwacke, mäßig verwittert
- sowie v.g. Qualitätsanforderung für die Austauschbereiche

Der angegebene Sohlwiderstand stellt bei der Gründung den maximalen Sohlwiderstand dar.

***) Anmerkung:**

Dies entspricht einer zulässigen Sohlspannung $\sigma_{k,vorh}$ von ca. 393 [kN/m²] nach DIN 1054:2005-01.

Wichtiger Hinweis:

Der Bemessungswert des Sohlwiderstandes stellt keine zulässige Sohlspannung nach DIN 1054:2005 oder früheren Ausgaben der DIN 1054 dar !

Nachweisverfahren nach DIN 1054:2010-12 in Verbindung mit EC 7

Es ist nachzuweisen, dass die Bemessungswerte $\sigma_{E,d}$ der Sohldruckbeanspruchung höchstens so groß sind wie die Bemessungswerte $\sigma_{R,d}$ des Sohlwiderstands: $\sigma_{E,d} \leq \sigma_{R,d}$

Der Bemessungswert der Sohldruckbeanspruchung ergibt sich aus der ungünstigsten Einwirkungskombination. Hierfür kommen folgende Wege in Frage:

- Sofern die Schnittgrößen mit charakteristischen bzw. repräsentativen Werten der Einwirkungen ermittelt wurden, ergibt sich $\sigma_{E,d}$ aus den charakteristischen bzw. repräsentativen Vertikalbeanspruchungen $N_{G,k}$ und $N_{Q,k}$ bzw. $N_{Q,rep}$, multipliziert mit den Teilsicherheitsbeiwerten γ_G und γ_Q für Grenzzustände GEO und das Nachweisverfahren 2 (GEO-2).
- Sofern die Schnittgrößen mit Bemessungswerten der Einwirkungen ermittelt wurden, ergibt sich der Bemessungswert der Sohldruckbeanspruchung aus dem Bemessungswert der Vertikalbeanspruchung $V_d = N_d$.

Eine Berechnung der Setzungen des Fundamentes unter Ansatz der charakteristischen statischen Lasten ergab maximale Setzungen bis 0,7 cm, siehe Fundamentberechnung in der **Anlagengruppe 6**.

Ein Nachweis zur Geländebruchsicherheit war infolge der Lage der Gründungsebene im talseitigen Bereich mit dem Bodenaustausch auf dem Felshorizont nicht zu führen.

Die unterhalb der Gründungssohle erkundeten Grauwacken mit dünnen Tonsteinlagen unterliegen nicht einer Konsolidation oder Kriechverformungen, wie sie bei bindigen Böden auftreten. Damit sind für die Baugrundverhältnisse am geplanten Anlagenstandort keine Berechnungen des Konsolidations- und Kriechverhaltens über die zu betrachtende Standzeit von 20 Jahren erforderlich.

Zur Qualitätssicherung, d.h. zur Kontrolle des Bemessungsansatzes des Sohlwiderstandes sollten die Gründungskoten vom geotechnischen Sachverständigen in Form einer Prüfabnahme abgenommen werden.

Herstellung einer drucklosen, wartungsfreien Drainage

Aufgrund der Gefällesituation ist am Standort der WEA 3 die Herstellung einer drucklosen, wartungsfreien Drainage möglich.

Mit dem Endaushub der Baugrube zur Herstellung des Turmfundamentes ist am Rand ein flacher Graben für die Ableitung der Drainage herzustellen, so dass im Bauzustand eine

Ableitung des der Baugrube zulaufenden Niederschlags-/Sickerwassers im freien Gefälle nach Süden (Tiefpunkt bei DPH-4) möglich ist.

Nach der Herstellung des Turmfundamentes ist im Arbeitsraum in Höhe der Sauberkeitsschicht eine Dränage ringförmig um das Fundament mit einem Gefälle von mindestens 1 ‰ herzustellen. Die Dränage ist auf einem Sohlgerinne aus Beton zu verlegen, dass ein Gefälle in radialer Richtung nach außen aufweist, so dass kein Dränwasser dem Fundament zufließen kann. Die Fläche aus dem Überstand der Baugrube bei DPH-4 und DPH-5 ist mit einem Gefälle (Sohlfläche aus Beton) zur Dränage hin auszubilden. Die Dränage ist aus einem Dränrohr DN 150 mit einer Ummantelung aus Filtersand 0,2/2 mm und einer filterstabilen Abgrenzung aus einem Geotextil (Masse $\geq 250 \text{ g/m}^2$) zum anstehenden Boden und der über der Dränage einzubauenden Bauwerkshinterfüllung herzustellen. Die Ableitung des Dränwassers erfolgt über 2 Auslauf-/ Vollrohre zum Geländetiefpunkt nach Nordwesten. Am Auslaufpunkt der Dränage sollte eine Sickerrigole (Schottergraben) mit umlaufendem Geotextil, einem Gefälle von 5 % und einer Verfüllung z.B. mit Grobschotter 20/100 mm hergestellt werden, um einen konzentrierten Auslauf des Dränwassers und mit dem hier einzuleitenden Niederschlagswasser vom Turmschaft eine mögliche Vernässung im Waldbereich zu vermeiden.

Zur Vermeidung eines stärkeren Dränwasserzulaufes ist eine Geländeanpassung d.h. Anschüttung mit bindigem Material -mit einem talseitigen Gefälle- bei DPH-4 und DPH-5 zu empfehlen.

Dynamische Drehfedersteifigkeit $k_{\phi, \text{dyn}}$

Die dynamische Drehfedersteifigkeit wird für starre Kreisfundamente mit nachfolgender Gleichung berechnet:

$$k_{\phi, \text{dyn}} = \frac{8 \cdot G \cdot r^3}{3 \cdot (1 - \nu)}$$

mit

r Radius des Kreisfundamentes = 12,25 [m]

G Dyn. Schubmodul

ν Poissonzahl, $\nu = 0,25$ (für Grauwacke)

Dyn. Schubmodul:

$$G = \frac{E_{\text{dyn}}}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

mit $E_{\text{dyn}}/E_{\text{stat}} \approx 6$ (nach Placzek)

$$E_{\text{stat}} = \frac{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2}{1 - \nu} \cdot E_{s, \text{stat}}$$

Grauwackehorizont unter dem Fundament (ab 528,7 mNHN)

$E_{s, \text{stat}} = 100$ [MN/m²] (unterster Wert für Grauwackehorizont),
siehe Homogenbereich X1 - Kapitel 6.4

$$\rightarrow E_{\text{stat}} = 0,833 \cdot 100$$
 [MN/m²] = 83,3 [MN/m²]

$$\rightarrow E_{\text{dyn}} = 500$$
 [MN/m²]

$$\rightarrow G_{\text{dyn}} = 200$$
 [MN/m²] = 0,2 [GN/m²]

$$k_{\phi, \text{dyn}} = \frac{8 \cdot 0,20 \cdot 12,25^3}{3 \cdot (1 - 0,25)} = 1.307,21$$
 [GNm/rad] > 95 [GNm/rad] = min. $k_{\phi, \text{dyn}}$

Die in den Herstellerangaben gestellte Anforderung mit einer Mindestdrehfedersteifigkeit $k_{\varphi, \text{dyn}}$ von 95 [GNm/rad] wird für den erkundeten Baugrund mit einem Wert von 1.307 [GNm/rad] überschritten. Die Anforderungen werden mit einer hohen Sicherheit erfüllt.

Die Anforderung an die statische Mindestdrehfedersteifigkeit wird damit auch sicher erfüllt.

6.2 Baugrubensicherung, Wasserhaltung und Bauteilhinterfüllung

Sicherung der Baugrube

Aufgrund der Platzverhältnisse kann die Baugrube für die Herstellung der Fundamentplatte mit einer frei geböschten Baugrube erfolgen. Die vorgenannten Bereiche können unter folgenden angegebenen Böschungswinkeln β_{zul} frei geböscht werden:

Schluff, kiesig, schwach steinig, weich	$\beta_{\text{zul}} \leq 45$ [°] Standzeit temporär
Kies, schluffig, schwach steinig (Grauwackezersatz)	$\beta_{\text{zul}} \leq 45$ [°] Standzeit temporär
Tonstein, stark verwittert, dünnplattig, schlechte Kornbindung	$\beta_{\text{zul}} \leq 70$ [°] Standzeit temporär
Grauwacke, vollständig verwittert	$\beta_{\text{zul}} \leq 60$ [°] Standzeit temporär

Die angegebene Böschungsneigung gilt für unbelastete Böschungen.

Wasserhaltung

Die geotechnischen Untersuchungen ergaben kein Grund-/Schichtenwasser.

Zur Wasserhaltung im Bauzustand wird empfohlen, dass in Verbindung mit dem Aushub der Baugrube und der Herstellung einer drucklosen Drainage zunächst ein flacher offener Graben ausgehoben wird, über den eine Ableitung des der Baugrube zulaufenden Wassers im freien Gefälle zum tieferen Gelände (nach Süden) erfolgt. In diesen Graben ist nach Fertigstellung des Turmfundamentes die Ableitung des Dränwassers und einer Sickerrigole am Rohrauslauf herzustellen, siehe Ausführungen auf Seite 20f.

Hinterfüllung und Überschüttung des Fundamentes

Die Arbeitsräume zur Herstellung des Fundamentes sind nach der Fertigstellung wieder zu verfüllen und die Platte im Randbereich bis zur derzeitigen mittleren Geländehöhe mit einem talseitigen Gefälle zu überschütten.

Für die Hinterfüllung und Überschüttung sollte das beim Baugrubenaushub ab einer Baugrubentiefe von ca. 0,5 m unter GOK gewonnene Material aus Grauwacke-Zersatz und vollständig verwitterter Grauwacke sowie Tonsteinbruchmaterial verwendet werden. Die Wiederverwendung des Aushubmaterials setzt voraus, dass dieses fachgerecht auf einer Miete zwischengelagert und mit einer Folie zum Schutz vor Witterungseinflüssen abgedeckt wird.

Die Verdichtung der Hinterfüllung und Überschüttung des Fundamentes sollte mit Hilfe von Plattendruckversuchen nach DIN 18134 oder alternativ dynamischen Plattendruckversuchen nach TP BF-StB Teil B 8.3 als Qualitätssicherung Erdbau kontrolliert werden.

Der Verdichtungsgrad D_{Pr} sollte ≥ 100 [%] der einfachen Proctordichte betragen.

Die Verdichtungsanforderungen gelten mit:

$$E_{v2} \geq 45 \text{ [MN/m}^2\text{]}$$

$$\text{bei einem Verhältniswert } E_{v2}/E_{v1} \leq 2,3$$

Die beim Aushub oberflächennah gewonnene kiesige Schluffschicht in weicher Konsistenz ist ohne Verbesserungsmaßnahmen für eine qualifizierte Bauwerkshinterfüllung nicht geeignet und sollte daher -bis auf die Masse zur Geländeabdeckung- beseitigt werden.

Mit dem Wiedereinbau des geologisch originären Grauwacke-/Tonsteinmaterials wird der Zulauf von Oberflächenwasser in die „geologische Störungszone“, die mit dem Baugrubenaushub entstanden ist, reduziert und es werden die Dränwassermengen deutlich verringert, , siehe auch Kapitel 6.1.

6.3 Bodenkundliche Bewertung

Nach dem Ergebnis einer bodenkundlichen Bewertung aus dem Jahre 2016, siehe hierzu unser Gutachten zur Abfallwirtschaftlichen und Bodenkundlichen Bewertung zur UVP vom 30.06.2016, steht an den Anlagenstandorten unter einer dünnen Humus-/ Waldbodenüberdeckung Braunerde, z.T. Ranker-Braunerde oder Podsol-Braunerde an, wobei die Mächtigkeit aufgrund des vorwiegend hoch anstehenden Festgesteins (Gebirge) gering ist.

Nach der Bodenkarte NRW ist am Anlagenstandort WEA3 die Bodeneinheit L4813_B33e als Braunerde ohne Grundwasser und ohne Staunässe ausgewiesen.

Die unter der Humus-/Waldbodenauflage erkundete Schluffschicht mit kiesigen Nebenanteilen in weicher Konsistenz weist unter Berücksichtigung der geringen Schichtmächtigkeit von 0,3 m eine geringe Verdichtungsempfindlichkeit sowie geringe Erosionsempfindlichkeit auf.

Zusammenfassend ergibt sich damit die Bewertung, dass am Anlagenstandort der WEA 3 bei der geotechnischen Erkundung keine schutzwürdigen Böden festgestellt wurden.

Altlasten:

Hinweise auf Altlasten wurden bei den geotechnischen Untersuchungen nicht festgestellt.

Ableitung von Niederschlagswasser:

Die Ableitung von Niederschlagswasser während der Bauzeit -aus den Baugrubenbereichen- erfolgt mit der Anlage von Entwässerungsmulden/-gräben und einer großflächigen Versickerung -mit Biotopcharakter- in den angrenzenden Waldflächen.

6.4 Homogenbereiche - Boden- und Felskenngrößen (Charakteristische Werte)

Zur Bemessung der Bauteile -dem geotechnischen Design- sowie zum Lösen, Fördern, Laden, Verdichten und Wiedereinbauen werden die Böden und der Fels in die nachfolgenden Homogenbereiche unterteilt.

Homogenbereich B1

Schluff, kiesig, weich

Korngrößenverteilung	[DIN 18123]	Kornkennziffern 1/2 - 6/4 - 1/0 - 2/3 - 0/1
m_x Massenanteil an Steinen ($D > 63$ mm):	[DIN EN ISO 14688-1]	< 10 %
m_B Blöcken ($D > 200$ mm):		0 %
Dichte ρ : Feuchtwichte γ : Wichte unter Auftrieb γ' :	[DIN EN ISO 17892-2/ DIN 18125-2]	1,90 t/m ³ 19,0 kN/m ³ 9,5 kN/m ³
Kohäsion c'_k :	[DIN 18137-T1 bis T3]	2,5 kPa
Undrainede Scherfestigkeit c_u :	[DIN 18136/DIN 18137-2]	75 – 150 kPa
drainede Scherfestigkeit ϕ'_k : Reibungswinkel ϕ'_k	[DIN 18136/DIN 18137-2]	25,0 °
Steifemodul $E_{s1,k}$:	[DIN 18135]	20 - 30 MN/m ²
Sensitivität:	[DIN 4094-4]	1-2 (1)
Wassergehalt:	[DIN EN ISO 17892-1]	20 – 30 %
Konsistenzgrenzen:	[DIN 18122-1]	weich
Konsistenzzahl:	[DIN 18122-1]	0,5 – 0,75
Plastizität:	[DIN 18122-1]	leicht- bis mittelplastisch
Lagerungsdichte (bezogene Lagerungsdichte):	[DIN EN ISO 14688-2/ DIN 18126]	n.d.
Organischer Anteil:	[DIN 18128]	< 5 %
Bodengruppe:	[DIN 18196]	UL-UM
Frostempfindlichkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	F3
Verdichtbarkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	V3 (weniger gut/schlecht verdichtbar) +)
Ortsübliche Bezeichnung:		Hangschutt

+) Wichtiger Hinweis:

Die Angaben zu den Verdichtbarkeitsklassen setzen optimale erdbauliche Bedingungen (Lösen, Laden, Witterungsschutz, Zwischenlagerung u.a.) voraus.

Für einen Wiedereinbau in Verbindung mit einer Bodenverbesserung mit Bindemittelzugabe ist eine Eignungsprüfung nach TP BF-StB Teil B 11.1 oder das verwendete Bindemittel und der Bindemittelgehalt aufgrund von Erfahrungswerten festzulegen.

Homogenbereich B2

Kies, schluffig, schwach steinig, (Grauwacke-Zersatz)

Korngrößenverteilung	[DIN 18123]	Kornkennziffern 0/1 - 2/3 - 1/0 - 6/4 - 1/2
m_x Massenanteil an Steinen ($D > 63$ mm):	[DIN EN ISO 14688-1]	< 20 %
m_B Blöcken ($D > 200$ mm):		0 %
Dichte ρ :	[DIN EN ISO 17892-2/ DIN 18125-2]	2,00 t/m ³
Feuchtwichte γ :		20,0 kN/m ³
Wichte unter Auftrieb γ' :		10,5 kN/m ³
Kohäsion c'_k :	[DIN 18137-T1 bis T3]	2,5 kPa
Undrainede Scherfestigkeit c_u :	[DIN 18136/DIN 18137-2]	n.d.
drainede Scherfestigkeit ϕ'_k :	[DIN 18136/DIN 18137-2]	35,0 °
Reibungswinkel ϕ'_k		
Steifemodul $E_{s1,k}$:	[DIN 18135]	40 - 60 MN/m ²
Sensitivität:	[DIN 4094-4]	n.d.
Wassergehalt:	[DIN EN ISO 17892-1]	10 – 20 %
Konsistenzgrenzen:	[DIN 18122-1]	n.d.
Konsistenzzahl:	[DIN 18122-1]	n.d.
Plastizität:	[DIN 18122-1]	n.d.
Lagerungsdichte (bezogene Lagerungsdichte):	[DIN EN ISO 14688-2/ DIN 18126]	0,35 – 0,85 (mitteldicht – dicht)
Organischer Anteil:	[DIN 18128]	< 3 %
Bodengruppe:	[DIN 18196]	GW/GU
Frostempfindlichkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	F2/F3
Verdichtbarkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	V1-2 (gut bis weniger gut verdichtbar +)
Ortsübliche Bezeichnung:		Grauwacke-Zersatz

Homogenbereich X1

Tonstein/Grauwacke, stark/vollständig verwittert, dünnplattig/stückig, schlechte Kornbindung

Benennung	[DIN EN ISO 14689-1]	Tonstein/Grauwacke
Dichte ρ :	[DIN EN ISO 17892-2/DIN 18125-2]	2,20 t/m ³
Feuchtwichte γ :		22,0 kN/m ³
Wichte unter Auftrieb γ' :		12,0 kN/m ³
Verwitterung	[DIN EN ISO 14689-1]	stark/mäßig verwittert, schlechte - mäßige Kornbindung
Veränderlichkeit	[DIN EN ISO 14689-1]	wasserempfindlich, mittlere/geringe Quellfähigkeit
Druckfestigkeit q_u	[DIN 18141/DGGT Empfehlung Nr. 1]	5 - 20 N/mm ²
Abrasivität CAI	[NF P94-430-1]	0 – 1,5
Trennflächenrichtung α, β	[DIN EN ISO 14689-1]	unregelmäßig (360 °)
Fallrichtung α	[DIN EN ISO 14689-1]	0 - 75 ° (gefaltet)
Gesteinskörperform	[DIN EN ISO 14689-1]	schiefrig / plattig geschichtet
Trennflächenabstand	[DIN EN ISO 14689-1]	< 1,0 m
Öffnungsweite der Trennflächen	[DIN EN ISO 14689-1]	0 – 15 mm
Kluffüllung:	[DIN EN ISO 14689-1]	keine
Kohäsion c'_k :	[DIN 18137-T1 bis T3]	20,0 kPa
Undrainede Scherfestigkeit c_u :	[DIN 4094-4/DIN 18136/DIN 18137-2]	-
drainede Scherfestigkeit φ'_k :	[DIN 4094-4/DIN 18136/DIN 18137-2]	25,0 °
Reibungswinkel φ'_k		
Steifemodul $E_{s1,k}$:	[DIN 18135]	100 MN/m ²
Frostempfindlichkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	F2 - F3
Verdichtbarkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	V2 (weniger gut – gut verdichtbar) *)
Ortsübliche Bezeichnung:		Oberer Quarzit 1

Homogenbereich X2

Grauwacke, mäßig/schwach verwittert, plattig/bankig, gute/gute-sehr gute Kornbindung,
mit dünnen Tonsteinzwischenlagen

Benennung	[DIN EN ISO 14689-1]	Grauwacke mit Tonsteinlagen
Dichte ρ :	[DIN EN ISO 17892-2/DIN 18125-2]	2,40 t/m ³
Feuchtwichte γ :		24,0 kN/m ³
Wichte unter Auftrieb γ' :		14,0 kN/m ³
Verwitterung	[DIN EN ISO 14689-1]	mäßig/schwach verwittert, gute – sehr gute Kornbindung
Veränderlichkeit	[DIN EN ISO 14689-1]	wasserempfindlich, geringe Quellfähigkeit
Druckfestigkeit q_u	[DIN 18141/DGGT Empfehlung Nr. 1]	20 - 80 N/mm ²
Abrasivität CAI	[NF P94-430-1]	1,5 – 2,0
Trennflächenrichtung α, β	[DIN EN ISO 14689-1]	unregelmäßig (360 °)
Fallrichtung α	[DIN EN ISO 14689-1]	0 - 75 ° (gefaltet)
Gesteinskörperform	[DIN EN ISO 14689-1]	quaderig, würfelig, Blöcke $V < 0,1 \text{ m}^3$ längste Seite a / kurze Seite c $\approx 1 - 5^+$)
Trennflächenabstand	[DIN EN ISO 14689-1]	< 1,0 m
Öffnungsweite der Trennflächen	[DIN EN ISO 14689-1]	0 – 15 mm
Kluftfüllung:	[DIN EN ISO 14689-1]	keine
Kohäsion c'_k :	[DIN 18137-T1 bis T3]	50,0 kPa
Undrainede Scherfestigkeit c_u :	[DIN 4094-4/DIN 18136/DIN 18137-2]	-
drainede Scherfestigkeit φ'_k :	[DIN 4094-4/DIN 18136/DIN 18137-2]	25,0 °
Reibungswinkel φ'_k		
Steifemodul $E_{s1,k}$:	[DIN 18135]	120 MN/m ²
Frostempfindlichkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	F2 - F3
Verdichtbarkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	V2 (weniger gut – gut verdichtbar) *)
Ortsübliche Bezeichnung:		Oberer Quarzit 2

⁺) Kantenmaße a, b, c der ausgebrochenen Felspartien

*) Zum Lösen (insbesondere bei kleinräumigen Baugruben) ist der Einsatz eines Felsmeißels und/oder einer Felsfräse vorzusehen.

6.5 Übersicht zu den Homogenbereichen

Homogenbereiche Boden/Fels	Homogenbereiche nach DIN 18300
Oberboden/Waldboden	Homogenbereich O
Homogenbereich B1 Schluff, kiesig, weich	Homogenbereich B1
Homogenbereich B2 Kies, schluffig, schwach steinig, (Grauwacke-Zersatz)	Homogenbereich B2
Homogenbereich X1 Tonstein/Grauwacke, stark/vollständig verwittert, dünnplattig/stückig, schlechte Kornbindung	Homogenbereich X1
Homogenbereich X2 Grauwacke, mäßig/schwach verwittert, plattig/bankig, gute/gute-sehr gute Kornbindung, mit dünnen Tonsteinzwischenlagen	Homogenbereich X2

Anmerkungen und Hinweise:

Eine genaue Zuordnung kann erst im Rahmen einer boden- und felsmechanischen Klassifizierung (Festlegung der Homogenbereiche) vor Ort erfolgen. Bestehen zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer unterschiedliche Auffassungen zur Einordnung der vorgenannten Homogenbereiche, so kann eine genaue Einordnung im Rahmen einer Klassifizierung und damit Festlegung der Homogenbereiche vor Ort erfolgen.

Im Einvernehmen mit dem Auftraggeber sollen wegen des Zeit- und Kostenaufwandes nicht alle Parameter der Homogenbereiche versuchstechnisch ermittelt werden. Damit basieren die für die Homogenbereiche angegebenen Eigenschaften/Kennwerte -die nicht versuchstechnisch ermittelt wurden- auf gesicherten Korrelationsbeziehungen für Labor- und Feldversuche.

7 Zusammenfassung und Schlussbemerkungen

Im Rahmen der geotechnischen Untersuchungen wurde der Baugrund im Sinne der DIN 4020 mit direkten und indirekten Aufschlüssen nach DIN EN ISO 22475-1 und DIN EN ISO 22476-2 erkundet.

Die geotechnischen Untersuchungen zeigen, dass unter dem Wald-/Oberboden bis in eine Tiefe von ca. 0,3 m eine kiesige Schluffschicht in weicher Konsistenz ansteht. Darunter folgen Grauwackezersatz und vollständig verwitterte Grauwacke (Kies, schluffig, schwach steinig) mit zwischengelagert stark verwitterten Tonsteinen, blättrig bis dünnplattig, mit schlechter und schlechter bis mäßiger Kornbindung. Nachfolgend wurde ab 4,0 m mäßig verwitterte Grauwacke, plattig bis bankig, mit guter Kornbindung und teils oxidierten Kluffflächen erbohrt, die den Grenzhorizont der Sondierungen bildet. Anschließend steht im Tiefenbereich von 5,9 bis 6,5 m ein stark verwitterter Tonstein, blättrig bis plattig, mit schlechter bis mäßiger Kornbindung und darunter schwach verwitterte Grauwacke, plattig bis bankig, klüftig, mit guter bis sehr guter Kornbindung an.

Der Obere Quarzit stellt in den Zonen mit höheren Sondierwiderständen einen ausreichend bis gut tragfähigen Baugrund für die Gründung der Windkraftanlage und am bzw. unterhalb dem Grenzhorizont der Sondierungen einen gut tragfähigen Baugrund für die Gründung der Windkraftanlage dar. Der Grenzhorizont der Sondierungen weist aufgrund der Hanglage eine Höhendifferenz von ca. 2,5 m innerhalb der Fundamentfläche auf. Dieser ist örtlich (DPH-4) mit einem Bodenaustausch zu erreichen.

Ein Grund-/Schichtenwasser wurde im Bohrloch der Bohrung BK WEA 3 -im Zeitraum der Grundwasserbeobachtung- nicht festgestellt.

Auf den Ergebnissen der geotechnischen Untersuchungen basierend werden Gründungsempfehlungen zum vorgegebenen Gründungssystem Kreisfundament für die Windenergieanlage gegeben.

Der Bemessungswert des Sohlwiderstandes wird mit den Bodenkenngrößen angegeben und mit den Anforderungswerten der Herstellerangaben verglichen. Dieser Vergleich ergab, dass die Sicherheitsanforderungen mit einem hohen Sicherheitsabstand erfüllt werden.

Zum Lösen und Fördern des Bodens sind die Homogenbereiche nach DIN 18 300 benannt.

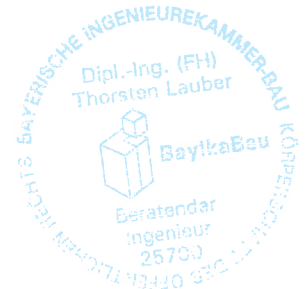
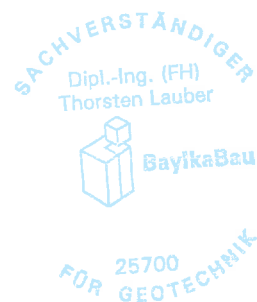
Treten im Rahmen der Bauausführung Abweichungen von den erkundeten Verhältnissen auf, so bitten wir um eine umgehende Benachrichtigung.

Wir empfehlen -zur Qualitätssicherung- die Abnahme der Gründungssohlen und damit verbunden die Umsetzung unserer gutachterlichen Empfehlungen im Sinne einer Qualitätssicherung.

Wir stehen den am Bau Beteiligten zu weiteren geotechnischen Fragen im Rahmen der Ausführungsplanung und der Bauausführung jederzeit gerne zur Verfügung.

(i.A. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Richard A. Herrmann)
GEOTECHNIK GmbH

(Dipl.-Ing. (FH) Thorsten Lauber)
Sachverständiger für Geotechnik



Anlage 1

EW03

VESTAS V162-6.0

Standortkoordinate

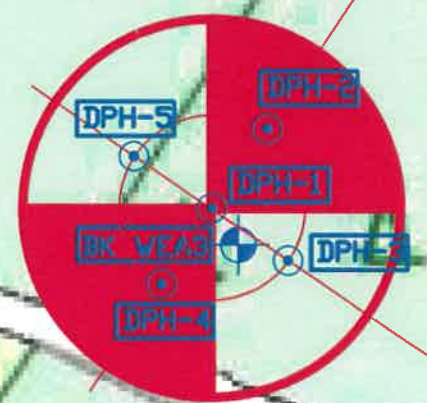
re=459545

ho=5653884

Nabenhöhe=169,0m

Rotorradius

Gesamthöhe



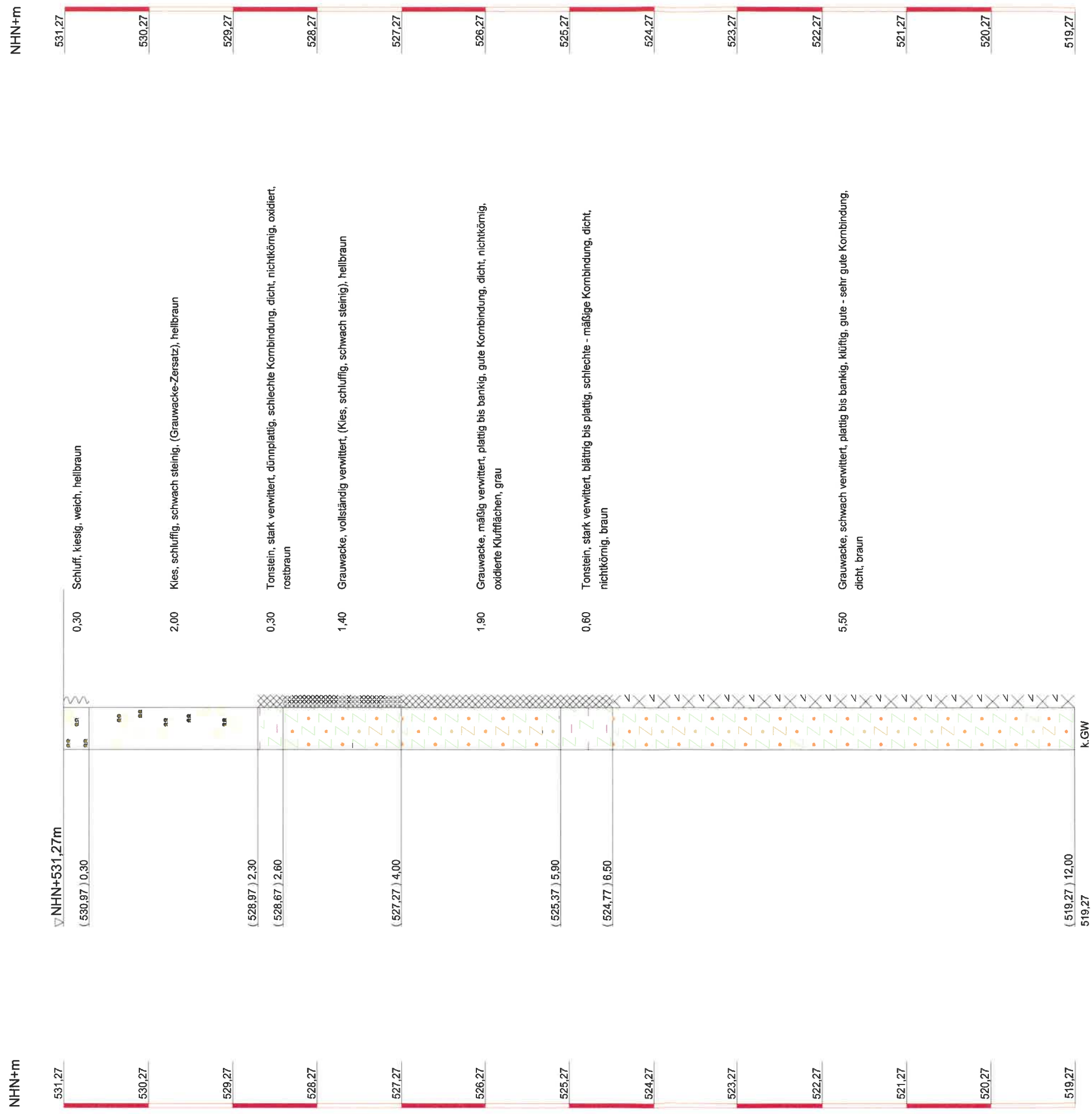
Legende:

- Bohrung BK
- Sondierung DPH

 GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lammelbach 5 91567 Herrieden Tel. 09825/93413 Fax. 09825/93415			
Projekt Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg WEA 3			
	Name	Datum	Maßstab 1 : 1000
gezeichnet	Lauber	29.09.2021	
			Projekt Nr. GEO-210118
Auftraggeber Krug Energie GmbH & Co. KG Dorfstraße 53 35117 Münchhausen-Wollmar			Lageplan
Bauplatz Windpark Ohrenbach - WEA 3			Anlage 1

Anlagengruppe 2

BK WEA 3
(Stöiben GmbH)
24.06.2021
M.: 1:50



GEOTECHNIK GmbH
Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner
Lammelbach 5
91567 Herrieden
Tel.: 09825/93413
Fax: 09825/93415

Bauvorhaben:
Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg
- WEA 3
Planbezeichnung:
BK WEA 3

Plan-Nr: 2.1
Projekt-Nr: GEO-210118
Datum: 04.10.2021
Maßstab: 1 : 50
Bearbeiter: T.Lauber



Bild 1 Übersichtsaufnahme Standort WEA 3 mit Raupen-Bohrgerät nach Baufeldfreimachung und mit hergestellter Zufahrt für die Bohrarbeiten



Bild 2 Aufnahme Bohrkern BK WEA 3

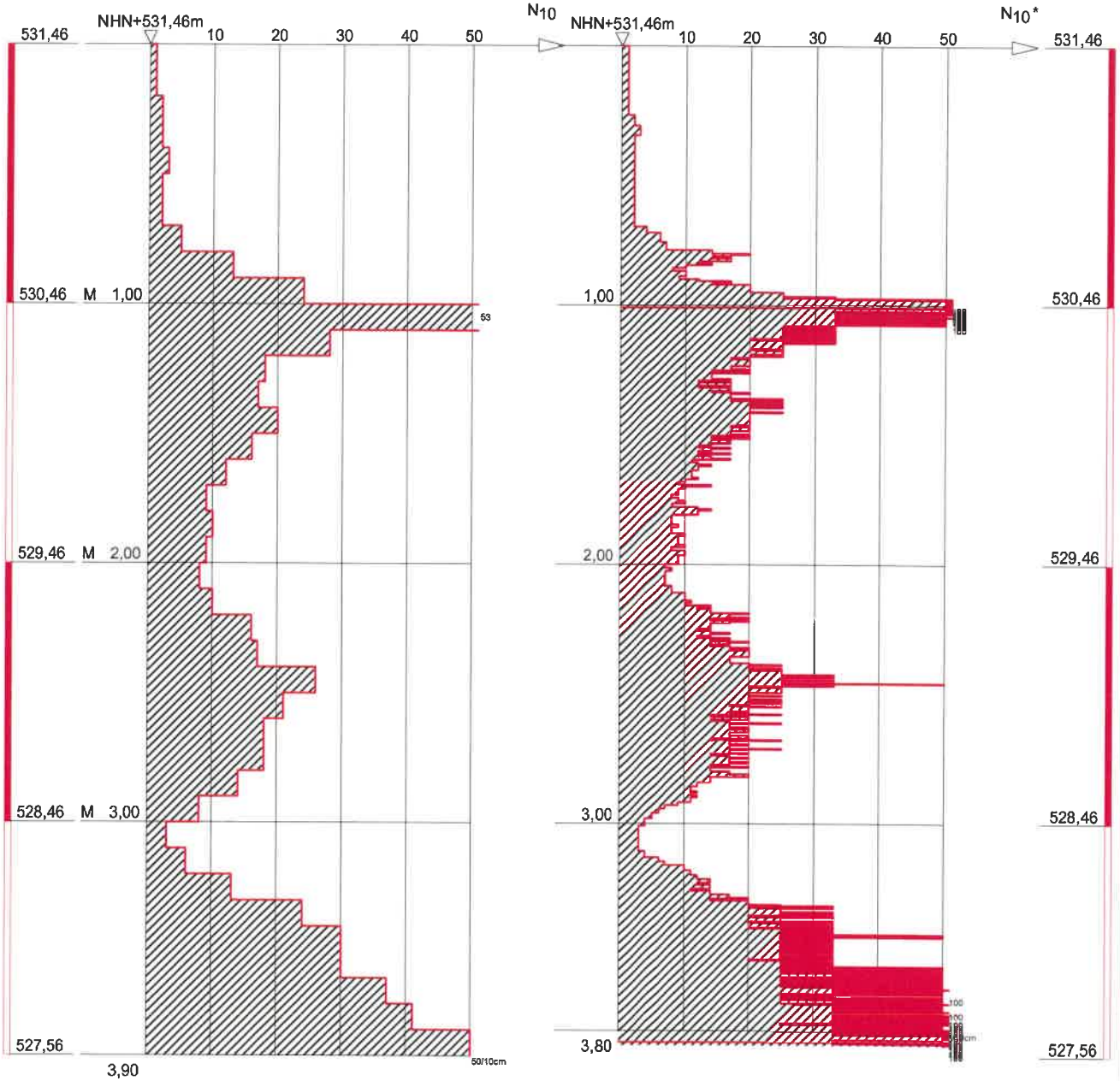
Anlagengruppe 3

WEA3 - DPH-1
(04.06.2021)

WEA3 - DPH-1*
(04.06.2021)

NHN+m

NHN+m



GEOTECHNIK GmbH
Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner
Lammelbach 5
91567 Herrieden
Tel.: 09825/93413
Fax: 09825/93415

Bauvorhaben:
Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg
- WEA 3
Planbezeichnung:
WEA3 - DPH-1

Plan-Nr:	3.1
Projekt-Nr:	GEO-210118
Datum:	04.10.2021
Maßstab:	1 : 25
Bearbeiter:	T.Lauber



Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2

Geräteleiter: T. Lauber

Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 3

Sondierungsnummer: WEA3-DPH-1

Datum: 04.06.2021

Sondierart: DPH

Ansatzpunkt [m]:

Ansatzpunkt auf NHN [m]: 531,46

Grundwassersp.[m u. ASP]:

Bemerkung:

Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	1	3,10	3	6,10		9,10		12,10	
0,20	1	3,20	6	6,20		9,20		12,20	
0,30	2	3,30	13	6,30		9,30		12,30	
0,40	2	3,40	24	6,40		9,40		12,40	
0,50	3	3,50	30	6,50		9,50		12,50	
0,60	2	3,60	30	6,60		9,60		12,60	
0,70	2	3,70	37	6,70		9,70		12,70	
0,80	5	3,80	41	6,80		9,80		12,80	
0,90	13	3,90	50	6,90		9,90		12,90	
1,00	24	4,00		7,00		10,00		13,00	
*)	mittel	*)		*)		*)		*)	
1,10	53	4,10		7,10		10,10		13,10	
1,20	28	4,20		7,20		10,20		13,20	
1,30	18	4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40	17	4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50	20	4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60	16	4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70	12	4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80	9	4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90	10	4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00	9	5,00		8,00		11,00		14,00	
*)	mittel	*)		*)		*)		*)	
2,10	8	5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20	10	5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30	16	5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40	17	5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50	26	5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60	21	5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70	18	5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80	18	5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90	14	5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00	8	6,00		9,00		12,00		15,00	
*)	mittel	*)		*)		*)		*)	

*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]

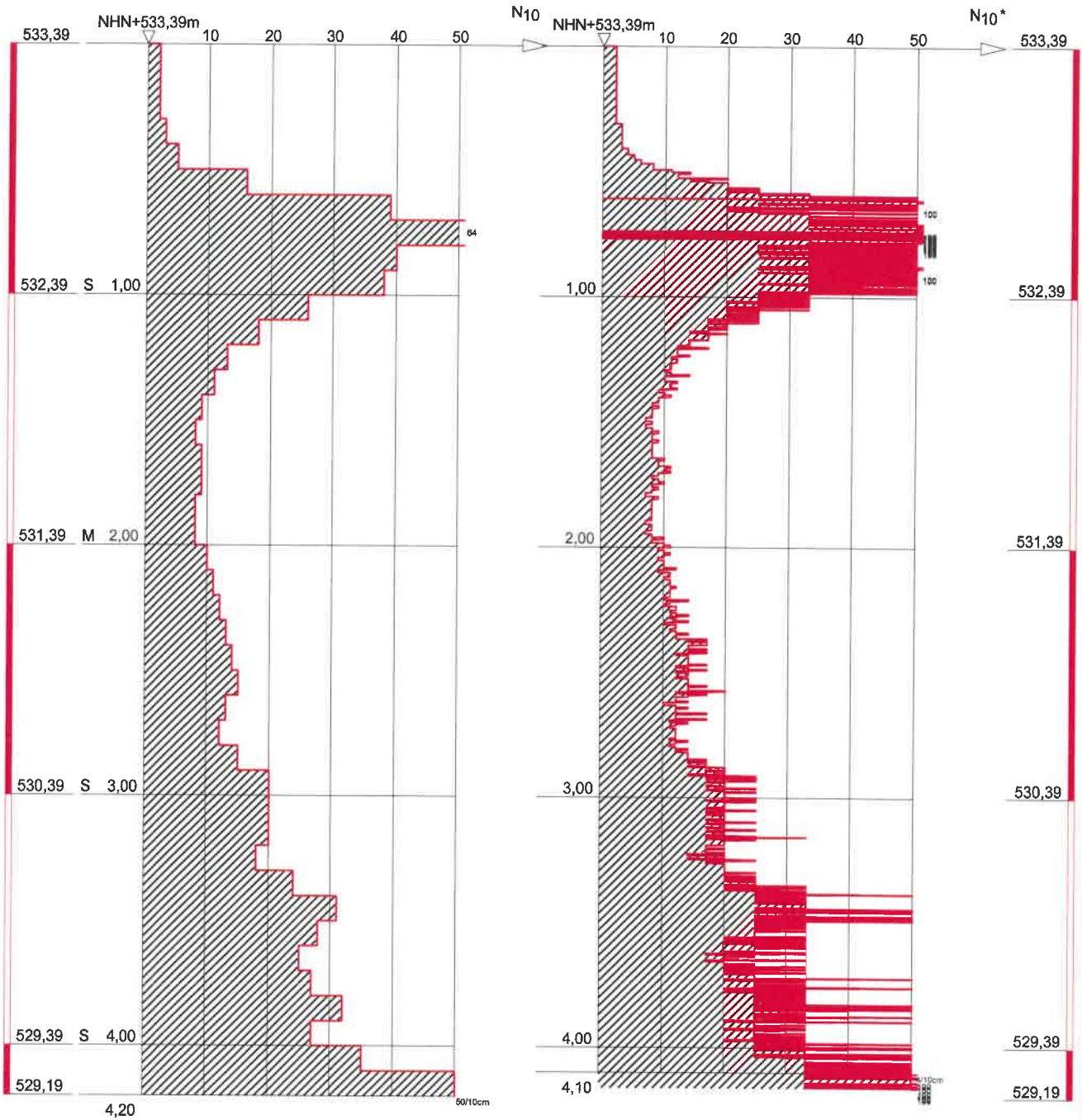
Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefen pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm- datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.

WEA3 - DPH-2
(04.06.2021)

WEA3 - DPH-2*
(04.06.2021)

NHN+m

NHN+m



<p>GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lammelbach 5 91567 Herrieden Tel.: 09825/93413 Fax: 09825/93415</p>	<p>Bauvorhaben: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg - WEA 3 Planbezeichnung: WEA3 - DPH-2</p>	Plan-Nr: 3.3
		Projekt-Nr: GEO-210118
		Datum: 04.10.2021
		Maßstab: 1 : 25
		Bearbeiter: T.Lauber



Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2

Geräteführer: T. Lauber

Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 3

Sondierungsnummer: WEA3-DPH-2

Datum: 04.06.2021

Sondierart: DPH

Ansatzpunkt [m]:

Ansatzpunkt auf NHN [m]: 533,39

Grundwassersp.[m u. ASP]:

Bemerkung:

Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	2	3,10	20	6,10		9,10		12,10	
0,20	2	3,20	20	6,20		9,20		12,20	
0,30	2	3,30	18	6,30		9,30		12,30	
0,40	3	3,40	24	6,40		9,40		12,40	
0,50	5	3,50	31	6,50		9,50		12,50	
0,60	16	3,60	28	6,60		9,60		12,60	
0,70	39	3,70	25	6,70		9,70		12,70	
0,80	64	3,80	27	6,80		9,80		12,80	
0,90	40	3,90	32	6,90		9,90		12,90	
1,00	38	4,00	27	7,00		10,00		13,00	
*)	schwer	*)	schwer	*)		*)		*)	
1,10	26	4,10	35	7,10		10,10		13,10	
1,20	18	4,20	50	7,20		10,20		13,20	
1,30	13	4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40	11	4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50	9	4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60	8	4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70	9	4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80	9	4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90	8	4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00	8	5,00		8,00		11,00		14,00	
*)	mittel	*)		*)		*)		*)	
2,10	10	5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20	11	5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30	12	5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40	13	5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50	14	5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60	15	5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70	13	5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80	12	5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90	15	5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00	20	6,00		9,00		12,00		15,00	
*)	schwer	*)		*)		*)		*)	

*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]

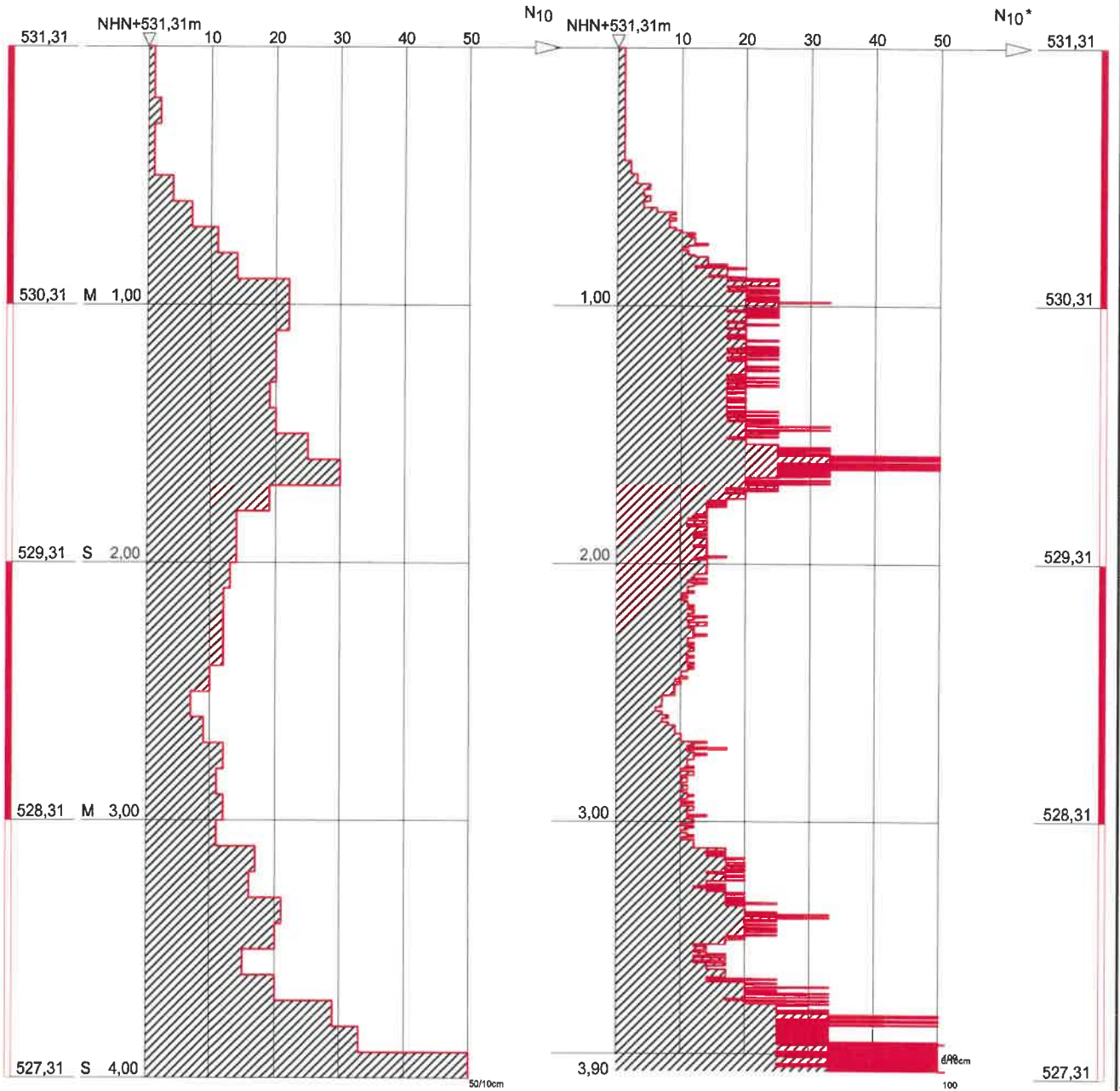
Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefen pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm-datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.

WEA3 - DPH-3
(04.06.2021)

WEA3 - DPH-3*
(04.06.2021)

NHN+m

NHN+m



GEOTECHNIK GmbH
Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner
Lammelbach 5
91567 Herrieden
Tel.: 09825/93413
Fax: 09825/93415

Bauvorhaben:
Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg
- WEA 3
Planbezeichnung:
WEA3 - DPH-3

Plan-Nr:	3.5
Projekt-Nr:	GEO-210118
Datum:	04.10.2021
Maßstab:	1 : 25
Bearbeiter:	T.Lauber



Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2

Geräteleiter: T. Lauber

Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 3

Sondierungsnummer: WEA3-DPH-3

Datum: 04.06.2021

Sondierart: DPH

Ansatzpunkt [m]:

Ansatzpunkt auf NHN [m]: 531,31

Grundwassersp.[m u. ASP]:

Bemerkung:

Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	1	3,10	11	6,10		9,10		12,10	
0,20	1	3,20	17	6,20		9,20		12,20	
0,30	2	3,30	16	6,30		9,30		12,30	
0,40	1	3,40	21	6,40		9,40		12,40	
0,50	1	3,50	20	6,50		9,50		12,50	
0,60	4	3,60	15	6,60		9,60		12,60	
0,70	7	3,70	20	6,70		9,70		12,70	
0,80	11	3,80	29	6,80		9,80		12,80	
0,90	14	3,90	33	6,90		9,90		12,90	
1,00	22	4,00	50	7,00		10,00		13,00	
*)	mittel	*)	schwer	*)		*)		*)	
1,10	22	4,10		7,10		10,10		13,10	
1,20	20	4,20		7,20		10,20		13,20	
1,30	20	4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40	19	4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50	20	4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60	25	4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70	30	4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80	19	4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90	14	4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00	14	5,00		8,00		11,00		14,00	
*)	schwer	*)		*)		*)		*)	
2,10	13	5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20	12	5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30	12	5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40	12	5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50	10	5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60	7	5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70	9	5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80	12	5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90	11	5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00	12	6,00		9,00		12,00		15,00	
*)	mittel	*)		*)		*)		*)	

*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]

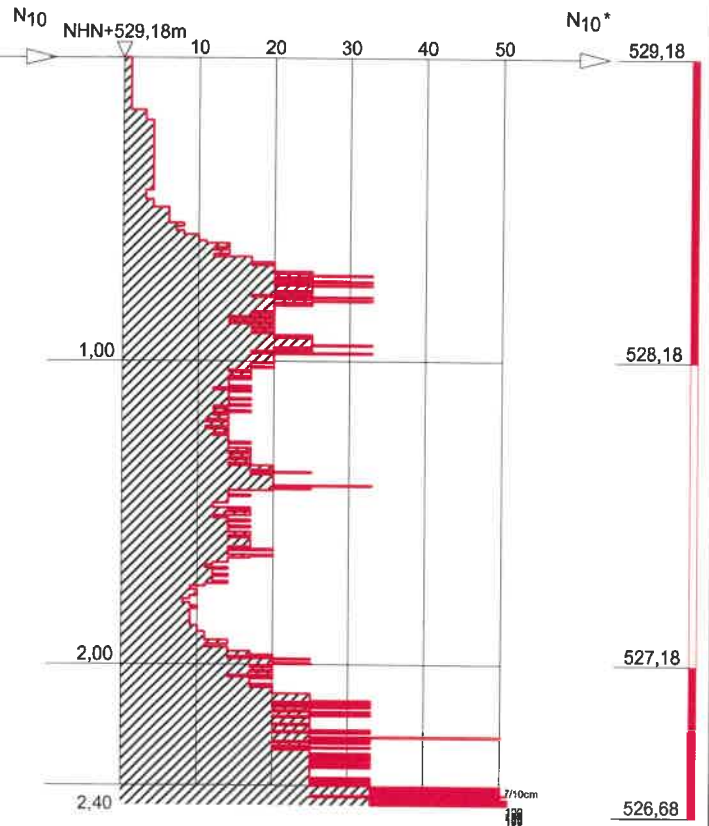
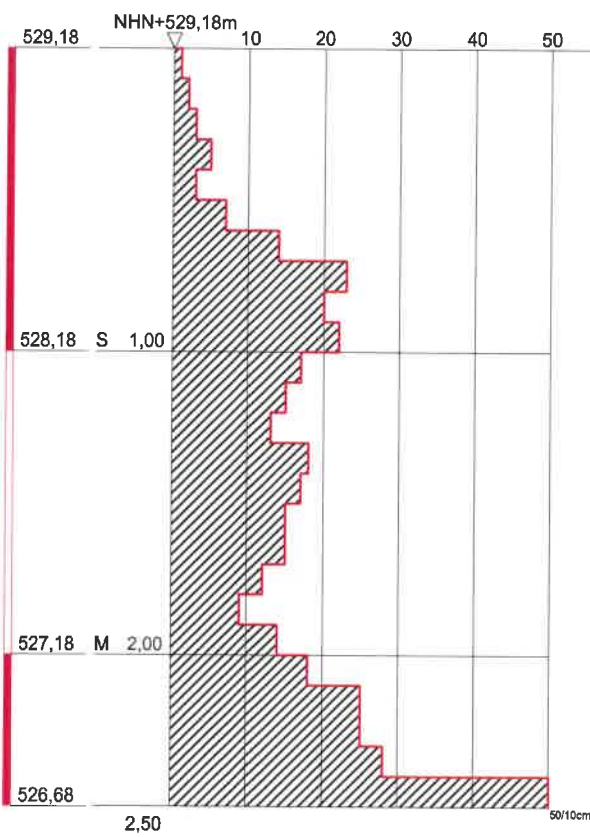
Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefen pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm- datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.

WEA3 - DPH-4
(04.06.2021)

WEA3 - DPH-4*
(04.06.2021)

NHN+m

NHN+m



<p>GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lammelbach 5 91567 Herrieden Tel.: 09825/93413 Fax: 09825/93415</p>	<p>Bauvorhaben: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg - WEA 3</p> <p>Planbezeichnung: WEA3 - DPH-4</p>	Plan-Nr: 3.7
		Projekt-Nr: GEO-210118
		Datum: 04.10.2021
		Maßstab: 1 : 25
		Bearbeiter: T.Lauber



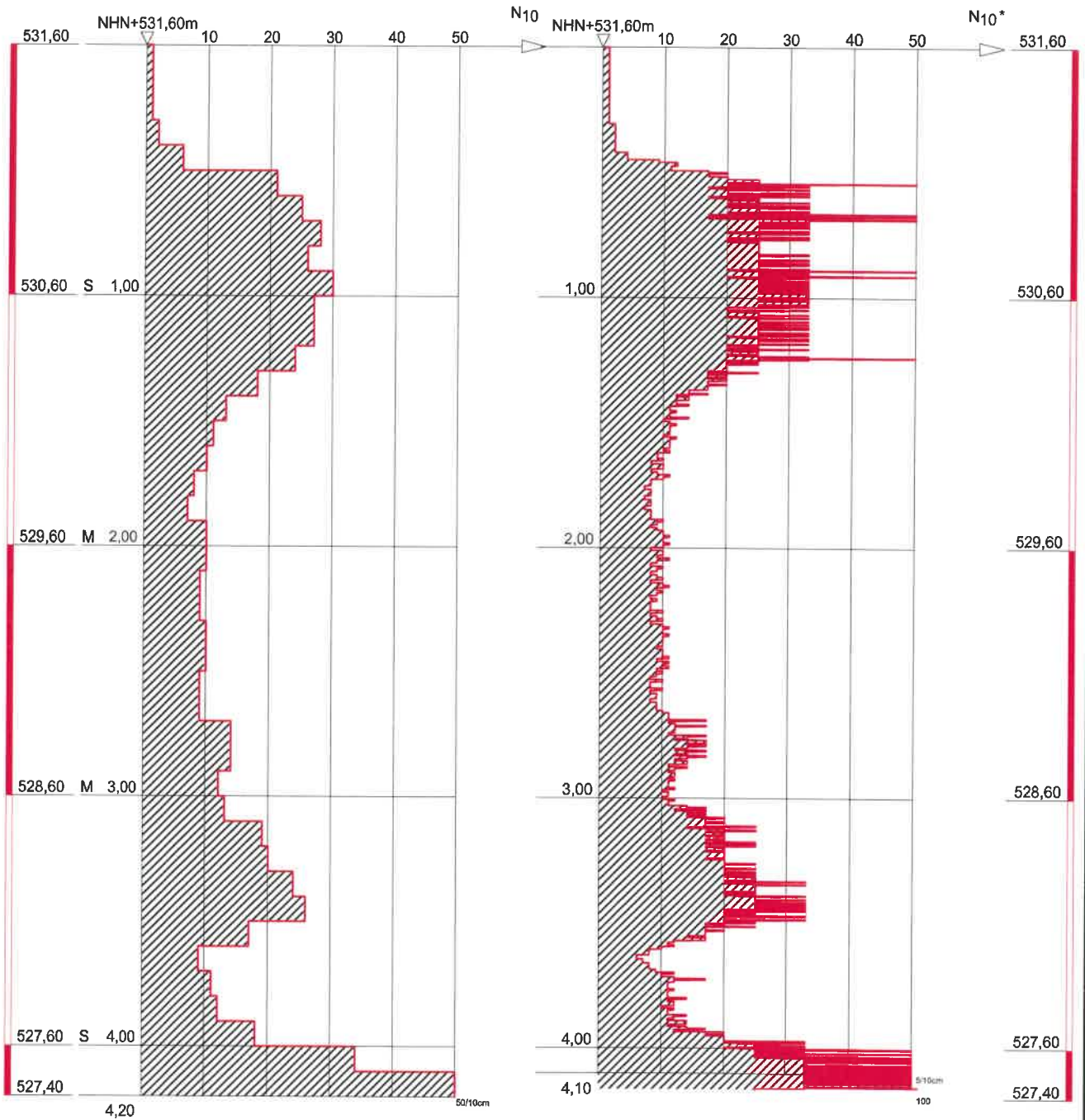
Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2									
Geräteleiter: T. Lauber									
Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 3									
Sondierungsnummer: WEA3-DPH-4				Datum: 04.06.2021			Sondierart: DPH		
Ansatzpunkt [m]:						Ansatzpunkt auf NHN [m]: 529,18			
Grundwassersp.[m u. ASP]:									
Bemerkung:									
Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	1	3,10		6,10		9,10		12,10	
0,20	2	3,20		6,20		9,20		12,20	
0,30	3	3,30		6,30		9,30		12,30	
0,40	5	3,40		6,40		9,40		12,40	
0,50	3	3,50		6,50		9,50		12,50	
0,60	7	3,60		6,60		9,60		12,60	
0,70	14	3,70		6,70		9,70		12,70	
0,80	23	3,80		6,80		9,80		12,80	
0,90	20	3,90		6,90		9,90		12,90	
1,00	22	4,00		7,00		10,00		13,00	
*)	schwer	*)		*)		*)		*)	
1,10	17	4,10		7,10		10,10		13,10	
1,20	15	4,20		7,20		10,20		13,20	
1,30	13	4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40	18	4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50	17	4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60	15	4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70	15	4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80	12	4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90	9	4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00	14	5,00		8,00		11,00		14,00	
*)	mittel	*)		*)		*)		*)	
2,10	18	5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20	25	5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30	25	5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40	28	5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50	50	5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60		5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70		5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80		5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90		5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00		6,00		9,00		12,00		15,00	
*)		*)		*)		*)		*)	
*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]									
Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefern pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm- datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.									

WEA3 - DPH-5
(04.06.2021)

WEA3 - DPH-5*
(04.06.2021)

NHN+m

NHN+m



GEOTECHNIK GmbH

Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner

Lammelbach 5
91567 Herrieden
Tel.: 09825/93413
Fax: 09825/93415

Bauvorhaben:

Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg
- WEA 3

Planbezeichnung:

WEA3 - DPH-5

Plan-Nr: 3.9

Projekt-Nr: GEO-210118

Datum: 04.10.2021

Maßstab: 1 : 25

Bearbeiter: T.Lauber



Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2									
Geräteleiter: T. Lauber									
Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 3									
Sondierungsnummer: WEA3-DPH-5				Datum: 04.06.2021			Sondierart: DPH		
Ansatzpunkt [m]:					Ansatzpunkt auf NHN [m]: 531,60				
Grundwassersp.[m u. ASP]:									
Bemerkung:									
Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	1	3,10	13	6,10		9,10		12,10	
0,20	1	3,20	19	6,20		9,20		12,20	
0,30	1	3,30	20	6,30		9,30		12,30	
0,40	2	3,40	24	6,40		9,40		12,40	
0,50	6	3,50	26	6,50		9,50		12,50	
0,60	21	3,60	17	6,60		9,60		12,60	
0,70	25	3,70	9	6,70		9,70		12,70	
0,80	28	3,80	11	6,80		9,80		12,80	
0,90	26	3,90	12	6,90		9,90		12,90	
1,00	30	4,00	18	7,00		10,00		13,00	
*)	schwer	*)	schwer	*)		*)		*)	
1,10	27	4,10	34	7,10		10,10		13,10	
1,20	27	4,20	50	7,20		10,20		13,20	
1,30	24	4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40	18	4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50	13	4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60	11	4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70	10	4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80	8	4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90	7	4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00	10	5,00		8,00		11,00		14,00	
*)	mittel	*)		*)		*)		*)	
2,10	10	5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20	9	5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30	9	5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40	10	5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50	10	5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60	9	5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70	9	5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80	14	5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90	14	5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00	12	6,00		9,00		12,00		15,00	
*)	mittel	*)		*)		*)		*)	

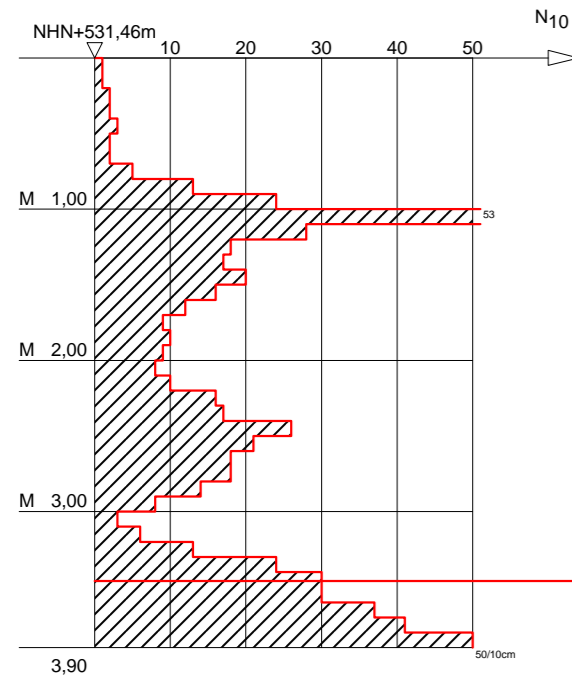
*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]

Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefen pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm- datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.

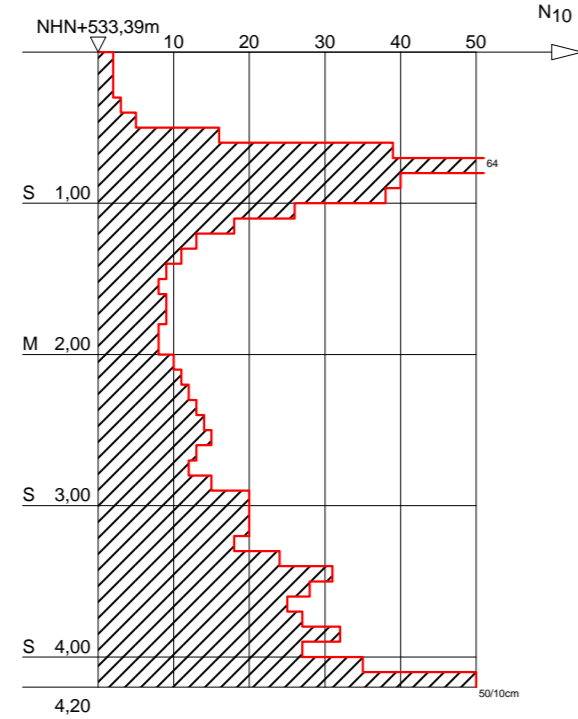
Anlage 4

NHN+m
534,00
533,00
532,00
531,00
530,00
529,00
528,00
527,00
526,00
525,00
524,00
523,00
522,00
521,00
520,00
519,00

WEA3 - DPH-1
(04.06.2021)

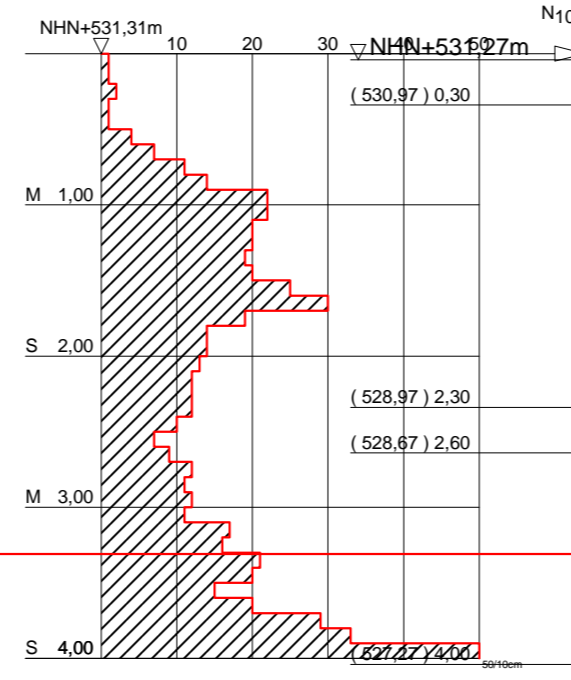


WEA3 - DPH-2
(04.06.2021)

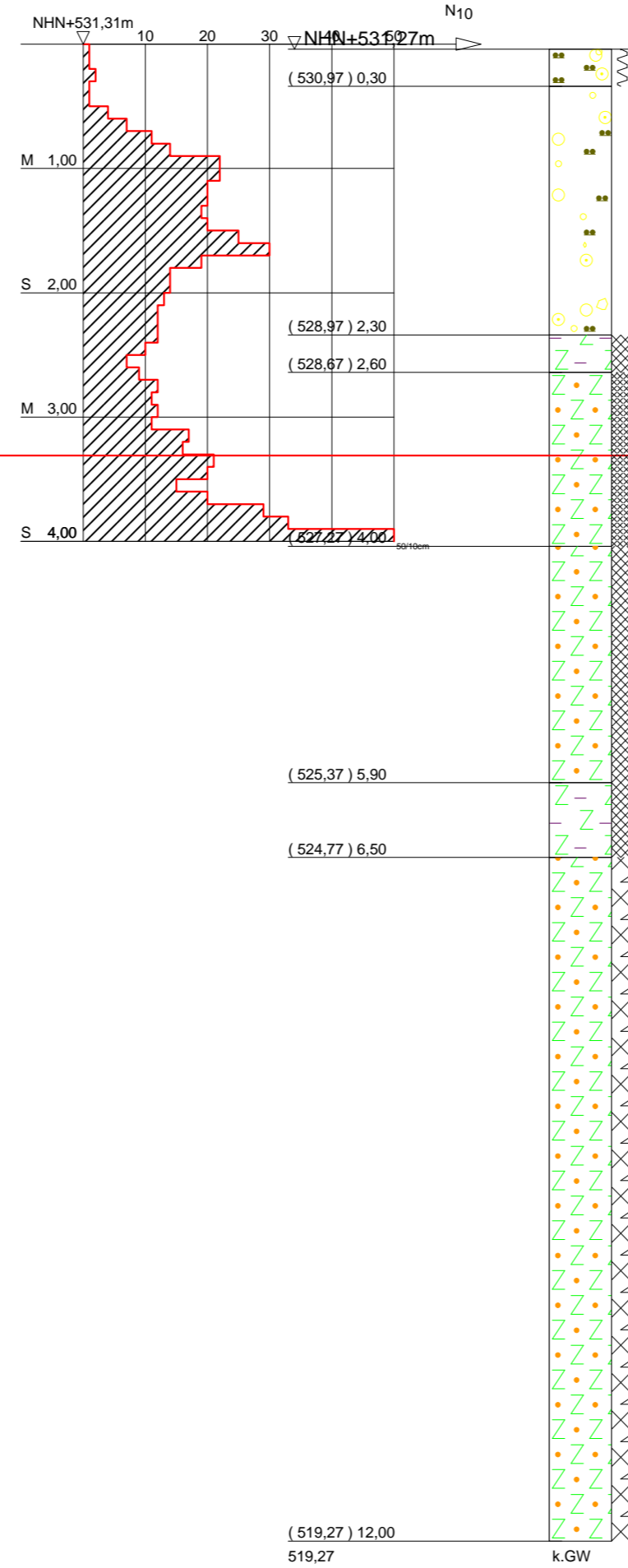


▽ empfohlene Gründungskote = 528,0 mNHN

WEA3 - DPH-3
(04.06.2021)



BK WEA 3
(Stöiben GmbH)
24.06.2021
M.: 1:50



0,30 Schluff, kiesig, weich, hellbraun

2,00 Kies, schluffig, schwach steinig, (Grauwacke-Zersatz), hellbraun

0,30 Tonstein, stark verwittert, dünnplattig, schlechte Kornbindung, dicht, nichtkörnig, oxidiert, rostbraun

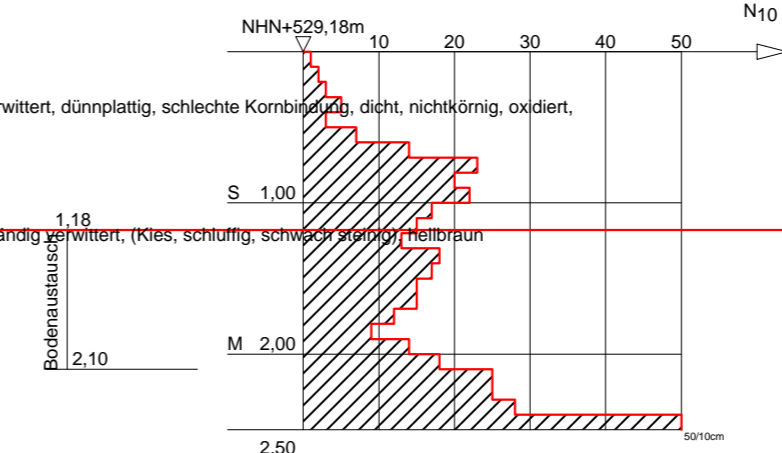
1,40 Grauwacke, vollständig verwittert, (Kies, schluffig, schwach steinig), hellbraun

1,90 Grauwacke, mäßig verwittert, plattig bis bankig, gute Kornbindung, dicht, nichtkörnig, oxidierte Klüfflächen, grau

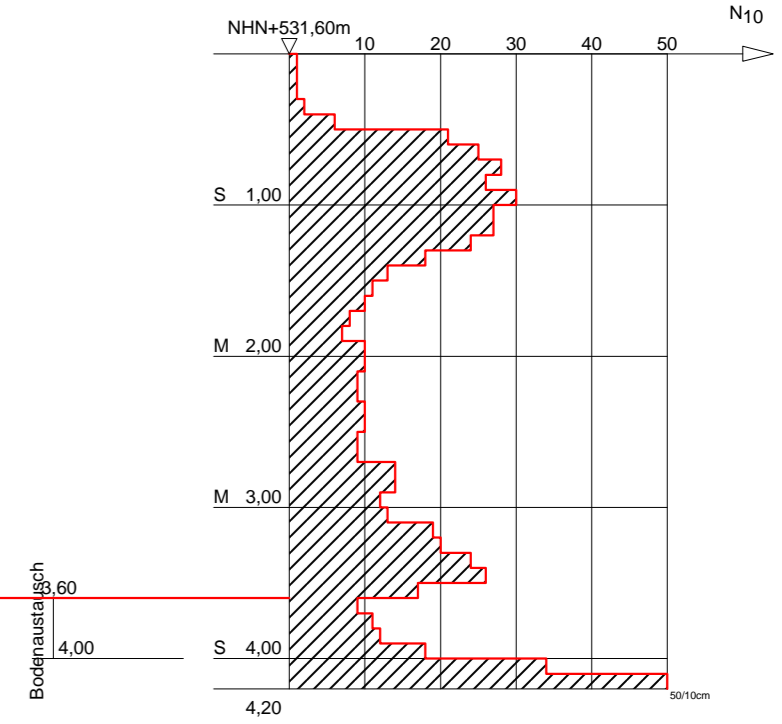
0,60 Tonstein, stark verwittert, blättrig bis plattig, schlechte - mäßige Kornbindung, dicht, nichtkörnig, braun

5,50 Grauwacke, schwach verwittert, plattig bis bankig, klüftig, gute - sehr gute Kornbindung, dicht, braun

WEA3 - DPH-4
(04.06.2021)



WEA3 - DPH-5
(04.06.2021)



NHN+m
534,00
533,00
532,00
531,00
530,00
529,00
528,00
527,00
526,00
525,00
524,00
523,00
522,00
521,00
520,00
519,00

GEOTECHNIK GmbH
Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner
Lammlebach 5
91567 Herrieden
Tel.: 09825/93413
Fax: 09825/93415

Bauvorhaben:
Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg
- WEA 3
Planbezeichnung:
WEA3 - Abwicklung

Plan-Nr: 4
Projekt-Nr: GEO-210118
Datum: 04.10.2021
Maßstab: 1:100/50
Bearbeiter: T.Lauber

Anlagengruppe 5

Zusammenstellung der geomechanischen Versuchsergebnisse (Fels)

Entnahmedaten				Zeilen-Nr.:	WEA	WEA	WEA	WEA	WEA	WEA	
Proben-Nr.					03	03	03	03	03	03	
Entnahmestelle											
Zusätzliche Angaben											
Entnahmetiefe von m bis m					8,00 8,10	8,10 8,20	8,40 8,50	8,60 8,70	8,70 8,80	8,85 8,95	
Entnahmeart				ungestört	ungestört	ungestört	ungestört	ungestört	ungestört		
Probenbeschreibung				Sst	Sst	Sst	Sst	Sst	Sst		
Stratigraphie											
Dichte- bestimmung	Korndichte	ρ_s	t/m ³	31							
	Feuchtdichte	ρ	t/m ³	32							
	Wassergehalt	w	%	33							
	Trockendichte	ρ_d	t/m ³	34							
Einaxialer Druckversuch	Einax. Druckfestigkeit	σ_u	MN/m ²	35							
	Belastungsmodul	B									
	Wiederbelastungsmodul	V	MN/m ²								
	Entlastungsmodul	E									
Poisson- zahlen	für Belastung,	ν_B		36							
	Wiederbelastung	ν_V	-								
	und Entlastung	ν_E									
Dreiaxialer Druckversuch	Vers. Typ/Probendurchm.	- / cm		37							
	Anzahl der Zyklen	-		38							
	Reibungswinkel	φ	°								
	technische Kohäsion	c	MN/m ²								
Punktlastindex	diametral axial	$I_{S(50)}$	MN/m ²	39	2,894 (s)	2,099 (s)	0,845 (p)	4,361 (s)	4,366 (s)	4,505 (s)	2,625 (s)
Spaltzugversuch	\perp \parallel	σ_z	MN/m ²	40							
Reibungsversuch	Probenfläche	A	cm ²	41							
	Anzahl der Laststufen	-									
	Trennflächentyp	-			42						
	Trennflächengeometrie	-									
	Reibungswinkel	φ	°								
technische Kohäsion	c	MN/m ²									
Quellversuche	Quellspannung	σ_q	MN/m ²	43							
	Versuchsdauer	d		44							
	Quelldehnung	$\varepsilon_{q,0}$	%	45							
	Versuchsdauer	d		46							
	Quellversuch nach Huder und Amberg	K	%	47							
		σ_0	MN/m ²								
DIN 52103	Wasseraufnahme		%	49							
	Absplitterung										
	Kennziffer der Absplitt.	-			50						
Veränderlichk. in Wasser DIN 4022		-		51							
Cerchar	CAI	-		53							
Abrasivitätsindex	Klassifizierung	-		54							
Frostversuch nach DIN 52104 / 4226	Absplitt. Kennzi.	% -		55 56							
Einaxialer Kriechversuch	% von einax. Druckfestigkeit		%	57							
	Kriechrate am 10. Tag (LS 1)		%								
	% von einax. Druckfestigkeit		%								
	Kriechrate am 10. Tag (LS 2)		%								
Slake Durability Test	I_{d1}		%	58							
	I_{d2}		%								

zu Zeile 51: w- / w' / w / w* = nicht veränderlich / mäßig veränderlich / veränderlich / stark veränderlich
zu Zeile 54 u. 56: Kennziffer der Absplitter.
Bemerkungen:

Zusammenstellung der geomechanischen Versuchsergebnisse (Fels)

Entnahmedaten				Zeilen-Nr.:	WEA	WEA	WEA	WEA	WEA	WEA	WEA
Proben-Nr.					03	03	03	03	03	03	03
Entnahmestelle											
Zusätzliche Angaben											
Entnahmetiefe		von	m		9,10	9,20	9,30	9,40	9,60	9,70	9,85
		bis	m	9,20	9,30	9,40	9,50	9,70	9,80	10,00	
Entnahmeart				ungestört	ungestört	ungestört	ungestört	ungestört	ungestört	ungestört	
Probenbeschreibung				Sst	Sst	Sst	Sst	Sst	Sst	Sst	
Stratigraphie											
Dichte- bestimmung	Korndichte	ρ_s	t/m ³	31							
	Feuchtdichte	ρ	t/m ³	32							
	Wassergehalt	w	%	33							
	Trockendichte	ρ_d	t/m ³	34							
Einaxialer Druckversuch	Einax. Druckfestigkeit	σ_u	MN/m ²	35						21,821	
	Belastungsmodul	B								4216	
	Wiederbelastungsmodul	V	MN/m ²								
	Entlastungsmodul	E									
Dreiaxialer Druckversuch	Poisson- zahlen	für Belastung,	ν_B	36							
		Wiederbelastung	ν_V								
		und Entlastung	ν_E								
Dreiaxialer Druckversuch	Vers. Typ/Probendurchm.	- / cm		37							
	Anzahl der Zyklen	-									
	Reibungswinkel	φ	°	38							
	technische Kohäsion	c	MN/m ²								
Punktlastindex	diametral	$I_{S(50)}$	MN/m ²	39							
	axial				1,308 (s)	2,083 (s)	3,029 (s)	2,614 (s)	1,579 (s)	2,067 (s)	
Spaltzugversuch		\perp 	σ_z	MN/m ²	40						
Reibungsversuch	Probenfläche	A	cm ²	41							
	Anzahl der Laststufen	-									
	Trennflächentyp	-									
	Trennflächengeometrie	-		42							
	Reibungswinkel	φ	°								
technische Kohäsion		c	MN/m ²								
Quellversuche	Quellspannung	σ_q	MN/m ²	43							
	Versuchsdauer	d		44							
	Quelldehnung	$\epsilon_{q,0}$	%	45							
	Versuchsdauer	d		46							
	Quellversuch nach	K	%	47							
	Huder und Amberg	σ_0	MN/m ²								
Versuchsdauer		d		48							
DIN 52103	Wasseraufnahme		%	49							
	Absplitterung										
	Kennziffer der Absplitt.	-		50							
Veränderlichk. in Wasser DIN 4022				-							
Cerchar		CAI	-	53							
Abrasiveitätsindex		Klassifizierung	-	54							
Frostversuch nach		Absplitt.	%	55							
DIN 52104 / 4226		Kennzi.	-	56							
Einaxialer Kriechversuch	% von einax. Druckfestigkeit		%	57							
	Kriechrate am 10. Tag (LS 1)		%								
	% von einax. Druckfestigkeit		%								
	Kriechrate am 10. Tag (LS 2)		%								
	% von einax. Druckfestigkeit		%								
Kriechrate am 10. Tag (LS 3)		%									
Slake Durability Test		I_{d1}	%	58							
		I_{d2}	%								

zu Zeile 51: w- / w' / w / w* = nicht veränderlich / mäßig veränderlich / veränderlich / stark veränderlich

zu Zeile 54 u. 56: Kennziffer der Absplitter.

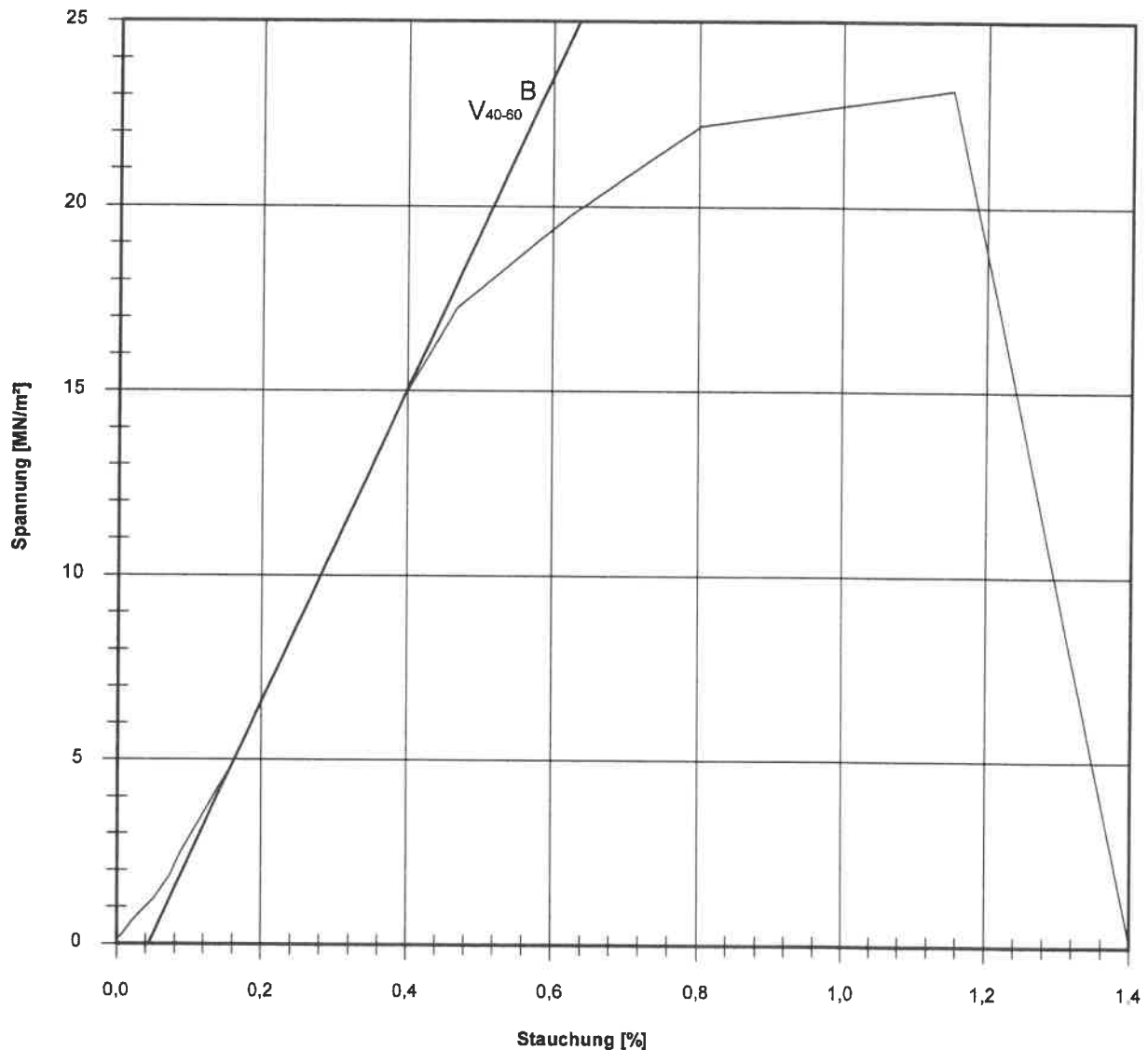
Bemerkungen:

Einaxialer Druckversuch

Felsprobe ohne Messung der Querdehnung
nach DGGT-Empfehlung Nr. 1

Entnahmestelle		
WEA 03		
Tiefe unter GOK:		9,85 - 10,00 m
Entnahmearart:		ungestört
Probenbeschreibung:	Bodengruppe:	Stratigraphie:
Sst		
Entrn. am:	von: Geotechnik Herrmann	

Ausgeführt von:	J. Bergen	am:	10.08.2021	Gep.:	
Ausgewertet von:	Frühwirth	am:	01.09.2021		
Probenhöhe:	137,0 mm	Feuchtdichte:	2,475 t/m³	Verformungsgeschwindigkeit:	0,20 mm/min
Durchmesser:	101,7 mm	Wassergehalt:	%	Höhen/Durchmesserverhältnis(h/d):	1,35
Querschnittsfläche:	81,23 cm²	Trockendichte:	t/m³	Korrekturfaktor; $f = 8/(7+2d/h)$:	0,943

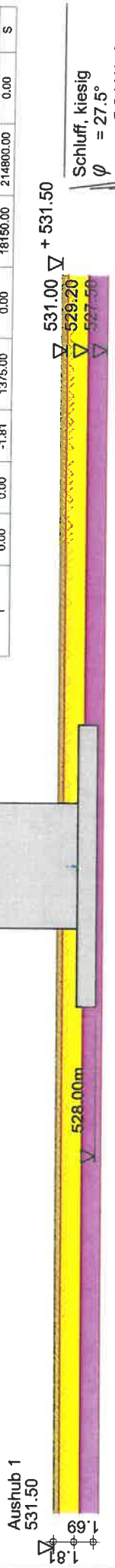


Bruchspannung σ :	23,143 MN/m²	Verformungsmoduli:		Poissonszahl:	
Einaxiale Druckfestigkeit		Belastungsmodul	V_{40-60} : 4216 MN/m²	für Belastung	ν_B :
$f \cdot \sigma = q_u$ bzw. σ_u :	21,821 MN/m²	Modul d. einaxialen Druckf.	E_u :	für Wiederbelastung	ν_V :
Stauchung beim Bruch:	1,15 %	Belastungsmodul	B : 4216 MN/m²	für Entlastung	ν_E :
Querdehnung beim Bruch:		Wiederbelastungsmodul	V :		
		Entlastungsmodul	E :		

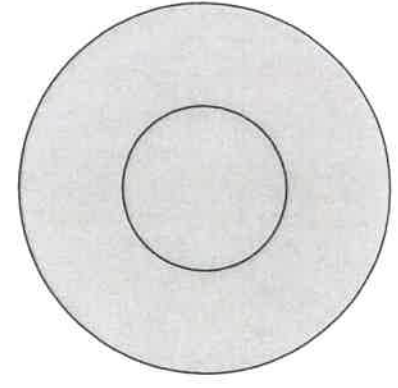
Bemerkungen:

Anlagengruppe 6

Lf-Name	x	y	z	Hx	Hy	Vz	Mx	My	Typ
1	0.00	0.00	-1.81	1375.00	0.00	18150.00	214800.00	0.00	S



24.50



24.50

Lf-Name	x	y	z	Hk	Hy	Vz	Mx	My	Typ
1	0,00	0,00	-1,81	1375,00	0,00	18150,00	214800,00	0,00	S

Aushub 1
531.50

▽ 531.00 ▽ + 531.50

▽ 528.00m

▽ 529.20

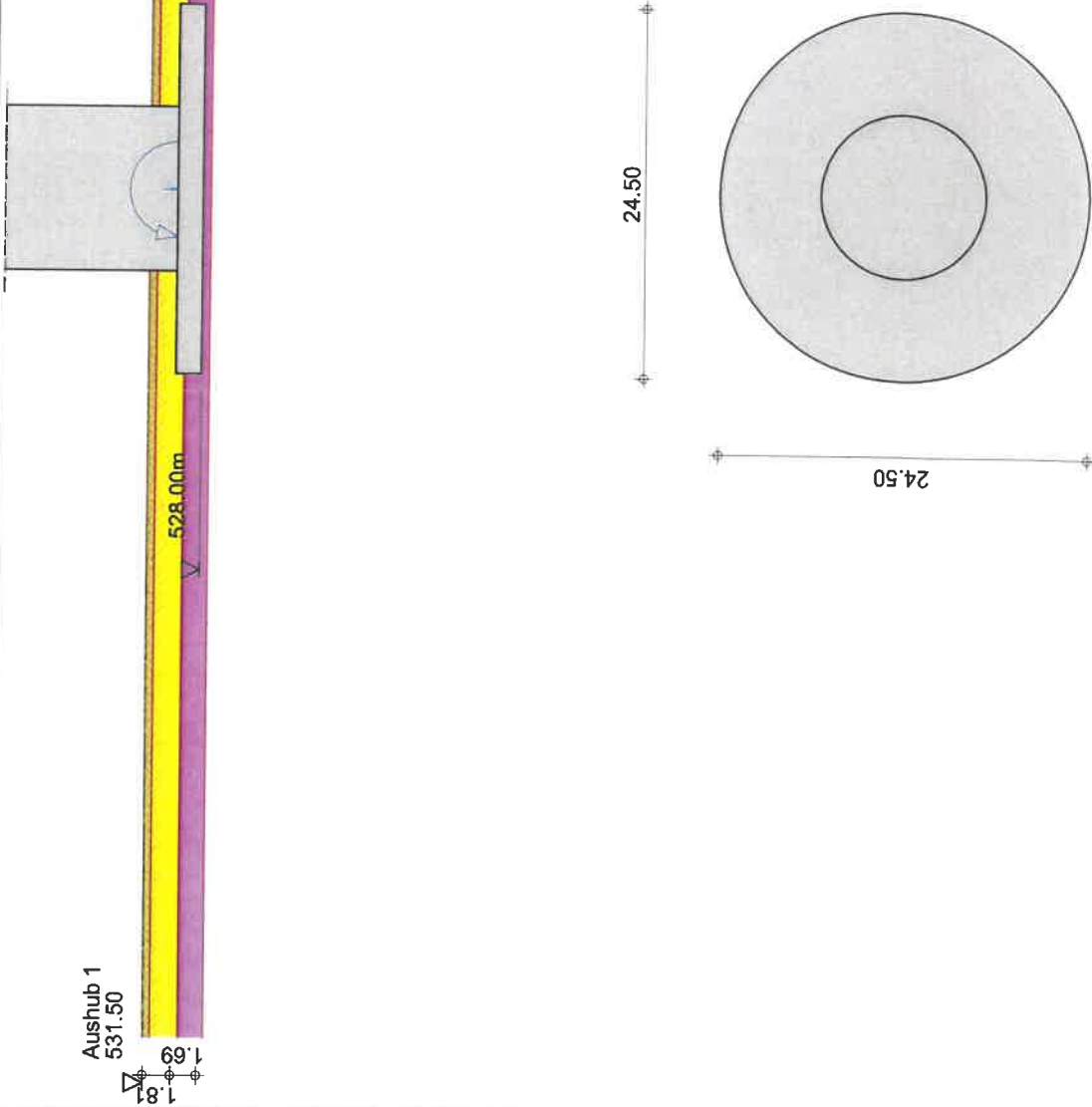
▽ 527.50

Schluff, kiesig
 $\varphi = 27.5^\circ$
 $c = 5.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma/\gamma' = 19.5/10.0 \text{ kN/m}^3$

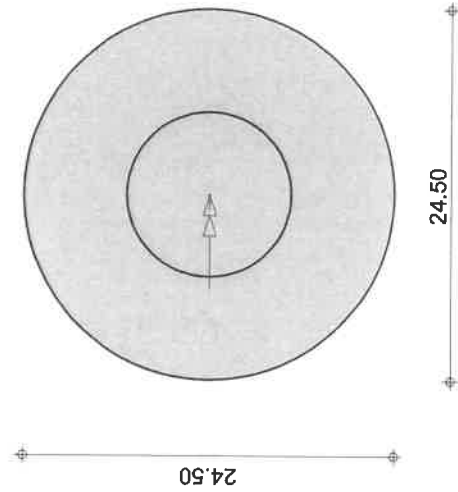
Kies, schluffig
 $\varphi = 35.0^\circ$
 $c = 2.5 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma/\gamma' = 20.0/10.5 \text{ kN/m}^3$

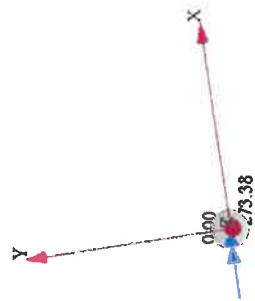
Tst/Grauwacke1
 $\varphi = 25.0^\circ$
 $c = 20.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma/\gamma' = 22.0/12.0 \text{ kN/m}^3$

Grauwacke2
 $\varphi = 25.0^\circ$
 $c = 50.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma/\gamma' = 24.0/14.0 \text{ kN/m}^3$



Lf-Name	x	y	z	Hx	Hy	Vz	Mx	My	Typ
1	0.00	0.00	-1.81	1375.00	0.00	18150.00	214800.00	0.00	S





Programm DC-Fundament - Copyright 2006-2021: DC-Software Doster & Christmann GmbH, D-81245 München

Eingabedatei: C:\ProgramData\DC-Grundbaustatik\Daten\WEA2\WEA3.dbf

Fundament-Berechnung nach DIN EN 1997-1 (Eurocode 7) und DIN 1054:2010

Erddruck nach DIN 4085:2017

Berechnung mit Nachweisverfahren 2

Kombination mit Teilsicherheitsbeiwerten der Gruppen A1 + M1 + R2

Fundamenttyp: Einzelfundament, kreisförmig

Fundamentabmessungen

Durchmesser d : 24.50 m
 Unterkante : 528.00 mNN
 Höhe h : 1.69 m
 Wichte γ : 25.00 kN/m³
 Geländeoberkante auf 531.50 mNN

Schichtdaten

		Schluff, kiesig	Kies, schluffig	Tst/ Grauwacke1	Grauwacke2
Schichthöhe Δh	[m]	0.50	1.80	1.70	96.00
Innere Reibung $\text{cal } \varphi'$	[°]	27.50	35.00	25.00	25.00
Kohäsion c	[kN/m ²]	5.00	2.50	20.00	50.00
Wichte Boden γ	[kN/m ³]	19.50	20.00	22.00	24.00
Wichte unter Auftrieb γ'	[kN/m ³]	10.00	10.50	12.00	14.00
Steifemodul E_s	[MN/m ²]	40.00	50.00	100.00	120.00
zul. Bodenpressung	[kN/m ²]		350.00	550.00	550.00

Lastfall BS
 1 P

Einzellasten

Lastfall	Kat.	V [kN]	H _x [kN]	H _y [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	x [m]	y [m]	z [m]	γ Grundbau	γ Bemess.	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Eigengew.	G	19953.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	-3.50	1.35	1.35			
1	G	18150.0	1375.0	0.0	14800.0	0.0	0.00	0.00	-1.81	1.35	1.35			

Teilsicherheitsbeiwerte für statisches Gleichgewicht (EQU):

γ	G, stb	G, dst	Q, dst
BS-P	0.90	1.10	1.50
BS-T	0.90	1.05	1.25
BS-A	0.95	1.00	1.00
BS-T/A	0.93	1.03	1.13

Teilsicherheitsbeiwerte (STR, GEO) für Nachweisverfahren 2

γ	G	Q	R, v	R, h	γ	φ	c	cu	Ea	E0g	Ep
BS-P	1.35	1.50	1.40	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.35	1.20	1.40
BS-T	1.20	1.30	1.30	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.10	1.30
BS-A	1.10	1.10	1.20	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.10	1.00	1.20
BS-T/A	1.15	1.20	1.25	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.15	1.05	1.25

- γ - Teilsicherheitsbeiwert für ...
- G ständige Lasten
- Q veränderliche Lasten
- R, v Grundbruchwiderstand
- R, h Gleitwiderstand
- γ Wichte
- φ Reibungsbeiwert $\tan \varphi$
- c Kohäsion c
- cu Kohäsion undränert cu
- Ea Aktiver Erddruck
- E0g Ruhedruck
- Ep Passiver Erddruck
- G, stb günstige ständige Lasten
- G, dst ungünstige ständige Lasten
- Q, dst ungünstige veränderliche Lasten

Lastfall-Kombinationen für Grundbaunachweise:

Komb.Nr.	Bem.sit.	Eigengew.	1
1	BS-P	1.00	1.00
2	BS-P	1.00	1.35
3	BS-P	1.35	1.00
4	BS-P	1.35	1.35

Lastfall-Kombinationen für Bemessung:

Komb.Nr.	Eigengew.	1
1	1.00	1.00
2	1.00	1.35
3	1.35	1.00
4	1.35	1.35

Ergebnisse:

Komb.Nr.	Sohl-normalsp. [kN/m ²]	max.Boden- pressung [kN/m ²]	Gleiten T _d /R _d	Grundbr. N _d /R _d	max. Setzung [mm]	e/d ständig	e/d gesamt	EQU: E _{d,dst} /E _{d,stab}
1	195.8	273.4	0.06	0.07	19.7	0.315	0.097	0.002
2	195.8	273.4	0.07	0.08	19.7	0.315	0.097	0.002
3	195.8	273.4	0.06	0.09	19.7	0.315	0.097	0.002
4	195.8	273.4	0.07	0.10	19.7	0.315	0.097	0.002

Maßgebend:

Komb.Nr.	Sohl-normalsp. [kN/m ²]	max.Boden- pressung [kN/m ²]	Gleiten T _d /R _d	Grundbr. N _d /R _d	max. Setzung [mm]	e/d ständig	e/d gesamt	EQU: E _{d,dst} /E _{d,stab}
	195.8	273.4	0.07	0.10	19.7	0.315	0.097	0.002

Nachweis der Lagesicherheit im GZ EQU

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 1, maßgebende Richtung: -y

Lage der Kippkante: (-12.25 m; -3.50 m)

E_{d,dst} = 771.86 kNm ≤ E_{d,stab} = 428131.36 kNm

*** Nachweis erfüllt ***

Nachweis der max. Bodenpressung

Schnittgrößen in der Sohlfuge

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 4

Belastung aus Eigengewicht: V = 19953.5 kN

Belastung aus Erdauflast: V = 18194.0 kN, M_y = 0.0 kNm, M_x = 0.0 kNm

Gesamtlast:

N = 56297.5 kN, Q_x = 1375.0 kN, M_y = 2327.9 kNm, Q_y = 0.0 kN, M_x = 214800.0 kNm

σ_{1(-x)} = 273.4 kN/m², σ_{2(+x)} = 0.0 kN/m²

Ersatzbreiten: b' = 16.87 m, a' = 17.05 m

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 4

(char. Sohlnormalspannung σ_{or,k} = 195.8 kN/m²)

Nachweis mit Bemessungswerten:

σ_{or,d} = 264.3 kN/m² < Bemessungswert Sohlwiderstand σ_{Rd} = 550.0 kN/m²

*** Nachweis erfüllt ***

Nachweis der Gleitsicherheit im Nachweisverfahren 2

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 2, maßgebende Richtung: +x

	Charakteristisch	Bemessungswerte
Belastung T	= 1375.0 kN	1856.3 kN
Erdwiderstand E _{ph} (δ _p = 0)	= 1375.0 kN	982.1 kN
Belastung V	= 56297.5 kN	
Reibungswinkel Sohle δ	= 25.00 °	
Gleitwiderstand R _t	= 26251.9 kN	23865.4 kN
Nachweis: T_d / (R_{t,d} + E_{p,d})	= 0.07 < 1.0	

*** Nachweis erfüllt ***

Nachweis der Grundbruchsicherheit im Nachweisverfahren 2

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 4, maßgebende Richtung: +x

Belastung		Charakteristisch	Bemessungswerte
Auflast P	=	36343.96 kN	49064.35 kN
Eigengewicht G	=	19953.50 kN	26937.22 kN
Gesamtlast V	=	56297.46 kN	76001.57 kN
Horizontallast H	=	1375.00 kN	1856.25 kN
Moment M_y	=	2327.88 kNm	3142.63 kNm
Moment M_x	=	214800.00 kNm	289980.00 kNm
Neigung der Resultierenden $\tan(\delta_s) = H/V$	=	0.02	
Lastrichtung zur Querrichtung ω	=	90.00 °	

Abmessungen

Einbindetiefe d	=	3.50 m
Ersatzbreite b'	=	16.87 m
Ersatzbreite quer a'	=	17.52 m

Ergebnisse

Breite der Grundbruchfigur	=	69.44 m
Tiefe der Grundbruchfigur	=	21.68 m
Maßgebende Bodenkennwerte: γ oberhalb Gründungssohle	=	20.61 kN/m ³
γ unterhalb Gründungssohle	=	23.92 kN/m ³
Reibungswinkel φ	=	25.00 °
Kohäsion c	=	49.46 kN/m ²
Tragfähigkeitsbeiwerte N_c, N_q, N_γ	=	20.72 10.66 4.51
Lastneigungsbeiwerte i_c, i_q, i_γ	=	0.96 0.96 0.94
Formbeiwerte s_c, s_q, s_γ	=	1.47 1.42 0.70

Grundbruchspannung p_d	=	2637.41 kN/m ²
Bemessungswert Grundbruchwiderstand R_d	=	779601.28 kN
Bemessungswert Beanspruchung N_d	=	76001.57 kN

Nachweis: $N_d / R_d = 0.10 < 1.0$

***** Nachweis erfüllt *****

Setzungsberechnung (GZG)

bezogen auf die Bodenpressungen an den kennzeichnenden Punkten:

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 1

Setzung am Randpunkt (-r; 0):	9.5 mm
Setzung am Randpunkt (+r; 0):	9.8 mm
Setzung am Randpunkt (0;-r):	19.7 mm
Setzung am Randpunkt (0;+r):	-0.4 mm (Hebung)

Maximale Setzung:	19.7 mm
Angesetzte Grenztiefe:	15.00 m

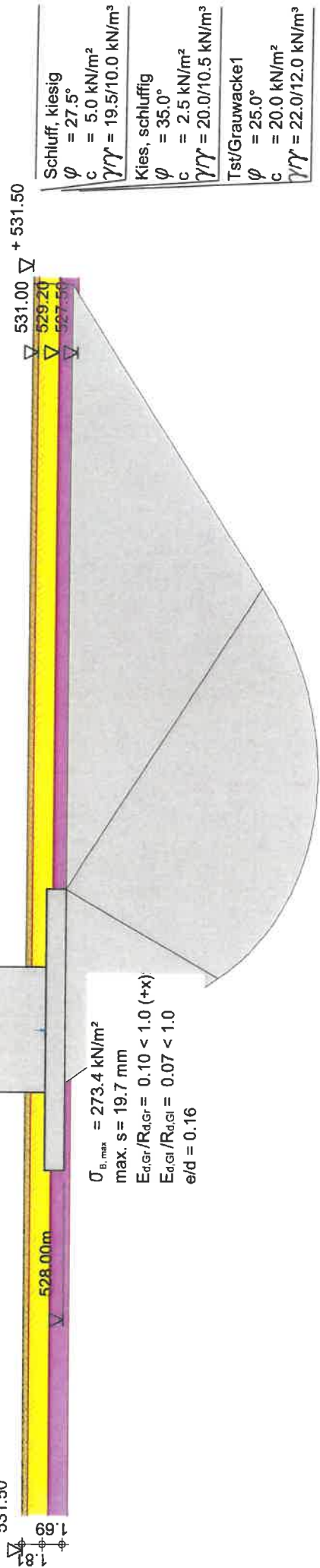
Setzung nur aus Normalkraft

Setzung am Randpunkt (-r; 0):	6.7 mm
Setzung am Randpunkt (+r; 0):	6.9 mm
Setzung am Randpunkt (0;-r):	6.8 mm
Setzung am Randpunkt (0;+r):	6.8 mm

Maximale Setzung:	6.9 mm
Angesetzte Grenztiefe:	11.00 m

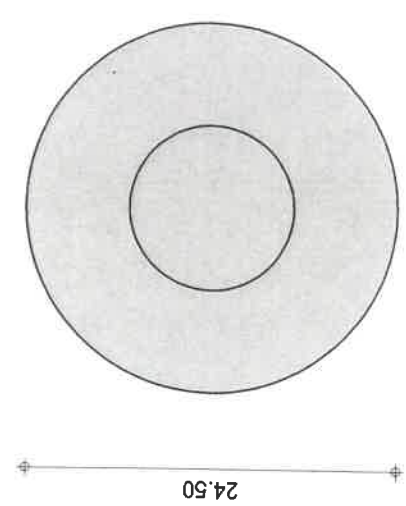
Lf-Name	x	y	z	Hx	Hy	Vz	Mx	My	Typ
1	0.00	0.00	-1.81	1375.00	0.00	18150.00	214800.00	0.00	S

Aushub 1
531.50



$\sigma_{B, \max} = 273.4 \text{ kN/m}^2$
 $\max. s = 19.7 \text{ mm}$
 $E_{d,Gr}/R_{d,Gr} = 0.10 < 1.0 (+x)$
 $E_{d,Gl}/R_{d,Gl} = 0.07 < 1.0$
 $e/d = 0.16$

- Schluff, kiesig
 $\phi = 27.5^\circ$
 $c = 5.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma/\gamma' = 19.5/10.0 \text{ kN/m}^3$
- Kies, schluffig
 $\phi = 35.0^\circ$
 $c = 2.5 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma/\gamma' = 20.0/10.5 \text{ kN/m}^3$
- Tst/Grauwacke1
 $\phi = 25.0^\circ$
 $c = 20.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma/\gamma' = 22.0/12.0 \text{ kN/m}^3$
- Grauwacke2
 $\phi = 25.0^\circ$
 $c = 50.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma/\gamma' = 24.0/14.0 \text{ kN/m}^3$



LF-Name	x	y	z	Hx	Hy	Vz	Mx	My	Typ
1	0.00	0.00	-1.81	1375.00	0.00	18150.00	214800.00	0.00	S

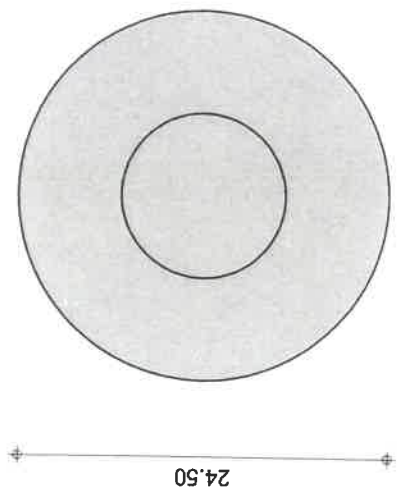
Aushub 1
531.50



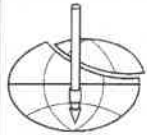
$\sigma_{b,max} = 273.4 \text{ kN/m}^2$
 $\max. s = 19.7 \text{ mm}$
 $E_{d,Gr}/R_{d,Gr} = 0.10 < 1.0 (+x)$
 $E_{d,G1}/R_{d,G1} = 0.07 < 1.0$
 $e/d = 0.16$

- Schluff, kiesig
 - $\phi = 27.5^\circ$
 - $c = 5.0 \text{ kN/m}^2$
 - $\gamma/\gamma' = 19.5/10.0 \text{ kN/m}^3$
- Kies, schluffig
 - $\phi = 35.0^\circ$
 - $c = 2.5 \text{ kN/m}^2$
 - $\gamma/\gamma' = 20.0/10.5 \text{ kN/m}^3$
- Tst/Grauwacke1
 - $\phi = 25.0^\circ$
 - $c = 20.0 \text{ kN/m}^2$
 - $\gamma/\gamma' = 22.0/12.0 \text{ kN/m}^3$
- Grauwacke2
 - $\phi = 25.0^\circ$
 - $c = 50.0 \text{ kN/m}^2$
 - $\gamma/\gamma' = 24.0/14.0 \text{ kN/m}^3$

24.50



24.50



GEOTECHNIK GmbH

Prof. Dr. -Ing. Herrmann & Partner

Lammelbach 5

91567 Herrieden

Web: www.geotechnik-gmbh.com
e-mail: GEOTECHNIK_GmbH@t-online.de

Büro 2: Hans-Böckler-Straße 1
57223 Kreuztal – Buschhütten

Büro 1: Lammelbach 5
91567 Herrieden

Telefon: 09825 – 9 34 13
09825 – 9 34 14
Telefax: 09825 – 9 34 15

Funktelefon 1: 0170 – 4751946
Funktelefon 2: 0170 – 5533881

Telefon: 02732 – 55 28 26
Telefax: 02732 – 55 28 27

Windpark Ohrenbach Windenergieanlage WEA 4

**Vestas Typ V162 6,0MW
169 m Nabhöhe
in 57319 Bad Berleburg**

**Auftraggeber:
Krug Energie GmbH & Co. KG
35117 Münchhausen**

**Ergebnisse
der geotechnischen Untersuchungen
- Baugrund- / Gründungsgutachten -**

Auftraggeber:	Firma Krüg Energie GmbH & Co. KG Dorfstraße 53 35117 Münchhausen-Wollmar
Projekt:	Windpark Ohrenbach, Windenergieanlage WEA 4 Fa. Vestas Typ V162 6,0MW, 169 m Naben- höhe bei Bad Berleburg 57319 Bad Berleburg
Auftrag:	Geotechnische Untersuchungen - Baugrund-/Gründungsgutachten (Geotechnischer Bericht nach DIN 4020)
Ihre Zeichen:	Herr Hans-Hermann Zacharias Auftrag vom 27.05.2021 (E-Mail)
Unsere Zeichen:	GEO-210129/3
Bearbeitung:	Dipl.-Ing. (FH) Thorsten Lauber Univ.-Prof. Dr.-Ing. Richard A. Herrmann
Lammelbach,	den 18.10.2021

Inhaltsverzeichnis:		Seite
1	Vorgang	4
2	Allgemeines	4
3	Geotechnische Untersuchungen	6
4	Geologie und Morphologie	13
5	Baugrundbeurteilung	14
6	Gründungsempfehlungen	15
7	Zusammenfassung und Schlussbemerkungen	31

Anlagen:

Anlage 1:	Lageplan der Aufschlüsse
Anlagengruppe 2:	Darstellung des direkten Aufschlusses Bohrung BK WEA 4 (nach DIN EN ISO 22475-1) - Bohrprofil (Anlage 2.1) - Bilddokumentation (Anlage 2.2 - 2.3)
Anlagengruppe 3:	Darstellung der indirekten Aufschlüsse Ergebnisse der schweren Rammsondierungen WEA4-DPH-1 bis WEA4-DPH-5 - (Anlage 3.1 - 3.10)
Anlage 4:	Abwicklung des direkten Aufschlusses und der indirekten Aufschlüsse
Anlagengruppe 5:	Ergebnisse der felsmechanischen Laborversuche Punktlastversuche und Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit an Festgesteinsproben - (Anlage 5.1 - 5.4)
Anlagengruppe 6:	Fundamentberechnung - Sohlspannung, Setzung, Grundbruch, Gleiten u.a. - (Anlage 6.1 - 6.10)

1 Vorgang

Die Firma Krug Energie GmbH & Co. KG als Bauherr und Investor, vertreten durch Herrn Hans-Hermann Zacharias beauftragte uns am 27.05.2021 mit der Durchführung von geotechnischen Untersuchungen und der Ausarbeitung von Baugrund-/Gründungsgutachten (Geotechnischer Bericht nach DIN 4020) für die Errichtung von 8 Windenergieanlagen (WEA 2 – WEA 9) im Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg.

Grundlage der Beauftragung ist unser Kostenangebot vom 29.01.2021.

2 Allgemeines

Das Bauvorhaben sieht nach den vorliegenden Planunterlagen den Bau von insgesamt 8 Windenergieanlagen der Firma Vestas Wind Systems A/S, DK-8200 Aarhus vom Typ V162, 6,0 MW mit einer Nabenhöhe von 169 m vor. Der Hybridturm aus einem ca. 74,76 m hohen Stahlrohrturm über einem ca. 89,09 m hohen Spannbetonschaft steht auf einer kreisförmigen Fundamentplatte mit einem Durchmesser von 24,5 m. Das Fundament weist eine Höhe von 2,90 m auf und wird auf einer ca. 10 cm dicken Sauberkeitsschicht hergestellt. Im Zentrum des Fundamentes wird mit einem Durchmesser von 4,4 m eine Weichschicht mit $d = 5$ cm auf der Sauberkeitsschicht eingebaut und zusätzlich außerhalb des Sockels mit einer Breite von 2 m eine Weichschicht $d = 15$ cm in die Sauberkeitsschicht eingebaut.

Der Windpark Ohrenbach befindet sich südöstlich der Stadt Bad Berleburg im Waldgebiet zwischen den Einzelgehöften Lützelbach/Steinbach im Nordwesten, den Dörfern Arfeld im Südwesten, Schwarzenau mit dem Oberen Hüttental im Südosten und dem Hof Brücher im Nordosten. Neben den geplanten 8 Anlagen erfolgen benachbart für 4 bereits genehmigte Anlagen der Eder Energy Erdarbeiten für die Erschließung und Baufeldvorbereitung.

Das Gelände wird von den Erhebungen des Großen Prenzenberger Kopfes (653 mNN) im Nordwesten, Ohrenbachsrücken (593 mNN) im Südwesten, dem Hahnschuß (600 mNN) im Südosten, der Schlade Seite (635 mNN) im Osten und dem Nesselbergkopf (671 mNN) im Nordosten geprägt und dazwischen hat sich das Arfetal in das Gelände eingeschnitten.

Der Standort der WEA 4 mit den Mittelpunktkoordinaten im ETRS/UTM 32N-System von Re 460240 und Ho 5653720 und einer Höhe von ca. 551,7 mNHN (im Zentrum) liegt nordöstlich

des Ohrenbachsrücken (Erhebung mit 593 mNHN) am nach Nordosten zum Ohrenbach abfallenden Hang im mittleren Bereich des geplanten Windparks.

Das Baugrundstück befindet sich an einer Kahlschlag-Fläche und grenzt im Norden an einen Waldwirtschaftsweg und im Süden an eine Waldfläche an. Für die Durchführung der Baugrunderkundung, d.h. Erreichbarkeit für ein Bohrgerät und das zugehörige Equipment wurde ein Weg zum Zentrum der Anlage aufgeschottert.

Zur Bearbeitung des Baugrund-/Gründungsgutachtens und als Vorinformation zum Bauvorhaben wurden uns bisher folgende Planunterlagen zur Verfügung gestellt:

- **Prüfbericht für eine Typenprüfung „Prüfung der Standsicherheit - Hybridturm T20“**, Prüfnr.: 3108363-13-d (15 Seiten [mit Anlagen]), aufgestellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Prüfamts für Standsicherheit für die bautechnische Prüfung von Windenergieanlagen, 80686 München, am 17.02.2020
- **Prüfbericht für eine Typenprüfung „Prüfung der Standsicherheit - Flachgründung“**, Prüfnr.: 3108363-23-d, (201 Seiten [mit Anlagen]), aufgestellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Prüfamts für Standsicherheit für die bautechnische Prüfung von Windenergieanlagen, 80686 München, am 17.02.2020
- **Gutachterliche Stellungnahme für Lastannahmen zur Turmberechnung der Vestes V162-5.6 MW mit 169 m Nabenhöhe (Hybrid-Turm, Entwurfslebensdauer 20 Jahre) für Windzone WZ2GK2 (S)**, Berichts-Nr. L-05629-A052-3 Rev. 1, (243 Seiten [mit Anlagen]), aufgestellt von DNV GL Energy Renewables Certification, Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH, 20457 Hamburg, am 05.02.2020
- **Plan „Übersichtsplan 1/2, Übersicht WEA 2 - 6 [Planung]**, M.: 1:5000, aufgestellt von Windenergie Wenger-Rosenau GmbH & Co. KG, 16816 Neuruppin, gezeichnet am 29.07.2021
- **Plan „Übersicht 8 WEA [Entwurf]**, M.: 1:10000, aufgestellt von Windenergie Wenger-Rosenau GmbH & Co. KG, 16816 Neuruppin, gezeichnet am 20.04.2021
- **Koordinatenliste der Anlagen-Mittelpunkte**, Stand: 01.06.2021
- **Liste „Geländehöhen der Anlagen-Mittelpunkte“**, übermittelt von Dipl.-Ing. Burghaus, ÖbVI, Stand: 14.10.2021, Messgenauigkeit ca. $\pm 10 - 15$ cm

3 Geotechnische Untersuchungen

3.1 Allgemeines

Die geotechnischen Untersuchungen des Baugrundes und der örtlichen Situation für die geplante Errichtung der Windenergieanlage WEA 4 im Windpark Ohrenbach wurden am 04.06.2021 mit der Durchführung von fünf schweren Rammsondierungen DPH nach DIN EN ISO 22476-2 zur Ermittlung der relativen Baugrundfestigkeiten sowie zur Abgrenzung eines vorhandenen Grenzhorizontes begonnen. Die Felduntersuchungen wurden am 07.-08.07.2021 mit dem Niederbringen einer Bohrung nach DIN EN ISO 22475-1 Tabelle 2 + 5 zur Schaffung eines *direkten* Baugrundaufschlusses und der Wiederverfüllung des Bohrloches abgeschlossen.

Die Bohrung wurde zur Schaffung eines direkten Baugrundaufschlusses mit der Gewinnung durchgehend gekernter Boden- und Felsproben und damit zur Beurteilung der Baugrundverhältnisse im Bereich der geplanten neuen Windenergieanlage abgeteuft. Die Rammsondierungen dienten zur Ermittlung geotechnischer insitu Kenngrößen nach DIN EN 1997-2, aus denen geotechnische Kennwerte für die Bemessung nach DIN EN 1997-1 abgeleitet werden, sowie zur Abgrenzung von Festigkeits- und Grenzhorizonten.

Die Festlegung der Bohr- und Sondierpunkte wurde in Anlehnung an die DIN 4020 und die örtlichen Gegebenheiten an definierten Punkten in Form eines Rasters (hier zentralsymmetrische Anordnung) ausgewählt, um eine flächenhafte Erkundung des Baugrundes im Bereich des Turmfundamentes zu erzielen.

Die geodätische Einmessung der einzelnen Aufschlusspunkte bzw. der Ansatzhöhen erfolgte mit einer GPS-Vermessung. Die Ansatzhöhen sind auf das Normalhöhennull (mNHN) im System des Deutschen Haupthöhennetzes (DHHN 2016) bezogen.

Die Lage der durchgeführten Untersuchungen im Bereich des Baugrundstückes wurde mit den Orten der Bohrung und Sondierungen auf dem Grundriss des Baugeländes eingemessen. Diese Einmessung wurde in einem Lageplan dargestellt und ist dem Baugrund-/ Gründungsgutachten als **Anlage 1** beigefügt. Als Grundplan diente ein Auszug aus dem Plan „Übersichtsplan 1/2, Übersicht WEA 2 - 6 [Planung] des Büros Windenergie Weniger-Rosenau GmbH & Co. KG, 16816 Neuruppin.

3.2 Direkter Aufschluss mit einer Bohrung nach DIN EN ISO 22475-1

Bohrung BK WEA 4

Die Bohrung BK WEA 4 wurde von dem von der Firma Krug Energie direkt beauftragten Bohrunternehmen Stölben GmbH, 56856 Zell/Mosel, mit Bohrverfahren nach Tabelle 2 und 5 der DIN EN ISO 22475-1 abgeteuft. Der Bohrpunkt für BK WEA 4 wurde ca. 1 m neben dem Zentrum des geplanten Fundamentes der Windenergieanlage festgelegt. Die Bohrung wurde als Rammkernbohrung mit Einfachkernrohr im Überlagerungsbereich im Trockenbohrverfahren und als Rotationskernbohrung im Felsbereich mit Wasserspülung mit dem Doppelkernrohr abgeteuft und wurde bei einer Bohrtiefe von 12 m planmäßig beendet. Das Spülwasser wurde aus dem Trinkwassernetz in Bad Berleburg entnommen und mit einem Wasserfass zur Bohrstelle transportiert.

Die Lage der Bohrung ist im Lageplan der **Anlage 1** dargestellt.

Bohrung BK WEA 4

Die Bohrung BK WEA 4 wurde ca. 1 m neben dem Mittelpunkt des geplanten Kreisringfundamentes der Windenergieanlage WEA 4 niedergebracht. Der Oberboden war im Bereich um das Zentrum der Anlage mit der Herstellung einer Arbeitsebene für das Bohrgerät bereits abgetragen worden.

Bohrung BK WEA 4 (Ansatzpunkt = 551,86 mNHN)

Die Bohrung BK WEA 4 ergab folgendes Bohrprofil:

0,00 – 0,25 m Schluff, kiesig, stark steinig, stark organisch, steif, Wurzeln, gelbbraun

0,25 – 0,60 m Schluff, kiesig, steinig, weich, grau-schwarzbraun

0,60 – 2,00 m Tonstein, stark verwittert, plattig, stückig, mäßige - gute Kornbindung, teils grusig, dicht, nichtkörnig, grau-schwarzbraun

- 2,00 – 3,35 m Tonstein, schiefrig, mäßig verwittert, plattig, gute - sehr gute Kornbindung, dicht, nichtkörnig, dunkelbraun-schwarzbraun
- 3,35 – 3,65 m Tonstein, stark verwittert, stückig, mäßige Kornbindung, mit Tonlagen, dicht, nichtkörnig, braun-schwarzbraun
- 3,65 – 4,25 m Tonstein, schiefrig, mäßig bis stark verwittert, plattig, gute – sehr gute Kornbindung, dicht, nichtkörnig, grau-schwarzbraun
- 4,25 – 4,60 m Tonstein, schiefrig, schwach verwittert, plattig, gute – sehr gute Kornbindung, dicht, nichtkörnig, grau-schwarzbraun
- 4,60 – 4,85 m Tonstein, frisch, sehr gute Kornbindung, dicht, nichtkörnig, grau-schwarzbraun
- 4,85 – 6,60 m Tonstein, schiefrig, schwach verwittert, blättrig - plattig, gute – sehr gute Kornbindung, dicht, nichtkörnig, grau-schwarzbraun
- 6,60 – 6,85 m Tonstein, schiefrig, mäßig verwittert, stückig, gute Kornbindung, dicht, nichtkörnig, grau-schwarzbraun
- 6,85 – 10,75 m Tonstein, frisch, gute - sehr gute Kornbindung, dicht, nichtkörnig, grau-schwarzbraun
- 10,75 – 12,00 m Tonstein, stark schiefrig, schwach verwittert, plattig, gute Kornbindung, dicht, nichtkörnig, oxidierte Kluffflächen, grau-schwarzbraun
- Ein Grund-/Schichtenwasser wurde im Bohrloch der Bohrung BK WEA 4 im Beobachtungszeitraum nicht festgestellt.

Die Bohrung BK WEA 4 wurde planmäßig in einer Tiefe von 12,00 m unter GOF bei 539,86 NHN beendet. Das Bohrloch wurde nach Beendigung der Bohrarbeiten mit hoch quellaktivem Tongranulat verfüllt.

Die Ergebnisse des direkten Aufschlusses (Bohrung BK WEA 4) sind in der **Anlage 2.1** als Bodenprofil nach DIN 4023 dargestellt.

3.3 Indirekte Aufschlüsse mit Rammsondierungen nach DIN EN ISO 22476-2

Rammsondierungen DPH

Die Lage der Sondierpunkte ist im Lageplan der **Anlage 1** dargestellt.

Schwere Rammsondierungen DPH-1 bis DPH-5

Zur Ermittlung der Baugrundfestigkeiten und zur Abgrenzung der Verwitterungshorizonte (Überlagerung) sowie des Grenzhorizontes wurden im Bereich des Baugrundstücks fünf schwere Rammsondierungen DPH nach DIN EN ISO 22476-2 durchgeführt. Die Rammsondierungen dienten zur Ermittlung geotechnischer insitu Kenngrößen nach DIN EN 1997-2, aus denen geotechnische Kennwerte für die Bemessung nach DIN EN 1997-1 abgeleitet werden, sowie zur Abgrenzung von Festigkeits- und Grenzhorizonten.

Die Rammsondierungen DPH wurden im Zentrum und in einem Radius von 12,25 m um das Zentrum der geplanten Windenergieanlage absondiert und waren mit Rammwiderständen $N_{10} \geq 50$ Schläge pro 10 cm Eindringung planmäßig zu beenden.

Die Sondierungen ergaben oberflächennah bis in eine Tiefe von 0,4 bis 0,6 m eine Zone mit sehr geringen bis geringen Rammwiderständen mit 1 bis 4 (Schlägen pro 10 cm Eindringung)*. Nachfolgend wurde ein Anstieg zunächst auf mittlere Schlagzahlen und ab Tiefen von 0,8 bis 1,4 m eine weitere Zunahme auf höhere Sondierwiderstände ($N_{10} \geq 10^*$) gemessen. Darunter folgte ein meist treppenförmiger Anstieg der Rammwiderstände, bevor die Sondierungen DPH-1 bis DPH-5 in einer Tiefe von 1,6 bis 2,2 m am Grenzhorizont, ausgewiesen mit $N_{10} \geq 50$ beendet wurden.

Die Sondierungen DPH-1 bis DPH-5 wurden bei ca. 547,0 bis 552,4 mNHN mit Erreichen des Grenzhorizontes beendet.

In der Zusammenfassung lassen sich der direkte und die indirekten Aufschlüsse wie folgt bewerten:

In Verbindung mit dem direkten Aufschluss sind die -nach dem erfolgten Oberbodenabtrag-gemessenen sehr geringen bis geringen Rammwiderstände auf kiesige, steinige, teils organische Schluffe in steifer und weicher Konsistenz zurückzuführen. Der Anstieg der Sondierwiderstände auf höhere N_{10} -Werte ist mit dem Erreichen des Verwitterungshorizon-

tes des Styliolinenschiefers in Form von stark verwitterten Tonsteinen, plattig, stückig, mit mäßiger bis guter Kornbindung verbunden. Den Grenzhorizont der Sondierungen bilden die darunter erkundeten mäßig und schwach verwitterten Tonsteine, schiefrig, plattig, mit guter und guter bis sehr guter Kornbindung.

In der nachfolgenden Tabelle werden die Koten für die Rammwiderstandshorizonte mit $N_{10} \geq 10$ und $N_{10} \geq 50$ für den Bereich des geplanten Fundamentes dargestellt.

Tabelle 3.3-1: Höhenkoten Rammwiderstandshorizont $N_{10} \geq 10$ und $N_{10} \geq 50$ [Schläge/10 cm]

DPH	Höhenkote Sondieransatzpunkt	Höhenkote (Tiefe u. ASP) RW-Horizont	Höhenkote (Tiefe u. ASP) RW-Horizont
		$N_{10} \geq 10$ [Schläge/10 cm]	$N_{10} \geq 50$ [Schläge/10 cm]
Nr.	mNHN	mNHN (m)	mNHN (m)
DPH-1	551,71	550,91 (0,8)	549,51 (2,2)
DPH-2	554,03	552,73 (1,3)	552,43 (1,6)
DPH-3	552,48	551,58 (0,9)	550,58 (1,9)
DPH-4	549,18	547,78 (1,4)	546,98 (2,2)
DPH-5	550,94	549,84 (1,1)	549,14 (1,8)

Die Ergebnisse der schweren Rammsondierungen sind in der **Anlagengruppe 3** (Anlagen 3.1 - 3.10) in Form von Sondierprotokollen und Rammdiagrammen nach DIN EN ISO 22476-2 zusammengestellt.

3.4 Laboruntersuchungen

Die bei der Kernbohrung BK WEA 3 gewonnenen Bohrkern aus der Dachschieferfolge wurden zur Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit an das Labor FeBoLab GmbH, 91747 Westheim übergeben.

3.4.1 Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit q_u nach DIN 18141-1

Die einaxiale Druckfestigkeit q_u wurde nach DIN 18141-1 (nach DGGT-Empfehlung Nr. 1) bestimmt.

Die Ergebnisse sind nachfolgend und tabellarisch in der **Anlage 5.4** dargestellt.

Tabelle 3.4-1: Einaxiale Druckfestigkeit q_u

Bohrung (Nr.)	Probe Nr.	Entnahmetiefe [m]	Feuchtdichte [t/m ³]	Einaxiale Druckfestigkeit [MN/m ²]
BK WEA 4	5/13	4,50 - 4,80	2.602	14,68

Der untersuchte Tonstein weist eine Feuchtdichte von 2,602 [t/m³] und eine einaxiale Druckfestigkeit von 14,68 [MN/m²] auf. Die Stauchung beim Bruch betrug 0,37 %. Der Belastungsmodul B wurde mit 6774 MN/m² ermittelt.

3.4.2 Ermittlung der einaxialen Druckfestigkeit q_u mittels Punktlastversuchen gemäß den Empfehlungen Nr. 5 der DGGT

Die Ermittlung der einaxialen Druckfestigkeit q_u wurde über Korrelationsbeziehungen aus Punktlastversuchen gemäß den Empfehlungen Nr. 5 der DGGT durchgeführt. Die Ergebnisse der Punktlastversuche sind mit der Angabe der Probenabmessungen, der Bruchlast und den mit Korrelationsbeziehungen errechneten Punktlastindex $I_{s(50)}$ der Felsproben tabellarisch dargestellt (siehe auch Versuchsprotokoll in der **Anlage 5.1 - 5.3**).

Tabelle 3.4-2: Punktlastindex $I_{s(50)}$

Aufschluss Bohrung (Nr.)	Entnahmetiefe unter Ansatzpunkt [m]	Punktlastindex $I_{s(50)}$ [MN/m ²]
BK WEA 4	4,00 - 4,20	3,023 (s) 0,871 (p)
BK WEA 4	4,20 - 4,30	4,162 (s)
BK WEA 4	4,30 - 4,40	4,598 (s)
BK WEA 4	4,40 - 4,50	1,737 (s)
BK WEA 4	4,80 - 5,00	2,082 (s) 0,915 (p)
BK WEA 4	5,00 - 5,10	4,679 (s) 1,937 (p)
BK WEA 4	5,10 - 5,30	6,568 (s) 2,436 (p)
BK WEA 4	5,30 - 5,50	3,396 (s) 1,310 (p)
BK WEA 4	5,50 - 5,70	4,699 (s) 0,563 (p)
BK WEA 4	5,70 - 5,90	7,224 (s) 2,383 (p)
BK WEA 4	5,90 - 6,00	9,019 (s) 3,450 (p)

Der untersuchte Tonstein weist im Punktlastversuch unter Ansatz des Korrekturdiagramms der BAW (Korrekturfaktor = 20) eine einaxiale Druckfestigkeit q_u von 35 bis 180 [MN/m²] (senkrechte Belastungsrichtung) bzw. 11 bis 69 [MN/m²] (parallele Belastungsrichtung) auf.

Das Ergebnis der Laboruntersuchungen ist in Form von Versuchsprotokollen in der **Anlagegruppe 5** (Anlage 5.1 - 5.4) diesem Baugrund-/Gründungsgutachten beigelegt.

4 Geologie und Morphologie

4.1 Allgemeine Geologische Situation

Die Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen, Blatt Nr. 4916 Bad Berleburg weist für das Baugelände der WEA 4 den Oberen Quarzit der Eifel-Stufe aus der Formation Mitteldevon und benachbart die Styliolinschiefer- und Sandstein-Folge aus. Westlich angrenzend ist eine Störungszone ausgewiesen. Das Gebirge ist hier gefaltet und die Schichten fallen mit einem Winkel von ca. 50° nach Norden ein.

Die durchgeführten geotechnischen Untersuchungen stehen in Einklang mit der geologischen Karte und zeigen, dass am Standort der WEA 4 eine Überdeckung des Styliolinschiefer über dem Oberen Quarzit ansteht. Die Styliolinschiefer und -Sandstein-Folge besteht aus Tonstein, geschiefert, dunkel- bis grüngrau und schwarz, teils mit Styliolinen und Tentaculiten; Sandstein, grau bis grüngrau, z.T. stark karbonatisch, mit Sedimentstrukturen und örtlich reich an Styliolinen und bildet in diesem Bereich das Liegende.

4.2 Erdbebenzone

Das Baugrundstück befindet sich in der Erdbebenzone 0 nach DIN EN 1998-1/NA. Für die Erdbebenzone 0 ist der Grad der Erdbebengefährdung als so gering einzuschätzen, dass ein Nachweis der Standsicherheit für den Lastfall Erdbeben nicht erforderlich ist.

4.3 Morphologie

Der Windpark Ohrenbach befindet sich südöstlich der Stadt Bad Berleburg im Waldgebiet zwischen den Einzelgehöften Lützelbach/Steinbach im Nordwesten, den Dörfern Arfeld im Südwesten, Schwarzenau mit dem Oberen Hüttental im Südosten und dem Hof Brücher im Nordosten. Neben den geplanten 8 Anlagen erfolgen benachbart für 4 bereits genehmigte Anlagen der Eder Energy Erdarbeiten für die Erschließung und Baufeldvorbereitung.

Das Gelände wird von den Erhebungen des Großen Prenzenberger Kopfes (653 mNN) im Nordwesten, Ohrenbachsrücken (593 mNN) im Südwesten, dem Hahnschuß (600 mNN) im Südosten, der Schlade Seite (635 mNN) im Osten und dem Nesselbergskopf (671 mNN) im Nordosten geprägt und dazwischen hat sich das Arfetal in das Gelände eingeschnitten.

Der Standort der WEA 4 liegt etwa 300 m nordöstlich des Ohrenbachsrücken (Erhebung) in einem nach Nordosten zum Talraum des Ohrenbachs abfallenden Hang im mittleren Bereich des geplanten Windparks. Die Hangneigung beträgt am Anlagenstandort ca. 11°.

5 Baugrundbeurteilung

Die geotechnischen Untersuchungen zeigen, dass unter dem Wald-/Oberboden bis in eine Tiefe von ca. 0,6 m eine kiesige, steinige Schluffe in steifer und weicher Konsistenz anstehen. Darunter folgen stark verwitterte Tonsteine, plattig, stückig, mit mäßiger bis guter Kornbindung. Nachfolgend wurden ab 2,0 m mäßig und schwach verwitterte Tonstein, schiefrig, plattig, mit guter und guter bis sehr guter Kornbindung erbohrt, die den Grenzhorizont der Sondierungen bilden. Im tieferen Untergrund stehen teils unverwitterte, frische Tonsteine, mit guter bis sehr guter Kornbindung an.

Der Styliolinschiefer stellt in den Zonen mit höheren Sondierwiderständen einen ausreichend bis gut tragfähigen Baugrund für die Gründung der Windkraftanlage und am bzw. unterhalb dem Grenzhorizont der Sondierungen einen gut tragfähigen Baugrund für die Gründung der Windkraftanlage dar. Der Grenzhorizont der Sondierungen weist aufgrund der Hanglage eine Höhendifferenz von ca. 5,5 m innerhalb der Fundamentfläche auf.

Ein Grund-/Schichtenwasser wurde im Bohrloch der Bohrung BK WEA 4 -im Zeitraum der Grundwasserbeobachtung- nicht festgestellt.

6 Gründungsempfehlungen

6.1 Gründungsvariante

Gründung der Windkraftanlage mit einem Kreisfundament auf dem Tonsteinhorizont des Styliolinschiefer

Allgemeines

Das Gelände im Bereich der geplanten Windenergieanlage WEA 4 fällt nach Nordosten von ca. 554,0 mNHN auf 549,2 mNHN um ca. 4,8 m ab. Daraus resultiert eine Hangneigung von ca. 11°. Die Geländehöhe im Zentrum der Anlage beträgt ca. 551,7 mNHN.

Für die Gründung der Windenergieanlage wird auf der Grundlage der Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen und der Hangsituation eine Gründungskote (UK Sauberkeitsschicht) bei ca. 549,7 mNHN empfohlen. Diese Kote liegt ca. 1,2 bis 4,3 m unter der derzeitigen Geländeoberfläche und bei DPH-4 (talseitig) um ca. 0,5 m über der Geländeoberfläche.

Die empfohlene Gründungskote liegt nach den Ergebnissen der geotechnischen Untersuchungen vorwiegend in mäßig verwitterten Tonsteinen hangseitig mit geringem Abstand zum Grenzhorizont der Sondierungen bzw. bei DPH-2 und DPH-3 unterhalb dem Grenzhorizont der Sondierungen. Im talseitigen Randbereich bei DPH-4 und DPH-5 sind zunächst die anstehenden gering tragfähigen Boden-/Felszonen in einer Mächtigkeit von ca. 0,4 bis 2,0 m auszutauschen und anschließend das Gelände bei DPH-4 qualifiziert bis zur empfohlenen Gründungskote in einer Mächtigkeit von ca. 0,5 m aufzubauen.

Ein Grund-/Schichtenwasser wurde bei der Bohrung BK WEA 4 im Beobachtungszeitraum nicht festgestellt. Zur Wasserhaltung im Bauzustand und Sicherung gegen Aufschwimmen im Endzustand wird in Verbindung mit der Gefällesituation der Einbau einer drucklosen, wartungsfreien Drainage empfohlen, siehe nachfolgende Empfehlungen.

Im Bereich von DPH-4 und DPH-5 ist bei der empfohlenen Gründungskote noch ein Bodenaustausch zum Ausräumen der geringer tragfähigen Zonen bis zum Erreichen der mäßig verwitterten Tonsteine erforderlich, um eine annähernd setzungsfreie, insbesondere aber

verkantungs-/ verkippungsfreie Auflagerung des hohen und schlanken Bauteiles sicherzustellen. Die Austauschmächtigkeit beträgt hier voraussichtlich 0,4 bis 2,0 m.

Nach dem vorliegenden Prüfbericht für eine Typenprüfung „Prüfung der Standsicherheit - Flachgründung“ zur geplanten Windenergieanlage vom Typ Vestas V162, 6,0 MW mit einer Nabenhöhe von 169 m kann die Gründung als Flachgründung mit einem Kreisfundament mit einem Durchmesser D_A von 24,5 m erfolgen, wobei der höchste, für den Auftrieb maßgebende Wasserstand bei 0,24 m über Fundamentunterkante liegen darf.

Im genannten Prüfbericht werden für den Baugrund folgende Anforderungen gestellt:

3.3 Baugrund

Die Mindestwerte der dynamischen und statischen Drehfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Fundament betragen gemäß Dokument [4] $k_{\varphi,dyn} \geq 95 \text{ GNm/rad}$ und $k_{\varphi,stat} \geq 40 \text{ GNm/rad}$.

Der höchste für den Auftrieb maßgebende Wasserstand liegt bei 0,24 m über Fundamentunterkante.

...

Auflagen

Baugrund

- 1. Die vorhandenen Bodenkennwerte, die Zuordnung des Bodens zu Expositionsklassen nach DIN EN 1992-1-1/3/3 und der höchste für den Auftrieb maßgebende Wasserstand sind für den jeweiligen Standort zu ermitteln und im geotechnischen Untersuchungsbericht zu beschreiben.*
- 2. Grundbautechnische Berechnungen sind im Rahmen des geotechnischen Entwurfsberichts durchzuführen. Die Schnittgrößen an Fundamentunterkante sind in [2] angegeben.*
- 3. Die Mindestwerte der dynamischen und statischen Drehfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Fundament gemäß Abschnitt 3.3 müssen für den jeweiligen Standort nachgewiesen werden. Dabei kann das Fundament in guter Näherung als Starrkörper angenommen werden.*
- 4. Die im geotechnischen Entwurfsbericht angenommenen Baugrundverhältnisse sind beim Baugrubenaushub vom Bodengutachter zu überprüfen und zu bestätigen. Vor*

Aufbringen der Sauberkeitsschicht ist die Tragfähigkeit der Baugrubensohle durch den Bodengutachter zu bestätigen.

Aus den geotechnischen Untersuchungen und den v.g. technischen Anforderungen ergeben sich die nachfolgenden Empfehlungen:

Herstellung des Baugrubenaushubs und des Bodenaustausches

Die empfohlene Gründungskote mit 549,7 mNHN liegt -bis auf den Bereich DPH-4 und DPH-5- unterhalb bzw. am Übergang zum Grenzhorizont der Sondierungen mit $DPH-N_{10} \geq 50^*$ und damit im ausreichend bis gut tragfähigen Tonsteinhorizont.

Zur Erreichung der Gründungssohle ist nach dem Abtrag des Ober-/Waldbodens zunächst die kiesige, steinige Schluffschicht in steifer und weicher Konsistenz auszuräumen und zu beseitigen.

Anschließend sind die stark verwitterten, plattigen Tonsteine mit mäßiger bis guter Kornbindung und stückigem Zerfall bis zur Gründungssohle auszuheben bzw. auszubrechen.

Der Baugrubenaushub sollte mit einem Kettenbagger, der mit einem Baggerlöffel mit Felszähnen ausgestattet ist, erfolgen, um die erkundeten Tonsteine lösen zu können. Der Endaushub, d.h. das Abziehen der Baugrubensohle sollte zur Vermeidung von tiefer reichenden Auflockerungen mit einem Baggerlöffel ohne Zähne oder einer Fräse erfolgen. Gegebenfalls ist die Gründungssohle von Hand nachzuarbeiten.

Anschließend ist im Bereich von DPH-4 und DPH-5 -zur Geländeeinbindung/Geländebruchsicherheit- ein Bodenaustausch bis zur Kote $N_{10} \geq 20^*$ bis in eine Tiefe von ca. 1,7 bis 2,0 m unter GOF herzustellen. Dieser Bodenaustausch ist zur Erzielung einer Lastausbreitung mit einem Überstand von mindestens der Höhe des Tragschichtaufbaues/Bodenaustausches über die Außenkante des Kreisfundamentes hinauszuführen, was bei DPH-4 eine Baugrubenverbreiterung der kreisrunden Baugrube erforderlich macht.

Der Bodenaustausch ist mit

Variante a) durch gering verwittertes Tonsteinmaterial aus den benachbarten Aushubbereichen zu ersetzen mit einem qualifizierten, lagenweisen Einbau $d \leq 25$ cm mit den Anforderungen für $E_{v2} \geq 120$ MN/m², $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,0$, lagenweise nachgewiesen
oder

Variante b) das ausgehobene Material durch Zugabe von Zement qualifiziert zu verbessern und danach lagenweise wieder bis zur UK Sauberkeitsschicht einzubauen und qualifiziert zu verdichten.

Zur qualifizierten Bodenverbesserung bzw. Verbesserung von granularem Felsmaterial wird ein Bindemittelgehalt von ca. 3 Gew.-% empfohlen, woraus eine Menge von ca. 60 kg je m³ verbesserten Boden-/Felsbruchmaterial resultiert. Das Bindemittel kann mit einer Anbaufräse, Schaufelseparator oder anderem geeigneten Gerät eingearbeitet und das Aushubmaterial mit dem Bindemittel vermischt werden. Beim Einfräsen des Bindemittels kann ggf. eine dosierte Wasserzugabe für die Hydratation des Zementanteils erforderlich werden. Die Wassermenge ist bei der Bauausführung mit einer Beurteilung des Bindemittel-Boden-Fels-Gemisches örtlich festzulegen. Anschließend wird das Boden-Bindemittel-Gemisch mit einem geeigneten Verdichtungsgerät (z.B. Walzenzug, optimal mit Stampffußbandage oder Bagger-Anbauverdichtungsplatte) in Schüttlagen ≤ 25 cm lagenweise eingebaut und verdichtet.

Ergänzend wird auf die Empfehlungen im Merkblatt über Bodenverfestigungen und Bodenverbesserungen mit Bindemitteln der FGSV, Ausgabe 2004 hingewiesen.

Die qualifizierte Boden- bzw. Felsverbesserung ist ohne Arbeitsunterbrechungen in einem Zuge herzustellen, so dass ein Einbau im „frischen“ Zustand erfolgt und der Abbindeprozess nicht unnötig lange durch die Verdichtungsarbeiten beeinflusst wird.

Ein Befahren des Planums nach der qualifizierten Bodenverbesserung mit Radfahrzeugen ist zu vermeiden.

Die Festigkeit des verbesserten Materials ist mit einaxialen Druckversuchen zu prüfen und die Druckfestigkeit mit $q_u \geq 5$ MN/m² festzulegen.

Die Festlegungen zu den Varianten a) oder b) können im Rahmen des Baugrubenaushubs bzw. der Sohlabnahme getroffen werden.

Der Aushub/Ausbruch der stark verwitterten Tonsteine ist auf einer Miete neben dem Anlagenstandort zwischenzulagern, durch eine Folienabdeckung vor Witterungseinflüssen zu schützen und nach Fertigstellung des Fundamentes für die Hinterfüllung und Überschüttung wieder lagenweise einzubauen, siehe auch Empfehlungen zur Bauteilhinterfüllung und -überschüttung.

Zum Schutz der Gründungssohle vor Witterungseinflüssen ist die Sauberkeitsschicht unmittelbar nach dem Aushub bzw. dem teilweisen Bodenaustausch und Tragschichtaufbau und einer Abnahme durch den geotechnischen Sachverständigen einzubauen.

Nach dem das Fundament nicht in das ständige Grundwasser eintaucht, tritt kein Betonangriff aus dem Grundwasser auf das Fundament auf und der Fundamentbeton kann für die Expositionsklasse XA 0 ausgelegt werden.

**Bemessungswert des Sohlwiderstandes nach DIN EN 1997-1 (EC 7-1)/
DIN 1054:2010-12**

Für die Gründungssohle auf den mäßig verwitterten Tonsteinen der Styliolinschiefer kann der Sohlwiderstand wie nachfolgend angegeben angesetzt werden:

Kreisfundament

$$\sigma_{R,d} \leq 550^* \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

mit

- $d \geq 1,5$ [m] Einbindetiefe unter GOF; DPH-N₁₀ $\geq 20^*$
- Gründungskote: Tonstein, mäßig verwittert
- sowie v.g. Qualitätsanforderung für die Austauschbereiche

Der angegebene Sohlwiderstand stellt bei der Gründung den maximalen Sohlwiderstand dar.

*) Anmerkung:

Dies entspricht einer zulässigen Sohlspannung $\sigma_{k,vorh}$ von ca. 393 [kN/m²] nach DIN 1054:2005-01.

Wichtiger Hinweis:

Der Bemessungswert des Sohlwiderstandes stellt keine zulässige Sohlspannung nach DIN 1054:2005 oder früheren Ausgaben der DIN 1054 dar !

Nachweisverfahren nach DIN 1054:2010-12 in Verbindung mit EC 7

Es ist nachzuweisen, dass die Bemessungswerte $\sigma_{E,d}$ der Sohldruckbeanspruchung höchstens so groß sind wie die Bemessungswerte $\sigma_{R,d}$ des Sohlwiderstands: $\sigma_{E,d} \leq \sigma_{R,d}$

Der Bemessungswert der Sohldruckbeanspruchung ergibt sich aus der ungünstigsten Einwirkungskombination. Hierfür kommen folgende Wege in Frage:

- Sofern die Schnittgrößen mit charakteristischen bzw. repräsentativen Werten der Einwirkungen ermittelt wurden, ergibt sich $\sigma_{E,d}$ aus den charakteristischen bzw. repräsentativen Vertikalbeanspruchungen $N_{G,k}$ und $N_{Q,k}$ bzw. $N_{Q,rep}$, multipliziert mit den Teilsicherheitsbeiwerten γ_G und γ_Q für Grenzzustände GEO und das Nachweisverfahren 2 (GEO-2).
- Sofern die Schnittgrößen mit Bemessungswerten der Einwirkungen ermittelt wurden, ergibt sich der Bemessungswert der Sohldruckbeanspruchung aus dem Bemessungswert der Vertikalbeanspruchung $V_d = N_d$.

Eine Berechnung der Setzungen des Fundamentes unter Ansatz der charakteristischen statischen Lasten ergab maximale Setzungen bis 1,2 cm, siehe Fundamentberechnung in der **Anlagengruppe 6**.

Ein Nachweis zur Geländebruchsicherheit war infolge der Lage der Gründungsebene im talseitigen Bereich mit dem Bodenaustausch auf dem Felshorizont nicht zu führen.

Die unterhalb der Gründungssohle erkundeten Tonsteine unterliegen nicht einer Konsolidation oder Kriechverformungen, wie sie bei bindigen Böden auftreten. Damit sind für die Baugrundverhältnisse am geplanten Anlagenstandort keine Berechnungen des Konsolidations- und Kriechverhaltens über die zu betrachtende Standzeit von 20 Jahren erforderlich.

Zur Qualitätssicherung, d.h. zur Kontrolle des Bemessungsansatzes des Sohlwiderstandes sollten die Gründungskoten vom geotechnischen Sachverständigen in Form einer Prüfabnahme abgenommen werden.

Herstellung einer drucklosen, wartungsfreien Dränage

Aufgrund der Gefällesituation ist am Standort der WEA 4 die Herstellung einer drucklosen, wartungsfreien Dränage möglich.

Mit dem Endaushub der Baugrube zur Herstellung des Turmfundamentes ist am Rand ein flacher Graben für die Ableitung der Dränage herzustellen, so dass im Bauzustand eine Ableitung des der Baugrube zulaufenden Niederschlags-/Sickerwassers im freien Gefälle nach Nordosten (Tiefpunkt bei DPH-4) bzw. den benachbarten Wegseitengraben möglich ist.

Nach der Herstellung des Turmfundamentes ist im Arbeitsraum in Höhe der Sauberkeitsschicht eine Dränage ringförmig um das Fundament mit einem Gefälle von mindestens 1 ‰ herzustellen. Die Dränage ist auf einer Sohlgerinne aus Beton zu verlegen, dass ein Gefälle in radialer Richtung nach außen aufweist, so dass kein Dränwasser dem Fundament zufließ-

sen kann. Die Fläche aus dem Überstand der Baugrube bei DPH-4 und DPH-5 ist mit einem Gefälle (Sohlfläche aus Beton) zur Dränage hin auszubilden. Die Dränage ist aus einem Dränrohr DN 150 mit einer Ummantelung aus Filtersand 0,2/2 mm und einer filterstabilen Abgrenzung aus einem Geotextil (Masse $\geq 250 \text{ g/m}^2$) zum anstehenden Boden und der über der Dränage einzubauenden Bauwerkshinterfüllung herzustellen. Die Ableitung des Dränwassers erfolgt über 2 Auslauf-/ Vollrohre zum Geländetiefpunkt nach Nordwesten. Am Auslaufpunkt der Dränage sollte eine Sickerrigole (Schottergraben) mit umlaufendem Geotextil, einem Gefälle von 5 % und einer Verfüllung z.B. mit Grobschotter 20/100 mm hergestellt werden, um einen konzentrierten Auslauf des Dränwassers und mit dem hier einzuleitenden Niederschlagswasser vom Turmschaft eine mögliche Vernässung im Waldbereich zu vermeiden. Die Rigole sollte mit einem Notüberlauf an den benachbarten Wegseitengraben versehen werden.

Zur Vermeidung eines stärkeren Dränwasserzulaufes ist eine Geländeanpassung d.h. Anschüttung mit bindigem Material -mit einem talseitigen Gefälle- bei DPH-4 und DPH-5 zu empfehlen.

Dynamische Drehfedersteifigkeit $k_{\varphi, dyn}$

Die dynamische Drehfedersteifigkeit wird für starre Kreisfundamente mit nachfolgender Gleichung berechnet:

$$k_{\varphi, dyn} = \frac{8 \cdot G \cdot r^3}{3 \cdot (1 - \nu)}$$

mit

r Radius des Kreisfundamentes = 12,25 [m]

G Dyn. Schubmodul

ν Poissonzahl, $\nu = 0,25$ (für Grauwacke)

Dyn. Schubmodul:

$$G = \frac{E_{dyn}}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

mit $E_{dyn}/E_{stat} \approx 6$ (nach Placzek)

$$E_{stat} = \frac{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2}{1 - \nu} \cdot E_{s, stat}$$

Tonsteinhorizont unter dem Fundament (ab 549,7 mNHN)

$E_{s, stat} = 100$ [MN/m²] (unterster Wert für Tonsteinhorizont),
siehe Homogenbereich X1 - Kapitel 6.4

$$\rightarrow E_{stat} = 0,833 \cdot 100$$
 [MN/m²] = 83,3 [MN/m²]

$$\rightarrow E_{dyn} = 500$$
 [MN/m²]

$$\rightarrow G_{dyn} = 200$$
 [MN/m²] = 0,2 [GN/m²]

$$k_{\varphi, dyn} = \frac{8 \cdot 0,20 \cdot 12,25^3}{3 \cdot (1 - 0,25)} = 1.307,21$$
 [GNm/rad] > 95 [GNm/rad] = min. $k_{\varphi, dyn}$

Die in den Herstellerangaben gestellte Anforderung mit einer Mindestdrehfedersteifigkeit $k_{\varphi, \text{dyn}}$ von 95 [GNm/rad] wird für den erkundeten Baugrund mit einem Wert von 1.307 [GNm/rad] überschritten. Die Anforderungen werden mit einer hohen Sicherheit erfüllt.

Die Anforderung an die statische Mindestdrehfedersteifigkeit wird damit auch sicher erfüllt.

6.2 Baugrubensicherung, Wasserhaltung und Bauteilhinterfüllung

Sicherung der Baugrube

Aufgrund der Platzverhältnisse kann die Baugrube für die Herstellung der Fundamentplatte mit einer frei geböschten Baugrube erfolgen. Die vorgenannten Bereiche können unter folgenden angegebenen Böschungswinkeln β_{zul} frei geböscht werden:

Schluff, kiesig, steinig, weich/stEIF	$\beta_{\text{zul}} \leq 45$ [°] Standzeit temporär
Tonstein, stark verwittert, plattig, mäßige - gute Kornbindung	$\beta_{\text{zul}} \leq 70$ [°] Standzeit temporär

Die angegebene Böschungsneigung gilt für unbelastete Böschungen.

Wasserhaltung

Die geotechnischen Untersuchungen ergaben kein Grund-/Schichtenwasser.

Zur Wasserhaltung im Bauzustand wird empfohlen, dass in Verbindung mit dem Aushub der Baugrube und der Herstellung einer drucklosen Dränage zunächst ein flacher offener Graben ausgehoben wird, über den eine Ableitung des der Baugrube zulaufenden Wassers im freien Gefälle zum tieferen Gelände (nach Nordosten) erfolgt. In diesen Graben ist nach Fertigstellung des Turmfundamentes die Ableitung des Dränwassers und einer Sickerrigole am Rohrauslauf herzustellen, siehe Ausführungen auf Seite 20f.

Hinterfüllung und Überschüttung des Fundamentes

Die Arbeitsräume zur Herstellung des Fundamentes sind nach der Fertigstellung wieder zu verfüllen und die Platte im Randbereich bis zur derzeitigen mittleren Geländehöhe mit einem talseitigen Gefälle zu überschütten.

Für die Hinterfüllung und Überschüttung sollte das beim Baugrubenaushub ab einer Baugrubentiefe von ca. 0,6 m unter GOK gewonnene Material aus stark verwitterten Tonsteinen verwendet werden. Die Wiederverwendung des Aushubmaterials setzt voraus, dass dieses fachgerecht auf einer Miete zwischengelagert und mit einer Folie zum Schutz vor Witterungseinflüssen abgedeckt wird.

Die Verdichtung der Hinterfüllung und Überschüttung des Fundamentes sollte mit Hilfe von Plattendruckversuchen nach DIN 18134 oder alternativ dynamischen Plattendruckversuchen nach TP BF-StB Teil B 8.3 als Qualitätssicherung Erdbau kontrolliert werden.

Der Verdichtungsgrad D_{Pr} sollte ≥ 100 [%] der einfachen Proctordichte betragen.

Die Verdichtungsanforderungen gelten mit:

$$E_{v2} \geq 45 \text{ [MN/m}^2\text{]}$$

$$\text{bei einem Verhältnswert } E_{v2}/E_{v1} \leq 2,3$$

Die beim Aushub oberflächennah gewonnene kiesige Schluffschicht in steifer/weicher Konsistenz ist ohne Verbesserungsmaßnahmen für eine qualifizierte Bauwerkshinterfüllung nicht geeignet und sollte daher -bis auf die Masse zur Geländeabdeckung- beseitigt werden.

Mit dem Wiedereinbau des geologisch originären Tonsteinmaterials wird der Zulauf von Oberflächenwasser in die „geologische Störungszone“, die mit dem Baugrubenaushub entstanden ist, reduziert und es werden die Dränwassermengen deutlich verringert, siehe auch Kapitel 6.1.

6.3 Bodenkundliche Bewertung

Nach dem Ergebnis einer bodenkundlichen Bewertung aus dem Jahre 2016, siehe hierzu unser Gutachten zur Abfallwirtschaftlichen und Bodenkundlichen Bewertung zur UVP vom 30.06.2016, steht an den Anlagenstandorten unter einer dünnen Humus-/ Waldbodenüberdeckung Braunerde, z.T. Ranker-Braunerde oder Podsol-Braunerde an, wobei die Mächtigkeit aufgrund des vorwiegend hoch anstehenden Festgesteins (Gebirge) gering ist.

Nach der Bodenkarte NRW ist am Anlagenstandort WEA4 die Bodeneinheit L4813_B32e als Braunerde ohne Grundwasser und ohne Staunässe ausgewiesen.

Die unter der Humus-/Waldbodenaufgabe erkundete Schluffschicht mit kiesigen und steinigen Nebenanteilen in steifer/weicher Konsistenz weist unter Berücksichtigung der geringen Schichtmächtigkeit von 0,6 m eine geringe Verdichtungsempfindlichkeit sowie geringe Erosionsempfindlichkeit auf.

Zusammenfassend ergibt sich damit die Bewertung, dass am Anlagenstandort der WEA 4 bei der geotechnischen Erkundung keine schutzwürdigen Böden festgestellt wurden.

Altlasten:

Hinweise auf Altlasten wurden bei den geotechnischen Untersuchungen nicht festgestellt.

Ableitung von Niederschlagswasser:

Die Ableitung von Niederschlagswasser während der Bauzeit -aus den Baugrubenbereichen- erfolgt mit der Anlage von Entwässerungsmulden/-gräben und einer großflächigen Versickerung -mit Biotopcharakter- in den angrenzenden Waldflächen.

6.4 Homogenbereiche - Boden- und Felskenngrößen (Charakteristische Werte)

Zur Bemessung der Bauteile -dem geotechnischen Design- sowie zum Lösen, Fördern, Laden, Verdichten und Wiedereinbauen werden die Böden und der Fels in die nachfolgenden Homogenbereiche unterteilt.

Homogenbereich B1

Schluff, kiesig, steinig, weich/steif

Korngrößenverteilung	[DIN 18123]	Kornkennziffern 1/2 - 6/4 - 1/0 - 2/3 - 0/1
m_x Massenanteil an Steinen ($D > 63$ mm):	[DIN EN ISO 14688-1]	< 10 %
m_B Blöcken ($D > 200$ mm):		0 %
Dichte ρ :	[DIN EN ISO 17892-2/ DIN 18125-2]	1,95 t/m ³
Feuchtwichte γ :		19,5 kN/m ³
Wichte unter Auftrieb γ' :		10,0 kN/m ³
Kohäsion c'_k :	[DIN 18137-T1 bis T3]	2,5 kPa
Undränierete Scherfestigkeit c_u :	[DIN 18136/DIN 18137-2]	75 – 150 kPa
dränierete Scherfestigkeit ϕ'_k :	[DIN 18136/DIN 18137-2]	25,0 °
Reibungswinkel ϕ'_k		
Steifemodul $E_{s1,k}$:	[DIN 18135]	20 - 40 MN/m ²
Sensitivität:	[DIN 4094-4]	1-2 (1)
Wassergehalt:	[DIN EN ISO 17892-1]	20 – 30 %
Konsistenzgrenzen:	[DIN 18122-1]	weich, steif
Konsistenzzahl:	[DIN 18122-1]	0,5 – 1,0
Plastizität:	[DIN 18122-1]	leicht- bis mittelplastisch
Lagerungsdichte (bezogene Lagerungsdichte):	[DIN EN ISO 14688-2/ DIN 18126]	n.d.
Organischer Anteil:	[DIN 18128]	< 5 %
Bodengruppe:	[DIN 18196]	UL-UM
Frostempfindlichkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	F3
Verdichtbarkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	V3 (weniger gut/schlecht verdichtbar) +)
Ortsübliche Bezeichnung:		Hangschutt

+) Wichtiger Hinweis:

Die Angaben zu den Verdichtbarkeitsklassen setzen optimale erdbauliche Bedingungen (Lösen, Laden, Witterungsschutz, Zwischenlagerung u.a.) voraus.

Für einen Wiedereinbau in Verbindung mit einer Bodenverbesserung mit Bindemittelzugabe ist eine Eignungsprüfung nach TP BF-StB Teil B 11.1 oder das verwendete Bindemittel und der Bindemittelgehalt aufgrund von Erfahrungswerten festzulegen.

Homogenbereich X1

Tonstein, stark/mäßig verwittert, plattig/schiefrig, schlechte/mäßige Kornbindung

Benennung	[DIN EN ISO 14689-1]	Tonstein
Dichte ρ :	[DIN EN ISO 17892-2/DIN 18125-2]	2,20 t/m ³
Feuchtwichte γ :		22,0 kN/m ³
Wichte unter Auftrieb γ' :		12,0 kN/m ³
Verwitterung	[DIN EN ISO 14689-1]	stark/mäßig verwittert, schlechte - mäßige Kornbindung
Veränderlichkeit	[DIN EN ISO 14689-1]	wasserempfindlich, mittlere/geringe Quellfähigkeit
Druckfestigkeit q_u	[DIN 18141/DGGT Empfehlung Nr. 1]	5 - 20 N/mm ²
Abrasivität CAI	[NF P94-430-1]	0 – 1,5
Trennflächenrichtung α, β	[DIN EN ISO 14689-1]	unregelmäßig (360 °)
Fallrichtung α	[DIN EN ISO 14689-1]	0 - 75 ° (gefaltet)
Gesteinskörperform	[DIN EN ISO 14689-1]	schiefrig / plattig geschichtet
Trennflächenabstand	[DIN EN ISO 14689-1]	< 1,0 m
Öffnungsweite der Trennflächen	[DIN EN ISO 14689-1]	0 – 15 mm
Kluffüllung:	[DIN EN ISO 14689-1]	keine
Kohäsion c'_k :	[DIN 18137-T1 bis T3]	20,0 kPa
Undränierete Scherfestigkeit c_u :	[DIN 4094-4/DIN 18136/DIN 18137-2]	-
dränierete Scherfestigkeit φ'_k :	[DIN 4094-4/DIN 18136/DIN 18137-2]	25,0 °
Reibungswinkel φ'_k		
Steifemodul $E_{s1,k}$:	[DIN 18135]	100 MN/m ²
Frostempfindlichkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	F2 - F3
Verdichtbarkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	V2 (weniger gut – gut verdichtbar *)
Ortsübliche Bezeichnung:		Styliolinenschiefer 1

Homogenbereich X2

Tonstein, frisch/schwach verwittert, plattig/bankig, gute/gute-sehr gute Kornbindung,

Benennung	[DIN EN ISO 14689-1]	Tonstein
Dichte ρ :	[DIN EN ISO 17892-2/DIN 18125-2]	2,40 t/m ³
Feuchtwichte γ :		24,0 kN/m ³
Wichte unter Auftrieb γ' :		14,0 kN/m ³
Verwitterung	[DIN EN ISO 14689-1]	mäßig/schwach verwittert, gute – sehr gute Kornbindung
Veränderlichkeit	[DIN EN ISO 14689-1]	wasserempfindlich, geringe Quellfähigkeit
Druckfestigkeit q_u	[DIN 18141/DGGT Empfehlung Nr. 1]	20 - 100 N/mm ²
Abrasivität CAI	[NF P94-430-1]	1,5 – 2,0
Trennflächenrichtung α, β	[DIN EN ISO 14689-1]	unregelmäßig (360 °)
Fallrichtung α	[DIN EN ISO 14689-1]	0 - 75 ° (gefaltet)
Gesteinskörperform	[DIN EN ISO 14689-1]	quaderig, würfelig, Blöcke $V < 0,1 \text{ m}^3$ längste Seite a / kurze Seite $c \approx 1 - 5^+$)
Trennflächenabstand	[DIN EN ISO 14689-1]	< 1,0 m
Öffnungsweite der Trennflächen	[DIN EN ISO 14689-1]	0 – 15 mm
Kluffüllung:	[DIN EN ISO 14689-1]	keine
Kohäsion c'_k :	[DIN 18137-T1 bis T3]	50,0 kPa
Undrainede Scherfestigkeit c_u :	[DIN 4094-4/DIN 18136/DIN 18137-2]	-
drainede Scherfestigkeit φ'_k :	[DIN 4094-4/DIN 18136/DIN 18137-2]	25,0 °
Reibungswinkel φ'_k		
Steifemodul $E_{s1,k}$:	[DIN 18135]	120 MN/m ²
Frostempfindlichkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	F2 - F3
Verdichtbarkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	V2 (weniger gut – gut verdichtbar) *)
Ortsübliche Bezeichnung:		Styliolinschiefer 2

*) Kantenmaße a, b, c der ausgebrochenen Felspartien

*) Zum Lösen (insbesondere bei kleinräumigen Baugruben) ist der Einsatz eines Felsmeißels und/oder einer Felsfräse vorzusehen.

6.5 Übersicht zu den Homogenbereichen

Homogenbereiche Boden/Fels	Homogenbereiche nach DIN 18300
Oberboden/Waldboden	Homogenbereich O
Homogenbereich B1 Schluff , kiesig, steinig, weich/steif	Homogenbereich B1
Homogenbereich X1 Tonstein , stark/vollständig verwittert, plattig/schiefri- g, schlechte/mäßige Kornbindung	Homogenbereich X1
Homogenbereich X2 Tonstein , frisch/schwach verwittert, plattig/bankig, gu- te/gute-sehr gute Kornbindung	Homogenbereich X2

Anmerkungen und Hinweise:

Eine genaue Zuordnung kann erst im Rahmen einer boden- und felsmechanischen Klassifizierung (Festlegung der Homogenbereiche) vor Ort erfolgen. Bestehen zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer unterschiedliche Auffassungen zur Einordnung der vorgenannten Homogenbereiche, so kann eine genaue Einordnung im Rahmen einer Klassifizierung und damit Festlegung der Homogenbereiche vor Ort erfolgen.

Im Einvernehmen mit dem Auftraggeber sollen wegen des Zeit- und Kostenaufwandes nicht alle Parameter der Homogenbereiche versuchstechnisch ermittelt werden. Damit basieren die für die Homogenbereiche angegebenen Eigenschaften/Kennwerte -die nicht versuchstechnisch ermittelt wurden- auf gesicherten Korrelationsbeziehungen für Labor- und Feldversuche.

7 Zusammenfassung und Schlussbemerkungen

Im Rahmen der geotechnischen Untersuchungen wurde der Baugrund im Sinne der DIN 4020 mit direkten und indirekten Aufschlüssen nach DIN EN ISO 22475-1 und DIN EN ISO 22476-2 erkundet.

Die geotechnischen Untersuchungen zeigen, dass unter dem Wald-/Oberboden bis in eine Tiefe von ca. 0,6 m eine kiesige, steinige Schluffe in steifer und weicher Konsistenz anstehen. Darunter folgen stark verwitterte Tonsteine, plattig, stückig, mit mäßiger bis guter Kornbindung. Nachfolgend wurden ab 2,0 m mäßig und schwach verwitterte Tonstein, schiefrig, plattig, mit guter und guter bis sehr guter Kornbindung erbohrt, die den Grenzhorizont der Sondierungen bilden. Im tieferen Untergrund stehen teils unverwitterte, frische Tonsteine, mit guter bis sehr guter Kornbindung an.

Der Styliolinenschiefer stellt in den Zonen mit höheren Sondierwiderständen einen ausreichend bis gut tragfähigen Baugrund für die Gründung der Windkraftanlage und am bzw. unterhalb dem Grenzhorizont der Sondierungen einen gut tragfähigen Baugrund für die Gründung der Windkraftanlage dar. Der Grenzhorizont der Sondierungen weist aufgrund der Hanglage eine Höhendifferenz von ca. 5,5 m innerhalb der Fundamentfläche auf.

Ein Grund-/Schichtenwasser wurde im Bohrloch der Bohrung BK WEA 4 -im Zeitraum der Grundwasserbeobachtung- nicht festgestellt.

Auf den Ergebnissen der geotechnischen Untersuchungen basierend werden Gründungsempfehlungen zum vorgegebenen Gründungssystem Kreisfundament für die Windenergieanlage gegeben.

Der Bemessungswert des Sohlwiderstandes wird mit den Bodenkenngößen angegeben und mit den Anforderungswerten der Herstellerangaben verglichen. Dieser Vergleich ergab, dass die Sicherheitsanforderungen mit einem hohen Sicherheitsabstand erfüllt werden.

Zum Lösen und Fördern des Bodens sind die Homogenbereiche nach DIN 18 300 benannt.

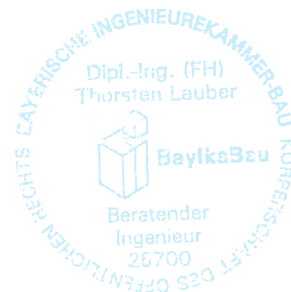
Treten im Rahmen der Bauausführung Abweichungen von den erkundeten Verhältnissen auf, so bitten wir um eine umgehende Benachrichtigung.

Wir empfehlen -zur Qualitätssicherung- die Abnahme der Gründungssohlen und damit verbunden die Umsetzung unserer gutachterlichen Empfehlungen im Sinne einer Qualitätssicherung.

Wir stehen den am Bau Beteiligten zu weiteren geotechnischen Fragen im Rahmen der Ausführungsplanung und der Bauausführung jederzeit gerne zur Verfügung.

(i.A. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Richard A. Herrmann)
GEOTECHNIK GmbH

(Dipl.-Ing. (FH) Thorsten Lauber)
Sachverständiger für Geotechnik



Anlage 1

EW04

VESTAS V162-6.0 MW

Standortkoordinate in

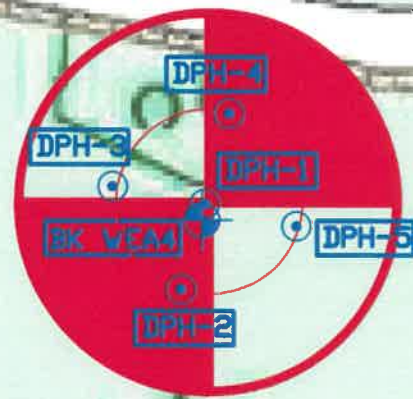
re=460240

ho=5653720

Nabenhöhe=169,0m

Rotorradius=81,0m

Gesamthöhe



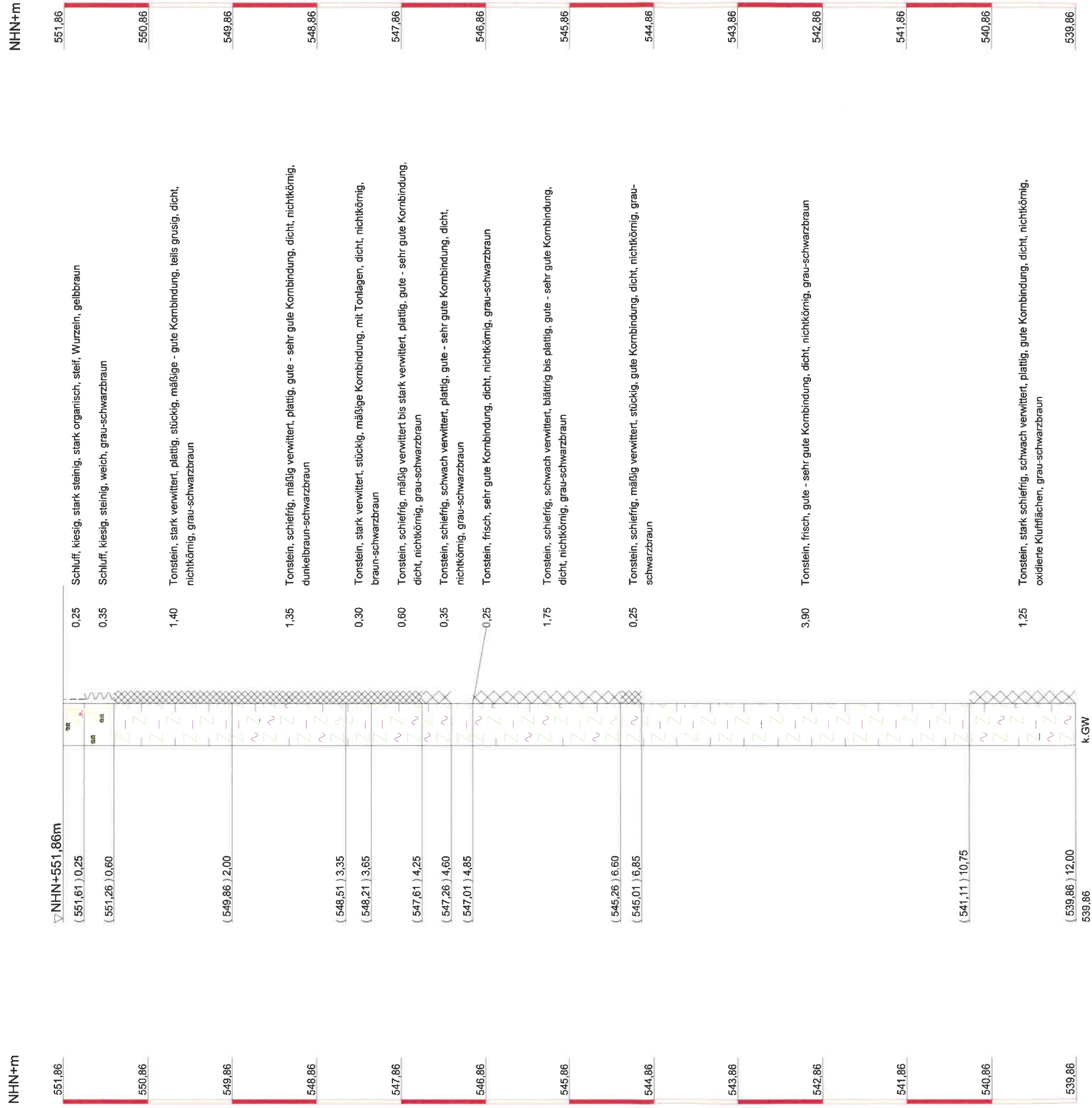
Legende:

- Bohrung BK
- Sondierung DPH

		GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lammelbach 5 91567 Herrrieden Tel.: 09829/93413 Fax.: 09829/93415	
Projekt Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg WEA 4			
gezeichnet	Name Lauber	Datum 11.10.2021	Maßstab 1 : 1000
			Projekt Nr. GEO-210118
Auftraggeber Krug Energie GmbH & Co. KG Dorfstraße 53 35117 Münchhausen-Wollmar			Lageplan
Bauort Windpark Ohrenbach - WEA 4			Anlage 1

Anlagengruppe 2

BK WEA 4
(Stöben GmbH)
07.-08.07.2021
M.: 1:50



GEOTECHNIK GmbH
Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner
Lammelbach 5
91567 Herrieden
Tel.: 09825/93413
Fax: 09825/93415

Bauvorhaben:
Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg
- WEA 4
Planbezeichnung:
BK WEA 4

Plan-Nr: 2.1
Projekt-Nr: GEO-210118
Datum: 11.10.2021
Maßstab: 1 : 50
Bearbeiter: T. Lauber



Bild 1 Übersichtsaufnahme Standort WEA 4 (vom Waldwirtschaftsweg aus)



Bild 2 Aufnahme Bohrkern BK WEA 4, Tiefe 0 - 10 m



Bild 3 Aufnahme Bohrkern BK WEA 4, Tiefe 5 -12 m

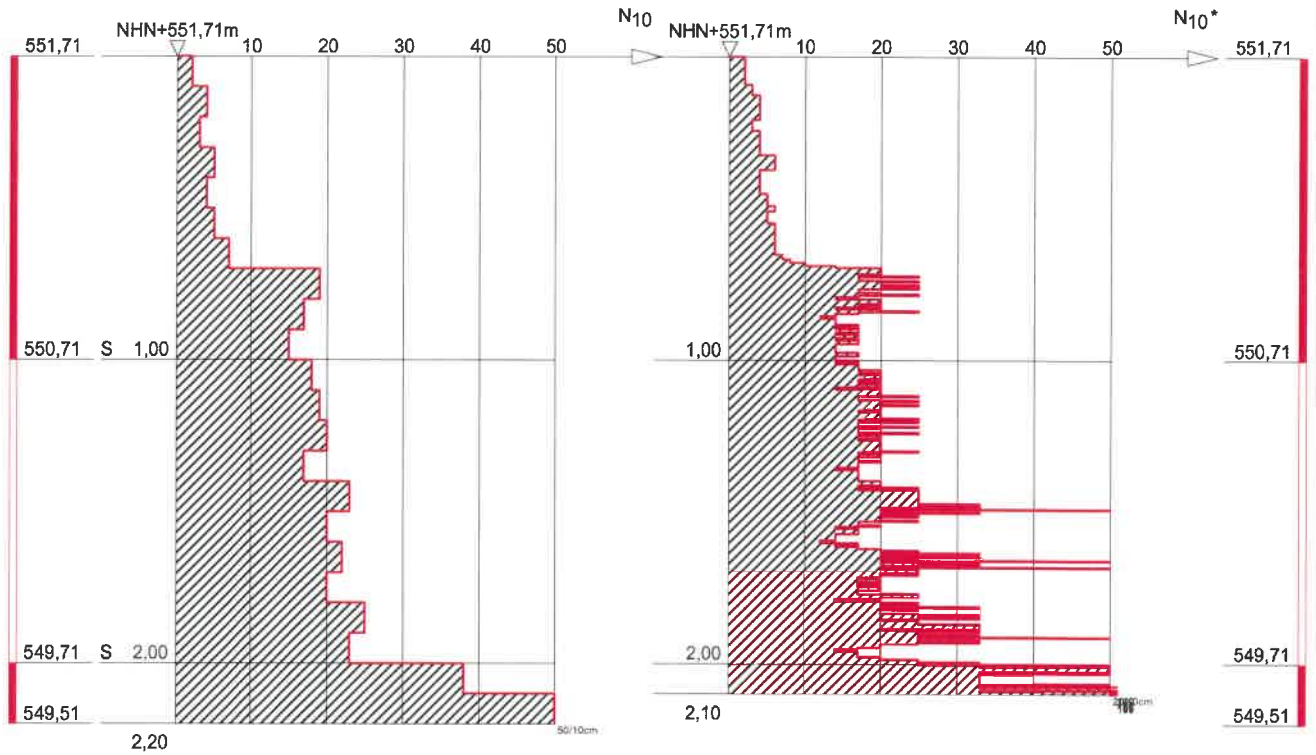
Anlagengruppe 3

WEA4 - DPH-1
(04.06.2021)

WEA4 - DPH-1*
(04.06.2021)

NHN+m

NHN+m



GEOTECHNIK GmbH

Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner

Lammelbach 5
91567 Herrieden
Tel.: 09825/93413
Fax: 09825/93415

Bauvorhaben:

Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg
- WEA 4

Planbezeichnung:

WEA4 - DPH-1

Plan-Nr: 3.1

Projekt-Nr: GEO-210118

Datum: 11.10.2021

Maßstab: 1 : 25

Bearbeiter: T.Lauber



Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2									
Geräteleiter: T. Lauber									
Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 4									
Sondierungsnummer: WEA4-DPH-1				Datum: 04.06.2021			Sondierart: DPH		
Ansatzpunkt [m]:						Ansatzpunkt auf NHN [m]: 551,71			
Grundwassersp.[m u. ASP]:									
Bemerkung:									
Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	2	3,10		6,10		9,10		12,10	
0,20	4	3,20		6,20		9,20		12,20	
0,30	3	3,30		6,30		9,30		12,30	
0,40	5	3,40		6,40		9,40		12,40	
0,50	4	3,50		6,50		9,50		12,50	
0,60	5	3,60		6,60		9,60		12,60	
0,70	7	3,70		6,70		9,70		12,70	
0,80	19	3,80		6,80		9,80		12,80	
0,90	17	3,90		6,90		9,90		12,90	
1,00	15	4,00		7,00		10,00		13,00	
*)	schwer	*)		*)		*)		*)	
1,10	18	4,10		7,10		10,10		13,10	
1,20	19	4,20		7,20		10,20		13,20	
1,30	20	4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40	17	4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50	23	4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60	20	4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70	22	4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80	20	4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90	25	4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00	23	5,00		8,00		11,00		14,00	
*)	schwer	*)		*)		*)		*)	
2,10	38	5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20	50	5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30		5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40		5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50		5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60		5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70		5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80		5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90		5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00		6,00		9,00		12,00		15,00	
*)		*)		*)		*)		*)	

*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]

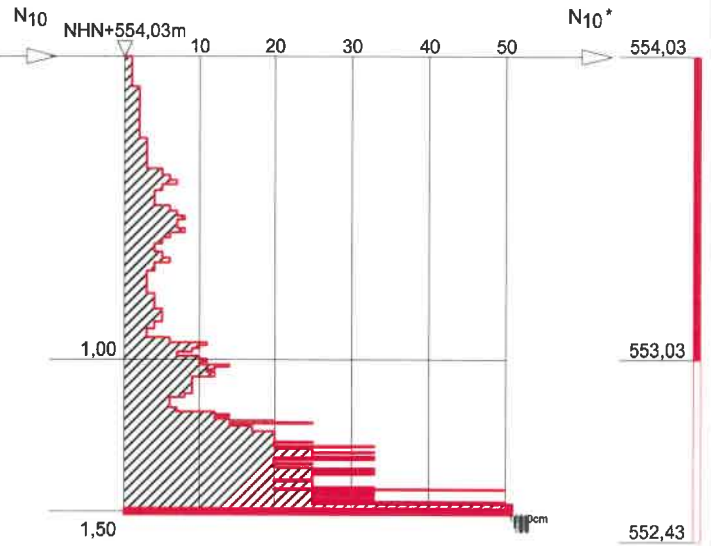
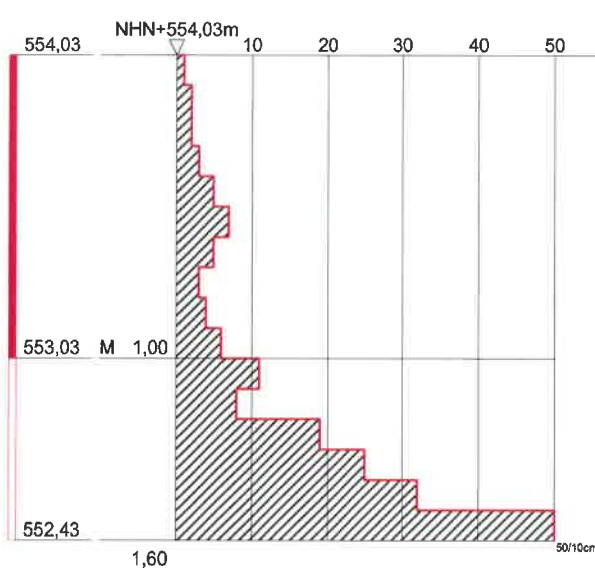
Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefern pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm-
datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten
Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.

WEA4 - DPH-2
(04.06.2021)

WEA4 - DPH-2*
(04.06.2021)

NHN+m

NHN+m



<p>GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lammelbach 5 91567 Herrieden Tel.: 09825/93413 Fax: 09825/93415</p>	<p>Bauvorhaben: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg - WEA 4</p> <p>Planbezeichnung: WEA4 - DPH-2</p>	Plan-Nr: 3.3
		Projekt-Nr: GEO-210118
		Datum: 11.10.2021
		Maßstab: 1 : 25
		Bearbeiter: T.Lauber



Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2									
Geräteführer: T. Lauber									
Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 4									
Sondierungsnummer: WEA4-DPH-2				Datum: 04.06.2021			Sondierart: DPH		
Ansatzpunkt [m]:						Ansatzpunkt auf NHN [m]: 554,03			
Grundwassersp.[m u. ASP]:									
Bemerkung:									
Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	1	3,10		6,10		9,10		12,10	
0,20	2	3,20		6,20		9,20		12,20	
0,30	2	3,30		6,30		9,30		12,30	
0,40	3	3,40		6,40		9,40		12,40	
0,50	5	3,50		6,50		9,50		12,50	
0,60	7	3,60		6,60		9,60		12,60	
0,70	5	3,70		6,70		9,70		12,70	
0,80	3	3,80		6,80		9,80		12,80	
0,90	4	3,90		6,90		9,90		12,90	
1,00	6	4,00		7,00		10,00		13,00	
*)	mittel	*)		*)		*)		*)	
1,10	11	4,10		7,10		10,10		13,10	
1,20	8	4,20		7,20		10,20		13,20	
1,30	19	4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40	25	4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50	32	4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60	50	4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70		4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80		4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90		4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00		5,00		8,00		11,00		14,00	
*)		*)		*)		*)		*)	
2,10		5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20		5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30		5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40		5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50		5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60		5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70		5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80		5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90		5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00		6,00		9,00		12,00		15,00	
*)		*)		*)		*)		*)	

*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]

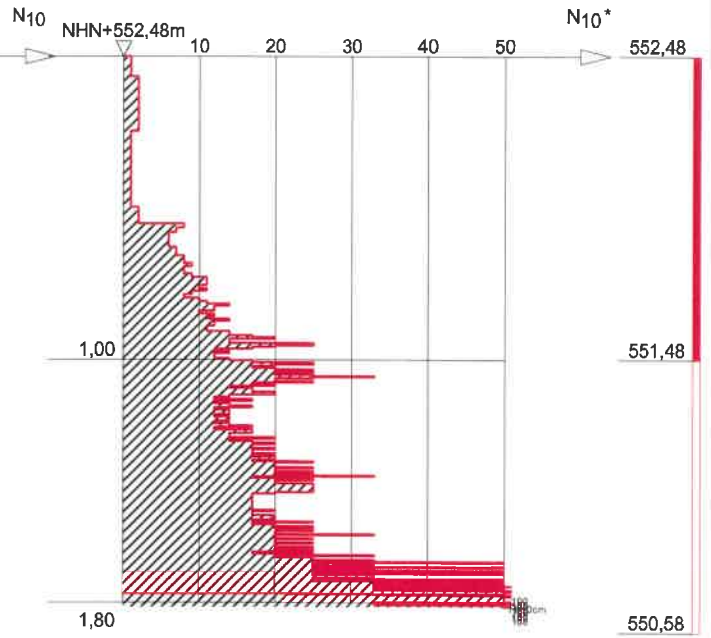
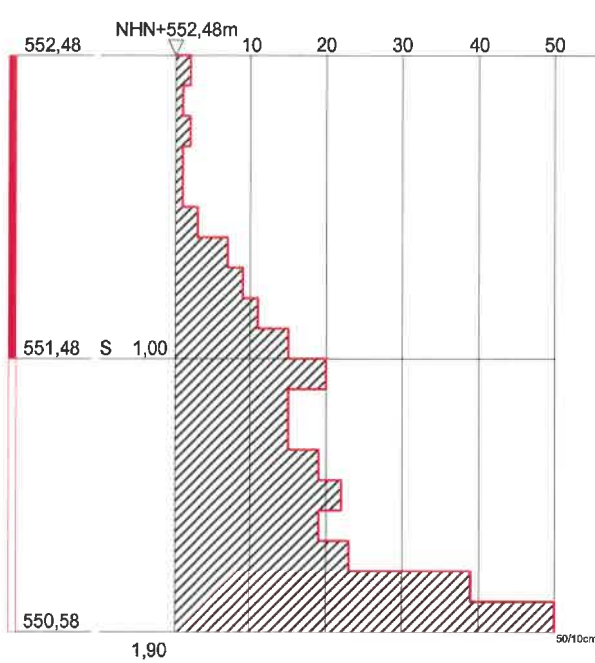
Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefen pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm-datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.

WEA4 - DPH-3
(04.06.2021)

WEA4 - DPH-3
(04.06.2021)

NHN+m

NHN+m



GEOTECHNIK GmbH

Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner

Lammelbach 5
91567 Herrieden
Tel.: 09825/93413
Fax: 09825/93415

Bauvorhaben:

Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg
- WEA 4

Planbezeichnung:

WEA4 - DPH-3

Plan-Nr: 3.5

Projekt-Nr: GEO-210118

Datum: 11.10.2021

Maßstab: 1 : 25

Bearbeiter: T.Lauber



Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2									
Geräteleiter: T. Lauber									
Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 4									
Sondierungsnummer: WEA4-DPH-3				Datum: 04.06.2021			Sondierart: DPH		
Ansatzpunkt [m]:						Ansatzpunkt auf NHN [m]: 552,48			
Grundwassersp.[m u. ASP]:									
Bemerkung:									
Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	2	3,10		6,10		9,10		12,10	
0,20	1	3,20		6,20		9,20		12,20	
0,30	2	3,30		6,30		9,30		12,30	
0,40	1	3,40		6,40		9,40		12,40	
0,50	1	3,50		6,50		9,50		12,50	
0,60	3	3,60		6,60		9,60		12,60	
0,70	7	3,70		6,70		9,70		12,70	
0,80	9	3,80		6,80		9,80		12,80	
0,90	11	3,90		6,90		9,90		12,90	
1,00	15	4,00		7,00		10,00		13,00	
*)	schwer	*)		*)		*)		*)	
1,10	20	4,10		7,10		10,10		13,10	
1,20	15	4,20		7,20		10,20		13,20	
1,30	15	4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40	19	4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50	22	4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60	19	4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70	23	4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80	39	4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90	50	4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00		5,00		8,00		11,00		14,00	
*)		*)		*)		*)		*)	
2,10		5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20		5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30		5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40		5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50		5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60		5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70		5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80		5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90		5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00		6,00		9,00		12,00		15,00	
*)		*)		*)		*)		*)	

*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]

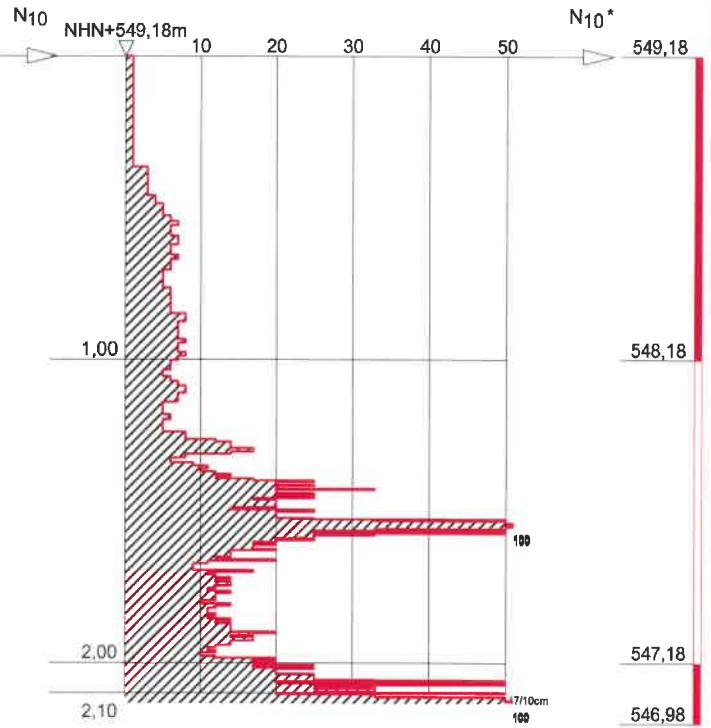
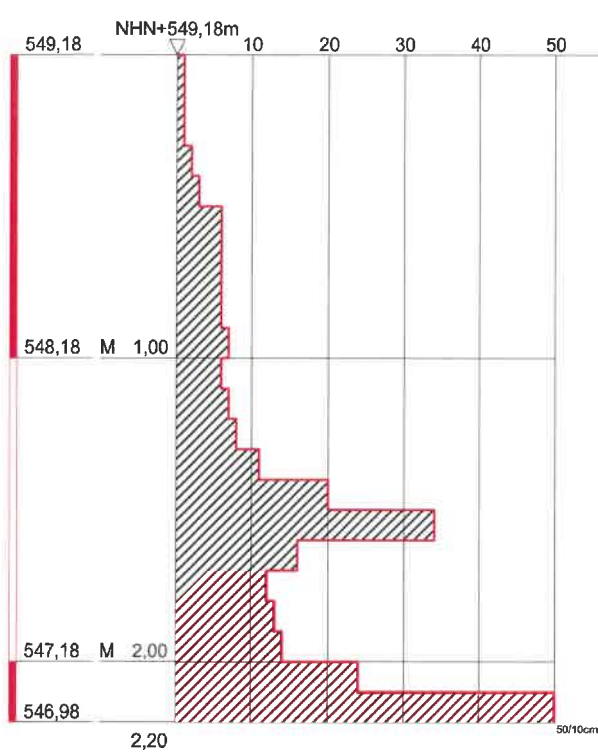
Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefen pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm-datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.

WEA4 - DPH-4
(04.06.2021)

WEA4 - DPH-4*
(04.06.2021)

NHN+m

NHN+m



GEOTECHNIK GmbH

Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner

Lammelbach 5
91567 Herrieden
Tel.: 09825/93413
Fax: 09825/93415

Bauvorhaben:

Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg
- WEA 4

Planbezeichnung:

WEA4 - DPH-4

Plan-Nr: 3.7

Projekt-Nr: GEO-210118

Datum: 11.10.2021

Maßstab: 1 : 25

Bearbeiter: T.Lauber



Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2

Geräteleiter: T. Lauber

Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 4

Sondierungsnummer: WEA4-DPH-4

Datum: 04.06.2021

Sondierart: DPH

Ansatzpunkt [m]:

Ansatzpunkt auf NHN [m]: 549,18

Grundwassersp.[m u. ASP]:

Bemerkung:

Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	1	3,10		6,10		9,10		12,10	
0,20	1	3,20		6,20		9,20		12,20	
0,30	1	3,30		6,30		9,30		12,30	
0,40	2	3,40		6,40		9,40		12,40	
0,50	3	3,50		6,50		9,50		12,50	
0,60	6	3,60		6,60		9,60		12,60	
0,70	6	3,70		6,70		9,70		12,70	
0,80	6	3,80		6,80		9,80		12,80	
0,90	6	3,90		6,90		9,90		12,90	
1,00	7	4,00		7,00		10,00		13,00	
*)	mittel	*)		*)		*)		*)	
1,10	6	4,10		7,10		10,10		13,10	
1,20	7	4,20		7,20		10,20		13,20	
1,30	8	4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40	11	4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50	20	4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60	34	4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70	16	4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80	12	4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90	13	4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00	14	5,00		8,00		11,00		14,00	
*)	mittel	*)		*)		*)		*)	
2,10	24	5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20	50	5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30		5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40		5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50		5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60		5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70		5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80		5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90		5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00		6,00		9,00		12,00		15,00	
*)		*)		*)		*)		*)	

*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]

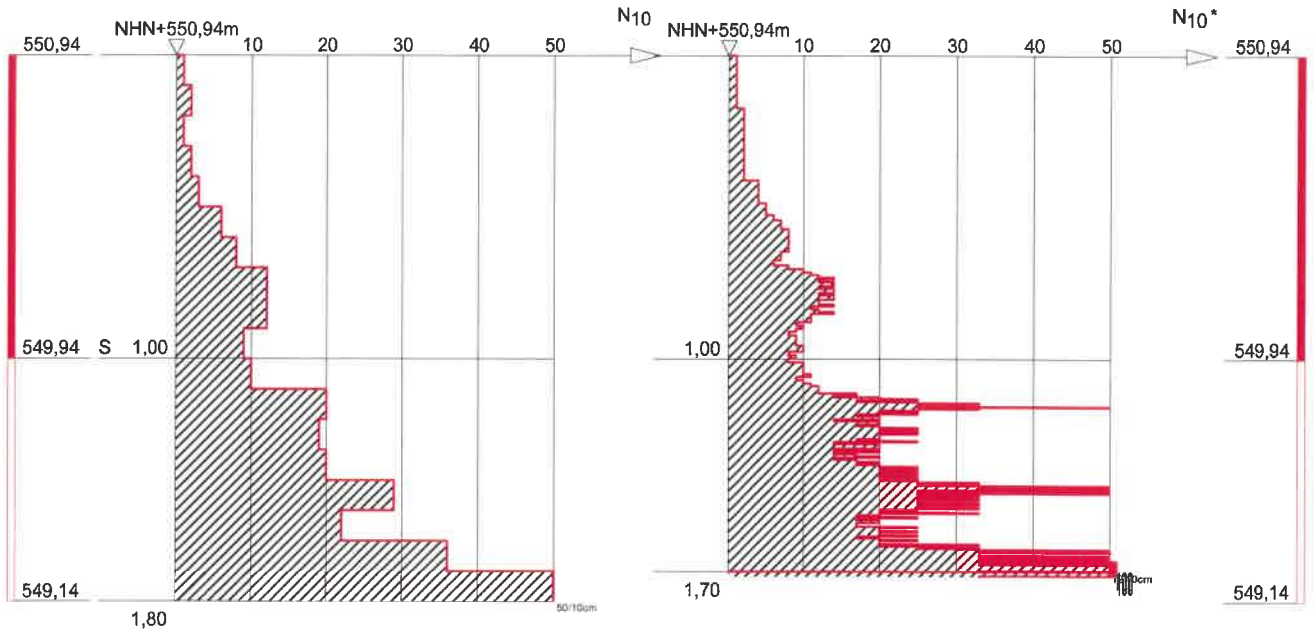
Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefen pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm-datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomesstagen- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.

WEA4 - DPH-5
(04.06.2021)

WEA4 - DPH-5*
(04.06.2021)

NHN+m

NHN+m



<p>GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lammelbach 5 91567 Herrieden Tel.: 09825/93413 Fax: 09825/93415</p>	<p>Bauvorhaben: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg - WEA 4</p> <p>Planbezeichnung: WEA4 - DPH-5</p>	Plan-Nr: 3.9
		Projekt-Nr: GEO-210118
		Datum: 11.10.2021
		Maßstab: 1 : 25
		Bearbeiter: T.Lauber

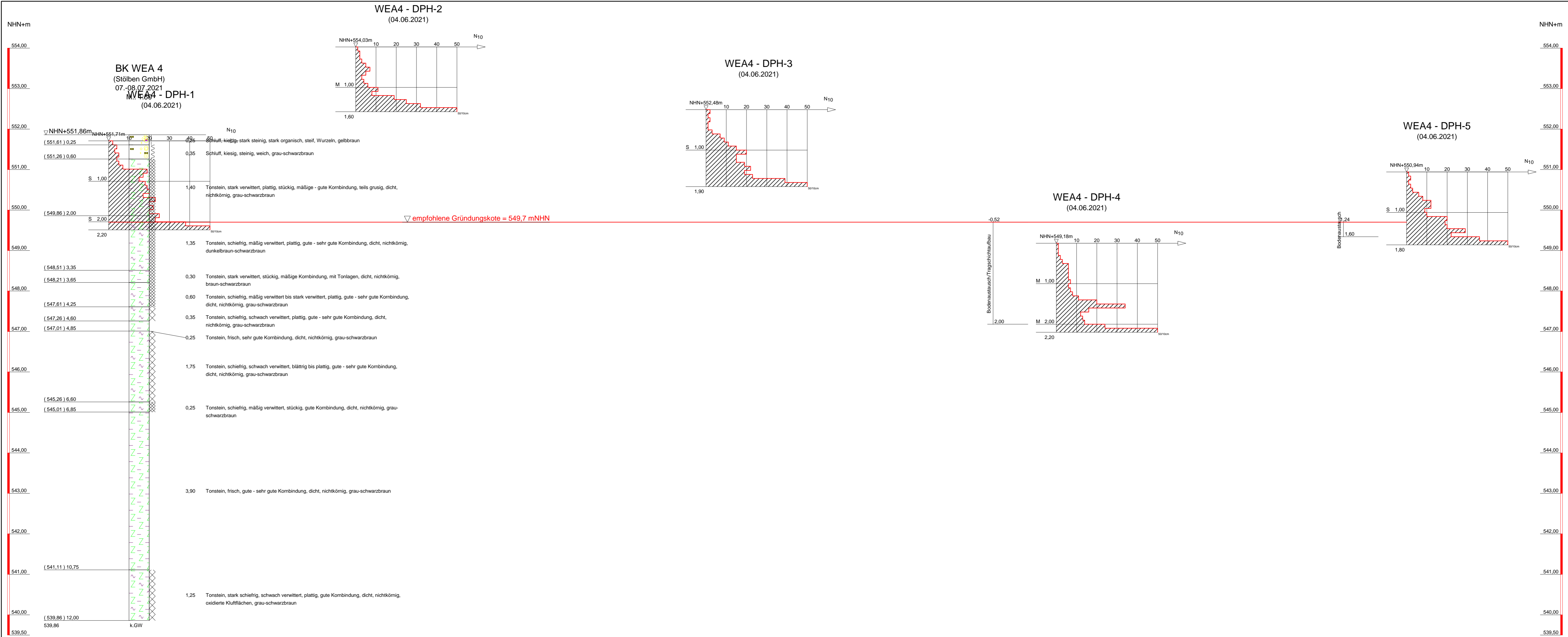


Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2									
Geräteleiter: T. Lauber									
Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 4									
Sondierungsnummer: WEA4-DPH-5				Datum: 04.06.2021			Sondierart: DPH		
Ansatzpunkt [m]:						Ansatzpunkt auf NHN [m]: 550,94			
Grundwassersp.[m u. ASP]:									
Bemerkung:									
Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	1	3,10		6,10		9,10		12,10	
0,20	2	3,20		6,20		9,20		12,20	
0,30	1	3,30		6,30		9,30		12,30	
0,40	2	3,40		6,40		9,40		12,40	
0,50	3	3,50		6,50		9,50		12,50	
0,60	6	3,60		6,60		9,60		12,60	
0,70	8	3,70		6,70		9,70		12,70	
0,80	12	3,80		6,80		9,80		12,80	
0,90	12	3,90		6,90		9,90		12,90	
1,00	9	4,00		7,00		10,00		13,00	
*)	schwer	*)		*)		*)		*)	
1,10	10	4,10		7,10		10,10		13,10	
1,20	20	4,20		7,20		10,20		13,20	
1,30	19	4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40	20	4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50	29	4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60	22	4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70	36	4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80	50	4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90		4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00		5,00		8,00		11,00		14,00	
*)		*)		*)		*)		*)	
2,10		5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20		5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30		5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40		5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50		5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60		5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70		5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80		5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90		5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00		6,00		9,00		12,00		15,00	
*)		*)		*)		*)		*)	

*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]

Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefern pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm- datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.

Anlage 4



GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lammelbach 5 91567 Herrieden Tel.: 09825/93413 Fax: 09825/93415	Bauvorhaben: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg - WEA 4 Planbezeichnung: WEA4 - Abwicklung	Plan-Nr: 4
		Projekt-Nr: GEO-210118
		Datum: 11.10.2021
		Maßstab: 1:100/50
		Bearbeiter: T.Lauber

Anlagengruppe 5

Zusammenstellung der geomechanischen Versuchsergebnisse (Fels)

Entnahmedaten	Proben-Nr.		Weite	Tiefe	Zellen-Nr.:	WEA	WEA	WEA	WEA	WEA	WEA
	Entnahmestelle					04	04	04	04	04	04
Zusätzliche Angaben											
Entnahmetiefe	von	m									
	bis	m	4,00	4,20	4,30	4,40	4,50	4,80	4,80	4,80	
Entnahmearart											
Probenbeschreibung											
Stratigraphie											
Dichtebestimmung	Korndichte	ρ_s	t/m ³	31							
	Feuchtdichte	ρ	t/m ³	32							
	Wassergehalt	w	%	33							
	Trockendichte	ρ_d	t/m ³	34							
Einaxialer Druckversuch	Einax. Druckfestigkeit	σ_u	MN/m ²							14,675	
	Belastungsmodul	B								6774	
	Wiederbelastungsmodul	V	MN/m ²	35							
	Entlastungsmodul	E									
Poissonzahlen	für Belastung,	ν_H									
	Wiederbelastung	ν_V	-	36							
	und Entlastung	ν_E									
Dreiaxialer Druckversuch	Vers. Typ/Probendurchm.	- / cm		37							
	Anzahl der Zyklen	-									
	Reibungswinkel	φ	°	38							
	technische Kohäsion	c	MN/m ²								
Punktlastindex	diametral axial	$I_{S(50)}$	MN/m ²	39	3,023 (s)	0,871 (p)	4,162 (s)	4,598 (s)	1,737 (s)		2,082 (s)
Spaltzugversuch		σ_z	MN/m ²	40							
Reibungsversuch	Probenfläche	A	cm ²	41							
	Anzahl der Laststufen	-									
	Trennflächentyp	-									
	Trennflächengeometrie	-		42							
	Reibungswinkel	φ	°								
	technische Kohäsion	c	MN/m ²								
Quellversuche	Quellspannung	σ_q	MN/m ²	43							
	Versuchsdauer	d		44							
	Quelldehnung	$\epsilon_{q,0}$	%	45							
	Versuchsdauer	d		46							
	Quellversuch nach Huder und Amberg	K	%	47							
	Versuchsdauer	σ_0	MN/m ²	48							
DIN 52103	Wasseraufnahme		%	49							
	Absplitterung										
	Kennziffer der Absplitt.		-	50							
Veränderlichk. in Wasser DIN 4022		-	51								
Cerchar	CAI	-	53								
Abrasivitätsindex	Klassifizierung	-	54								
Frostversuch nach DIN 52104 / 4226	Absplitt. Kennzi.	‰	55								
		-	56								
Einaxialer Kriechversuch	% von einax. Druckfestigkeit		%	57							
	Kriechrate am 10. Tag (LS 1)		%								
	% von einax. Druckfestigkeit		%								
	Kriechrate am 10. Tag (LS 2)		%								
	% von einax. Druckfestigkeit		%								
	Kriechrate am 10. Tag (LS 3)		%								
Slake Durability Test	I_{d1}	‰	58								
	I_{d2}	‰									

zu Zeile 51: w- / w' / w / w* = nicht veränderlich / mäßig veränderlich / veränderlich / stark veränderlich

zu Zeile 54 u. 56: Kennziffer der Absplitter.

Bemerkungen:

Zusammenstellung der geomechanischen Versuchsergebnisse (Fels)

Entnahmedaten						WEA	WEA	WEA	WEA		
Proben-Nr.						04	04	04	04		
Entnahmestelle											
Zusätzliche Angaben											
Entnahmetiefe		von	m			4,80	5,00	5,10	5,30		
		bis	m			5,00	5,10	5,30	5,50		
Entnahmearart						ungestört	ungestört	ungestört	ungestört		
Probenbeschreibung				Zeilen-Nr.:		Tst	Tst	Tst	Tst		
Stratigraphie											
Dichte- bestimmung	Korndichte	ρ_s	t/m ³	31							
	Feuchtdichte	ρ	t/m ³	32							
	Wassergehalt	w	%	33							
	Trockendichte	ρ_d	t/m ³	34							
Einaxialer Druckversuch	Einax. Druckfestigkeit	σ_u	MN/m ²	35							
	Belastungsmodul	B	MN/m ²								
	Wiederbelastungsmodul	V									
	Entlastungsmodul	E									
Poisson- zahlen	für Belastung,	ν_B	-	36							
	Wiederbelastung	ν_V									
	und Entlastung	ν_E									
Dreiaxialer Druckversuch	Vers. Typ/Probendurchm.	- / cm	37								
	Anzahl der Zyklen	-	38								
	Reibungswinkel	φ		°							
	technische Kohäsion	c	MN/m ²								
Punktlastindex		diametral	$I_{S(50)}$	39							
		axial					0,915 (p)	4,679 (s)	1,937 (p)	6,568 (s)	2,436 (p)
Spaltzugversuch		\perp	σ_z	MN/m ²	40						
Reibungsversuch	Probenfläche	A	cm ²	41							
	Anzahl der Laststufen	-		42							
	Trennflächentyp	-									
	Trennflächengeometrie	-									
	Reibungswinkel	φ	°								
technische Kohäsion	c	MN/m ²									
Quellversuche	Quellspannung	σ_q	MN/m ²	43							
	Versuchsdauer	d		44							
	Quelldehnung	$\epsilon_{q,0}$	%	45							
	Versuchsdauer	d		46							
	Quellversuch nach	K	%	47							
	Huder und Amberg	σ_0	MN/m ²								
	Versuchsdauer	d	48								
DIN 52103	Wasseraufnahme		%	49							
	Absplitterung										
	Kennziffer der Absplitt.	-			50						
Veränderlichk. in Wasser DIN 4022		-		51							
Cerchar		CAI	-	53							
Abrasiveitätsindex		Klassifizierung	-	54							
Frostversuch nach		Absplitt.	o/0	55							
DIN 52104 / 4226		Kenzi.	-		56						
Einaxialer Kriechversuch	% von einax. Druckfestigkeit		%	57							
	Kriechrate am 10. Tag (LS 1)		%								
	% von einax. Druckfestigkeit		%								
	Kriechrate am 10. Tag (LS 2)		%								
	% von einax. Druckfestigkeit		%	58							
	Kriechrate am 10. Tag (LS 3)		%								
Slake Durability Test		I_{d1}	%	58							
		I_{d2}	%								

zu Zeile 51: w- / w' / w / w* = nicht veränderlich / mäßig veränderlich / veränderlich / stark veränderlich

zu Zeile 54 u. 56: Kennziffer der Absplitter.

Bemerkungen:

Zusammenstellung der geomechanischen Versuchsergebnisse (Fels)

Entnahmedaten			Zeilen-Nr.:	WEA 04		WEA 04		WEA 04		
Proben-Nr.										
Entnahmestelle										
Zusätzliche Angaben										
Entnahmetiefe	von	m		5,50	5,70	5,90	5,90	6,00		
	bis	m		5,70	5,90	6,00				
Entnahmearart			ungestört	ungestört	ungestört					
Probenbeschreibung			Tst	Sst	Sst					
Stratigraphie										
Dichtebestimmung	Korndichte	ρ_s	t/m ³	31						
	Feuchtdichte	ρ	t/m ³	32						
	Wassergehalt	w	%	33						
	Trockendichte	ρ_d	t/m ³	34						
Einaxialer Druckversuch	Einax. Druckfestigkeit	σ_u	MN/m ²							
	Belastungsmodul	B	MN/m ²	35						
	Wiederbelastungsmodul	V								
	Entlastungsmodul	E								
Poissonzahlen	für Belastung, Wiederbelastung und Entlastung	ν_B	-	36						
		ν_V								
		ν_E								
Dreiaxialer Druckversuch	Vers. Typ/Probendurchm.	- / cm		37						
	Anzahl der Zyklen	-								
	Reibungswinkel	φ	°							
	technische Kohäsion	c	MN/m ²							
Punktlastindex	diametral	$I_{S(50)}$	MN/m ²	39	4,699 (s)	0,563 (p)	7,224 (s)	2,383 (p)	9,019 (s)	3,450 (P)
	axial									
Spaltzugversuch			σ_z	MN/m ²	40					
Reibungsversuch	Probenfläche	A	cm ²	41						
	Anzahl der Laststufen	-								
	Trennflächentyp	-								
	Trennflächengeometrie	-		42						
	Reibungswinkel	φ	°							
technische Kohäsion			c	MN/m ²						
Quellversuche	Quellspannung	σ_q	MN/m ²	43						
	Versuchsdauer	d		44						
	Quelldehnung	$\epsilon_{q,0}$	%	45						
	Versuchsdauer	d		46						
	Quellversuch nach Huder und Amberg	K	%	47						
	Versuchsdauer	σ_0	MN/m ²		48					
DIN 52103	Wasseraufnahme		%	49						
	Absplitterung									
	Kennziffer der Absplitt.	-			50					
Veränderlichk. in Wasser DIN 4022			-	51						
Cerchar			CAI	-	53					
Abrasivitätsindex			Klassifizierung	-	54					
Frostversuch nach DIN 52104 / 4226			Absplitt. Kennzi.	%	55					
Einaxialer Kriechversuch	% von einax. Druckfestigkeit		%	57						
	Kriechrate am 10. Tag (LS 1)		%							
	% von einax. Druckfestigkeit		%							
	Kriechrate am 10. Tag (LS 2)		%							
	% von einax. Druckfestigkeit		%							
Kriechrate am 10. Tag (LS 3)		%								
Slake Durability Test			I_{d1}	%	58					
			I_{d2}	%						

zu Zeile 51: w- / w' / w / w* = nicht veränderlich / mäßig veränderlich / veränderlich / stark veränderlich zu Zeile 54 u. 56: Kennziffer der Absplitter.

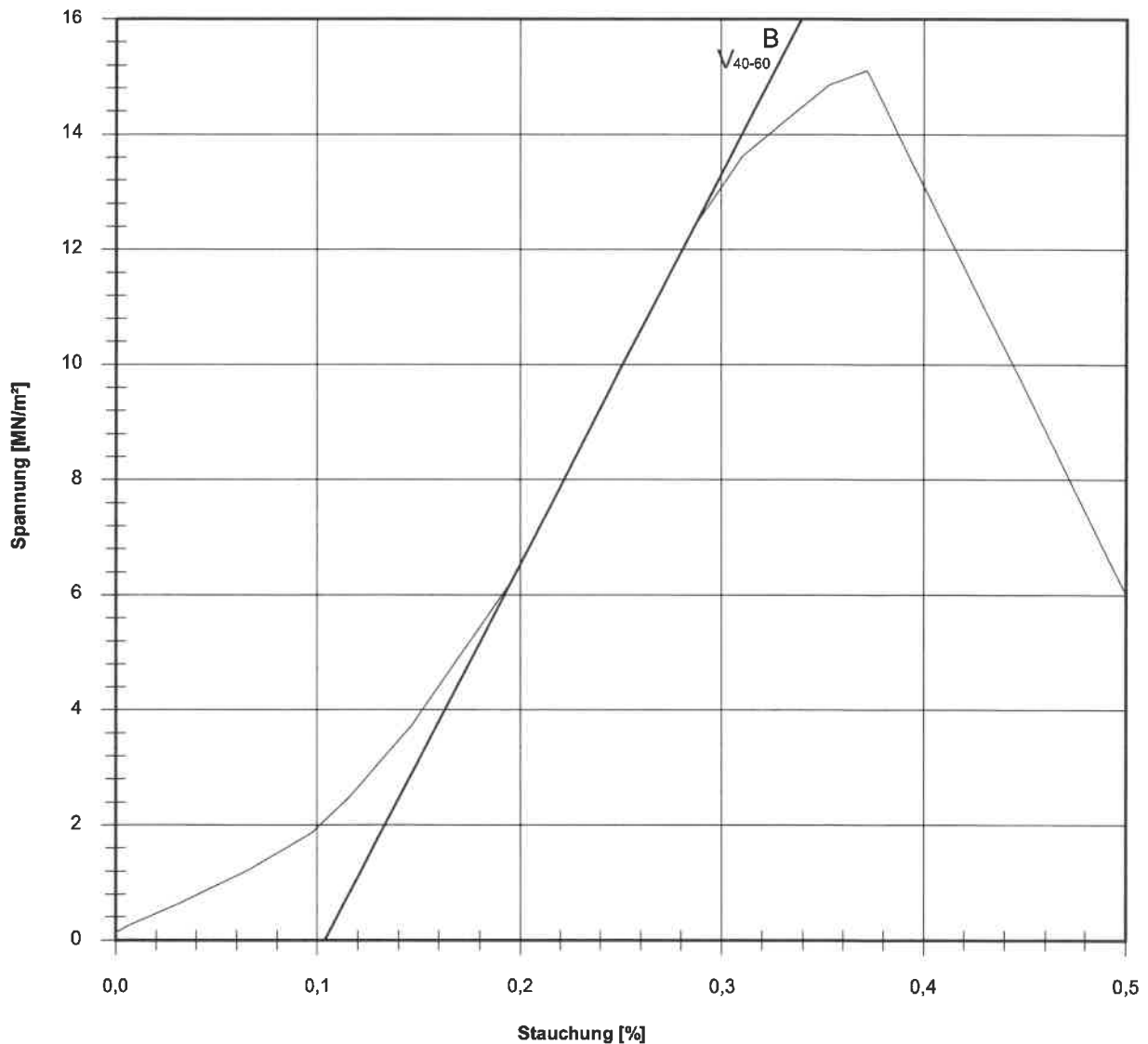
Bemerkungen:

Einaxialer Druckversuch

Felsprobe ohne Messung der Querdehnung
nach DGGT-Empfehlung Nr. 1

Entnahmestelle WEA 04		
Tiefe unter GOK: 4,50 - 4,80 m		
Entnahmearart: ungestört		
Probenbeschreibung: Tst	Bodengruppe:	Stratigraphie:
Entrn. am:		von: Geotechnik Herrmann

Ausgeführt von: J. Bergen	am: 09.08.2021	Gepr.:
Ausgewertet von: Frühwirth	am: 01.09.2021	
Probenhöhe: 164,1 mm	Feuchtdichte: 2,602 t/m³	Verformungsgeschwindigkeit: 0,20 mm/min
Durchmesser: 101,4 mm	Wassergehalt: %	Höhen/Durchmesserverhältnis(h/d): 1,62
Querschnittsfläche: 80,75 cm²	Trockendichte: t/m³	Korrekturfaktor; $f = 8/(7+2d/h)$: 0,971



Bruchspannung σ :	15,108 MN/m²	Verformungsmoduli:		Poissonzahl:
Einaxiale Druckfestigkeit		Belastungsmodul V_{40-60} :	6774 MN/m²	
$f \cdot \sigma = \sigma_u$ bzw. σ_u :	14,675 MN/m²	Modul d. einaxialen Druckf. E_u :		
Stauchung beim Bruch:	0,37 %	Belastungsmodul B :	6774 MN/m²	für Belastung v_B :
Querdehnung beim Bruch:		Wiederbelastungsmodul V :		für Wiederbelastung v_V :
		Entlastungsmodul E :		für Entlastung v_E :

Bemerkungen:

Anlagengruppe 6

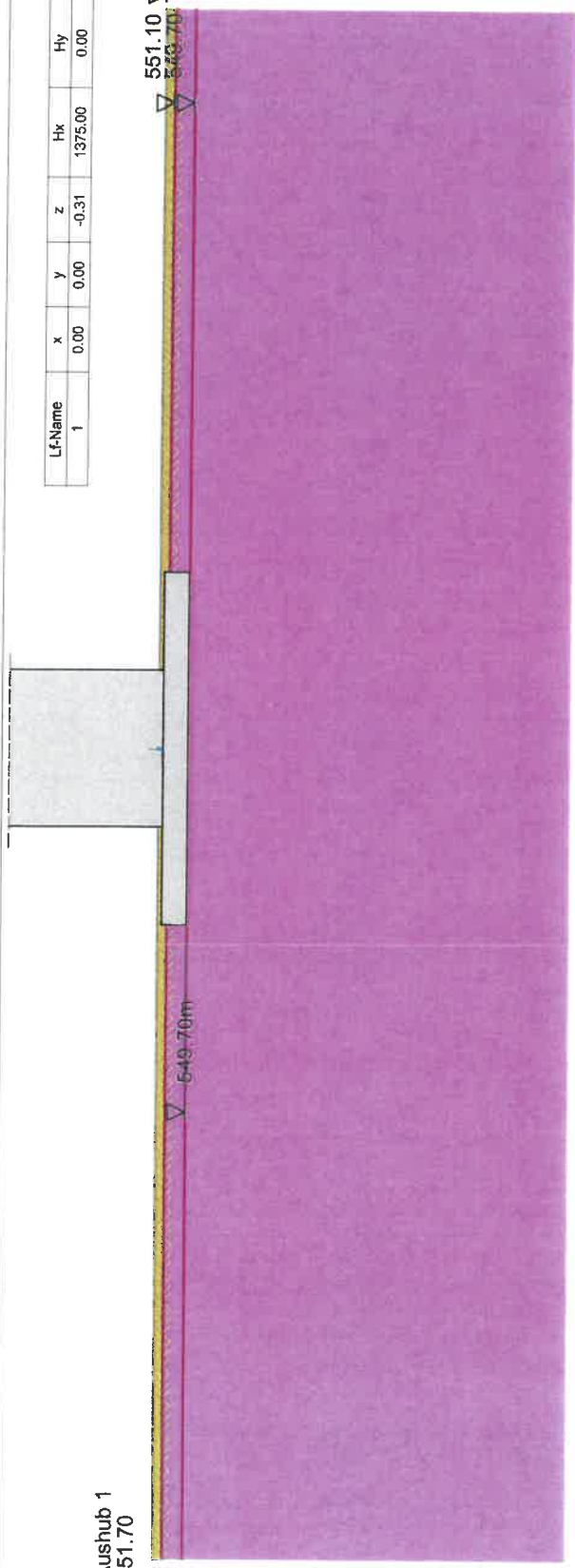
Lf-Name	x	y	z	Hx	Hy	Vz	Mx	My	Typ
1	0.00	0.00	-0.31	1375.00	0.00	18150.00	214800.00	0.00	S

Aushub 1
551.70

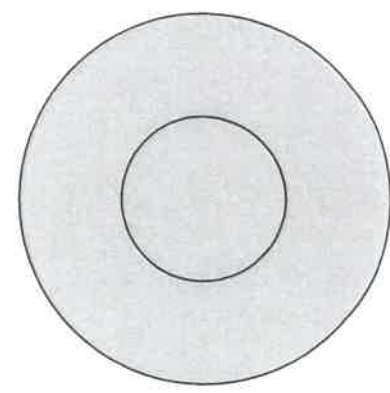
551.10 ∇ + 551.70

549.70m

- Schluff, kiesig
 - $\varphi = 27.5^\circ$
 - $c = 5.0 \text{ kN/m}^2$
 - $\gamma\gamma = 19.5/10.0 \text{ kN/m}^3$
- Tonstein1
 - $\varphi = 25.0^\circ$
 - $c = 20.0 \text{ kN/m}^2$
 - $\gamma\gamma = 22.0/12.0 \text{ kN/m}^3$
- Tonstein2
 - $\varphi = 25.0^\circ$
 - $c = 50.0 \text{ kN/m}^2$
 - $\gamma\gamma = 24.0/14.0 \text{ kN/m}^3$



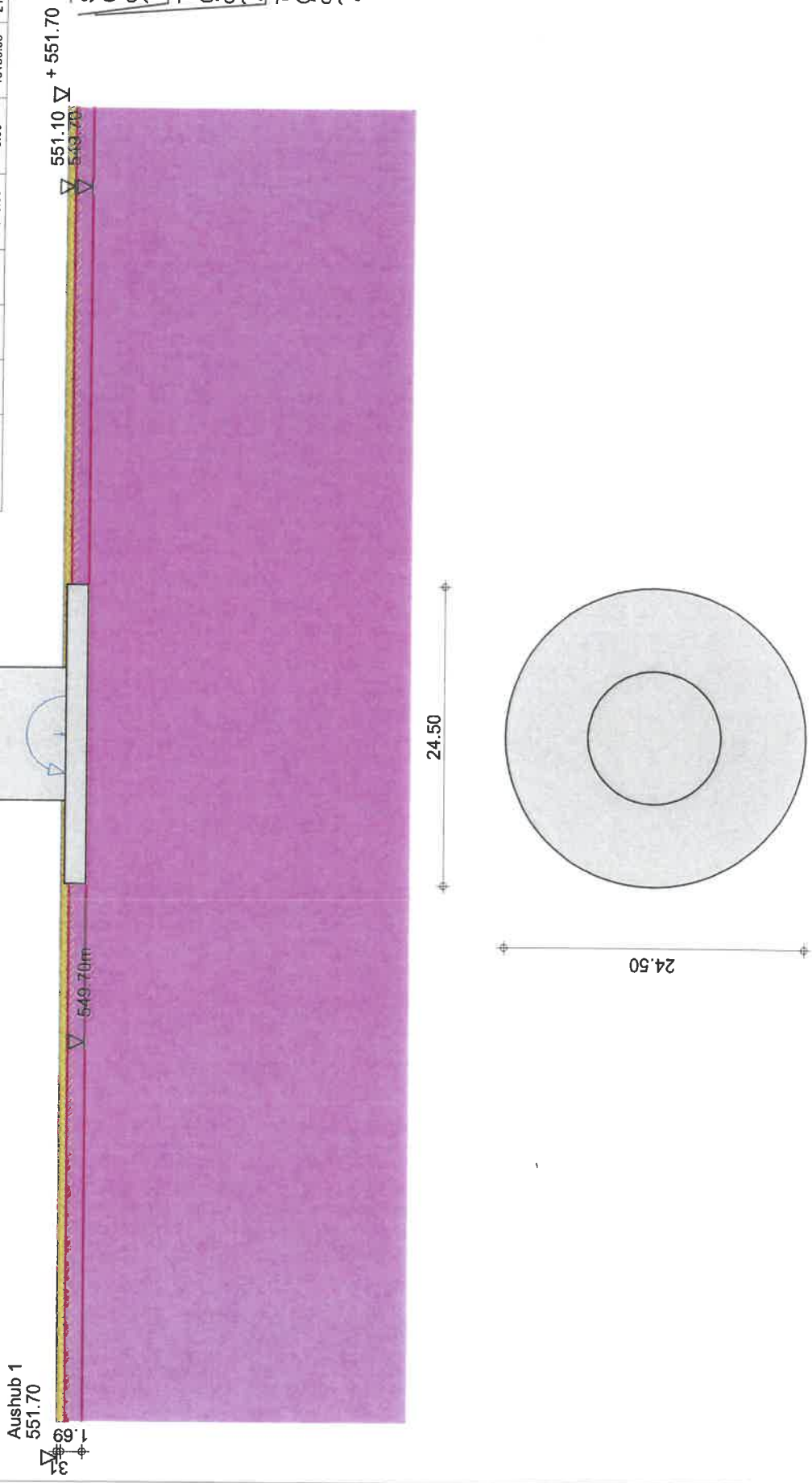
24.50



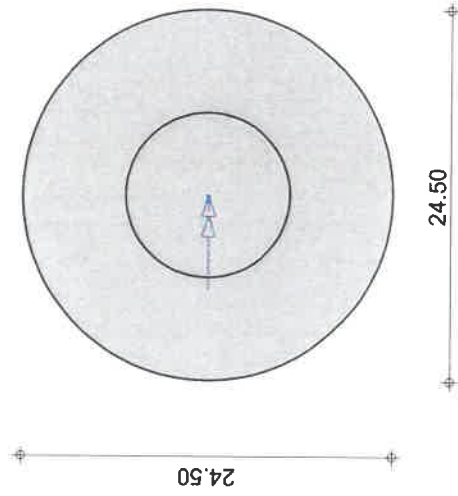
24.50

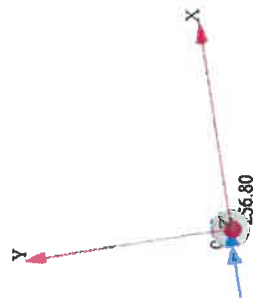
Lf-Name	x	y	z	Hx	Hy	Vz	Mx	My	Typ
1	0.00	0.00	-0.31	1375.00	0.00	18150.00	214800.00	0.00	S

Schluff, kiesig
 $\varphi = 27.5^\circ$
 $c = 5.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma\gamma = 19.5/10.0 \text{ kN/m}^3$
 Tonstein1
 $\varphi = 25.0^\circ$
 $c = 20.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma\gamma = 22.0/12.0 \text{ kN/m}^3$
 Tonstein2
 $\varphi = 25.0^\circ$
 $c = 50.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma\gamma = 24.0/14.0 \text{ kN/m}^3$



Lf-Name	x	y	z	Hx	Hy	Vz	Mx	My	Typ
1	0.00	0.00	-0.31	1375.00	0.00	18150.00	214800.00	0.00	S





Programm DC-Fundament - Copyright 2006-2021: DC-Software Doster & Christmann GmbH, D-81245 München

Eingabedatei: C:\ProgramData\DC-Grundbaustatik\Daten\WEA2\WEA4.dbf

Fundament-Berechnung nach DIN EN 1997-1 (Eurocode 7) und DIN 1054:2010

Erddruck nach DIN 4085:2017

Berechnung mit Nachweisverfahren 2

Kombination mit Teilsicherheitsbeiwerten der Gruppen A1 + M1 + R2

Fundamenttyp: Einzelfundament, kreisförmig

Fundamentabmessungen

Durchmesser d : 24.50 m
 Unterkante : 549.70 mNN
 Höhe h : 1.69 m
 Wichte γ : 25.00 kN/m³
 Geländeoberkante auf 551.70 mNN

Schichtdaten

		Schluff, kiesig	Tonstein1	Tonstein2
Schichthöhe Δh	[m]	0.60	1.40	98.00
Innere Reibung φ'	[°]	27.50	25.00	25.00
Kohäsion c	[kN/m ²]	5.00	20.00	50.00
Wichte Boden γ	[kN/m ³]	19.50	22.00	24.00
Wichte unter Auftrieb γ'	[kN/m ³]	10.00	12.00	14.00
Steifemodul E_s	[MN/m ²]	40.00	100.00	120.00
zul. Bodenpressung	[kN/m ²]		450.00	550.00

Lastfall BS
 1 P

Einzellasten

Lastfall	Kat.	V [kN]	H _x [kN]	H _y [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	x [m]	y [m]	z [m]	γ Grundbau	γ Bemess.	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Eigengew.	G	19953.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	-2.00	1.35	1.35			
1	G	18150.0	1375.0	0.0	14800.0	0.0	0.00	0.00	-0.31	1.35	1.35			

Teilsicherheitsbeiwerte für statisches Gleichgewicht (EQU):

γ -	G, stb	G, dst	Q, dst
BS-P	0.90	1.10	1.50
BS-T	0.90	1.05	1.25
BS-A	0.95	1.00	1.00
BS-T/A	0.93	1.03	1.13

Teilsicherheitsbeiwerte (STR, GEO) für Nachweisverfahren 2

γ -	G	Q	R,v	R,h	γ	φ	c	cu	Ea	E0g	Ep
BS-P	1.35	1.50	1.40	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.35	1.20	1.40
BS-T	1.20	1.30	1.30	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.10	1.30
BS-A	1.10	1.10	1.20	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.10	1.00	1.20
BS-T/A	1.15	1.20	1.25	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.15	1.05	1.25

- γ - Teilsicherheitsbeiwert für ...
- G ständige Lasten
- Q veränderliche Lasten
- R,v Grundbruchwiderstand
- R,h Gleitwiderstand
- γ Wichte
- φ Reibungsbeiwert $\tan \varphi$
- c Kohäsion c
- cu Kohäsion undränert cu
- Ea Aktiver Erddruck
- E0g Ruhedruck
- Ep Passiver Erddruck
- G, stb günstige ständige Lasten
- G, dst ungünstige ständige Lasten
- Q, dst ungünstige veränderliche Lasten

Lastfall-Kombinationen für Grundbaunachweise:

Komb.Nr.	Bem.sit.	Eigengew.	1
1	BS-P	1.00	1.00
2	BS-P	1.00	1.35
3	BS-P	1.35	1.00
4	BS-P	1.35	1.35

Lastfall-Kombinationen für Bemessung:

Komb.Nr.	Eigengew.	1
1	1.00	1.00
2	1.00	1.35
3	1.35	1.00
4	1.35	1.35

Ergebnisse:

Komb.Nr.	Sohl-normalsp. [kN/m ²]	max.Boden- pressung [kN/m ²]	Gleiten T _d /R _d	Grundbr. N _d /R _d	max. Setzung [mm]	e/d ständig	e/d gesamt	EQU: E _{d,dst} /E _{d,stb}
1	184.0	256.8	0.07	0.08	16.6	0.431	0.182	0.001
2	184.0	256.8	0.10	0.09	16.6	0.431	0.182	0.001
3	184.0	256.8	0.07	0.09	16.6	0.431	0.182	0.001
4	184.0	256.8	0.10	0.11	16.6	0.431	0.182	0.001

Maßgebend:

Komb.Nr.	Sohl-normalsp. [kN/m ²]	max.Boden- pressung [kN/m ²]	Gleiten T _d /R _d	Grundbr. N _d /R _d	max. Setzung [mm]	e/d ständig	e/d gesamt	EQU: E _{d,dst} /E _{d,stb}
	184.0	256.8	0.10	0.11	16.6	0.431	0.182	0.001

Nachweis der Lagesicherheit im GZ EQU

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 1, maßgebende Richtung: -y

Lage der Kippkante: (-12.25 m; -2.00 m)

E_{d,dst} = 321.14 kNm ≤ E_{d,stb} = 260550.62 kNm

*** Nachweis erfüllt ***

Nachweis der max. Bodenpressung

Schnittgrößen in der Sohlfuge

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 2

Belastung aus Eigengewicht: V = 19953.5 kN

Belastung aus Erdauflast: V = 3034.8 kN, M_y = 0.0 kNm, M_x = 0.0 kNm

Gesamtlast:

N = 41138.3 kN, Q_x = 1375.0 kN, M_y = 2327.9 kNm, Q_y = 0.0 kN, M_x = 214800.0 kNm

σ_{1(-x)} = 256.8 kN/m², σ_{2(+x)} = 0.0 kN/m²

Ersatzbreiten: b' = 14.06 m, a' = 15.90 m

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 2

(char. Sohlnormalspannung σ_{or,k} = 184.0 kN/m²)

Nachweis mit Bemessungswerten:

σ_{or,d} = 256.5 kN/m² < Bemessungswert Sohlwiderstand σ_{Rd} = 550.0 kN/m²

*** Nachweis erfüllt ***

Nachweis der Gleitsicherheit im Nachweisverfahren 2

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 2, maßgebende Richtung: +x

	Charakteristisch	Bemessungswerte
Belastung T	= 1375.0 kN	1856.3 kN
Erdwiderstand E _{ph} (δ _p = 0)	= 1375.0 kN	982.1 kN
Belastung V	= 41138.3 kN	
Reibungswinkel Sohle δ	= 25.00 °	
Gleitwiderstand R _t	= 19183.1 kN	17439.2 kN
Nachweis: T_d / (R_{t,d} + E_{p,d})	= 0.10 < 1.0	

*** Nachweis erfüllt ***

Nachweis der Grundbruchsicherheit im Nachweisverfahren 2

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 4, maßgebende Richtung: +x

Belastung		Charakteristisch	Bemessungswerte
Auflast P	=	21184.78 kN	28599.45 kN
Eigengewicht G	=	19953.50 kN	26937.22 kN
Gesamtlast V	=	41138.27 kN	55536.67 kN
Horizontallast H	=	1375.00 kN	1856.25 kN
Moment M_y	=	2327.88 kNm	3142.63 kNm
Moment M_x	=	214800.00 kNm	289980.00 kNm
Neigung der Resultierenden $\tan(\delta_s) = H/V$	=	0.03	
Lastrichtung zur Querrichtung ω	=	90.00 °	

Abmessungen

Einbindetiefe d	=	2.00 m
Ersatzbreite b'	=	14.06 m
Ersatzbreite quer a'	=	17.23 m

Ergebnisse

Breite der Grundbruchfigur	=	57.09 m
Tiefe der Grundbruchfigur	=	17.75 m
Maßgebende Bodenkennwerte: γ oberhalb Gründungssohle	=	21.25 kN/m ³
γ unterhalb Gründungssohle	=	24.00 kN/m ³
Reibungswinkel φ	=	25.00 °
Kohäsion c	=	50.00 kN/m ²
Tragfähigkeitsbeiwerte N_c, N_q, N_γ	=	20.72 10.66 4.51
Lastneigungsbeiwerte i_c, i_q, i_γ	=	0.94 0.95 0.92
Formbeiwerte s_c, s_q, s_γ	=	1.47 1.42 0.70

Grundbruchspannung p_d	=	2157.32 kN/m ²
Bemessungswert Grundbruchwiderstand R_d	=	522592.66 kN
Bemessungswert Beanspruchung N_d	=	55536.67 kN

Nachweis: $N_d / R_d = 0.11 < 1.0$

*** Nachweis erfüllt ***

Setzungsberechnung (GZG)

bezogen auf die Bodenpressungen an den kennzeichnenden Punkten:

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 1

Setzung am Randpunkt (-r; 0):	6.6 mm
Setzung am Randpunkt (+r; 0):	6.8 mm
Setzung am Randpunkt (0;-r):	16.6 mm
Setzung am Randpunkt (0;+r):	-3.2 mm (Hebung)

Maximale Setzung:	16.6 mm
Angesetzte Grenztiefe:	13.00 m

Setzung nur aus Normalkraft

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 1

Setzung am Randpunkt (-r; 0):	4.0 mm
Setzung am Randpunkt (+r; 0):	4.1 mm
Setzung am Randpunkt (0;-r):	4.1 mm
Setzung am Randpunkt (0;+r):	4.1 mm

Maximale Setzung:	4.1 mm
Angesetzte Grenztiefe:	8.00 m

Lf-Name	x	y	z	Hx	Hy	Vz	Mx	My	Typ
1	0.00	0.00	-0.31	1375.00	0.00	18150.00	214800.00	0.00	S

Aushub 1
551.70

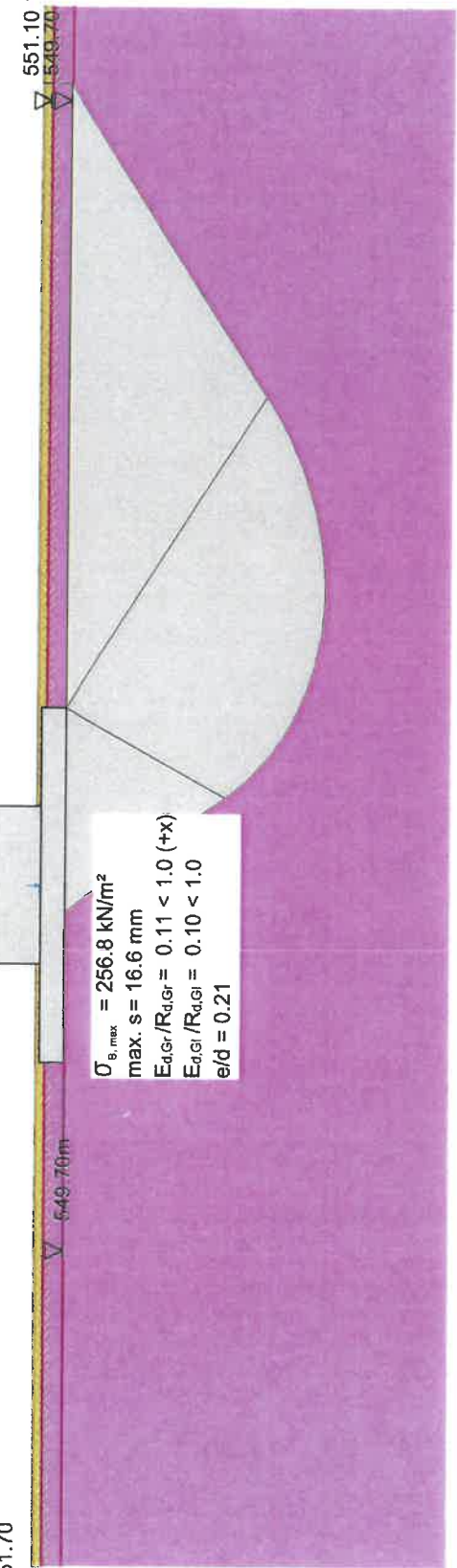
551.10 ∇ + 551.70
549.70 ∇

$\sigma_{B,max} = 256.8 \text{ kN/m}^2$
 max. s = 16.6 mm
 $E_{d,gr}/R_{d,gr} = 0.11 < 1.0 (+x)$
 $E_{d,gl}/R_{d,gl} = 0.10 < 1.0$
 e/d = 0.21

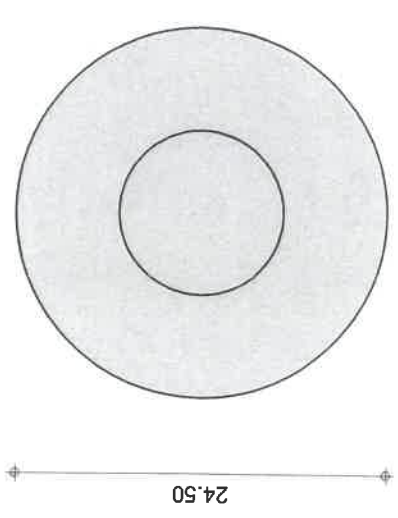
Schluff, kiesig
 $\varphi = 27.5^\circ$
 $c = 5.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma\gamma' = 19.5/10.0 \text{ kN/m}^3$

Tonstein1
 $\varphi = 25.0^\circ$
 $c = 20.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma\gamma' = 22.0/12.0 \text{ kN/m}^3$

Tonstein2
 $\varphi = 25.0^\circ$
 $c = 50.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma\gamma' = 24.0/14.0 \text{ kN/m}^3$



24.50



LF-Name	x	y	z	Hk	Hv	Vz	Mx	My	Typ
1	0.00	0.00	-0.31	1375.00	0.00	18150.00	214800.00	0.00	S

Aushub 1
551.70



551.10 ▽ + 551.70

▽ 549.70m

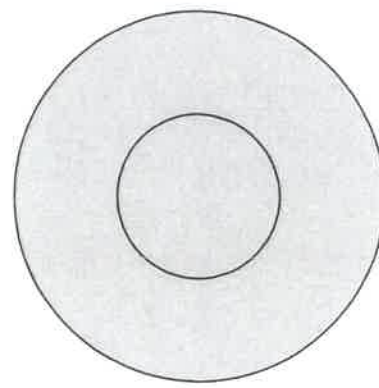
$\sigma_{B,max} = 256.8 \text{ kN/m}^2$
 max. s = 16.6 mm
 $E_{d,Gr}/R_{d,Gr} = 0.11 < 1.0 (+x)$
 $E_{d,GI}/R_{d,GI} = 0.10 < 1.0$
 e/d = 0.21

Schluff, kiesig
 $\phi = 27.5^\circ$
 $c = 5.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma/\gamma' = 19.5/10.0 \text{ kN/m}^3$

Tonstein1
 $\phi = 25.0^\circ$
 $c = 20.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma/\gamma' = 22.0/12.0 \text{ kN/m}^3$

Tonstein2
 $\phi = 25.0^\circ$
 $c = 50.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma/\gamma' = 24.0/14.0 \text{ kN/m}^3$

24.50



24.50



GEOTECHNIK GmbH

Prof. Dr. -Ing. Herrmann & Partner

Lammelbach 5

91567 Herrieden

Web: www.geotechnik-gmbh.com
e-mail: GEOTECHNIK_GmbH@t-online.de

Büro 2: Hans-Böckler-Straße 1
57223 Kreuztal – Buschhütten

Büro 1: Lammelbach 5
91567 Herrieden

Telefon: 09825 – 9 34 13
09825 – 9 34 14
Telefax: 09825 – 9 34 15

Funktelefon 1: 0170 – 4751946
Funktelefon 2: 0170 – 5533881

Telefon: 02732 – 55 28 26
Telefax: 02732 – 55 28 27

Windpark Ohrenbach Windenergieanlage WEA 5

**Vestas Typ V162 6,0MW
169 m Nabhöhe
in 57319 Bad Berleburg**

**Auftraggeber:
Krug Energie GmbH & Co. KG
35117 Münchhausen**

**Ergebnisse
der geotechnischen Untersuchungen
- Baugrund- / Gründungsgutachten -**

Auftraggeber:	Firma Krug Energie GmbH & Co. KG Dorfstraße 53 35117 Münchhausen-Wollmar
Projekt:	Windpark Ohrenbach, Windenergieanlage WEA 5 Fa. Vestas Typ V162 6,0MW, 169 m Naben- höhe bei Bad Berleburg 57319 Bad Berleburg
Auftrag:	Geotechnische Untersuchungen - Baugrund-/Gründungsgutachten (Geotechnischer Bericht nach DIN 4020)
Ihre Zeichen:	Herr Hans-Hermann Zacharias Auftrag vom 27.05.2021 (E-Mail)
Unsere Zeichen:	GEO-210129/4
Bearbeitung:	Dipl.-Ing. (FH) Thorsten Lauber Univ.-Prof. Dr.-Ing. Richard A. Herrmann
Lammelbach,	den 22.10.2021

Inhaltsverzeichnis:		Seite
1	Vorgang	4
2	Allgemeines	4
3	Geotechnische Untersuchungen	6
4	Geologie und Morphologie	14
5	Baugrundbeurteilung	15
6	Gründungsempfehlungen	16
7	Zusammenfassung und Schlussbemerkungen	30

Anlagen:

Anlage 1:	Lageplan der Aufschlüsse
Anlagengruppe 2:	Darstellung des direkten Aufschlusses Bohrung BK WEA 5 (nach DIN EN ISO 22475-1) - Bohrprofil (Anlage 2.1) - Bilddokumentation (Anlage 2.2 - 2.3)
Anlagengruppe 3:	Darstellung der indirekten Aufschlüsse Ergebnisse der schweren Rammsondierungen WEA5-DPH-1 bis WEA5-DPH-5 - (Anlage 3.1 - 3.10)
Anlage 4:	Abwicklung des direkten Aufschlusses und der indirekten Aufschlüsse
Anlagengruppe 5:	Ergebnisse der felsmechanischen Laborversuche Punktlastversuche und Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit an Festgesteinsproben - (Anlage 5.1 - 5.5)
Anlagengruppe 6:	Fundamentberechnung - Sohlspannung, Setzung, Grundbruch, Gleiten u.a. - (Anlage 6.1 - 6.10)

1 Vorgang

Die Firma Krug Energie GmbH & Co. KG als Bauherr und Investor, vertreten durch Herrn Hans-Hermann Zacharias beauftragte uns am 27.05.2021 mit der Durchführung von geotechnischen Untersuchungen und der Ausarbeitung von Baugrund-/Gründungsgutachten (Geotechnischer Bericht nach DIN 4020) für die Errichtung von 8 Windenergieanlagen (WEA 2 – WEA 9) im Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg.

Grundlage der Beauftragung ist unser Kostenangebot vom 29.01.2021.

2 Allgemeines

Das Bauvorhaben sieht nach den vorliegenden Planunterlagen den Bau von insgesamt 8 Windenergieanlagen der Firma Vestas Wind Systems A/S, DK-8200 Aarhus vom Typ V162, 6,0 MW mit einer Nabenhöhe von 169 m vor. Der Hybridturm aus einem ca. 74,76 m hohen Stahlrohrturm über einem ca. 89,09 m hohen Spannbetonschaft steht auf einer kreisförmigen Fundamentplatte mit einem Durchmesser von 24,5 m. Das Fundament weist eine Höhe von 2,90 m auf und wird auf einer ca. 10 cm dicken Sauberkeitsschicht hergestellt. Im Zentrum des Fundamentes wird mit einem Durchmesser von 4,4 m eine Weichschicht mit $d = 5$ cm auf der Sauberkeitsschicht eingebaut und zusätzlich außerhalb des Sockels mit einer Breite von 2 m eine Weichschicht $d = 15$ cm in die Sauberkeitsschicht eingebaut.

Der Windpark Ohrenbach befindet sich südöstlich der Stadt Bad Berleburg im Waldgebiet zwischen den Einzelgehöften Lützelbach/Steinbach im Nordwesten, den Dörfern Arfeld im Südwesten, Schwarzenau mit dem Oberen Hüttental im Südosten und dem Hof Brücher im Nordosten. Neben den geplanten 8 Anlagen erfolgen benachbart für 4 bereits genehmigte Anlagen der Eder Energy Erdarbeiten für die Erschließung und Baufeldvorbereitung.

Das Gelände wird von den Erhebungen des Großen Prenzenberger Kopfes (653 mNN) im Nordwesten, Ohrenbachsrücken (593 mNN) im Südwesten, dem Hahnschuß (600 mNN) im Südosten, der Schlade Seite (635 mNN) im Osten und dem Nesselbergskopf (671 mNN) im Nordosten geprägt und dazwischen hat sich das Arfetal in das Gelände eingeschnitten.

Der Standort der WEA 5 mit den Mittelpunktkoordinaten im ETRS/UTM 32N-System von Re 459443 und Ho 5653472 und einer Höhe von ca. 549,4 mNHN (im Zentrum) liegt westlich

des Ohrenbachsrücken (Erhebung mit 593 mNHN) an einer Hangkante am Übergang zum nach Nordwesten zum Bilzterbach abfallenden Hang im südwestlichen Randbereich des geplanten Windparks.

Das Baugrundstück befindet sich an einer Kahlschlag-Fläche und im Fundamentbereich verläuft ein Waldwirtschaftsweg an.

Zur Bearbeitung des Baugrund-/Gründungsgutachtens und als Vorinformation zum Bauvorhaben wurden uns bisher folgende Planunterlagen zur Verfügung gestellt:

- **Prüfbericht für eine Typenprüfung „Prüfung der Standsicherheit - Hybridturm T20“**, Prüfnr.: 3108363-13-d (15 Seiten [mit Anlagen]), aufgestellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Prüfamts für Standsicherheit für die bautechnische Prüfung von Windenergieanlagen, 80686 München, am 17.02.2020
- **Prüfbericht für eine Typenprüfung „Prüfung der Standsicherheit - Flachgründung“**, Prüfnr.: 3108363-23-d, (201 Seiten [mit Anlagen]), aufgestellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Prüfamts für Standsicherheit für die bautechnische Prüfung von Windenergieanlagen, 80686 München, am 17.02.2020
- **Gutachterliche Stellungnahme für Lastannahmen zur Turmberechnung der Vestes V162-5.6 MW mit 169 m Nabenhöhe (Hybrid-Turm, Entwurfslebensdauer 20 Jahre) für Windzone WZ2GK2 (S)**, Berichts-Nr. L-05629-A052-3 Rev. 1, (243 Seiten [mit Anlagen]), aufgestellt von DNV GL Energy Renewables Certification, Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH, 20457 Hamburg, am 05.02.2020
- **Plan „Übersichtsplan 1/2, Übersicht WEA 2 - 6 [Planung]**, M.: 1:5000, aufgestellt von Windenergie Wenger-Rosenau GmbH & Co. KG, 16816 Neuruppin, gezeichnet am 29.07.2021
- **Plan „Übersicht 8 WEA [Entwurf]**, M.: 1:10000, aufgestellt von Windenergie Wenger-Rosenau GmbH & Co. KG, 16816 Neuruppin, gezeichnet am 20.04.2021
- **Koordinatenliste der Anlagen-Mittelpunkte**, Stand: 01.06.2021
- **Liste „Geländehöhen der Anlagen-Mittelpunkte“**, übermittelt von Dipl.-Ing. Burghaus, ÖbVI, Stand: 14.10.2021, Messgenauigkeit ca. $\pm 10 - 15$ cm

3 Geotechnische Untersuchungen

3.1 Allgemeines

Die geotechnischen Untersuchungen des Baugrundes und der örtlichen Situation für die geplante Errichtung der Windenergieanlage WEA 5 im Windpark Ohrenbach wurden am 05.06.2021 mit der Durchführung von fünf schweren Rammsondierungen DPH nach DIN EN ISO 22476-2 zur Ermittlung der relativen Baugrundfestigkeiten sowie zur Abgrenzung eines vorhandenen Grenzhorizontes begonnen. Die Felduntersuchungen wurden am 22.-23.06.2021 mit dem Niederbringen einer Bohrung nach DIN EN ISO 22475-1 Tabelle 2 + 5 zur Schaffung eines *direkten* Baugrundaufschlusses und der Wiederverfüllung des Bohrloches abgeschlossen.

Die Bohrung wurde zur Schaffung eines direkten Baugrundaufschlusses mit der Gewinnung durchgehend gekernter Boden- und Felsproben und damit zur Beurteilung der Baugrundverhältnisse im Bereich der geplanten neuen Windenergieanlage abgeteuft. Die Rammsondierungen dienten zur Ermittlung geotechnischer insitu Kenngrößen nach DIN EN 1997-2, aus denen geotechnische Kennwerte für die Bemessung nach DIN EN 1997-1 abgeleitet werden, sowie zur Abgrenzung von Festigkeits- und Grenzhorizonten.

Die Festlegung der Bohr- und Sondierpunkte wurde in Anlehnung an die DIN 4020 und die örtlichen Gegebenheiten an definierten Punkten in Form eines Rasters (hier zentralsymmetrische Anordnung) ausgewählt, um eine flächenhafte Erkundung des Baugrundes im Bereich des Turmfundamentes zu erzielen.

Die geodätische Einmessung der einzelnen Aufschlusspunkte bzw. der Ansatzhöhen erfolgte mit einer GPS-Vermessung. Die Ansatzhöhen sind auf das Normalhöhennull (mNHN) im System des Deutschen Haupthöhennetzes (DHHN 2016) bezogen.

Die Lage der durchgeführten Untersuchungen im Bereich des Baugrundstückes wurde mit den Orten der Bohrung und Sondierungen auf dem Grundriss des Baugeländes eingemessen. Diese Einmessung wurde in einem Lageplan dargestellt und ist dem Baugrund-/ Gründungsgutachten als **Anlage 1** beigefügt. Als Grundplan diente ein Auszug aus dem Plan „Übersichtsplan 1/2, Übersicht WEA 2 - 6 [Planung] des Büros Windenergie Wenger-Rosenau GmbH & Co. KG, 16816 Neuruppin.

3.2 Direkter Aufschluss mit einer Bohrung nach DIN EN ISO 22475-1

Bohrung BK WEA 5

Die Bohrung BK WEA 5 wurde von dem von der Firma Krug Energie direkt beauftragten Bohrunternehmen Stölben GmbH, 56856 Zell/Mosel, mit Bohrverfahren nach Tabelle 2 und 5 der DIN EN ISO 22475-1 abgeteuft. Der Bohrpunkt für BK WEA 5 wurde ca. 1 m neben dem Zentrum des geplanten Fundamentes der Windenergieanlage festgelegt. Die Bohrung wurde als Rammkernbohrung mit Einfachkernrohr im Überlagerungsbereich im Trockenbohrverfahren und als Rotationskernbohrung im Felsbereich mit Wasserspülung mit dem Doppelkernrohr abgeteuft und wurde bei einer Bohrtiefe von 12 m planmäßig beendet. Das Spülwasser wurde aus dem Trinkwassernetz in Bad Berleburg entnommen und mit einem Wasserfass zur Bohrstelle transportiert.

Die Lage der Bohrung ist im Lageplan der **Anlage 1** dargestellt.

Bohrung BK WEA 5

Die Bohrung BK WEA 5 wurde ca. 1 m neben dem Mittelpunkt des geplanten Kreisringfundamentes der Windenergieanlage WEA 5 niedergebracht. Der Oberboden war im Bereich um das Zentrum der Anlage mit der Herstellung einer Arbeitsebene für das Bohrgerät bereits abgetragen worden.

Bohrung BK WEA 5 (Ansatzpunkt = 549,40 mNHN)

Die Bohrung BK WEA 5 ergab folgendes Bohrprofil:

- | | |
|---------------|--|
| 0,00 – 0,25 m | Oberboden: Schluff, feinsandig, organisch, steif, Grasnarbe, Wurzeln, dunkelbraun |
| 0,25 – 0,50 m | Schluff, stark kiesig, steif, braun |
| 0,50 – 1,25 m | Tonstein, stark verwittert, dünnplattig, stark klüftig, schlechte – mäßige Kornbindung, dicht, nichtkörnig, grau |

- 1,25 – 2,00 m Tonstein, mäßig verwittert, plattig, klüftig, mäßige - gute Kornbindung, dicht, nichtkörnig, grau
- 2,00 – 2,20 m Tonstein, schiefrig, stark verwittert, schlechte Kornbindung, dicht, nichtkörnig, grau
- 2,20 – 3,20 m Tonstein, mäßig verwittert, plattig, klüftig, mäßige bis gute Kornbindung, dicht, nichtkörnig, grau
- 3,20 – 3,90 m Tonstein, schwach verwittert, plattig bis bankig, klüftig, gute – sehr gute Kornbindung, dicht, nichtkörnig, schräg geklüftet, schwarzgrau
- 3,90 – 4,00 m Tonstein, schiefrig, mäßig verwittert, gute Kornbindung, dicht, nichtkörnig, schwarzgrau
- 4,00 – 7,00 m Grauwacke, schwach verwittert, dickplattig, bis bankig, gute Kornbindung, dicht nichtkörnig, grau-dunkelgrau
- 7,00 – 9,30 m Grauwacke, frisch, gute – sehr gute Kornbindung, dicht, nichtkörnig, grau-dunkelgrau
- 9,30 – 10,00 m Tonstein, schwach verwittert, plattig bis bankig, gute Kornbindung, dicht, nichtkörnig, tonige Kluffüllungen, schräg geklüftet, dunkelgrau
- 10,00 – 10,45 m Tonstein, schiefrig, stark verwittert, schlechte – mäßige Kornbindung, dicht, nichtkörnig, dunkelgrau
- 10,45 – 11,00 m Grauwacke, schwach verwittert, plattig bis bankig, gute Kornbindung, vertikal-schräg geklüftet, grau
- 11,00 – 11,40 m Tonstein, stark verwittert, blättrig bis dünnplattig, mäßige – gute Kornbindung, dicht, nichtkörnig, vertikal geklüftet, schwarzgrau
- 11,40 – 12,00 m Grauwacke, frisch, sehr gute Kornbindung, dicht, schräg geklüftet, grau-dunkelgrau

- Ein Grund-/Schichtenwasser wurde im Bohrloch der Bohrung BK WEA 5 im Beobachtungszeitraum nicht festgestellt.

Die Bohrung BK WEA 5 wurde planmäßig in einer Tiefe von 12,00 m unter GOF bei 537,40 NHN beendet. Das Bohrloch wurde nach Beendigung der Bohrarbeiten mit hoch quellaktivem Tongranulat verfüllt.

Die Ergebnisse des direkten Aufschlusses (Bohrung BK WEA 5) sind in der **Anlage 2.1** als Bodenprofil nach DIN 4023 dargestellt.

3.3 Indirekte Aufschlüsse mit Rammsondierungen nach DIN EN ISO 22476-2

Rammsondierungen DPH

Die Lage der Sondierpunkte ist im Lageplan der **Anlage 1** dargestellt.

Schwere Rammsondierungen DPH-1 bis DPH-5

Zur Ermittlung der Baugrundfestigkeiten und zur Abgrenzung der Verwitterungshorizonte (Überlagerung) sowie des Grenzhorizontes wurden im Bereich des Baugrundstücks fünf schwere Rammsondierungen DPH nach DIN EN ISO 22476-2 durchgeführt. Die Rammsondierungen dienen zur Ermittlung geotechnischer insitu Kenngrößen nach DIN EN 1997-2, aus denen geotechnische Kennwerte für die Bemessung nach DIN EN 1997-1 abgeleitet werden, sowie zur Abgrenzung von Festigkeits- und Grenzhorizonten.

Die Rammsondierungen DPH wurden im Zentrum und in einem Radius von 12,25 m um das Zentrum der geplanten Windenergieanlage absondiert und waren mit Rammwiderständen $N_{10} \geq 50$ Schläge pro 10 cm Eindringung planmäßig zu beenden.

Die Sondierungen ergaben oberflächennah bis in eine Tiefe von 0,2 bis 0,9 m eine Zone mit sehr geringen bis geringen Rammwiderständen mit 1 bis 4 (Schlägen pro 10 cm Eindringung)*. Nachfolgend wurde ein Anstieg zunächst auf mittlere Schlagzahlen und ab Tiefen von 0,7 bis 1,1 m eine weitere Zunahme auf höhere Sondierwiderstände ($N_{10} \geq 10^*$)

gemessen. Darunter folgte ein steiler treppenförmiger Anstieg der Rammwiderstände, bevor die Sondierungen DPH-1 bis DPH-5 in einer Tiefe von 0,9 bis 1,3 m am Grenzhorizont, ausgewiesen mit $N_{10} \geq 50^*$ beendet wurden.

Die Sondierungen DPH-1 bis DPH-5 wurden bei ca. 547,1 bis 549,1 mNHN mit Erreichen des Grenzhorizontes beendet.

In der Zusammenfassung lassen sich der direkte und die indirekten Aufschlüsse wie folgt bewerten:

In Verbindung mit dem direkten Aufschluss sind die unter dem Oberboden gemessenen sehr geringen bis geringen Rammwiderstände auf stark kiesige Schluffe in steifer Konsistenz zurückzuführen. Der Anstieg der Sondierwiderstände auf höhere N_{10} -Werte ist mit dem Erreichen des Verwitterungshorizontes des Styliolinenschiefers in Form von stark verwitterten Tonsteinen, plattig, stückig, mit mäßiger und nachfolgend er bis guter Kornbindung verbunden. Den Grenzhorizont der Sondierungen bilden die darunter erkundeten mäßig und schwach verwitterten Tonsteine, plattig/schirfrig, mit mäßiger bis guter und guter bis sehr guter Kornbindung. Im tieferen Untergrund folgt der Übergang zum Oberen Quarzit mit schwach verwitterter/frischer Grauwacke, dickplattig/bankig, mit guter bis sehr guter Kornbindung.

In der nachfolgenden Tabelle werden die Koten für die Rammwiderstandshorizonte mit $N_{10} \geq 10$ und $N_{10} \geq 50$ für den Bereich des geplanten Fundamentes dargestellt.

Tabelle 3.3-1: Höhenkoten Rammwiderstandshorizont $N_{10} \geq 10$ und $N_{10} \geq 50$ [Schläge/10 cm]

DPH	Höhenkote Sondieransatzpunkt	Höhenkote (Tiefe u. ASP) RW-Horizont $N_{10} \geq 10$ [Schläge/10 cm]	Höhenkote (Tiefe u. ASP) RW-Horizont $N_{10} \geq 50$ [Schläge/10 cm]
Nr.	mNHN	mNHN (m)	mNHN (m)
DPH-1	549,38	548,68 (0,7)	548,38 (1,0)
DPH-2	548,61	547,51 (1,1)	547,41 (1,2)
DPH-3	549,96	549,06 (0,9)	548,86 (1,1)
DPH-4	550,03	549,23 (0,8)	549,13 (0,9)
DPH-5	548,38	547,58 (0,8)	547,08 (1,3)

Die Ergebnisse der schweren Rammsondierungen sind in der **Anlagengruppe 3** (Anlagen 3.1 - 3.10) in Form von Sondierprotokollen und Rammdiagrammen nach DIN EN ISO 22476-2 zusammengestellt.

3.4 Laboruntersuchungen

Die bei der Kernbohrung BK WEA 5 gewonnenen Bohrkern aus dem Oberen Quarzit wurden zur Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit an das Labor FeBoLab GmbH, 91747 Westheim übergeben.

3.4.1 Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit q_u nach DIN 18141-1

Die einaxiale Druckfestigkeit q_u wurde nach DIN 18141-1 (nach DGGT-Empfehlung Nr. 1) bestimmt.

Die Ergebnisse sind nachfolgend und tabellarisch in der **Anlage 5.5** dargestellt.

Tabelle 3.4-1: Einaxiale Druckfestigkeit q_u

Bohrung (Nr.)	Probe Nr.	Entnahmetiefe [m]	Feuchtdichte [t/m ³]	Einaxiale Druckfestigkeit [MN/m ²]
BK WEA 5	10/12	7,50 - 7,70	2,627	9,121

Die untersuchte Grauwacke weist eine Feuchtdichte von 2,627 [t/m³] und eine einaxiale Druckfestigkeit von 9,121 [MN/m²] auf. Die Stauchung beim Bruch betrug 0,65 %. Der Belastungsmodul B wurde mit 1801 MN/m² ermittelt.

3.4.2 Ermittlung der einaxialen Druckfestigkeit q_u mittels Punktlastversuchen gemäß den Empfehlungen Nr. 5 der DGGT

Die Ermittlung der einaxialen Druckfestigkeit q_u wurde über Korrelationsbeziehungen aus Punktlastversuchen gemäß den Empfehlungen Nr. 5 der DGGT durchgeführt. Die Ergebnisse der Punktlastversuche sind mit der Angabe der Probenabmessungen, der Bruchlast und den mit Korrelationsbeziehungen errechneten Punktlastindex $I_{s(50)}$ der Felsproben tabellarisch dargestellt (siehe auch Versuchsprotokoll in der **Anlage 5.1 - 5.4**).

Tabelle 3.4-2: Punktlastindex $I_{s(50)}$

Aufschluss Bohrung (Nr.)	Entnahmetiefe unter Ansatzpunkt [m]	Punktlastindex $I_{s(50)}$ [MN/m²]
BK WEA 5	6,00 - 6,20	1,436 (s) 0,884 (p)
BK WEA 5	6,20 - 6,30	1,403 (s) 0,517 (p)
BK WEA 5	6,30 - 6,50	0,645 (s) 0,245 (p)
BK WEA 5	6,50 - 6,70	2,209 (s) 1,167 (s)
BK WEA 5	6,70 - 6,90	2,401 (s) 0,675 (p)
BK WEA 5	6,90 - 7,00	0,414 (s) 0,163(p)
BK WEA 5	7,00 - 7,20	1,959 (s) 0,702 (p)
BK WEA 5	7,20 - 7,30	1,595 (s) 0,605 (p)
BK WEA 5	7,30 - 7,50	1,627 (s) 0,494 (p)
BK WEA 5	7,70 - 7,90	3,417 (s) 0,850 (p)
BK WEA	7,90 - 8,00	2,050 (s) 0,568 (p)

Die untersuchte Grauwacke weist im Punktlastversuch unter Ansatz des Korrekturdiagramms der BAW (Korrekturfaktor = 20) eine einaxiale Druckfestigkeit q_u von 9 bis 68 [MN/m²] (senkrechte Belastungsrichtung) bzw. 3 bis 23 [MN/m²] (parallele Belastungsrichtung) auf.

Das Ergebnis der Laboruntersuchungen ist in Form von Versuchsprotokollen in der **Anlagegruppe 5** (Anlage 5.1 - 5.5) diesem Baugrund-/Gründungsgutachten beigefügt.

4 Geologie und Morphologie

4.1 Allgemeine Geologische Situation

Die Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen, Blatt Nr. 4916 Bad Berleburg weist für das Baugelände der WEA 5 die Styliolinschiefer- und Sandstein-Folge der Givet-Stufe des Mitteldevon und benachbart den Oberen Quarzit der Eifel-Stufe aus. Westlich angrenzend ist eine Störungszone ausgewiesen. Das Gebirge ist hier gefaltet und die Schichten fallen mit einem Winkel von ca. 50° nach Norden ein.

Die durchgeführten geotechnischen Untersuchungen stehen in Einklang mit der geologischen Karte und zeigen, dass am Standort der WEA 5 eine Überdeckung des Styliolinschiefer über dem Oberen Quarzit ansteht. Die Styliolinschiefer und -Sandstein-Folge besteht aus Tonstein, geschiefert, dunkel- bis grüngrau und schwarz, teils mit Styliolinen und Tentaculiten; Sandstein, grau bis grüngrau, z.T. stark karbonatisch, mit Sedimentstrukturen und örtlich reich an Styliolinen und bildet in diesem Bereich das Liegende.

4.2 Erdbebenzone

Das Baugrundstück befindet sich in der Erdbebenzone 0 nach DIN EN 1998-1/NA. Für die Erdbebenzone 0 ist der Grad der Erdbebengefährdung als so gering einzuschätzen, dass ein Nachweis der Standsicherheit für den Lastfall Erdbeben nicht erforderlich ist.

4.3 Morphologie

Der Windpark Ohrenbach befindet sich südöstlich der Stadt Bad Berleburg im Waldgebiet zwischen den Einzelgehöften Lützelbach/Steinbach im Nordwesten, den Dörfern Arfeld im Südwesten, Schwarzenau mit dem Oberen Hüttental im Südosten und dem Hof Brücher im Nordosten. Neben den geplanten 8 Anlagen erfolgen benachbart für 4 bereits genehmigte Anlagen der Eder Energy Erdarbeiten für die Erschließung und Baufeldvorbereitung.

Das Gelände wird von den Erhebungen des Großen Prenzenberger Kopfes (653 mNN) im Nordwesten, Ohrenbachsrücken (593 mNN) im Südwesten, dem Hahnschuß (600 mNN) im Südosten, der Schlade Seite (635 mNN) im Osten und dem Nesselbergskopf (671 mNN) im Nordosten geprägt und dazwischen hat sich das Arfetal in das Gelände eingeschnitten.

Der Standort der WEA 5 liegt etwa 500 m westlich des Ohrenbachsrücken (Erhebung) an einer Hangkante am Übergang zum nach Nordwesten zum Bilzterbach abfallenden Hang im südwestlichen Randbereich des geplanten Windparks. Die Hangneigung beträgt am Anlagenstandort ca. 4 ° und im nach Nordwesten angrenzenden Hang ca. 15°.

5 Baugrundbeurteilung

Die geotechnischen Untersuchungen zeigen, dass unter dem Wald-/Oberboden bis in eine Tiefe von ca. 0,5 m Schluff, stark kiesig, in steifer Konsistenz ansteht. Darunter folgen stark verwitterte Tonsteine, dünnplattig bis plattig, stückig, mit mäßiger bis guter Kornbindung. Nachfolgend wurden ab 1,25 m mäßig verwitterte Tonsteine, plattig, klüftig, mit mäßiger bis guter Kornbindung erbohrt, die den Grenzhorizont der Sondierungen bilden. Im weiteren Schichtenverlauf folgen von 2,0 bis 2,2 m Tonsteine, stark verwittert mit schlechter Kornbindung, denen bis 3,2 m mäßig verwitterte Tonsteine und zwei Schichten von Tonstein, schwach verwittert und mäßig verwittert folgen. Ab 4,0 m wird der Horizont der Grauwacke (Feinsandstein), schwach verwittert, tiefer frisch erreicht, der ab 9,3 m eine Wechselfolge aus Tonstein, schwach verwittert und Grauwacke, schwach verwittert bis zum Ende Bohrung bei 12 m folgte.

Die Tonsteine in Form der Styliolinenschiefer stellen in den Zonen mit höheren Sondierwiderständen einen ausreichend bis gut tragfähigen Baugrund für die Gründung der Windkraftanlage und am bzw. unterhalb dem Grenzhorizont der Sondierungen einen gut tragfähigen Baugrund für die Gründung der Windkraftanlage dar. Der Grenzhorizont der Sondierungen weist aufgrund der Hanglage eine Höhendifferenz von ca. 2,0 m innerhalb der Fundamentfläche auf.

Ein Grund-/Schichtenwasser wurde im Bohrloch der Bohrung BK WEA 5 -im Zeitraum der Grundwasserbeobachtung- nicht festgestellt.

6 Gründungsempfehlungen

6.1 Gründungsvariante

Gründung der Windkraftanlage mit einem Kreisfundament auf dem Tonsteinhorizont des Styliolinenschiefer

Allgemeines

Das Gelände im Bereich der geplanten Windenergieanlage WEA 5 fällt nach Nordwesten von ca. 550,0 mNHN auf 548,4 mNHN um ca. 1,6 m ab. Daraus resultiert eine Hangneigung von ca. 4°. Die Geländehöhe im Zentrum der Anlage beträgt ca. 549,4 mNHN.

Für die Gründung der Windenergieanlage wird auf der Grundlage der Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen und der Hangsituation eine Gründungskote (UK Sauberkeitsschicht) bei ca. 547,2 mNHN empfohlen. Diese Kote liegt ca. 1,2 bis 2,8 m unter der derzeitigen Geländeoberfläche.

Die empfohlene Gründungskote liegt nach den Ergebnissen der geotechnischen Untersuchungen vorwiegend in mäßig verwitterten Tonsteinen auf der Ebene des Grenzhorizont der Sondierungen.

Besondere Maßnahmen, wie ein Bodenaustausch u.a. wird auf der Grundlage der vorliegenden geotechnischen Untersuchungen nicht erforderlich.

Wichtiger Hinweis:

Aus dem Ergebnis der Sohlabnahme können sich z.B. infolge von Störungszonen u.a. lokale Anpassungen zur Gründung ergeben.

Ein Grund-/Schichtenwasser wurde bei der Bohrung BK WEA 5 im Beobachtungszeitraum nicht festgestellt. Zur Wasserhaltung im Bauzustand und Sicherung gegen Aufschwimmen im Endzustand wird in Verbindung mit der Gefällesituation der Einbau einer drucklosen, wartungsfreien Dränage empfohlen, siehe nachfolgende Empfehlungen.

Nach dem vorliegenden Prüfbericht für eine Typenprüfung „Prüfung der Standsicherheit - Flachgründung“ zur geplanten Windenergieanlage vom Typ Vestas V162, 6,0 MW mit einer Nabenhöhe von 169 m kann die Gründung als Flachgründung mit einem Kreisfundament mit einem Durchmesser D_A von 24,5 m erfolgen, wobei der höchste, für den Auftrieb maßgebende Wasserstand bei 0,24 m über Fundamentunterkante liegen darf.

Im genannten Prüfbericht werden für den Baugrund folgende Anforderungen gestellt:

3.3 Baugrund

Die Mindestwerte der dynamischen und statischen Drehfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Fundament betragen gemäß Dokument [4] $k_{\varphi,dyn} \geq 95 \text{ GNm/rad}$ und $k_{\varphi,stat} \geq 40 \text{ GNm/rad}$.

Der höchste für den Auftrieb maßgebende Wasserstand liegt bei 0,24 m über Fundamentunterkante.

...

Auflagen

Baugrund

1. *Die vorhandenen Bodenkennwerte, die Zuordnung des Bodens zu Expositionsklassen nach DIN EN 1992-1-1/3/3 und der höchste für den Auftrieb maßgebende Wasserstand sind für den jeweiligen Standort zu ermitteln und im geotechnischen Untersuchungsbericht zu beschreiben.*
2. *Grundbautechnische Berechnungen sind im Rahmen des geotechnischen Entwurfsberichts durchzuführen. Die Schnittgrößen an Fundamentunterkante sind in [2] angegeben.*
3. *Die Mindestwerte der dynamischen und statischen Drehfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Fundament gemäß Abschnitt 3.3 müssen für den jeweiligen Standort nachgewiesen werden. Dabei kann das Fundament in guter Näherung als Starrkörper angenommen werden.*
4. *Die im geotechnischen Entwurfsbericht angenommenen Baugrundverhältnisse sind beim Baugrubenaushub vom Bodengutachter zu überprüfen und zu bestätigen. Vor Aufbringen der Sauberkeitsschicht ist die Tragfähigkeit der Baugrubensohle durch den Bodengutachter zu bestätigen.*

Zum Schutz der Gründungssohle vor Witterungseinflüssen ist die Sauberkeitsschicht unmittelbar nach dem Aushub und ggf. einem teilweisen Bodenaustausch (beim Vorhandesein einer Störungszone) und einer Abnahme durch den geotechnischen Sachverständigen einzubauen.

Nach dem das Fundament nicht in das ständige Grundwasser eintaucht, tritt kein Betonangriff aus dem Grundwasser auf das Fundament auf und der Fundamentbeton kann für die Expositionsklasse XA 0 ausgelegt werden.

**Bemessungswert des Sohlwiderstandes nach DIN EN 1997-1 (EC 7-1)/
DIN 1054:2010-12**

Für die Gründungssohle auf den mäßig verwitterten Tonsteinen der Styliolinenschiefer kann der Sohlwiderstand wie nachfolgend angegeben angesetzt werden:

Kreisfundament

$$\sigma_{R,d} \leq 500^* \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

mit

- $d \geq 1,2$ [m] Einbindetiefe unter GOF; DPH-N₁₀ $\geq 20^*$
- Gründungskote: Tonstein, mäßig verwittert;
- Frostsicherheit und Geländeanschüttung $h \geq 2$ m

Der angegebene Sohlwiderstand stellt bei der Gründung den maximalen Sohlwiderstand dar.

*) Anmerkung:

Dies entspricht einer zulässigen Sohlspannung $\sigma_{k,vorh}$ von ca. 357 [kN/m²] nach DIN 1054:2005-01.

Wichtiger Hinweis:

Der Bemessungswert des Sohlwiderstandes stellt keine zulässige Sohlspannung nach DIN 1054:2005 oder früheren Ausgaben der DIN 1054 dar!

Nachweisverfahren nach DIN 1054:2010-12 in Verbindung mit EC 7

Es ist nachzuweisen, dass die Bemessungswerte $\sigma_{E,d}$ der Sohldruckbeanspruchung höchstens so groß sind wie die Bemessungswerte $\sigma_{R,d}$ des Sohlwiderstands: $\sigma_{E,d} \leq \sigma_{R,d}$

Der Bemessungswert der Sohldruckbeanspruchung ergibt sich aus der ungünstigsten Einwirkungskombination. Hierfür kommen folgende Wege in Frage:

- Sofern die Schnittgrößen mit charakteristischen bzw. repräsentativen Werten der Einwirkungen ermittelt wurden, ergibt sich $\sigma_{E,d}$ aus den charakteristischen bzw. repräsentativen Vertikalbeanspruchungen $N_{G,k}$ und $N_{Q,k}$ bzw. $N_{Q,rep}$, multipliziert mit den Teilsicherheitsbeiwerten γ_G und γ_Q für Grenzzustände GEO und das Nachweisverfahren 2 (GEO-2).
- Sofern die Schnittgrößen mit Bemessungswerten der Einwirkungen ermittelt wurden, ergibt sich der Bemessungswert der Sohldruckbeanspruchung aus dem Bemessungswert der Vertikalbeanspruchung $V_d = N_d$.

Eine Berechnung der Setzungen des Fundamentes unter Ansatz der charakteristischen statischen Lasten ergab maximale Setzungen bis 1,7 cm (mit Moment aus Turm) bzw. 0,5 cm (nur Normalkraft), siehe Fundamentberechnung in der **Anlagengruppe 6**.

Ein Nachweis zur Geländebruchsicherheit war infolge der Lage der Gründungsebene im gesamten, d.h. auch im talseitigen Bereich auf dem kompakten Felshorizont nicht zu führen.

Die unterhalb der Gründungssohle erkundeten Tonsteine unterliegen nicht einer Konsolidation oder Kriechverformungen, wie sie bei bindigen Böden auftreten. Damit sind für die Baugrundverhältnisse am geplanten Anlagenstandort keine Berechnungen des Konsolidations- und Kriechverhaltens über die zu betrachtende Standzeit von 20 Jahren erforderlich.

Zur Qualitätssicherung, d.h. zur Kontrolle des Bemessungsansatzes des Sohlwiderstandes sollten die Gründungskoten vom geotechnischen Sachverständigen in Form einer Prüfung abgenommen werden.

Herstellung einer drucklosen, wartungsfreien Dränage

Aufgrund der Gefällesituation ist am Standort der WEA 5 die Herstellung einer drucklosen, wartungsfreien Dränage möglich.

Mit dem Endaushub der Baugrube zur Herstellung des Turmfundamentes ist am Rand ein flacher Graben für die Ableitung der Dränage herzustellen, so dass im Bauzustand eine Ableitung des der Baugrube zulaufenden Niederschlags-/Sickerwassers im freien Gefälle nach Norden (Tiefpunkt bei DPH-5) möglich ist.

Nach der Herstellung des Turmfundamentes ist im Arbeitsraum in Höhe der Sauberkeitsschicht eine Dränage ringförmig um das Fundament mit einem Gefälle von mindestens 1 ‰ herzustellen. Die Dränage ist auf einem Sohlgerinne aus Beton zu verlegen, das ein Gefälle in radialer Richtung nach außen aufweist, so dass kein Dränwasser dem Fundament zufließen kann. Die Dränage ist aus einem Dränrohr DN 150 mit einer Ummantelung aus Filtersand 0,2/2 mm und einer filterstabilen Abgrenzung aus einem Geotextil (Masse $\geq 250 \text{ g/m}^2$) zum anstehenden Boden und der über der Dränage einzubauenden Bauwerkshinterfüllung herzustellen. Die Ableitung des Dränwassers erfolgt über 2 Auslauf-/ Vollrohre zum Geländetiefpunkt nach Norden. Am Auslaufpunkt der Dränage sollte eine Sickerrigole (Schottergraben) mit umlaufendem Geotextil, einem Gefälle von 5 ‰ und einer Verfüllung z.B. mit Grobschotter 20/100 mm hergestellt werden, um einen konzentrierten Auslauf des Dränwassers und mit dem hier einzuleitenden Niederschlagswasser vom Turmschaft eine mögliche Vernässung im Waldbereich zu vermeiden. Die Rigole sollte mit einem Notüberlauf an den benachbarten Wegseitengraben versehen werden.

Zur Sicherstellung einer frostsicheren Gründung und zur Vermeidung eines stärkeren Dränwasserzulaufes ist eine Geländeanpassung d.h. Anschüttung mit bindigem Material -mit einem talseitigen Gefälle- bei DPH-2 und DPH-5 mit einer Mindestüberschüttung von 2 m zu empfehlen bzw. erforderlich.

Dynamische Drehfedersteifigkeit $k_{\phi, \text{dyn}}$

Die dynamische Drehfedersteifigkeit wird für starre Kreisfundamente mit nachfolgender Gleichung berechnet:

$$k_{\phi, \text{dyn}} = \frac{8 \cdot G \cdot r^3}{3 \cdot (1 - \nu)}$$

mit

r Radius des Kreisfundamentes = 12,25 [m]

G Dyn. Schubmodul

ν Poissonzahl, $\nu = 0,25$ (für Grauwacke)

Dyn. Schubmodul:

$$G = \frac{E_{\text{dyn}}}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

mit $E_{\text{dyn}}/E_{\text{stat}} \approx 6$ (nach Placzek)

$$E_{\text{stat}} = \frac{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2}{1 - \nu} \cdot E_{s, \text{stat}}$$

Tonsteinhorizont unter dem Fundament (ab 549,7 mNHN)

$E_{s, \text{stat}} = 100$ [MN/m²] (unterster Wert für Tonsteinhorizont),
siehe Homogenbereich X1 - Kapitel 6.4

$$\rightarrow E_{\text{stat}} = 0,833 \cdot 100 \text{ [MN/m}^2\text{]} = 83,3 \text{ [MN/m}^2\text{]}$$

$$\rightarrow E_{\text{dyn}} = 500 \text{ [MN/m}^2\text{]}$$

$$\rightarrow G_{\text{dyn}} = 200 \text{ [MN/m}^2\text{]} = 0,2 \text{ [GN/m}^2\text{]}$$

$$k_{\phi, \text{dyn}} = \frac{8 \cdot 0,20 \cdot 12,25^3}{3 \cdot (1 - 0,25)} = 1.307,21 \text{ [GNm/rad]} > 95 \text{ [GNm/rad]} = \text{min. } k_{\phi, \text{dyn}}$$

Die in den Herstellerangaben gestellte Anforderung mit einer Mindestdrehfedersteifigkeit $k_{\varphi,dyn}$ von 95 [GNm/rad] wird für den erkundeten Baugrund mit einem Wert von 1.307 [GNm/rad] überschritten. Die Anforderungen werden mit einer hohen Sicherheit erfüllt.

Die Anforderung an die statische Mindestdrehfedersteifigkeit wird damit auch sicher erfüllt.

6.2 Baugrubensicherung, Wasserhaltung und Bauteilhinterfüllung

Sicherung der Baugrube

Aufgrund der Platzverhältnisse kann die Baugrube für die Herstellung der Fundamentplatte mit einer frei geböschten Baugrube erfolgen. Die vorgenannten Bereiche können unter folgenden angegebenen Böschungswinkeln β_{zul} frei geböscht werden:

Schluff, stark kiesig, steif	$\beta_{zul} \leq 45$ [°] Standzeit temporär
Tonstein, stark verwittert, plattig, mäßige - gute Kornbindung	$\beta_{zul} \leq 70$ [°] Standzeit temporär

Die angegebene Böschungsneigung gilt für unbelastete Böschungen.

Wasserhaltung

Die geotechnischen Untersuchungen ergaben kein Grund-/Schichtenwasser.

Zur Wasserhaltung im Bauzustand wird empfohlen, dass in Verbindung mit dem Aushub der Baugrube und der Herstellung einer drucklosen Drainage zunächst ein flacher offener Graben ausgehoben wird, über den eine Ableitung des der Baugrube zulaufenden Wassers im freien Gefälle zum tieferen Gelände (nach Nordosten) erfolgt. In diesen Graben ist nach Fertigstellung des Turmfundamentes die Ableitung des Dränwassers und einer Sickerrigole am Rohrauslauf herzustellen, siehe Ausführungen auf Seite 20.

Hinterfüllung und Überschüttung des Fundamentes

Die Arbeitsräume zur Herstellung des Fundamentes sind nach der Fertigstellung wieder zu verfüllen und die Platte im Randbereich bis zur derzeitigen mittleren Geländehöhe mit einem talseitigen Gefälle zu überschütten.

Für die Hinterfüllung und Überschüttung sollte das beim Baugrubenaushub ab einer Baugrubentiefe von ca. 0,8 m unter GOK gewonnene Material aus stark verwitterten Tonsteinen verwendet werden. Die Wiederverwendung des Aushubmaterials setzt voraus, dass dieses fachgerecht auf einer Miete zwischengelagert und mit einer Folie zum Schutz vor Witterungseinflüssen abgedeckt wird.

Die Verdichtung der Hinterfüllung und Überschüttung des Fundamentes sollte mit Hilfe von Plattendruckversuchen nach DIN 18134 oder alternativ dynamischen Plattendruckversuchen nach TP BF-StB Teil B 8.3 als Qualitätssicherung Erdbau kontrolliert werden.

Der Verdichtungsgrad D_{pr} sollte ≥ 100 [%] der einfachen Proctordichte betragen.

Die Verdichtungsanforderungen gelten mit:

$$E_{v2} \geq 45 \text{ [MN/m}^2\text{]}$$

$$\text{bei einem Verhältniswert } E_{v2}/E_{v1} \leq 2,3$$

Die beim Aushub oberflächennah gewonnene kiesige Schluffschicht in steifer Konsistenz ist ohne Verbesserungsmaßnahmen für eine qualifizierte Bauwerkshinterfüllung nur bedingt geeignet und sollte daher -bis auf die Masse zur Geländeabdeckung- beseitigt werden.

Mit dem Wiedereinbau des geologisch originären Tonsteinmaterials wird der Zulauf von Oberflächenwasser in die „geologische Störungszone“, die mit dem Baugrubenaushub entstanden ist, reduziert und es werden die Dränwassermengen deutlich verringert, siehe auch Kapitel 6.1.

6.3 Bodenkundliche Bewertung

Nach dem Ergebnis einer bodenkundlichen Bewertung aus dem Jahre 2016, siehe hierzu unser Gutachten zur Abfallwirtschaftlichen und Bodenkundlichen Bewertung zur UVP vom 30.06.2016, steht an den Anlagenstandorten unter einer dünnen Humus-/ Waldbodenüberdeckung Braunerde, z.T. Ranker-Braunerde oder Podsol-Braunerde an, wobei die Mächtigkeit aufgrund des vorwiegend hoch anstehenden Festgesteins (Gebirge) gering ist.

Nach der Bodenkarte NRW ist am Anlagenstandort WEA5 die Bodeneinheit L4813_B32e als Braunerde ohne Grundwasser und ohne Staunässe ausgewiesen.

Die unter der Humus-/Waldbodenaufgabe erkundete Schluffschicht mit stark kiesigen Nebenanteilen in steifer Konsistenz weist unter Berücksichtigung der geringen Schichtmächtigkeit von 0,25 m eine geringe Verdichtungsempfindlichkeit sowie geringe Erosionsempfindlichkeit auf.

Zusammenfassend ergibt sich damit die Bewertung, dass am Anlagenstandort der WEA 5 bei der geotechnischen Erkundung keine schutzwürdigen Böden festgestellt wurden.

Altlasten:

Hinweise auf Altlasten wurden bei den geotechnischen Untersuchungen nicht festgestellt.

Ableitung von Niederschlagswasser:

Die Ableitung von Niederschlagswasser während der Bauzeit -aus den Baugrubenbereichen- erfolgt mit der Anlage von Entwässerungsmulden/-gräben und einer großflächigen Versickerung -mit Biotopcharakter- in den angrenzenden Waldflächen.

6.4 Homogenbereiche - Boden- und Felskenngrößen (Charakteristische Werte)

Zur Bemessung der Bauteile -dem geotechnischen Design- sowie zum Lösen, Fördern, Laden, Verdichten und Wiedereinbauen werden die Böden und der Fels in die nachfolgenden Homogenbereiche unterteilt.

Homogenbereich B1

Schluff, stark kiesig, teils steinig, steif

Korngrößenverteilung	[DIN 18123]	Kornkennziffern 1/2 - 6/4 - 1/0 - 2/3 - 0/1
m_x Massenanteil an Steinen ($D > 63$ mm):	[DIN EN ISO 14688-1]	< 15 %
m_B Blöcken ($D > 200$ mm):		0 %
Dichte ρ :	[DIN EN ISO 17892-2/ DIN 18125-2]	1,95 t/m ³
Feuchtwichte γ :		19,5 kN/m ³
Wichte unter Auftrieb γ' :		10,0 kN/m ³
Kohäsion c'_k :	[DIN 18137-T1 bis T3]	2,5 kPa
Undrainede Scherfestigkeit c_u :	[DIN 18136/DIN 18137-2]	75 – 150 kPa
drainede Scherfestigkeit ϕ'_k :	[DIN 18136/DIN 18137-2]	27,5 °
Reibungswinkel ϕ'_k		
Steifemodul $E_{s1,k}$:	[DIN 18135]	30 - 40 MN/m ²
Sensitivität:	[DIN 4094-4]	1-2 (1)
Wassergehalt:	[DIN EN ISO 17892-1]	15 – 25 %
Konsistenzgrenzen:	[DIN 18122-1]	steif
Konsistenzzahl:	[DIN 18122-1]	0,75 – 1,0
Plastizität:	[DIN 18122-1]	leicht- bis mittelplastisch
Lagerungsdichte (bezogene Lagerungsdichte):	[DIN EN ISO 14688-2/ DIN 18126]	n.d.
Organischer Anteil:	[DIN 18128]	< 5 %
Bodengruppe:	[DIN 18196]	UL-UM
Frostempfindlichkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	F3
Verdichtbarkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	V3 (weniger gut/schlecht verdichtbar) +)
Ortsübliche Bezeichnung:		Hangschutt

+) Wichtiger Hinweis:

Die Angaben zu den Verdichtbarkeitsklassen setzen optimale erdbauliche Bedingungen (Lösen, Laden, Witterungsschutz, Zwischenlagerung u.a.) voraus.

Für einen Wiedereinbau in Verbindung mit einer Bodenverbesserung mit Bindemittelzugabe ist eine Eignungsprüfung nach TP BF-StB Teil B 11.1 oder das verwendete Bindemittel und der Bindemittelgehalt aufgrund von Erfahrungswerten festzulegen.

Homogenbereich X1

Tonstein, stark/mäßig verwittert, plattig/schiefrig, schlechte/mäßige Kornbindung

Benennung	[DIN EN ISO 14689-1]	Tonstein
Dichte ρ :	[DIN EN ISO 17892-2/DIN 18125-2]	2,20 t/m ³
Feuchtwichte γ :		22,0 kN/m ³
Wichte unter Auftrieb γ' :		12,0 kN/m ³
Verwitterung	[DIN EN ISO 14689-1]	stark/mäßig verwittert, schlechte - mäßige Kornbindung
Veränderlichkeit	[DIN EN ISO 14689-1]	wasserempfindlich, mittlere/geringe Quellfähigkeit
Druckfestigkeit q_u	[DIN 18141/DGGT Empfehlung Nr. 1]	5 - 20 N/mm ²
Abrasivität CAI	[NF P94-430-1]	0 – 1,5
Trennflächenrichtung α, β	[DIN EN ISO 14689-1]	unregelmäßig (360 °)
Fallrichtung α	[DIN EN ISO 14689-1]	0 - 75 ° (gefaltet)
Gesteinskörperform	[DIN EN ISO 14689-1]	schiefrig / plattig geschichtet
Trennflächenabstand	[DIN EN ISO 14689-1]	< 1,0 m
Öffnungsweite der Trennflächen	[DIN EN ISO 14689-1]	0 – 15 mm
Kluffüllung:	[DIN EN ISO 14689-1]	keine
Kohäsion c'_k :	[DIN 18137-T1 bis T3]	20,0 kPa
Undrainede Scherfestigkeit c_u :	[DIN 4094-4/DIN 18136/DIN 18137-2]	-
drainede Scherfestigkeit φ'_k :	[DIN 4094-4/DIN 18136/DIN 18137-2]	25,0 °
Reibungswinkel φ'_k		
Steifemodul $E_{s1,k}$:	[DIN 18135]	100 MN/m ²
Frostempfindlichkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	F2 - F3
Verdichtbarkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	V2 (weniger gut – gut verdichtbar *)
Ortsübliche Bezeichnung:		Styliolinschiefer 1

Homogenbereich X2

Tonstein/ Grauwacke, frisch/schwach verwittert, plattig/bankig, gute/gute-sehr gute Kornbindung,

Benennung	[DIN EN ISO 14689-1]	Tonstein
Dichte ρ :	[DIN EN ISO 17892-2/DIN 18125-2]	2,40 t/m ³
Feuchtwichte γ :		24,0 kN/m ³
Wichte unter Auftrieb γ' :		14,0 kN/m ³
Verwitterung	[DIN EN ISO 14689-1]	mäßig/schwach verwittert, gute – sehr gute Kornbindung
Veränderlichkeit	[DIN EN ISO 14689-1]	wasserempfindlich, geringe Quellfähigkeit
Druckfestigkeit q_u	[DIN 18141/DGGT Empfehlung Nr. 1]	20 - 100 N/mm ²
Abrasivität CAI	[NF P94-430-1]	1,5 – 2,0
Trennflächenrichtung α, β	[DIN EN ISO 14689-1]	unregelmäßig (360 °)
Fallrichtung α	[DIN EN ISO 14689-1]	0 - 75 ° (gefaltet)
Gesteinskörperform	[DIN EN ISO 14689-1]	quaderig, würfelig, Blöcke $V < 0,1 \text{ m}^3$ längste Seite a / kurze Seite c $\approx 1 - 5^+$)
Trennflächenabstand	[DIN EN ISO 14689-1]	< 1,0 m
Öffnungsweite der Trennflächen	[DIN EN ISO 14689-1]	0 – 15 mm
Kluffüllung:	[DIN EN ISO 14689-1]	keine
Kohäsion c'_k :	[DIN 18137-T1 bis T3]	50,0 kPa
Undränierete Scherfestigkeit c_u :	[DIN 4094-4/DIN 18136/DIN 18137-2]	-
dränierete Scherfestigkeit φ'_k :	[DIN 4094-4/DIN 18136/DIN 18137-2]	25,0 °
Reibungswinkel φ'_k		
Steifemodul $E_{s1,k}$:	[DIN 18135]	120 MN/m ²
Frostempfindlichkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	F2 - F3
Verdichtbarkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	V2 (weniger gut – gut verdichtbar) *)
Ortsübliche Bezeichnung:		Styliolinschiefer 2 / Oberer Quarzit

[†]) Kantenmaße a, b, c der ausgebrochenen Felspartien

^{*}) Zum Lösen (insbesondere bei kleinräumigen Baugruben) ist der Einsatz eines Felsmeißels und/oder einer Felsfräse vorzusehen.

6.5 Übersicht zu den Homogenbereichen

Homogenbereiche Boden/Fels	Homogenbereiche nach DIN 18300
Oberboden/Waldboden	Homogenbereich O
Homogenbereich B1 Schluff , stark kiesig, teils steinig, steif	Homogenbereich B1
Homogenbereich X1 Tonstein , starkmäßig verwittert, plattig/schiefrig, schlechte/mäßige Kornbindung	Homogenbereich X1
Homogenbereich X2 Tonstein/Grauwacke , frisch/schwach verwittert, plattig/bankig, gute/gute-sehr gute Kornbindung	Homogenbereich X2

Anmerkungen und Hinweise:

Eine genaue Zuordnung kann erst im Rahmen einer boden- und felsmechanischen Klassifizierung (Festlegung der Homogenbereiche) vor Ort erfolgen. Bestehen zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer unterschiedliche Auffassungen zur Einordnung der vorgenannten Homogenbereiche, so kann eine genaue Einordnung im Rahmen einer Klassifizierung und damit Festlegung der Homogenbereiche vor Ort erfolgen.

Im Einvernehmen mit dem Auftraggeber sollen wegen des Zeit- und Kostenaufwandes nicht alle Parameter der Homogenbereiche versuchstechnisch ermittelt werden. Damit basieren die für die Homogenbereiche angegebenen Eigenschaften/Kennwerte -die nicht versuchstechnisch ermittelt wurden- auf gesicherten Korrelationsbeziehungen für Labor- und Feldversuche.

7 Zusammenfassung und Schlussbemerkungen

Im Rahmen der geotechnischen Untersuchungen wurde der Baugrund im Sinne der DIN 4020 mit direkten und indirekten Aufschlüssen nach DIN EN ISO 22475-1 und DIN EN ISO 22476-2 erkundet.

Die geotechnischen Untersuchungen zeigen, dass unter dem Wald-/Oberboden bis in eine Tiefe von ca. 0,5 m Schluff, stark kiesig, in steifer Konsistenz ansteht. Darunter folgen stark verwitterte Tonsteine, dünnplattig bis plattig, stückig, mit mäßiger bis guter Kornbindung. Nachfolgend wurden ab 1,25 m mäßig verwitterte Tonsteine, plattig, klüftig, mit mäßiger bis guter Kornbindung erbohrt, die den Grenzhorizont der Sondierungen bilden. Im weiteren Schichtenverlauf folgen von 2,0 bis 2,2 m Tonsteine, stark verwittert mit schlechter Kornbindung, denen bis 3,2 m mäßig verwitterte Tonsteine und zwei Schichten von Tonstein, schwach verwittert und mäßig verwittert folgen. Ab 4,0 m wird der Horizont der Grauwacke (Feinsandstein), schwach verwittert, tiefer frisch erreicht, der ab 9,3 m eine Wechselfolge aus Tonstein, schwach verwittert und Grauwacke, schwach verwittert bis zum Ende Bohrung bei 12 m folgte.

Die Tonsteine in Form der Styliolinenschiefer stellen in den Zonen mit höheren Sondierwiderständen einen ausreichend bis gut tragfähigen Baugrund für die Gründung der Windkraftanlage und am bzw. unterhalb dem Grenzhorizont der Sondierungen einen gut tragfähigen Baugrund für die Gründung der Windkraftanlage dar. Der Grenzhorizont der Sondierungen weist aufgrund der Hanglage eine Höhendifferenz von ca. 2,0 m innerhalb der Fundamentfläche auf.

Ein Grund-/Schichtenwasser wurde im Bohrloch der Bohrung BK WEA 5 -im Zeitraum der Grundwasserbeobachtung- nicht festgestellt.

Auf den Ergebnissen der geotechnischen Untersuchungen basierend werden Gründungsempfehlungen zum vorgegebenen Gründungssystem Kreisfundament für die Windenergieanlage gegeben.

Der Bemessungswert des Sohlwiderstandes wird mit den Bodenkenngrößen angegeben und mit den Anforderungswerten der Herstellerangaben verglichen. Dieser Vergleich ergab, dass die Sicherheitsanforderungen mit einem hohen Sicherheitsabstand erfüllt werden.

Zum Lösen und Fördern des Bodens sind die Homogenbereiche nach DIN 18 300 benannt.

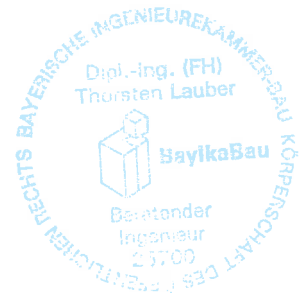
Treten im Rahmen der Bauausführung Abweichungen von den erkundeten Verhältnissen auf, so bitten wir um eine umgehende Benachrichtigung.

Wir empfehlen -zur Qualitätssicherung- die Abnahme der Gründungssohlen und damit verbunden die Umsetzung unserer gutachterlichen Empfehlungen im Sinne einer Qualitätssicherung.

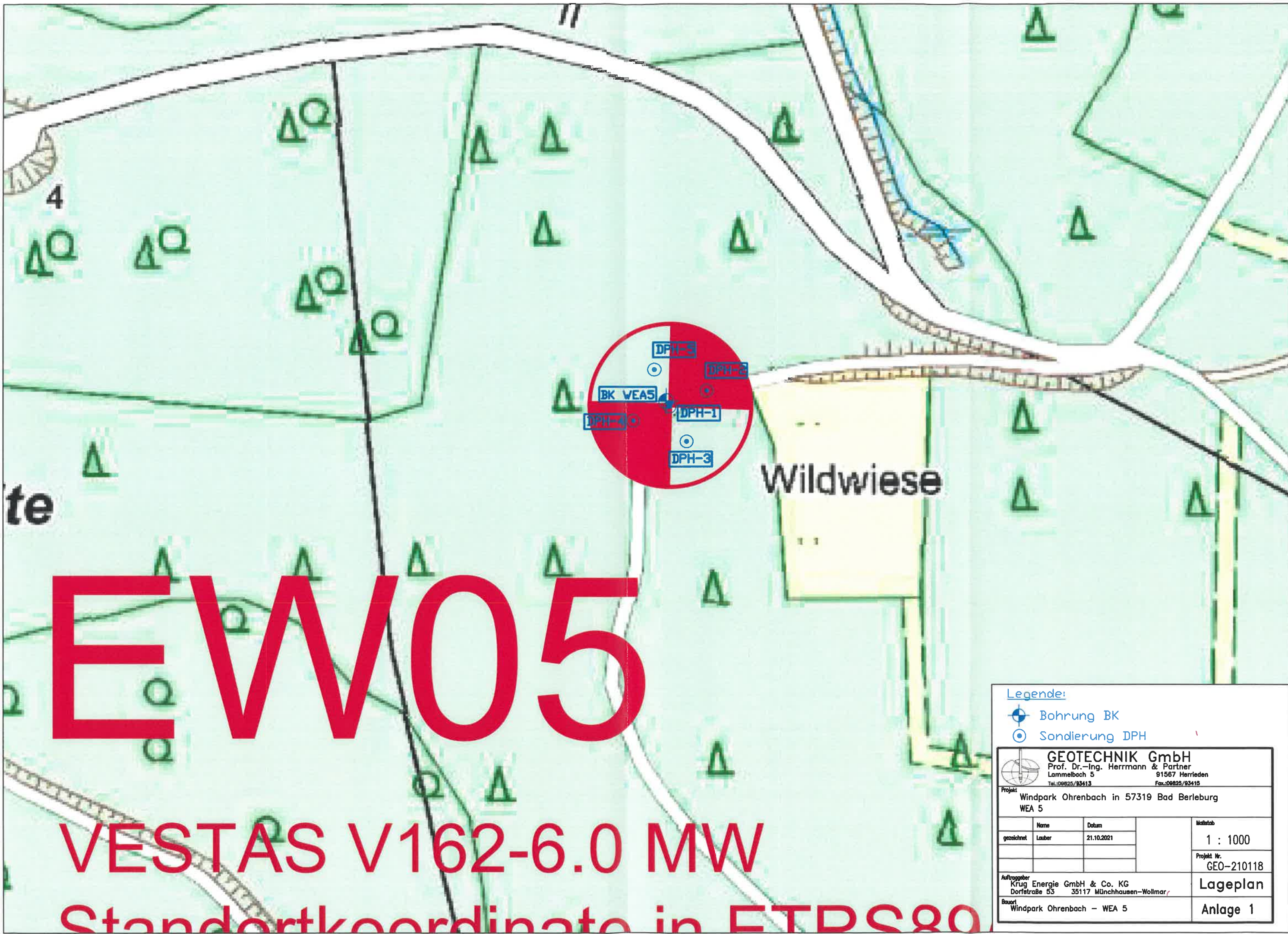
Wir stehen den am Bau Beteiligten zu weiteren geotechnischen Fragen im Rahmen der Ausführungsplanung und der Bauausführung jederzeit gerne zur Verfügung.

(i.A. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Richard A. Herrmann)
GEOTECHNIK GmbH

(Dipl.-Ing. (FH) Thorsten Lauber)
Sachverständiger für Geotechnik



Anlage 1



EW05

VESTAS V162-6.0 MW

Standortskoordination in ETDC89

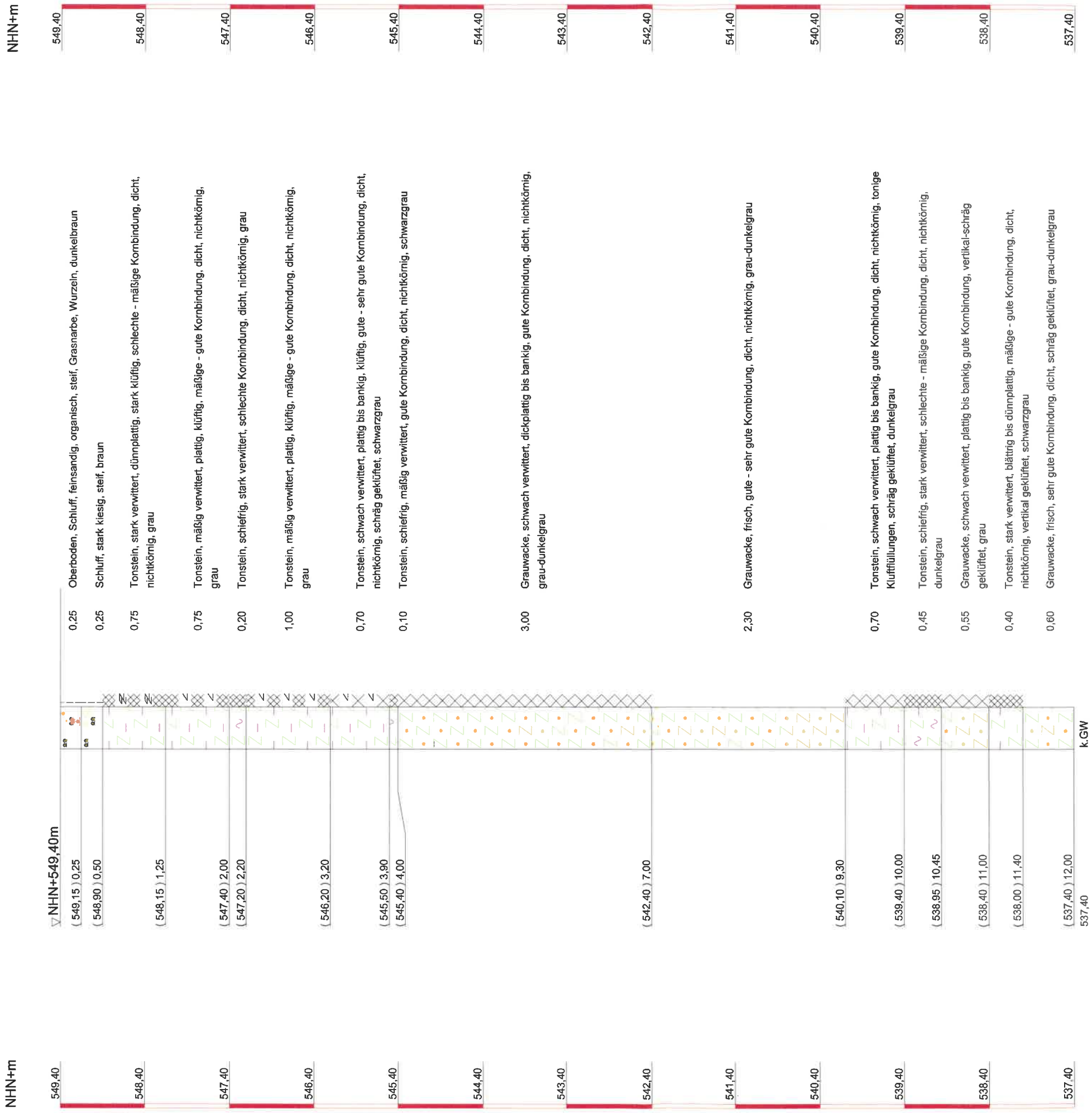
Legende:

- Bohrung BK
- Sondierung DPH

GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lammelbach 5 Tel.: 09825/93413 Fax.: 09825/93415			
Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg WEA 5			
gezeichnet	Name	Datum	Maststab 1 : 1000
	Lauber	21.10.2021	
			Projekt Nr. GEO-210118
Auftraggeber Krug Energie GmbH & Co. KG Dorfstraße 53 35117 Münchhausen-Wollmar			Lageplan
Bauort Windpark Ohrenbach - WEA 5			Anlage 1

Anlagengruppe 2

BK WEA 5
(Stölsen GmbH)
22.-23.06.2021
M.: 1:50



GEOTECHNIK GmbH
Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner
Lammelbach 5
91567 Herrrieden
Tel.: 09825/93413
Fax: 09825/93415

Bauvorhaben:
Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg
- WEA 5
Planbezeichnung:
BK WEA 5

Plan-Nr: 2.1
Projekt-Nr: GEO-210118
Datum: 21.10.2021
Maßstab: 1 : 50
Bearbeiter: T.Lauber



Bild 1 Übersichtsaufnahme Standort WEA 5 (Zentrum am Rand Waldwirtschaftsweg vor Holzstoss)



Bild 2 Aufnahme Bohrkern BK WEA 5, Tiefe 0 - 12 m

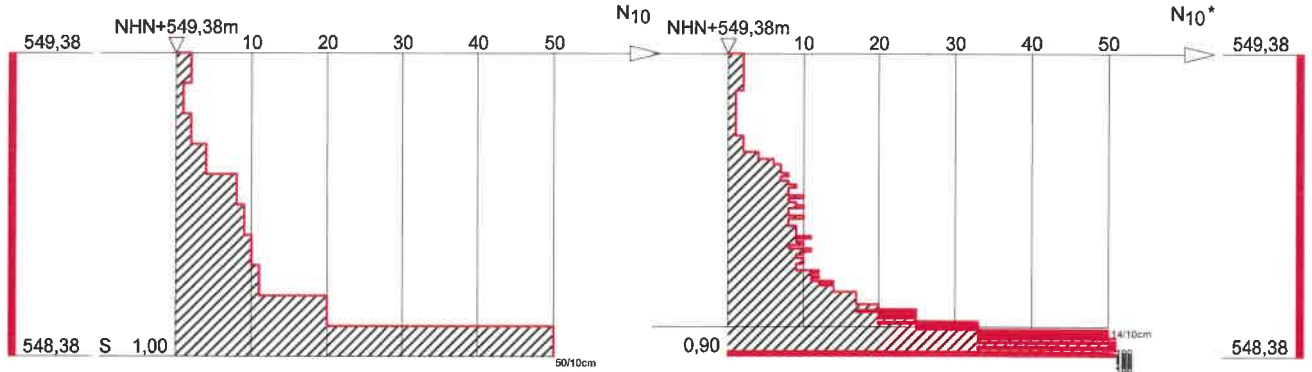
Anlagengruppe 3

WEA5 - DPH-1
(05.06.2021)

WEA5 - DPH-1*
(05.06.2021)

NHN+m

NHN+m



<p>GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lammelbach 5 91567 Herrieden Tel.: 09825/93413 Fax: 09825/93415</p>	<p>Bauvorhaben: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg - WEA 5</p> <p>Planbezeichnung: WEA5 - DPH-1</p>	Plan-Nr: 3.1
		Projekt-Nr: GEO-210118/4
		Datum: 21.10.2021
		Maßstab: 1 : 25
		Bearbeiter: T.Lauber



Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2

Geräteleiter: T. Lauber

Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 5

Sondierungsnummer: WEA5-DPH-1

Datum: 05.06.2021

Sondierart: DPH

Ansatzpunkt [m]:

Ansatzpunkt auf NHN [m]: 549,38

Grundwassersp.[m u. ASP]:

Bemerkung:

Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	2	3,10		6,10		9,10		12,10	
0,20	1	3,20		6,20		9,20		12,20	
0,30	2	3,30		6,30		9,30		12,30	
0,40	4	3,40		6,40		9,40		12,40	
0,50	8	3,50		6,50		9,50		12,50	
0,60	9	3,60		6,60		9,60		12,60	
0,70	10	3,70		6,70		9,70		12,70	
0,80	11	3,80		6,80		9,80		12,80	
0,90	20	3,90		6,90		9,90		12,90	
1,00	50	4,00		7,00		10,00		13,00	
*)	schwer	*)		*)		*)		*)	
1,10		4,10		7,10		10,10		13,10	
1,20		4,20		7,20		10,20		13,20	
1,30		4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40		4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50		4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60		4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70		4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80		4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90		4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00		5,00		8,00		11,00		14,00	
*)		*)		*)		*)		*)	
2,10		5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20		5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30		5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40		5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50		5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60		5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70		5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80		5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90		5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00		6,00		9,00		12,00		15,00	
*)		*)		*)		*)		*)	

*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]

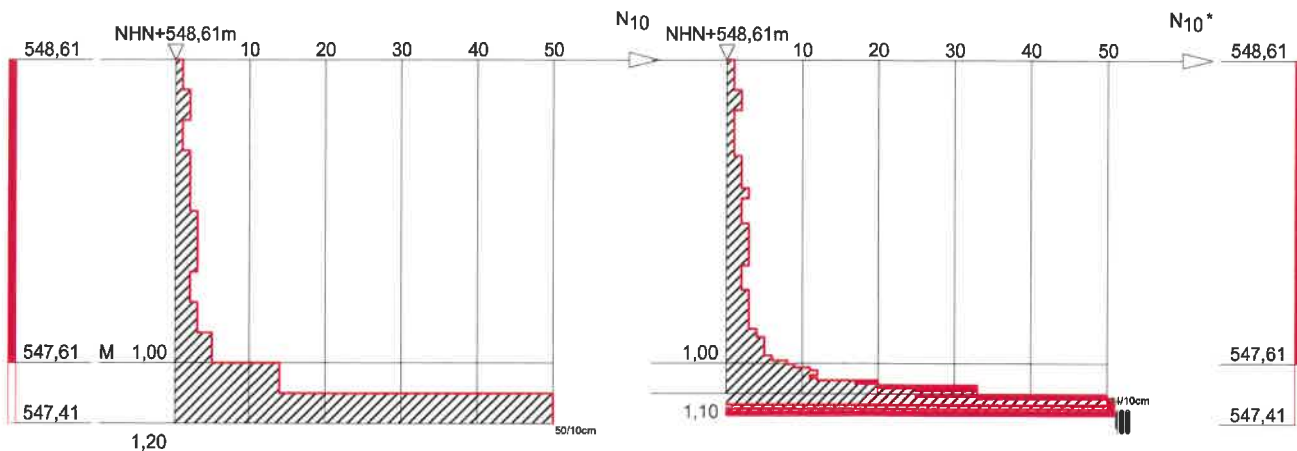
Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefen pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm-datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.

WEA5 - DPH-2
(05.06.2021)

WEA5 - DPH-2*
(05.06.2021)

NHN+m

NHN+m



<p>GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lammelbach 5 91567 Herrieden Tel.: 09825/93413 Fax: 09825/93415</p>	<p>Bauvorhaben: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg - WEA 5</p> <p>Planbezeichnung: WEA5 - DPH-2</p>	Plan-Nr: 3.3
		Projekt-Nr: GEO-210118/4
		Datum: 21.10.2021
		Maßstab: 1 : 25
		Bearbeiter: T.Lauber



Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2

Geräteleiter: T. Lauber

Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 5

Sondierungsnummer: WEA5-DPH-2

Datum: 05.06.2021

Sondierart: DPH

Ansatzpunkt [m]:

Ansatzpunkt auf NHN [m]: 548,61

Grundwassersp.[m u. ASP]:

Bemerkung:

Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	1	3,10		6,10		9,10		12,10	
0,20	2	3,20		6,20		9,20		12,20	
0,30	1	3,30		6,30		9,30		12,30	
0,40	2	3,40		6,40		9,40		12,40	
0,50	2	3,50		6,50		9,50		12,50	
0,60	3	3,60		6,60		9,60		12,60	
0,70	3	3,70		6,70		9,70		12,70	
0,80	2	3,80		6,80		9,80		12,80	
0,90	3	3,90		6,90		9,90		12,90	
1,00	5	4,00		7,00		10,00		13,00	
*)	mittel	*)		*)		*)		*)	
1,10	14	4,10		7,10		10,10		13,10	
1,20	50	4,20		7,20		10,20		13,20	
1,30		4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40		4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50		4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60		4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70		4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80		4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90		4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00		5,00		8,00		11,00		14,00	
*)		*)		*)		*)		*)	
2,10		5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20		5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30		5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40		5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50		5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60		5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70		5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80		5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90		5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00		6,00		9,00		12,00		15,00	
*)		*)		*)		*)		*)	

*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]

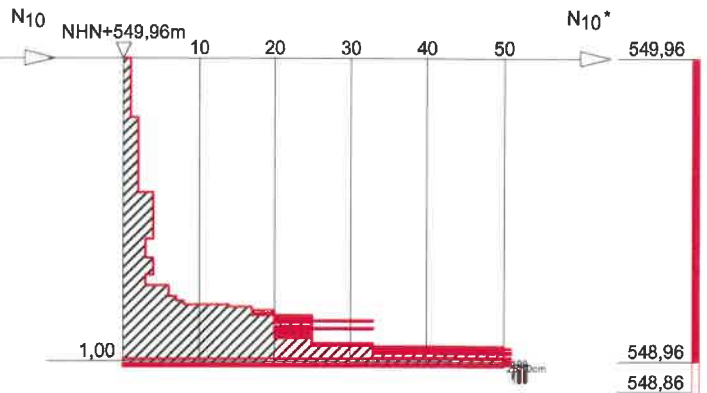
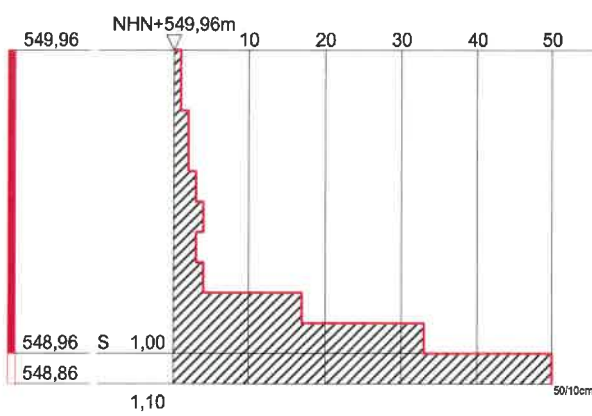
Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefen pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm- datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.

WEA5 - DPH-3
(05.06.2021)

WEA5 - DPH-3*
(05.06.2021)

NHN+m

NHN+m



GEOTECHNIK GmbH
Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner
Lammelbach 5
91567 Herrieden
Tel.: 09825/93413
Fax: 09825/93415

Bauvorhaben:
Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg
- WEA 5
Planbezeichnung:
WEA5 - DPH-3

Plan-Nr:	3.5
Projekt-Nr:	GEO-210118/4
Datum:	21.10.2021
Maßstab:	1 : 25
Bearbeiter:	T.Lauber



Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2

Geräteführer: T. Lauber

Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 5

Sondierungsnummer: WEA5-DPH-3

Datum: 05.06.2021

Sondierart: DPH

Ansatzpunkt [m]:

Ansatzpunkt auf NHN [m]: 549,96

Grundwassersp.[m u. ASP]:

Bemerkung:

Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	1	3,10		6,10		9,10		12,10	
0,20	1	3,20		6,20		9,20		12,20	
0,30	2	3,30		6,30		9,30		12,30	
0,40	2	3,40		6,40		9,40		12,40	
0,50	3	3,50		6,50		9,50		12,50	
0,60	4	3,60		6,60		9,60		12,60	
0,70	3	3,70		6,70		9,70		12,70	
0,80	4	3,80		6,80		9,80		12,80	
0,90	17	3,90		6,90		9,90		12,90	
1,00	33	4,00		7,00		10,00		13,00	
*)	schwer	*)		*)		*)		*)	
1,10	50	4,10		7,10		10,10		13,10	
1,20		4,20		7,20		10,20		13,20	
1,30		4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40		4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50		4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60		4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70		4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80		4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90		4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00		5,00		8,00		11,00		14,00	
*)		*)		*)		*)		*)	
2,10		5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20		5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30		5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40		5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50		5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60		5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70		5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80		5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90		5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00		6,00		9,00		12,00		15,00	
*)		*)		*)		*)		*)	

*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]

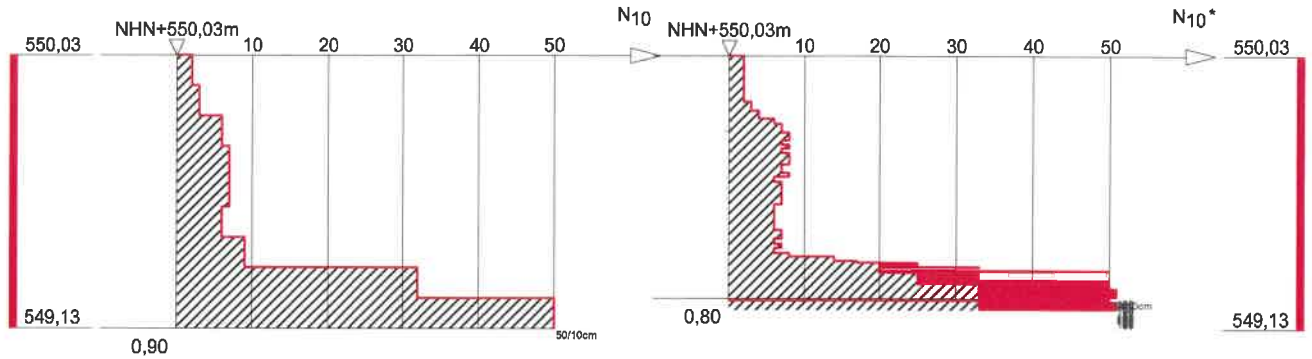
Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefen pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm- datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.

WEA5 - DPH-4
(05.06.2021)

WEA5 - DPH-4*
(05.06.2021)

NHN+m

NHN+m



<p>GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lammelbach 5 91567 Herrieden Tel.: 09825/93413 Fax: 09825/93415</p>	<p>Bauvorhaben: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg - WEA 5</p> <p>Planbezeichnung: WEA5 - DPH-4</p>	Plan-Nr: 3.7
		Projekt-Nr: GEO-210118/4
		Datum: 21.10.2021
		Maßstab: 1 : 25
		Bearbeiter: T.Lauber



Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2

Geräteführer: T. Lauber

Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 5

Sondierungsnummer: WEA5-DPH-4

Datum: 05.06.2021

Sondierart: DPH

Ansatzpunkt [m]:

Ansatzpunkt auf NHN [m]: 550,03

Grundwassersp.[m u. ASP]:

Bemerkung:

Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	2	3,10		6,10		9,10		12,10	
0,20	3	3,20		6,20		9,20		12,20	
0,30	6	3,30		6,30		9,30		12,30	
0,40	7	3,40		6,40		9,40		12,40	
0,50	7	3,50		6,50		9,50		12,50	
0,60	6	3,60		6,60		9,60		12,60	
0,70	9	3,70		6,70		9,70		12,70	
0,80	32	3,80		6,80		9,80		12,80	
0,90	50	3,90		6,90		9,90		12,90	
1,00		4,00		7,00		10,00		13,00	
*)		*)		*)		*)		*)	
1,10		4,10		7,10		10,10		13,10	
1,20		4,20		7,20		10,20		13,20	
1,30		4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40		4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50		4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60		4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70		4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80		4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90		4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00		5,00		8,00		11,00		14,00	
*)		*)		*)		*)		*)	
2,10		5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20		5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30		5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40		5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50		5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60		5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70		5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80		5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90		5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00		6,00		9,00		12,00		15,00	
*)		*)		*)		*)		*)	

*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]

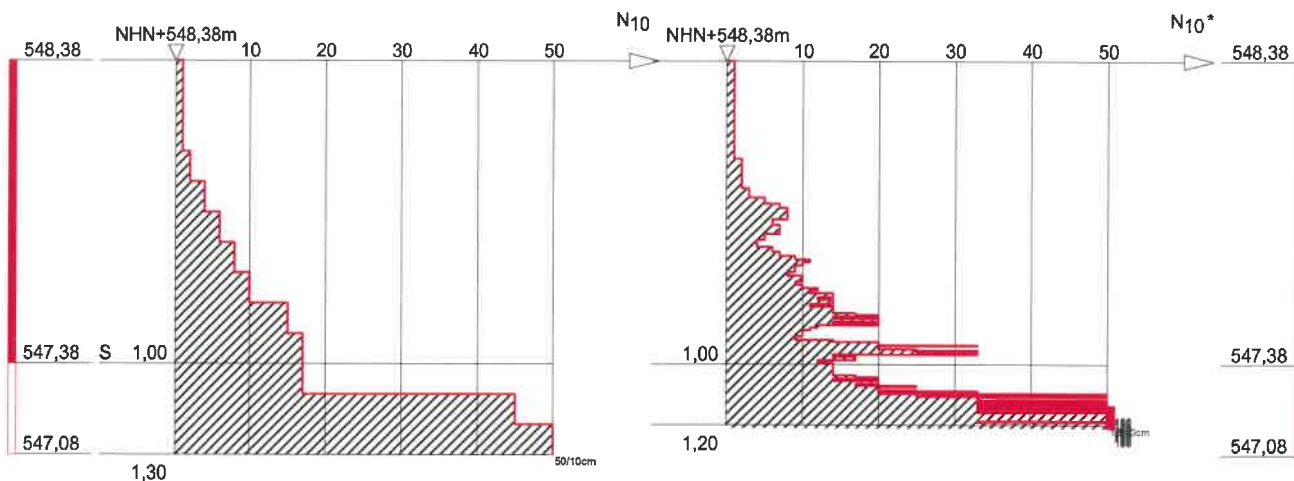
Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefen pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm- datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.

WEA5 - DPH-5
(05.06.2021)

WEA5 - DPH-5*
(05.06.2021)

NHN+m

NHN+m



<p>GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lammelbach 5 91567 Herrieden Tel.: 09825/93413 Fax: 09825/93415</p>	<p>Bauvorhaben: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg - WEA 5</p> <p>Planbezeichnung: WEA5 - DPH-5</p>	Plan-Nr: 3.9
		Projekt-Nr: GEO-210118/4
		Datum: 21.10.2021
		Maßstab: 1 : 25
		Bearbeiter: T.Lauber



Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2

Geräteführer: T. Lauber

Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 5

Sondierungsnummer: WEA5-DPH-5

Datum: 05.06.2021

Sondierart: DPH

Ansatzpunkt [m]:

Ansatzpunkt auf NHN [m]: 548,38

Grundwassersp.[m u. ASP]:

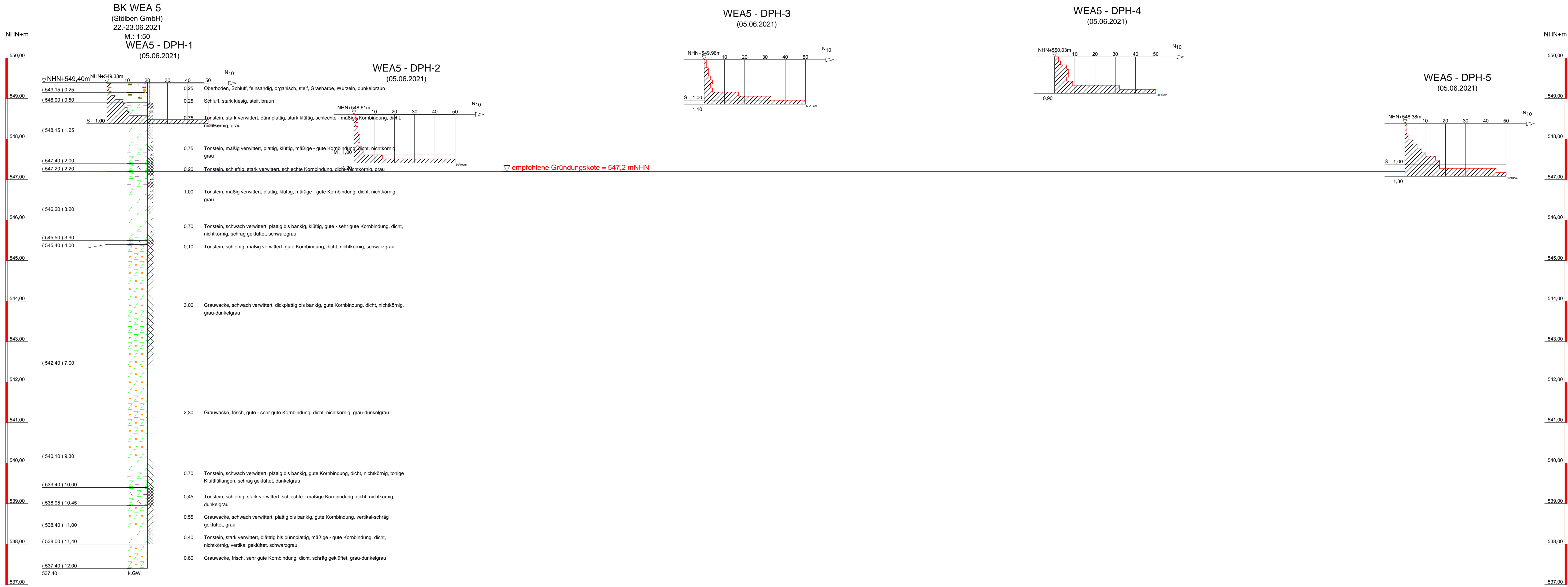
Bemerkung:

Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	1	3,10		6,10		9,10		12,10	
0,20	1	3,20		6,20		9,20		12,20	
0,30	1	3,30		6,30		9,30		12,30	
0,40	2	3,40		6,40		9,40		12,40	
0,50	4	3,50		6,50		9,50		12,50	
0,60	6	3,60		6,60		9,60		12,60	
0,70	8	3,70		6,70		9,70		12,70	
0,80	10	3,80		6,80		9,80		12,80	
0,90	15	3,90		6,90		9,90		12,90	
1,00	17	4,00		7,00		10,00		13,00	
*)	schwer	*)		*)		*)		*)	
1,10	17	4,10		7,10		10,10		13,10	
1,20	45	4,20		7,20		10,20		13,20	
1,30	50	4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40		4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50		4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60		4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70		4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80		4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90		4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00		5,00		8,00		11,00		14,00	
*)		*)		*)		*)		*)	
2,10		5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20		5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30		5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40		5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50		5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60		5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70		5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80		5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90		5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00		6,00		9,00		12,00		15,00	
*)		*)		*)		*)		*)	

*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]

Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefen pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm- datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.

Anlage 4



GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lammelbach 5 91567 Herrieden Tel.: 09825/93413 Fax: 09825/93415	Bauvorhaben: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg - WEA 5 Planbezeichnung: WEA5 - Abwicklung	Plan-Nr: 4
		Projekt-Nr: GEO-210118/4
		Datum: 21.10.2021
		Maßstab: 1:100/50
		Bearbeiter: T.Lauber

Copyright © 1994-2011 DAT GmbH - Z:\DATEN\WS\PROJEKTE\02\1\BODENGUTACHTEN\BADBERLEBURG-WP_OHRENBACH\WEA5-ABW.BOP

Anlagengruppe 5

Zusammenstellung der geomechanischen Versuchsergebnisse (Fels)

Entnahmedaten	Proben-Nr.		Zeilen-Nr.:	WEA 05		WEA 05		WEA 05		WEA 05	
	Entnahmestelle										
Zusätzliche Angaben											
Entnahmetiefe	von	m		6,00	6,20	6,30	6,50	6,50	6,70	6,70	
	bis	m		6,20	6,30	6,50	6,70	6,70	6,70	6,70	
Entnahmearart				ungestört	ungestört	ungestört	ungestört	ungestört	ungestört	ungestört	
Probenbeschreibung				Tst	Tst	Tst	Tst	Tst	Tst	Tst	
Stratigraphie											
Dichte- bestimmung	Korndichte	ρ_s	t/m ³	31							
	Feuchtdichte	ρ	t/m ³	32							
	Wassergehalt	w	%	33							
	Trockendichte	ρ_d	t/m ³	34							
Einaxialer Druckversuch	Einax. Druckfestigkeit	σ_u	MN/m ²								
	Belastungsmodul	B									
	Wiederbelastungsmodul	V	MN/m ²	35							
	Entlastungsmodul	E									
Poisson- zahlen	für Belastung,	ν_B									
	Wiederbelastung	ν_V	-	36							
	und Entlastung	ν_E									
Dreiaxialer Druckversuch	Vers. Typ/Probendurchm.		- / cm	37							
	Anzahl der Zyklen		-								
	Reibungswinkel	φ	°	38							
	technische Kohäsion	c	MN/m ²								
Punktlastindex	diametral										
	axial	$I_{S(50)}$	MN/m ²	39	1,436 (s)	0,884 (p)	1,403 (s)	0,517 (p)	0,645 (s)	0,245 (p)	2,209 (s)
Spaltzugversuch		σ_z	MN/m ²	40							
Reibungsversuch	Probenfläche	A	cm ²	41							
	Anzahl der Laststufen		-								
	Trennflächentyp		-								
	Trennflächengeometrie		-	42							
	Reibungswinkel	μ	°								
	technische Kohäsion	c	MN/m ²								
Quellversuche	Quellspannung	σ_q	MN/m ²	43							
	Versuchsdauer	d		44							
	Quelldehnung	$\epsilon_{q,0}$	%	45							
	Versuchsdauer	d		46							
	Quellversuch nach	K	%	47							
	Huder und Amberg	σ_0	MN/m ²								
	Versuchsdauer	d		48							
DIN 52103	Wasseraufnahme		%	49							
	Absplitterung										
	Kennziffer der Absplitt.		-	50							
Veränderlichk. in Wasser DIN 4022			-	51							
Cerchar		CAI	-	53							
Abrasiveitätsindex		Klassifizierung	-	54							
Frostversuch nach		Absplitt.	%	55							
DIN 52104 / 4226		Kennzi.	-	56							
Einaxialer Kriechversuch	% von einax. Druckfestigkeit		%								
	Kriechrate am 10. Tag (LS 1)		%								
	% von einax. Druckfestigkeit		%	57							
	Kriechrate am 10. Tag (LS 2)		%								
	% von einax. Druckfestigkeit		%								
Kriechrate am 10. Tag (LS 3)		%									
Slake Durability Test		I_{d1}	%								
		I_{d2}	%	58							

zu Zeile 51: w- / w' / w / w* = nicht veränderlich / mäßig veränderlich / veränderlich / stark veränderlich

zu Zeile 54 u. 56: Kennziffer der Absplitter.

Bemerkungen:

Zusammenstellung der geomechanischen Versuchsergebnisse (Fels)

Entnahmedaten	Proben-Nr.		Zeilen-Nr.:	WEA	WEA	WEA	WEA
	Entnahmestelle			05	05	05	05
Zusätzliche Angaben							
Entnahmetiefe	von	m	31	6,50	6,70	6,90	7,00
	bis	m		6,70	6,90	7,00	7,20
Entnahmearart				ungestört	ungestört	ungestört	ungestört
Probenbeschreibung				Tst	Tst	Tst	Tst
Stratigraphie							
Dichte- bestimmung	Korndichte	ρ_s	t/m ³	31			
	Feuchtdichte	ρ	t/m ³	32			
	Wassergehalt	w	%	33			
	Trockendichte	ρ_d	t/m ³	34			
Einaxialer Druckversuch	Einax. Druckfestigkeit	σ_u	MN/m ²	35			
	Belastungsmodul	B	MN/m ²				
	Wiederbelastungsmodul	V					
	Entlastungsmodul	E					
Poisson- zahlen	für Belastung,	ν_B	-	36			
	Wiederbelastung	ν_V					
	und Entlastung	ν_E					
Dreiaxialer Druckversuch	Vers. Typ/Probendurchm.	- / cm	37				
	Anzahl der Zyklen	-					
	Reibungswinkel	φ	38				
Punktlastindex	diametral	$I_{S(50)}$	MN/m ²	39	1,167 (p)	2,401 (s)	0,675 (p)
	axial						
Spaltzugversuch	\perp \parallel	σ_z	MN/m ²	40			
Reibungsversuch	Probenfläche	A	cm ²	41			
	Anzahl der Laststufen	-		42			
	Trennflächentyp	-					
	Trennflächengeometrie	-					
	Reibungswinkel	φ	°				
technische Kohäsion	c	MN/m ²					
Quellversuche	Quellspannung	σ_{\perp}	MN/m ²	43			
	Versuchsdauer	d		44			
	Quelldehnung	$\epsilon_{\perp 0}$	%	45			
	Versuchsdauer	d		46			
	Quellversuch nach	K	%	47			
	Huder und Amberg	σ_0	MN/m ²				
DIN 52103	Versuchsdauer	d		48			
	Wasseraufnahme		%	49			
	Absplitterung						
	Kennziffer der Absplitt.	-		50			
	Veränderlichk. in Wasser DIN 4022	-		51			
	Cerchar	CAI	-	53			
	Abrasivitätsindex	Klassifizierung	-	54			
	Frostversuch nach	Absplitt.	%	55			
	DIN 52104 / 4226	Kennzi.	-		56		
Einaxialer Kriechversuch	% von einax. Druckfestigkeit		%	57			
	Kriechrate am 10. Tag (LS 1)		%				
	% von einax. Druckfestigkeit		%				
	Kriechrate am 10. Tag (LS 2)		%				
Slake Durability Test	I_{d1}		%	58			
	I_{d2}		%				

zu Zeile 51: w- / w' / w / w* = nicht veränderlich / mäßig veränderlich / veränderlich / stark veränderlich

zu Zeile 54 u. 56: Kennziffer der Absplitter.

Bemerkungen:

Zusammenstellung der geomechanischen Versuchsergebnisse (Fels)

Entnahmedaten	Proben-Nr.		Zeilen-Nr.:	WEA		WEA		WEA		WEA		
	Entnahmestelle			05		05		05		05		
	Zusätzliche Angaben											
	Entnahmetiefe	von		m	7,20	7,30	7,50	7,70	7,90			
		bis		m	7,30	7,50	7,70	7,90				
Entnahmearart			ungestört	ungestört	ungestört	ungestört						
Probenbeschreibung			Tst	Tst	Tst	Tst						
Stratigraphie												
Dichtebestimmung	Korndichte	ρ_s	t/m^3	31								
	Feuchtdichte	ρ	t/m^3	32								
	Wassergehalt	w	%	33								
	Trockendichte	ρ_d	t/m^3	34								
Einaxialer Druckversuch	Einax. Druckfestigkeit		σ_u	MN/m ²	35			9,121				
	Belastungsmodul		B	MN/m ²		1801						
	Wiederbelastungsmodul		V	MN/m ²								
	Entlastungsmodul		E	MN/m ²								
	Poisson-zahlen	für Belastung, Wiederbelastung und Entlastung		ν_B ν_V ν_E		-	36					
Dreiaxialer Druckversuch		Vers. Typ/Probendurchm.		- / cm	37							
		Anzahl der Zyklen		-								
	Reibungswinkel		ϕ	°	38							
technische Kohäsion		c	MN/m ²									
Punktlastindex	diametral axial		$I_{S(50)}$	MN/m ²	39	1,595 (s)	0,605 (p)	1,627 (s)	0,494 (p)	3,417 (s)	0,850 (p)	
	Spaltzugversuch			σ_z	MN/m ²	40						
Reibungsversuch	Probenfläche		A	cm ²	41							
	Anzahl der Laststufen		-									
	Trennflächentyp		-									
	Trennflächengeometrie		-		42							
	Reibungswinkel		ϕ	°								
	technische Kohäsion		c	MN/m ²								
Quellversuche	Quellspannung		σ_a	MN/m ²	43							
	Versuchsdauer		d		44							
	Quelldehnung		$\epsilon_{a,0}$	%	45							
	Versuchsdauer		d		46							
	Quellversuch nach Huder und Amberg		K	%	47							
	Versuchsdauer		d		48							
	Versuchsdauer		d		48							
DIN 52103	Wasseraufnahme			%	49							
	Absplitterung			%	50							
	Kennziffer der Absplitt.			-	50							
Veränderlichk. in Wasser DIN 4022			-	51								
Cerchar		CAI	-	53								
Abrasiveindex		Klassifizierung	-	54								
Frostversuch nach DIN 52104 / 4226		Absplitt. Kennzi.	%	55								
Frostversuch nach DIN 52104 / 4226		Absplitt. Kennzi.	-	56								
Einaxialer Kriechversuch	% von einax. Druckfestigkeit Kriechrate am 10. Tag (LS 1)		%	57								
	% von einax. Druckfestigkeit Kriechrate am 10. Tag (LS 2)		%									
	% von einax. Druckfestigkeit Kriechrate am 10. Tag (LS 3)		%									
	% von einax. Druckfestigkeit Kriechrate am 10. Tag (LS 3)		%									
Slake Durability Test			I_{d1} I_{d2}	% %	58							

zu Zeile 51: w- / w' / w / w* = nicht veränderlich / mäßig veränderlich / veränderlich / stark veränderlich

zu Zeile 54 u. 56: Kennziffer der Absplitter.

Bemerkungen:

Zusammenstellung der geomechanischen Versuchsergebnisse (Fels)

Entnahmedaten		Proben-Nr.		Zeilen-Nr.:	WEA					
Entnahmestelle					05					
Zusätzliche Angaben					7,90					
Entnahmetiefe von		m			8,00					
Entnahmetiefe bis		m			ungestört					
Entnahmearart				Tst						
Probenbeschreibung										
Stratigraphie										
Dichte- bestimmung	Korndichte	ρ_s	1/m ³	31						
	Feuchtdichte	ρ	1/m ³	32						
	Wassergehalt	w	%	33						
	Trockendichte	ρ_d	1/m ³	34						
Einaxialer Druckversuch	Einax. Druckfestigkeit	σ_u	MN/m ²	35						
	Belastungsmodul	B								
	Wiederbelastungsmodul	V	MN/m ²							
	Poisson- zahlen	für Belastung, Wiederbelastung und Entlastung	ν_B		36					
ν_V			-							
ν_E										
Dreiaxialer Druckversuch	Vers. Typ/Probendurchm.		- / cm	37						
	Anzahl der Zyklen		-	38						
	Reibungswinkel	φ	°							
	technische Kohäsion	c	MN/m ²							
Punktlastindex	diametral	$I_{S(50)}$	MN/m ²	39	2,050 (s)	0,568 (p)				
	axial									
Spaltzugversuch		σ_z	MN/m ²	40						
Reibungsversuch	Probenfläche	A	cm ²	41						
	Anzahl der Laststufen	-								
	Trennflächentyp	-			42					
	Trennflächengeometrie	-								
	Reibungswinkel	φ	°							
	technische Kohäsion	c	MN/m ²							
Quellversuche	Quellspannung	σ_q	MN/m ²	43						
	Versuchsdauer	d		44						
	Quelldehnung	$\epsilon_{q,0}$	%	45						
	Versuchsdauer	d		46						
	Quellversuch nach	K	%	47						
	Huder und Amberg	σ_0	MN/m ²							
	Versuchsdauer	d		48						
DIN 52103	Wasseraufnahme		%	49						
	Absplitterung									
	Kennziffer der Absplitt.		-		50					
Veränderlichk. in Wasser DIN 4022				-	51					
Cerchar		CAI	-	53						
Abrasiveitätsindex		Klassifizierung	-	54						
Frostversuch nach		Absplitt.	%	55						
DIN 52104 / 4226		Kennzi.	-		56					
Einaxialer Kriechversuch	% von einax. Druckfestigkeit		%	57						
	Kriechrate am 10. Tag (LS 1)		%							
	% von einax. Druckfestigkeit		%							
	Kriechrate am 10. Tag (LS 2)		%							
	% von einax. Druckfestigkeit		%							
Kriechrate am 10. Tag (LS 3)		%								
Slake Durability Test	I_{d1}		%	58						
	I_{d2}		%							

zu Zeile 51: w- / w / w / w* = nicht veränderlich / mäßig veränderlich / veränderlich / stark veränderlich

zu Zeile 54 u. 56: Kennziffer der Absplitt.

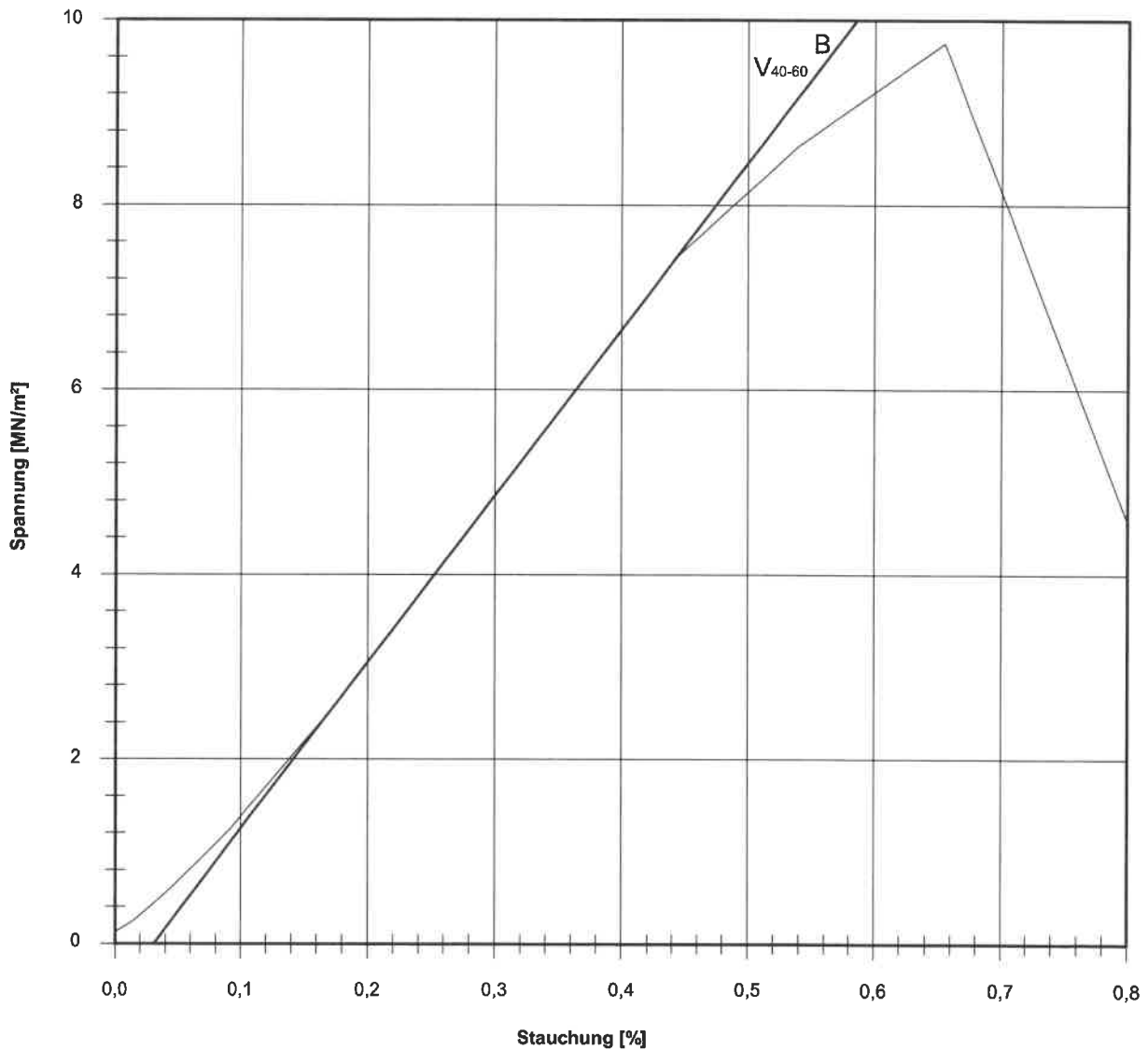
Bemerkungen:

Einaxialer Druckversuch

Felsprobe ohne Messung der Querdehnung
nach DGGT-Empfehlung Nr. 1

Entnahmestelle WEA 05		
Tiefe unter GOK: 7,50 - 7,70 m		
Entnahmearart: ungestört		
Probenbeschreibung: Tst	Bodengruppe:	Stratigraphie:
Entn. am:	von: Geotechnik Herrmann	

Ausgeführt von: J. Bergen	am: 09.08.2021	Gep.:
Ausgewertet von: Frühwirth	am: 01.09.2021	
Probenhöhe: 131,4 mm	Feuchtdichte: 2,627 t/m ³	Verformungsgeschwindigkeit: 0,20 mm/min
Durchmesser: 101,6 mm	Wassergehalt: %	Höhen/Durchmesser Verhältnis(h/d): 1,29
Querschnittsfläche: 81,07 cm ²	Trockendichte: t/m ³	Korrekturfaktor; $f = 8/(7+2d/h)$: 0,936

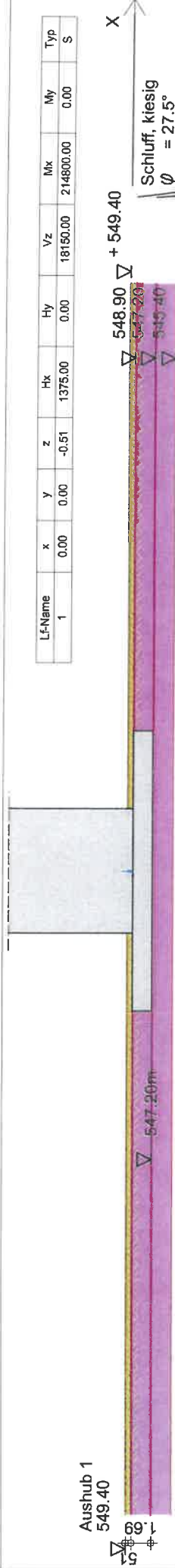


Bruchspannung σ :	9,744 MN/m ²	Verformungsmodul:		Poissonzahl:
Einaxiale Druckfestigkeit		Belastungsmodul V_{40-60} :	1801 MN/m ²	
$f \cdot \sigma = q_U$ bzw. σ_U :	9,121 MN/m ²	Modul d. einaxialen Druckf. E_U :		
Stauchung beim Bruch:	0,65 %	Belastungsmodul B :	1801 MN/m ²	für Belastung v_B :
Querdehnung beim Bruch:		Wiederbelastungsmodul V :		für Wiederbelastung v_V :
		Entlastungsmodul E :		für Entlastung v_E :

Bemerkungen:

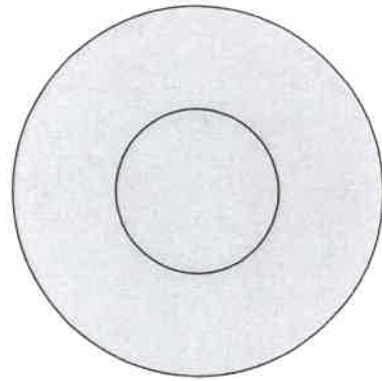
Anlagengruppe 6

Lf-Name	x	y	z	Hx	Hy	Vz	Mx	My	Typ
1	0.00	0.00	-0.51	1375.00	0.00	18150.00	214800.00	0.00	S



- Schluff, kiesig
 - $\varphi = 27.5^\circ$
 - $c = 5.0 \text{ kN/m}^2$
 - $\gamma/\gamma' = 19.5/10.0 \text{ kN/m}^3$
- Tonstein1
 - $\varphi = 25.0^\circ$
 - $c = 20.0 \text{ kN/m}^2$
 - $\gamma/\gamma' = 22.0/12.0 \text{ kN/m}^3$
- Tonstein2
 - $\varphi = 25.0^\circ$
 - $c = 50.0 \text{ kN/m}^2$
 - $\gamma/\gamma' = 24.0/14.0 \text{ kN/m}^3$
- Grauwacke
 - $\varphi = 25.0^\circ$
 - $c = 50.0 \text{ kN/m}^2$
 - $\gamma/\gamma' = 24.0/14.0 \text{ kN/m}^3$

24.50



24.50

LF-Name	x	y	z	Hk	Hy	Vz	Mx	My	Typ
1	0.00	0.00	-0.51	1375.00	0.00	18150.00	214800.00	0.00	S

Aushub 1
549.40



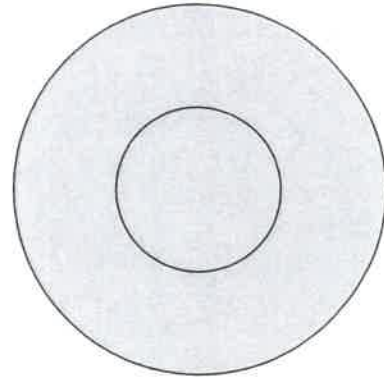
Schluff, kiesig
 $\varphi = 27.5^\circ$
 $c = 5.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma/\gamma' = 19.5/10.0 \text{ kN/m}^3$

Tonstein1
 $\varphi = 25.0^\circ$
 $c = 20.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma/\gamma' = 22.0/12.0 \text{ kN/m}^3$

Tonstein2
 $\varphi = 25.0^\circ$
 $c = 50.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma/\gamma' = 24.0/14.0 \text{ kN/m}^3$

Grauwacke
 $\varphi = 25.0^\circ$
 $c = 50.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma/\gamma' = 24.0/14.0 \text{ kN/m}^3$

24.50



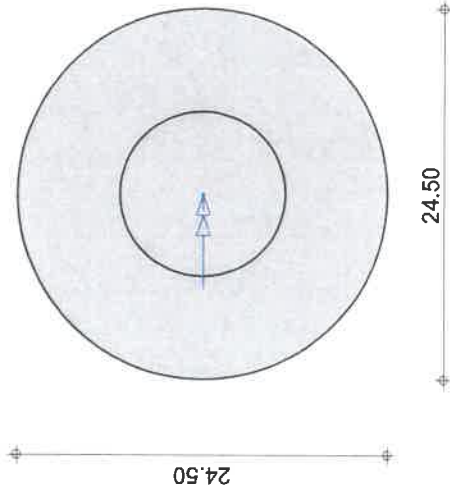
24.50

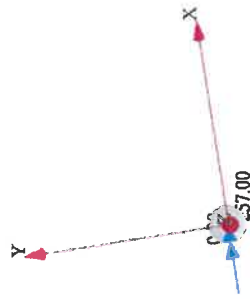
Seite

2

Maßstab : 1 : 500

LF-Name	x	y	z	Hx	Hy	Vz	Mx	My	Typ
1	0.00	0.00	-0.51	1375.00	0.00	18150.00	214800.00	0.00	S





Programm DC-Fundament - Copyright 2006-2021: DC-Software Doster & Christmann GmbH, D-81245 München

Eingabedatei: C:\ProgramData\DC-Grundbaustatik\Daten\WEA2\WEA5.dbf

Fundament-Berechnung nach DIN EN 1997-1 (Eurocode 7) und DIN 1054:2010

Erddruck nach DIN 4085:2017

Berechnung mit Nachweisverfahren 2

Kombination mit Teilsicherheitsbeiwerten der Gruppen A1 + M1 + R2

Fundamenttyp: Einzelfundament, kreisförmig

Fundamentabmessungen

Durchmesser d : 24.50 m
 Unterkante : 547.20 mNN
 Höhe h : 1.69 m
 Wichte γ : 25.00 kN/m³
 Geländeoberkante auf 549.40 mNN

Schichtdaten

		Schluff, kiesig	Tonstein1	Tonstein2	Grauwacke
Schichthöhe Δh	[m]	0.50	1.70	1.80	96.00
Innere Reibung $\text{cal } \varphi'$	[°]	27.50	25.00	25.00	25.00
Kohäsion c	[kN/m ²]	5.00	20.00	50.00	50.00
Wichte Boden γ	[kN/m ³]	19.50	22.00	24.00	24.00
Wichte unter Auftrieb γ'	[kN/m ³]	10.00	12.00	14.00	14.00
Steifemodul E_s	[MN/m ²]	40.00	100.00	120.00	120.00
zul. Bodenpressung	[kN/m ²]		450.00	500.00	550.00

Lastfall BS
 1 P

Einzellasten

Lastfall	Kat.	V [kN]	H _x [kN]	H _y [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	x [m]	y [m]	z [m]	γ Grundbau	γ Bemess.	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Eigengew.	G	19953.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	-2.20	1.35	1.35			
1	G	18150.0	1375.0	0.0	214800.0	0.0	0.00	0.00	-0.51	1.35	1.35			

Teilsicherheitsbeiwerte für statisches Gleichgewicht (EQU):

γ -	G, stb	G, dst	Q, dst
BS-P	0.90	1.10	1.50
BS-T	0.90	1.05	1.25
BS-A	0.95	1.00	1.00
BS-T/A	0.93	1.03	1.13

Teilsicherheitsbeiwerte (STR, GEO) für Nachweisverfahren 2

γ -	G	Q	R,v	R,h	γ	φ	c	cu	Ea	E0g	Ep
BS-P	1.35	1.50	1.40	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.35	1.20	1.40
BS-T	1.20	1.30	1.30	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.10	1.30
BS-A	1.10	1.10	1.20	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.10	1.00	1.20
BS-T/A	1.15	1.20	1.25	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.15	1.05	1.25

- γ - Teilsicherheitsbeiwert für ...
- G ständige Lasten
- Q veränderliche Lasten
- R,v Grundbruchwiderstand
- R,h Gleitwiderstand
- γ Wichte
- φ Reibungsbeiwert $\tan \varphi$
- c Kohäsion c
- cu Kohäsion undränert cu
- Ea Aktiver Erddruck
- E0g Ruhedruck
- Ep Passiver Erddruck
- G, stb günstige ständige Lasten
- G, dst ungünstige ständige Lasten
- Q, dst ungünstige veränderliche Lasten

Lastfall-Kombinationen für Grundbaunachweise:

Komb.Nr.	Bem.sit.	Eigengew.	1
1	BS-P	1.00	1.00
2	BS-P	1.00	1.35
3	BS-P	1.35	1.00
4	BS-P	1.35	1.35

Lastfall-Kombinationen für Bemessung:

Komb.Nr.	Eigengew.	1
1	1.00	1.00
2	1.00	1.35
3	1.35	1.00
4	1.35	1.35

Ergebnisse:

Komb.Nr.	Sohl-normalsp. [kN/m ²]	max.Bodenpressung [kN/m ²]	Gleiten T _d /R _d	Grundbr. N _d /R _d	max. Setzung [mm]	e/d ständig	e/d gesamt	EQU: E _{d,dst} /E _{d,stb}
1	184.1	257.0	0.07	0.08	16.8	0.411	0.165	0.001
2	184.1	257.0	0.10	0.09	16.8	0.411	0.165	0.001
3	184.1	257.0	0.07	0.09	16.8	0.411	0.165	0.001
4	184.1	257.0	0.10	0.10	16.8	0.411	0.165	0.001

Maßgebend:

Komb.Nr.	Sohl-normalsp. [kN/m ²]	max.Bodenpressung [kN/m ²]	Gleiten T _d /R _d	Grundbr. N _d /R _d	max. Setzung [mm]	e/d ständig	e/d gesamt	EQU: E _{d,dst} /E _{d,stb}
	184.1	257.0	0.10	0.10	16.8	0.411	0.165	0.001

Nachweis der Lagesicherheit im GZ EQU

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 1, maßgebende Richtung: -y

Lage der Kippkante: (-12.25 m; -2.20 m)

E_{d,dst} = 407.23 kNm ≤ E_{d,stb} = 282531.53 kNm

*** Nachweis erfüllt ***

Nachweis der max. Bodenpressung

Schnittgrößen in der Sohlfuge

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 2

Belastung aus Eigengewicht: V = 19953.5 kN

Belastung aus Erdauflast: V = 5020.7 kN, M_y = 0.0 kNm, M_x = 0.0 kNm

Gesamtlast:

N = 43124.2 kN, Q_x = 1375.0 kN, M_y = 2327.9 kNm, Q_y = 0.0 kN, M_x = 214800.0 kNm

σ_{1(-x)} = 257.0 kN/m², σ_{2(+x)} = 0.0 kN/m²

Ersatzbreiten: b' = 14.54 m, a' = 16.11 m

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 2

(char. Sohlnormalspannung σ_{Or,k} = 184.1 kN/m²)

Nachweis mit Bemessungswerten:

σ_{Or,d} = 252.9 kN/m² < Bemessungswert Sohlwiderstand σ_{Rd} = 500.0 kN/m²

*** Nachweis erfüllt ***

Nachweis der Gleitsicherheit im Nachweisverfahren 2

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 2, maßgebende Richtung: +x

	Charakteristisch	Bemessungswerte
Belastung T	= 1375.0 kN	1856.3 kN
Erdwiderstand E _{ph} (δ _p = 0)	= 1375.0 kN	982.1 kN
Belastung V	= 43124.2 kN	
Reibungswinkel Sohle δ	= 25.00 °	
Gleitwiderstand R _t	= 20109.1 kN	18281.0 kN
Nachweis: T_d / (R_{t,d} + E_{p,d})	= 0.10 < 1.0	

*** Nachweis erfüllt ***

Nachweis der Grundbruchsicherheit im Nachweisverfahren 2

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 4, maßgebende Richtung: +x

Belastung		Charakteristisch	Bemessungswerte
Auflast P	=	23170.70 kN	31280.45 kN
Eigengewicht G	=	19953.50 kN	26937.22 kN
Gesamtlast V	=	43124.20 kN	58217.67 kN
Horizontallast H	=	1375.00 kN	1856.25 kN
Moment M_y	=	2327.88 kNm	3142.63 kNm
Moment M_x	=	214800.00 kNm	289980.00 kNm
Neigung der Resultierenden $\tan(\delta_s) = H/V$	=	0.03	
Lastrichtung zur Querrichtung ω	=	90.00 °	

Abmessungen

Einbindetiefe d	=	2.20 m
Ersatzbreite b'	=	14.54 m
Ersatzbreite quer a'	=	17.25 m

Ergebnisse

Breite der Grundbruchfigur	=	59.18 m
Tiefe der Grundbruchfigur	=	18.41 m
Maßgebende Bodenkennwerte: γ oberhalb Gründungssohle	=	21.43 kN/m ³
γ unterhalb Gründungssohle	=	24.00 kN/m ³
Reibungswinkel φ	=	25.00 °
Kohäsion c	=	50.00 kN/m ²
Tragfähigkeitsbeiwerte N_c, N_q, N_γ	=	20.72 10.66 4.51
Lastneigungsbeiwerte i_c, i_q, i_γ	=	0.95 0.95 0.92
Formbeiwerte s_c, s_q, s_γ	=	1.47 1.42 0.70

Grundbruchspannung p_d	=	2236.50 kN/m ²
Bemessungswert Grundbruchwiderstand R_d	=	560912.79 kN
Bemessungswert Beanspruchung N_d	=	58217.67 kN

Nachweis: $N_d / R_d = 0.10 < 1.0$

***** Nachweis erfüllt *****

Setzungsberechnung (GZG)

begogen auf die Bodenpressungen an den kennzeichnenden Punkten:

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 1

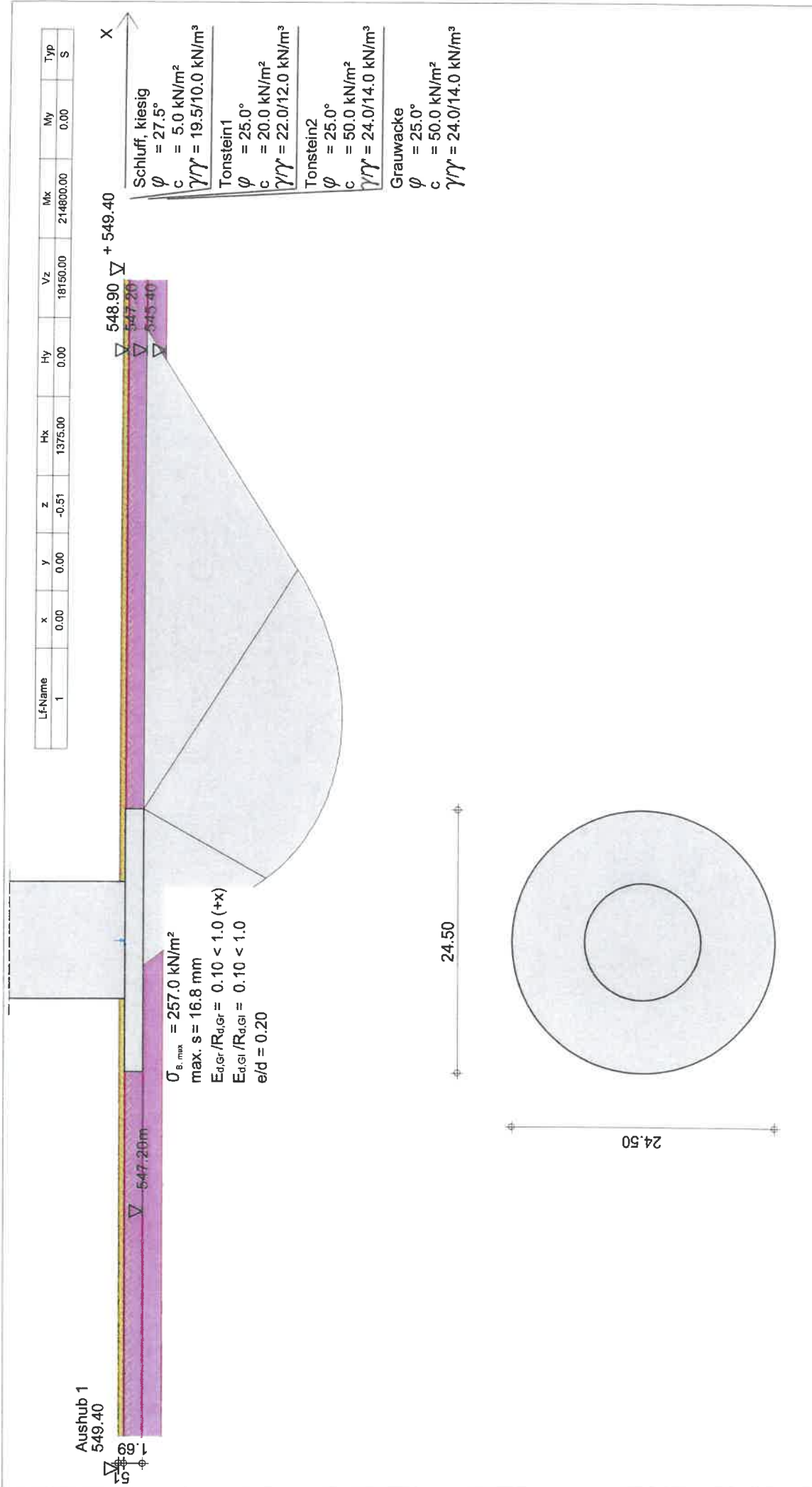
Setzung am Randpunkt (-r; 0):	6.8 mm
Setzung am Randpunkt (+r; 0):	7.1 mm
Setzung am Randpunkt (0;-r):	16.8 mm
Setzung am Randpunkt (0;+r):	-2.9 mm (Hebung)

Maximale Setzung:	16.8 mm
Angesetzte Grenztiefe:	13.00 m

Setzung nur aus Normalkraft

Setzung am Randpunkt (-r; 0):	4.7 mm
Setzung am Randpunkt (+r; 0):	4.8 mm
Setzung am Randpunkt (0;-r):	4.7 mm
Setzung am Randpunkt (0;+r):	4.7 mm

Maximale Setzung:	4.8 mm
Angesetzte Grenztiefe:	9.00 m



Lf-Name	x	y	z	Hx	Hy	Vz	Mx	My	Typ
1	0.00	0.00	-0.51	1375.00	0.00	18150.00	214800.00	0.00	S

Aushub 1
549.40



$$\sigma_{B, \max} = 257.0 \text{ kN/m}^2$$

$$\max. s = 16.8 \text{ mm}$$

$$E_{d,gr}/R_{d,gr} = 0.10 < 1.0 (+x)$$

$$E_{d,gl}/R_{d,gl} = 0.10 < 1.0$$

$$e/d = 0.20$$

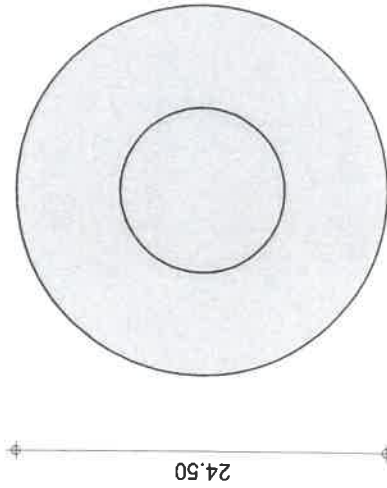
Schluff, kiesig
 $\phi = 27.5^\circ$
 $c = 5.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma/\gamma' = 19.5/10.0 \text{ kN/m}^3$

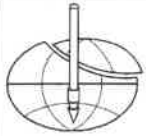
Tonstein1
 $\phi = 25.0^\circ$
 $c = 20.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma/\gamma' = 22.0/12.0 \text{ kN/m}^3$

Tonstein2
 $\phi = 25.0^\circ$
 $c = 50.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma/\gamma' = 24.0/14.0 \text{ kN/m}^3$

Grauwacke
 $\phi = 25.0^\circ$
 $c = 50.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma/\gamma' = 24.0/14.0 \text{ kN/m}^3$

24.50





GEOTECHNIK GmbH

Prof. Dr. -Ing. Herrmann & Partner

Lammelbach 5

91567 Herrieden

Web: www.geotechnik-gmbh.com
e-mail: GEOTECHNIK_GmbH@t-online.de

Büro 2: Hans-Böckler-Straße 1
57223 Kreuztal – Buschhütten

Büro 1: Lammelbach 5
91567 Herrieden

Telefon: 09825 – 9 34 13
09825 – 9 34 14
Telefax: 09825 – 9 34 15

Funktelefon 1: 0170 – 4751946
Funktelefon 2: 0170 – 5533881

Telefon: 02732 – 55 28 26
Telefax: 02732 – 55 28 27

**Windpark
Ohrenbach
Windenergieanlage
WEA 6
Vestas Typ V162 6,0MW
169 m Nabhöhe
in 57319 Bad Berleburg
Auftraggeber:
Krug Energie GmbH & Co. KG
35117 Münchhausen
Ergebnisse
der geotechnischen Untersuchungen
- Baugrund- / Gründungsgutachten -**

Auftraggeber:	Firma Krug Energie GmbH & Co. KG Dorfstraße 53 35117 Münchhausen-Wollmar
Projekt:	Windpark Ohrenbach, Windenergieanlage WEA 6 Fa. Vestas Typ V162 6,0MW, 169 m Naben- höhe bei Bad Berleburg 57319 Bad Berleburg
Auftrag:	Geotechnische Untersuchungen - Baugrund-/Gründungsgutachten (Geotechnischer Bericht nach DIN 4020)
Ihre Zeichen:	Herr Hans-Hermann Zacharias Auftrag vom 27.05.2021 (E-Mail)
Unsere Zeichen:	GEO-210129/5
Bearbeitung:	Dipl.-Ing. (FH) Thorsten Lauber Univ.-Prof. Dr.-Ing. Richard A. Herrmann
Lammelbach,	den 23.10.2021

Inhaltsverzeichnis:		Seite
1	Vorgang	4
2	Allgemeines	4
3	Geotechnische Untersuchungen	6
4	Geologie und Morphologie	13
5	Baugrundbeurteilung	14
6	Gründungsempfehlungen	15
7	Zusammenfassung und Schlussbemerkungen	31

Anlagen:

Anlage 1:	Lageplan der Aufschlüsse
Anlagengruppe 2:	Darstellung des direkten Aufschlusses Bohrung BK WEA 6 (nach DIN EN ISO 22475-1) - Bohrprofil (Anlage 2.1) - Bilddokumentation (Anlage 2.2)
Anlagengruppe 3:	Darstellung der indirekten Aufschlüsse Ergebnisse der schweren Rammsondierungen WEA6-DPH-1 bis WEA6-DPH-5 - (Anlage 3.1 - 3.10)
Anlage 4:	Abwicklung des direkten Aufschlusses und der indirekten Aufschlüsse
Anlagengruppe 5:	Ergebnisse der felsmechanischen Laborversuche Punktlastversuche und Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit an Festgesteinsproben - (Anlage 5.1 - 5.3)
Anlagengruppe 6:	Fundamentberechnung - Sohlspannung, Setzung, Grundbruch, Gleiten u.a. - (Anlage 6.1 - 6.10)

1 Vorgang

Die Firma Krug Energie GmbH & Co. KG als Bauherr und Investor, vertreten durch Herrn Hans-Hermann Zacharias beauftragte uns am 27.05.2021 mit der Durchführung von geotechnischen Untersuchungen und der Ausarbeitung von Baugrund-/Gründungsgutachten (Geotechnischer Bericht nach DIN 4020) für die Errichtung von 8 Windenergieanlagen (WEA 2 - WEA 9) im Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg.

Grundlage der Beauftragung ist unser Kostenangebot vom 29.01.2021.

2 Allgemeines

Das Bauvorhaben sieht nach den vorliegenden Planunterlagen den Bau von insgesamt 8 Windenergieanlagen der Firma Vestas Wind Systems A/S, DK-8200 Aarhus vom Typ V162, 6,0 MW mit einer Nabenhöhe von 169 m vor. Der Hybridturm aus einem ca. 74,76 m hohen Stahlrohrturm über einem ca. 89,09 m hohen Spannbetonschaft steht auf einer kreisförmigen Fundamentplatte mit einem Durchmesser von 24,5 m. Das Fundament weist eine Höhe von 2,90 m auf und wird auf einer ca. 10 cm dicken Sauberkeitsschicht hergestellt. Im Zentrum des Fundamentes wird mit einem Durchmesser von 4,4 m eine Weichschicht mit $d = 5$ cm auf der Sauberkeitsschicht eingebaut und zusätzlich außerhalb des Sockels mit einer Breite von 2 m eine Weichschicht $d = 15$ cm in die Sauberkeitsschicht eingebaut.

Der Windpark Ohrenbach befindet sich südöstlich der Stadt Bad Berleburg im Waldgebiet zwischen den Einzelgehöften Lützelbach/Steinbach im Nordwesten, den Dörfern Arfeld im Südwesten, Schwarzenau mit dem Oberen Hüttental im Südosten und dem Hof Brücher im Nordosten. Neben den geplanten 8 Anlagen erfolgen benachbart für 4 bereits genehmigte Anlagen der Eder Energy Erdarbeiten für die Erschließung und Baufeldvorbereitung.

Das Gelände wird von den Erhebungen des Großen Prenzenberger Kopfes (653 mNN) im Nordwesten, Ohrenbachsrücken (593 mNN) im Südwesten, dem Hahnschuß (600 mNN) im Südosten, der Schlade Seite (635 mNN) im Osten und dem Nesselbergkopf (671 mNN) im Nordosten geprägt und dazwischen hat sich das Arfetal in das Gelände eingeschnitten.

Der Standort der WEA 6 mit den Mittelpunktkoordinaten im ETRS/UTM 32N-System von Re 459957 und Ho 5653340 und einer Höhe von ca. 558,8 mNHN (im Zentrum) liegt ca. 250 m

südlich des Ohrenbachsrücken (Erhebung mit 593 mNHN) am nach Süden zu einem Seitenarm der Arfe abfallenden Hang am südlichen Rand des geplanten Windparks.

Das Baugrundstück befindet sich an einer Kahlschlag-Fläche und grenzt im Südwesten an einen Waldwirtschaftsweg an.

Zur Bearbeitung des Baugrund-/Gründungsgutachtens und als Vorinformation zum Bauvorhaben wurden uns bisher folgende Planunterlagen zur Verfügung gestellt:

- **Prüfbericht für eine Typenprüfung „Prüfung der Standsicherheit - Hybridturm T20“**, Prüfnr.: 3108363-13-d (15 Seiten [mit Anlagen]), aufgestellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Prüfamts für Standsicherheit für die bautechnische Prüfung von Windenergieanlagen, 80686 München, am 17.02.2020
- **Prüfbericht für eine Typenprüfung „Prüfung der Standsicherheit - Flachgründung“**, Prüfnr.: 3108363-23-d, (201 Seiten [mit Anlagen]), aufgestellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Prüfamts für Standsicherheit für die bautechnische Prüfung von Windenergieanlagen, 80686 München, am 17.02.2020
- **Gutachterliche Stellungnahme für Lastannahmen zur Turmberechnung der Vestes V162-5.6 MW mit 169 m Nabenhöhe (Hybrid-Turm, Entwurfslebensdauer 20 Jahre) für Windzone WZ2GK2 (S)**“, Berichts-Nr. L-05629-A052-3 Rev. 1, (243 Seiten [mit Anlagen]), aufgestellt von DNV GL Energy Renewables Certification, Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH, 20457 Hamburg, am 05.02.2020
- **Plan „Übersichtsplan 1/2, Übersicht WEA 2 - 6 [Planung]**, M.: 1:5000, aufgestellt von Windenergie Wenger-Rosenau GmbH & Co. KG, 16816 Neuruppin, gezeichnet am 29.07.2021
- **Plan „Übersicht 8 WEA [Entwurf]**, M.: 1:10000, aufgestellt von Windenergie Wenger-Rosenau GmbH & Co. KG, 16816 Neuruppin, gezeichnet am 20.04.2021
- **Koordinatenliste der Anlagen-Mittelpunkte**, Stand: 01.06.2021
- **Liste „Geländehöhen der Anlagen-Mittelpunkte“**, übermittelt von Dipl.-Ing. Burghaus, ÖbVI, Stand: 14.10.2021, Messgenauigkeit ca. $\pm 10 - 15$ cm

3 Geotechnische Untersuchungen

3.1 Allgemeines

Die geotechnischen Untersuchungen des Baugrundes und der örtlichen Situation für die geplante Errichtung der Windenergieanlage WEA 6 im Windpark Ohrenbach wurden am 04.06.2021 mit der Durchführung von fünf schweren Rammsondierungen DPH nach DIN EN ISO 22476-2 zur Ermittlung der relativen Baugrundfestigkeiten sowie zur Abgrenzung eines vorhandenen Grenzhorizontes begonnen. Die Felduntersuchungen wurden am 20.06.-01.07.2021 mit dem Niederbringen einer Bohrung nach DIN EN ISO 22475-1 Tabelle 2 + 5 zur Schaffung eines *direkten* Baugrundaufschlusses und der Wiederverfüllung des Bohrloches abgeschlossen.

Die Bohrung wurde zur Schaffung eines direkten Baugrundaufschlusses mit der Gewinnung durchgehend gekernter Boden- und Felsproben und damit zur Beurteilung der Baugrundverhältnisse im Bereich der geplanten neuen Windenergieanlage abgeteuft. Die Rammsondierungen dienten zur Ermittlung geotechnischer insitu Kenngrößen nach DIN EN 1997-2, aus denen geotechnische Kennwerte für die Bemessung nach DIN EN 1997-1 abgeleitet werden, sowie zur Abgrenzung von Festigkeits- und Grenzhorizonten.

Die Festlegung der Bohr- und Sondierpunkte wurde in Anlehnung an die DIN 4020 und die örtlichen Gegebenheiten an definierten Punkten in Form eines Rasters (hier zentralsymmetrische Anordnung) ausgewählt, um eine flächenhafte Erkundung des Baugrundes im Bereich des Turmfundamentes zu erzielen.

Die geodätische Einmessung der einzelnen Aufschlusspunkte bzw. der Ansatzhöhen erfolgte mit einer GPS-Vermessung. Die Ansatzhöhen sind auf das Normalhöhennull (mNHN) im System des Deutschen Haupthöhennetzes (DHHN 2016) bezogen.

Die Lage der durchgeführten Untersuchungen im Bereich des Baugrundstückes wurde mit den Orten der Bohrung und Sondierungen auf dem Grundriss des Baugeländes eingemessen. Diese Einmessung wurde in einem Lageplan dargestellt und ist dem Baugrund-/ Gründungsgutachten als **Anlage 1** beigefügt. Als Grundplan diente ein Auszug aus dem Plan „Übersichtsplan 1/2, Übersicht WEA 2 - 6 [Planung] des Büros Windenergie Weniger-Rosenau GmbH & Co. KG, 16816 Neuruppin.

3.2 Direkter Aufschluss mit einer Bohrung nach DIN EN ISO 22475-1

Bohrung BK WEA 6

Die Bohrung BK WEA 6 wurde von dem von der Firma Krug Energie direkt beauftragten Bohrunternehmen Stölben GmbH, 56856 Zell/Mosel, mit Bohrverfahren nach Tabelle 2 und 5 der DIN EN ISO 22475-1 abgeteuft. Der Bohrpunkt für BK WEA 6 wurde ca. 1 m neben dem Zentrum des geplanten Fundamentes der Windenergieanlage festgelegt. Die Bohrung wurde als Rammkernbohrung mit Einfachkernrohr im Überlagerungsbereich im Trockenbohrverfahren und als Rotationskernbohrung im Felsbereich mit Wasserspülung mit dem Doppelkernrohr abgeteuft und wurde bei einer Bohrtiefe von 12 m planmäßig beendet. Das Spülwasser wurde aus dem Trinkwassernetz in Bad Berleburg entnommen und mit einem Wasserfass zur Bohrstelle transportiert.

Die Lage der Bohrung ist im Lageplan der **Anlage 1** dargestellt.

Bohrung BK WEA 6

Die Bohrung BK WEA 4 wurde ca. 1 m neben dem Mittelpunkt des geplanten Kreisringfundamentes der Windenergieanlage WEA 6 niedergebracht. Der Oberboden war im Bereich um das Zentrum der Anlage mit der Herstellung einer Arbeitsebene für das Bohrgerät bereits abgetragen worden.

Bohrung BK WEA 6 (Ansatzpunkt = 558,70 mNHN)

Die Bohrung BK WEA 6 ergab folgendes Bohrprofil:

- | | |
|---------------|---|
| 0,00 – 0,20 m | Schluff, kiesig, steif, gelbbraun |
| 0,20 – 0,80 m | Kies, schluffig, (Tonsteinersatz), grau |
| 0,80 – 2,70 m | Tonstein, stark verwittert, plattig, schlechte - mäßige Kornbindung, dicht, nichtkörnig, dunkelgrau |

- 2,70 – 4,30 m Tonstein, schwach verwittert, plattig - bankig, klüftig, gute Kornbindung, dicht, nichtkörnig, dunkelgrau
- 4,30 – 5,60 m Tonstein, frisch, bankig, klüftig, sehr gute Kornbindung, dicht, nichtkörnig, oxidierte Klufflächen, dunkelgrau
- 5,60 – 6,00 m Tonstein, mäßig verwittert, bankig, mäßige Kornbindung, dicht, nichtkörnig, dunkelgrau
- 6,00 – 7,00 m Tonstein, mäßig verwittert, plattig, klüftig, gute Kornbindung, dicht, nichtkörnig, grau-dunkelgrau
- 7,00 – 8,00 m Tonstein, schwach verwittert, bankig, schwach klüftig, gute Kornbindung, dicht, nichtkörnig, schräg geklüftet, dunkelgrau
- 8,00 – 9,00 m Tonstein, schwach verwittert, bankig - massig, schwach klüftig, sehr gute Kornbindung, dicht, nichtkörnig, schräg geklüftet, dunkelgrau
- 9,00 – 12,00 m Tonstein, schwach verwittert, bankig, klüftig, gute - sehr gute Kornbindung, dicht, schräg geklüftet, grau-dunkelgrau
- Ein Grund-/Schichtenwasser wurde im Bohrloch der Bohrung BK WEA 6 im Beobachtungszeitraum nicht festgestellt.

Die Bohrung BK WEA 6 wurde planmäßig in einer Tiefe von 12,00 m unter GOF bei 546,70 NHN beendet. Das Bohrloch wurde nach Beendigung der Bohrarbeiten mit hoch quellaktivem Tongranulat verfüllt.

Die Ergebnisse des direkten Aufschlusses (Bohrung BK WEA 6) sind in der **Anlage 2.1** als Bodenprofil nach DIN 4023 dargestellt.

3.3 Indirekte Aufschlüsse mit Rammsondierungen nach DIN EN ISO 22476-2

Rammsondierungen DPH

Die Lage der Sondierpunkte ist im Lageplan der **Anlage 1** dargestellt.

Schwere Rammsondierungen DPH-1 bis DPH-5

Zur Ermittlung der Baugrundfestigkeiten und zur Abgrenzung der Verwitterungshorizonte (Überlagerung) sowie des Grenzhorizontes wurden im Bereich des Baugrundstücks fünf schwere Rammsondierungen DPH nach DIN EN ISO 22476-2 durchgeführt. Die Rammsondierungen dienen zur Ermittlung geotechnischer insitu Kenngrößen nach DIN EN 1997-2, aus denen geotechnische Kennwerte für die Bemessung nach DIN EN 1997-1 abgeleitet werden, sowie zur Abgrenzung von Festigkeits- und Grenzhorizonten.

Die Rammsondierungen DPH wurden im Zentrum und in einem Radius von 12,25 m um das Zentrum der geplanten Windenergieanlage absondiert und waren mit Rammwiderständen $N_{10} \geq 50$ Schläge pro 10 cm Eindringung planmäßig zu beenden.

Die Sondierungen ergaben oberflächennah bis in eine Tiefe von 0,5 bis 0,9 m eine Zone mit sehr geringen bis geringen Rammwiderständen mit 1 bis 4 (Schlägen pro 10 cm Eindringung)*. Nachfolgend wurde ein Anstieg zunächst auf mittlere Schlagzahlen und ab Tiefen von 0,9 bis 1,4 m eine weitere Zunahme auf höhere Sondierwiderstände ($N_{10} \geq 10^*$) gemessen. Darunter folgte ein meist treppenförmiger Anstieg der Rammwiderstände, bevor die Sondierungen DPH-1, DPH-2, DPH-4 und DPH-5 in einer Tiefe von 1,4 bis 1,7 m am Grenzhorizont, ausgewiesen mit $N_{10} \geq 50$ beendet wurden. Bei DPH-3 wurde nach einem Anstieg auf hohe Schlagzahlen ein leichter Rückgang gemessen, bevor die Sondierung in einer Tiefe von 2,7 m nach einem sprunghaften Anstieg am Grenzhorizont beendet wurde.

Die Sondierungen DPH-1 bis DPH-5 wurden bei ca. 555,5 bis 558,5 mNHN mit Erreichen des Grenzhorizontes beendet.

In der Zusammenfassung lassen sich der direkte und die indirekten Aufschlüsse wie folgt bewerten:

In Verbindung mit dem direkten Aufschluss sind die -nach dem erfolgten Oberbodenabtrag-gemessenen sehr geringen bis geringen Rammwiderstände auf kiesige Schluffe in steifer

Konsistenz und Tonsteinersatz (Kies, schluffig) zurückzuführen. Der Anstieg der Sondierwiderstände auf höhere N_{10} -Werte ist mit dem Erreichen des Verwitterungshorizontes der Dachschiefer-Folge in Form von stark verwitterten Tonsteinen, plattig, mit schlechter bis mäßiger Kornbindung verbunden, die auch den Grenzhorizont der Sondierungen bilden. Im tieferen Untergrund wurden schwach und mäßig verwitterte, zwischen 4,3 und 5,6 m frische Tonsteine, plattig/bankig, mit guter und guter bis sehr guter, lagenweise auch mäßiger Kornbindung erbohrt.

In der nachfolgenden Tabelle werden die Koten für die Rammwiderstandshorizonte mit $N_{10} \geq 10$ und $N_{10} \geq 50$ für den Bereich des geplanten Fundamentes dargestellt.

Tabelle 3.3-1: Höhenkoten Rammwiderstandshorizont $N_{10} \geq 10$ und $N_{10} \geq 50$ [Schläge/10 cm]

DPH	Höhenkote Sondieransatzpunkt	Höhenkote (Tiefe u. ASP) RW-Horizont	Höhenkote (Tiefe u. ASP) RW-Horizont
		$N_{10} \geq 10$ [Schläge/10 cm]	$N_{10} \geq 50$ [Schläge/10 cm]
Nr.	mNHN	mNHN (m)	mNHN (m)
DPH-1	558,62	557,42 (1,2)	557,22 (1,4)
DPH-2	560,20	558,80 (1,4)	558,50 (1,7)
DPH-3	559,36	558,16 (1,2)	556,66 (2,7)
DPH-4	556,90	556,00 (0,9)	555,50 (1,4)
DPH-5	558,65	557,45 (1,2)	557,15 (1,5)

Die Ergebnisse der schweren Rammsondierungen sind in der **Anlagengruppe 3** (Anlagen 3.1 - 3.10) in Form von Sondierprotokollen und Rammdiagrammen nach DIN EN ISO 22476-2 zusammengestellt.

3.4 Laboruntersuchungen

Die bei der Kernbohrung BK WEA 6 gewonnenen Bohrkern aus der Dachschieferfolge wurden zur Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit an das Labor FeBoLab GmbH, 91747 Westheim übergeben.

3.4.1 Ermittlung der einaxialen Druckfestigkeit q_u mittels Punktlastversuchen gemäß den Empfehlungen Nr. 5 der DGGT

Die Ermittlung der einaxialen Druckfestigkeit q_u wurde über Korrelationsbeziehungen aus Punktlastversuchen gemäß den Empfehlungen Nr. 5 der DGGT durchgeführt. Die Ergebnisse der Punktlastversuche sind mit der Angabe der Probenabmessungen, der Bruchlast und den mit Korrelationsbeziehungen errechneten Punktlastindex $I_{s(50)}$ der Felsproben tabellarisch dargestellt (siehe auch Versuchsprotokoll in der **Anlage 5.1 - 5.3**).

Tabelle 3.4-1: Punktlastindex $I_{s(50)}$

Aufschluss Bohrung (Nr.)	Entnahmetiefe unter Ansatzpunkt [m]	Punktlastindex $I_{s(50)}$ [MN/m ²]
BK WEA 6	8,00 - 8,10	5,481 (s)
BK WEA 6	8,10 - 8,35	7,298 (s) 2,183 (p)
BK WEA 6	8,35 - 8,45	4,749 (s)
BK WEA 6	8,60 - 8,75	4,575 (s) 1,949 (p)
BK WEA 6	8,90 - 9,00	5,826 (s) 1,377 (p)
BK WEA 6	9,00 - 9,10	5,215 (s)
BK WEA 6	9,20 - 9,30	4,093 (s)
BK WEA 6	9,30 - 9,40	2,452 (s)
BK WEA 6	9,40 - 9,50	1,618 (p)
BK WEA 6	9,55 - 9,65	2,154 (s)
BK WEA 6	9,70 - 9,80	3,364 (s)
BK WEA 6	9,80 - 10,00	3,868 (s)

Der untersuchte Tonstein weist im Punktlastversuch unter Ansatz des Korrekturdiagramms der BAW (Korrekturfaktor = 20) eine einaxiale Druckfestigkeit q_u von 43 bis 146 [MN/m²] (senkrechte Belastungsrichtung) bzw. 27 bis 44 [MN/m²] (parallele Belastungsrichtung) auf.

Das Ergebnis der Laboruntersuchungen ist in Form von Versuchsprotokollen in der **Anlagegruppe 5** (Anlage 5.1 - 5.3) diesem Baugrund-/Gründungsgutachten beigefügt.

4 Geologie und Morphologie

4.1 Allgemeine Geologische Situation

Die Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen, Blatt Nr. 4916 Bad Berleburg weist für das Baugelände der WEA 6 die Dachschiefer-Folge der Eifel-Stufe aus der Formation Mitteldevon und nach Süden angrenzend den Oberen Quarzit aus. Das Gebirge ist hier gefaltet und die Schichten fallen mit einem Winkel von ca. 70° nach Norden ein.

Die durchgeführten geotechnischen Untersuchungen stehen in Einklang mit der geologischen Karte und zeigen, dass am Standort der WEA 6 die Dachschiefer-Folge ansteht. Die Dachschiefer-Folge besteht aus Tonstein, geschiefert, dunkelgrau bis grauschwarz, mit Einschaltungen von Tuffen, Kalklinsen und örtlich detritischen Kalksteinen und bildet in diesem Bereich das Liegende.

4.2 Erdbebenzone

Das Baugrundstück befindet sich in der Erdbebenzone 0 nach DIN EN 1998-1/NA. Für die Erdbebenzone 0 ist der Grad der Erdbebengefährdung als so gering einzuschätzen, dass ein Nachweis der Standsicherheit für den Lastfall Erdbeben nicht erforderlich ist.

4.3 Morphologie

Der Windpark Ohrenbach befindet sich südöstlich der Stadt Bad Berleburg im Waldgebiet zwischen den Einzelgehöften Lützelbach/Steinbach im Nordwesten, den Dörfern Arfeld im Südwesten, Schwarzenau mit dem Oberen Hüttental im Südosten und dem Hof Brücher im Nordosten. Neben den geplanten 8 Anlagen erfolgen benachbart für 4 bereits genehmigte Anlagen der Eder Energy Erdarbeiten für die Erschließung und Baufeldvorbereitung.

Das Gelände wird von den Erhebungen des Großen Prenzenberger Kopfes (653 mNN) im Nordwesten, Ohrenbachsrücken (593 mNN) im Südwesten, dem Hahnschuß (600 mNN) im Südosten, der Schlade Seite (635 mNN) im Osten und dem Nesselbergskopf (671 mNN) im Nordosten geprägt und dazwischen hat sich das Arfetal in das Gelände eingeschnitten.

Der Standort der WEA 6 liegt etwa 250 m südlich des Ohrenbachsrücken (Erhebung) in einem nach Süden zu einem Seitenarm der Arfe abfallenden Hang im südlichen Bereich des geplanten Windparks. Die Hangneigung beträgt am Anlagenstandort ca. 8°.

5 Baugrundbeurteilung

Die geotechnischen Untersuchungen zeigen, dass unter dem Wald-/Oberboden eine kiesige Schluffschicht in steifer Konsistenz und darunter Tonsteinersatz (Kies, schluffig) ansteht. Anschließend folgen ab einer Tiefe von ca. 0,8 m stark verwitterte Tonsteine, plattig, mit schlechter bis mäßiger Kornbindung, die den Grenzhorizont der Sondierungen bilden.. Nachfolgend wurden ab 2,7 m schwach und mäßig verwitterte, zwischen 4,3 und 5,6 m frische Tonsteine, plattig/bankig, mit guter und guter bis sehr guter, lagenweise auch mäßiger Kornbindung erbohrt.

Die Dachschiefer-Folge stellt in den Zonen mit höheren/hohen Sondierwiderständen einen ausreichend bis gut tragfähigen Baugrund für die Gründung der Windkraftanlage und am bzw. unterhalb dem Grenzhorizont der Sondierungen einen gut tragfähigen Baugrund für die Gründung der Windkraftanlage dar. Der Grenzhorizont der Sondierungen weist aufgrund der Hanglage eine Höhendifferenz von ca. 3,0 m innerhalb der Fundamentfläche auf.

Ein Grund-/Schichtenwasser wurde im Bohrloch der Bohrung BK WEA 6 -im Zeitraum der Grundwasserbeobachtung- nicht festgestellt.

6 Gründungsempfehlungen

6.1 Gründungsvariante

Gründung der Windkraftanlage mit einem Kreisfundament auf dem Tonsteinhorizont der Dachschiefer-Folge

Allgemeines

Das Gelände im Bereich der geplanten Windenergieanlage WEA 6 fällt nach Süden von ca. 560,2 mNHN auf 556,9 mNHN um ca. 3,3 m ab. Daraus resultiert eine Hangneigung von ca. 8°. Die Geländehöhe im Zentrum der Anlage beträgt ca. 558,8 mNHN.

Für die Gründung der Windenergieanlage wird auf der Grundlage der Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen und der Hangsituation eine Gründungskote (UK Sauberkeitsschicht) bei ca. 556,75 mNHN empfohlen. Diese Kote liegt ca. 1,8 bis 3,4 m und bei DPH-4 (talseitig) um ca. 0,15 m unter der derzeitigen Geländeoberfläche.

Die empfohlene Gründungskote liegt nach den Ergebnissen der geotechnischen Untersuchungen vorwiegend in stark verwitterten Tonsteinen hangseitig mit geringem Abstand zum Grenzhorizont der Sondierungen bzw. bei DPH-1, DPH-2 und DPH-5 unterhalb dem Grenzhorizont der Sondierungen. Im talseitigen Randbereich bei DPH-4 sind zunächst die anstehenden gering tragfähigen Boden-/Felszonen in einer Mächtigkeit von ca. 1,2 m auszutauschen.

Ein Grund-/Schichtenwasser wurde bei der Bohrung BK WEA 6 im Beobachtungszeitraum nicht festgestellt. Zur Wasserhaltung im Bauzustand und Sicherung gegen Aufschwimmen im Endzustand wird in Verbindung mit der Gefällesituation der Einbau einer drucklosen, wartungsfreien Drainage empfohlen, siehe nachfolgende Empfehlungen.

Im Bereich von DPH-4 ist bei der empfohlenen Gründungskote noch ein Bodenaustausch zum Ausräumen der geringer tragfähigen Zonen bis zum Erreichen der mäßig verwitterten Tonsteine erforderlich, um eine annähernd setzungsfreie, insbesondere aber verkantungs-/verkipfungsfreie Auflagerung des hohen und schlanken Bauteiles sicherzustellen. Die Austauschmächtigkeit beträgt hier voraussichtlich 1,2 m.

Nach dem vorliegenden Prüfbericht für eine Typenprüfung „Prüfung der Standsicherheit - Flachgründung“ zur geplanten Windenergieanlage vom Typ Vestas V162, 6,0 MW mit einer Nabenhöhe von 169 m kann die Gründung als Flachgründung mit einem Kreisfundament mit einem Durchmesser D_A von 24,5 m erfolgen, wobei der höchste, für den Auftrieb maßgebende Wasserstand bei 0,24 m über Fundamentunterkante liegen darf.

Im genannten Prüfbericht werden für den Baugrund folgende Anforderungen gestellt:

3.3 Baugrund

Die Mindestwerte der dynamischen und statischen Drehfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Fundament betragen gemäß Dokument [4] $k_{\varphi,dyn} \geq 95 \text{ GNm/rad}$ und $k_{\varphi,stat} \geq 40 \text{ GNm/rad}$.

Der höchste für den Auftrieb maßgebende Wasserstand liegt bei 0,24 m über Fundamentunterkante.

...

Auflagen

Baugrund

1. Die vorhandenen Bodenkennwerte, die Zuordnung des Bodens zu Expositionsklassen nach DIN EN 1992-1-1/3/3 und der höchste für den Auftrieb maßgebende Wasserstand sind für den jeweiligen Standort zu ermitteln und im geotechnischen Untersuchungsbericht zu beschreiben.
2. Grundbautechnische Berechnungen sind im Rahmen des geotechnischen Entwurfsberichts durchzuführen. Die Schnittgrößen an Fundamentunterkante sind in [2] angegeben.
3. Die Mindestwerte der dynamischen und statischen Drehfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Fundament gemäß Abschnitt 3.3 müssen für den jeweiligen Standort nachgewiesen werden. Dabei kann das Fundament in guter Näherung als Starrkörper angenommen werden.
4. Die im geotechnischen Entwurfsbericht angenommenen Baugrundverhältnisse sind beim Baugrubenaushub vom Bodengutachter zu überprüfen und zu bestätigen. Vor Aufbringen der Sauberkeitsschicht ist die Tragfähigkeit der Baugrubensohle durch den Bodengutachter zu bestätigen.

Aus den geotechnischen Untersuchungen und den v.g. technischen Anforderungen ergeben sich die nachfolgenden Empfehlungen:

Herstellung des Baugrubenaushubs und des Bodenaustausches

Die empfohlene Gründungskote mit 556,75 mNHN liegt -bis auf den Bereich DPH-4- unterhalb bzw. am Grenzhorizont der Sondierungen mit $DPH-N_{10} \geq 50^*$ und damit im gut tragfähigen Tonsteinhorizont.

Zur Erreichung der Gründungssohle ist nach dem Abtrag des Ober-/Waldbodens zunächst die kiesige Schluffschicht in steifer Konsistenz auszuräumen und zu beseitigen.

Anschließend sind die stark verwitterten, plattigen Tonsteine mit schlechter bis mäßiger Kornbindung bis zur Gründungssohle auszuheben bzw. auszubrechen.

Der Baugrubenaushub sollte mit einem Kettenbagger, der mit einem Baggerlöffel mit Felszähnen ausgestattet ist, erfolgen, um die erkundeten Tonsteine lösen zu können. Der Endaushub, d.h. das Abziehen der Baugrubensohle sollte zur Vermeidung von tiefer reichenden Auflockerungen mit einem Baggerlöffel ohne Zähne oder einer Fräse erfolgen. Gegebenfalls ist die Gründungssohle von Hand nachzuarbeiten.

Anschließend ist im Bereich von DPH-4 -zur Geländeeinbindung/Geländebruchsicherheit- ein Bodenaustausch bis zur Kote $N_{10} \geq 50^*$ bis in eine Tiefe von ca. 1,2 m unter GOF herzustellen. Dieser Bodenaustausch ist zur Erzielung einer Lastausbreitung mit einem Überstand von mindestens der Höhe des Tragschichtaufbaues/Bodenaustausches über die Außenkante des Kreisfundamentes hinauszuführen, was bei DPH-4 eine Baugrubenverbreiterung der kreisrunden Baugrube erforderlich macht.

Der Bodenaustausch ist mit

Variante a) durch gering verwittertes Tonsteinmaterial aus den benachbarten Aushubbereichen zu ersetzen mit einem qualifizierten, lagenweisen Einbau $d \leq 25$ cm mit den Anforderungen für $E_{v2} \geq 120$ MN/m², $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,0$, lagenweise nachgewiesen

oder

Variante b) das ausgehobene Material durch Zugabe von Zement qualifiziert zu verbessern und danach lagenweise wieder bis zur UK Sauberkeitsschicht einzubauen und qualifiziert zu verdichten.

Zur qualifizierten Bodenverbesserung bzw. Verbesserung von granularem Felsmaterial wird ein Bindemittelgehalt von ca. 3 Gew.-% empfohlen, woraus eine Menge von ca. 60 kg je m³ verbesserten Boden-/Felsbruchmaterial resultiert. Das Bindemittel kann mit einer Anbaufrä-

se, Schaufelseparator oder anderem geeigneten Gerät eingearbeitet und das Aushubmaterial mit dem Bindemittel vermischt werden. Beim Einfräsen des Bindemittels kann ggf. eine dosierte Wasserzugabe für die Hydratation des Zementanteils erforderlich werden. Die Wassermenge ist bei der Bauausführung mit einer Beurteilung des Bindemittel-Boden-Fels-Gemisches örtlich festzulegen. Anschließend wird das Boden-Bindemittel-Gemisch mit einem geeigneten Verdichtungsgerät (z.B. Walzenzug, optimal mit Stampffußbandage oder Bagger-Anbauverdichtungsplatte) in Schüttilagen ≤ 25 cm lagenweise eingebaut und verdichtet.

Ergänzend wird auf die Empfehlungen im Merkblatt über Bodenverfestigungen und Bodenverbesserungen mit Bindemitteln der FGSV, Ausgabe 2004 hingewiesen.

Die qualifizierte Boden- bzw. Felsverbesserung ist ohne Arbeitsunterbrechungen in einem Zuge herzustellen, so dass ein Einbau im „frischen“ Zustand erfolgt und der Abbindeprozess nicht unnötig lange durch die Verdichtungsarbeiten beeinflusst wird.

Ein Befahren des Planums nach der qualifizierten Bodenverbesserung mit Radfahrzeugen ist zu vermeiden.

Die Festigkeit des verbesserten Materials ist mit einaxialen Druckversuchen zu prüfen und die Druckfestigkeit mit $q_u \geq 5$ MN/m² festzulegen.

Die Festlegungen zu den Varianten a) oder b) können im Rahmen des Baugrubenaushubs bzw. der Sohlabnahme getroffen werden.

Der Aushub/Ausbruch der stark verwitterten Tonsteine ist auf einer Miete neben dem Anlagenstandort zwischenzulagern, durch eine Folienabdeckung vor Witterungseinflüssen zu schützen und nach Fertigstellung des Fundamentes für die Hinterfüllung und Überschüttung wieder lagenweise einzubauen, siehe auch Empfehlungen zur Bauteilhinterfüllung und -überschüttung.

Zum Schutz der Gründungssohle vor Witterungseinflüssen ist die Sauberkeitsschicht unmittelbar nach dem Aushub bzw. dem teilweisen Bodenaustausch und Tragschichtaufbau und einer Abnahme durch den geotechnischen Sachverständigen einzubauen.

Nach dem das Fundament nicht in das ständige Grundwasser eintaucht, tritt kein Betonangriff aus dem Grundwasser auf das Fundament auf und der Fundamentbeton kann für die Expositionsklasse XA 0 ausgelegt werden.

**Bemessungswert des Sohlwiderstandes nach DIN EN 1997-1 (EC 7-1)/
DIN 1054:2010-12**

Für die Gründungssohle auf den stark/mäßig verwitterten Tonsteinen der Dachschiefer-Folge kann der Sohlwiderstand wie nachfolgend angegeben angesetzt werden:

Kreisfundament

$$\sigma_{R,d} \leq 475^* \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

mit

- $d \geq 1,2$ [m] Einbindetiefe unter GOF; DPH- $N_{10} \geq 20^*$
- Gründungskote: Tonstein, stark/mäßig verwittert
 sowie v.g. Qualitätsanforderung für die Austauschbereiche
- Frostsicherheit und Geländeanschüttung $h \geq 2$ m

Der angegebene Sohlwiderstand stellt bei der Gründung den maximalen Sohlwiderstand dar.

*) Anmerkung:

Dies entspricht einer zulässigen Sohlspannung $\sigma_{k,vorh}$ von ca. 339 [kN/m²] nach DIN 1054:2005-01.

Wichtiger Hinweis:

Der Bemessungswert des Sohlwiderstandes stellt keine zulässige Sohlspannung nach DIN 1054:2005 oder früheren Ausgaben der DIN 1054 dar !

Nachweisverfahren nach DIN 1054:2010-12 in Verbindung mit EC 7

Es ist nachzuweisen, dass die Bemessungswerte $\sigma_{E,d}$ der Sohldruckbeanspruchung höchstens so groß sind wie die Bemessungswerte $\sigma_{R,d}$ des Sohlwiderstands: $\sigma_{E,d} \leq \sigma_{R,d}$

Der Bemessungswert der Sohldruckbeanspruchung ergibt sich aus der ungünstigsten Einwirkungskombination. Hierfür kommen folgende Wege in Frage:

- Sofern die Schnittgrößen mit charakteristischen bzw. repräsentativen Werten der Einwirkungen ermittelt wurden, ergibt sich $\sigma_{E,d}$ aus den charakteristischen bzw. repräsentativen Vertikalbeanspruchungen $N_{G,k}$ und $N_{Q,k}$ bzw. $N_{Q,rep}$, multipliziert mit den Teilsicherheitsbeiwerten γ_G und γ_Q für Grenzzustände GEO und das Nachweisverfahren 2 (GEO-2).
- Sofern die Schnittgrößen mit Bemessungswerten der Einwirkungen ermittelt wurden, ergibt sich der Bemessungswert der Sohldruckbeanspruchung aus dem Bemessungswert der Vertikalbeanspruchung $V_d = N_d$.

Eine Berechnung der Setzungen des Fundamentes unter Ansatz der charakteristischen statischen Lasten ergab maximale Setzungen bis 1,8 cm (mit Moment aus Turm) bzw. 0,5 cm (nur Normalkraft), siehe Fundamentberechnung in der **Anlagengruppe 6**.

Ein Nachweis zur Geländebruchsicherheit war infolge der Lage der Gründungsebene im talseitigen Bereich mit dem Bodenaustausch auf dem Felshorizont und der erforderlichen Ballastierung des Geländes zum Verwitterungsschutz und Frostsicherheit nicht zu führen.

Die unterhalb der Gründungssohle erkundeten Tonsteine unterliegen nicht einer Konsolidation oder Kriechverformungen, wie sie bei bindigen Böden auftreten. Damit sind für die Baugrundverhältnisse am geplanten Anlagenstandort keine Berechnungen des Konsolidations- und Kriechverhaltens über die zu betrachtende Standzeit von 20 Jahren erforderlich.

Zur Qualitätssicherung, d.h. zur Kontrolle des Bemessungsansatzes des Sohlwiderstandes sollten die Gründungskoten vom geotechnischen Sachverständigen in Form einer Prüfabnahme abgenommen werden.

Herstellung einer drucklosen, wartungsfreien Dränage

Aufgrund der Gefällesituation ist am Standort der WEA 6 die Herstellung einer drucklosen, wartungsfreien Dränage möglich.

Mit dem Endaushub der Baugrube zur Herstellung des Turmfundamentes ist am Rand ein flacher Graben für die Ableitung der Dränage herzustellen, so dass im Bauzustand eine Ableitung des der Baugrube zulaufenden Niederschlags-/Sickerwassers im freien Gefälle nach Nordosten (Tiefpunkt bei DPH-4) möglich ist.

Nach der Herstellung des Turmfundamentes ist im Arbeitsraum in Höhe der Sauberkeitsschicht eine Dränage ringförmig um das Fundament mit einem Gefälle von mindestens 1 ‰ herzustellen. Die Dränage ist auf einem Sohlgerinne aus Beton zu verlegen, das ein Gefälle in radialer Richtung nach außen aufweist, so dass kein Dränwasser dem Fundament zufließen kann. Die Fläche aus dem Überstand der Baugrube bei DPH-4 ist mit einem Gefälle (Sohlfläche aus Beton) zur Dränage hin auszubilden. Die Dränage ist aus einem Dränrohr DN 150 mit einer Ummantelung aus Filtersand 0,2/2 mm und einer filterstabilen Abgrenzung aus einem Geotextil (Masse $\geq 250 \text{ g/m}^2$) zum anstehenden Boden und der über der Dränage einzubauenden Bauwerkshinterfüllung herzustellen. Die Ableitung des Dränwassers erfolgt über 2 Auslauf-/ Vollrohre zum Geländetiefpunkt nach Nordwesten. Am Auslaufpunkt der Dränage sollte eine Sickerrigole (Schottergraben) mit umlaufendem Geotextil, einem Gefälle

von 5 % und einer Verfüllung z.B. mit Grobschotter 20/100 mm hergestellt werden, um einen konzentrierten Auslauf des Dränwassers und mit dem hier einzuleitenden Niederschlagswasser vom Turmschaft eine mögliche Vernässung im Wald-bereich zu vermeiden. Die Rigole sollte mit einem Notüberlauf an den benachbarten Wegseitengraben versehen werden.

Zur Vermeidung eines stärkeren Dränwasserzulaufes ist eine Geländeanpassung d.h. Anschüttung mit bindigem Material -mit einem talseitigen Gefälle- bei DPH-4 sowie zum Verwitterungsschutz und zur Frostsicherheit erforderlich.

Dynamische Drehfedersteifigkeit $k_{\varphi,dyn}$

Die dynamische Drehfedersteifigkeit wird für starre Kreisfundamente mit nachfolgender Gleichung berechnet:

$$k_{\varphi,dyn} = \frac{8 \cdot G \cdot r^3}{3 \cdot (1 - \nu)}$$

mit

r Radius des Kreisfundamentes = 12,25 [m]

G Dyn. Schubmodul

ν Poissonzahl, $\nu = 0,25$ (für Tonstein)

Dyn. Schubmodul:

$$G = \frac{E_{dyn}}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

mit $E_{dyn}/E_{stat} \approx 6$ (nach Placzek)

$$E_{stat} = \frac{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2}{1 - \nu} \cdot E_{s,stat}$$

Tonsteinhorizont unter dem Fundament (ab 557,9 mNHN)

$E_{s,stat} = 80$ [MN/m²] (unterster Wert für Tonsteinhorizont),
siehe Homogenbereich X1 - Kapitel 6.4

$$\rightarrow E_{stat} = 0,833 \cdot 80$$
 [MN/m²] = 66,6 [MN/m²]

$$\rightarrow E_{dyn} = 400$$
 [MN/m²]

$$\rightarrow G_{dyn} = 160$$
 [MN/m²] = 0,16 [GN/m²]

$$k_{\varphi,dyn} = \frac{8 \cdot 0,160 \cdot 12,25^3}{3 \cdot (1 - 0,25)} = 1.045,767$$
 [GNm/rad] > 95 [GNm/rad] = min. $k_{\varphi,dyn}$

Die in den Herstellerangaben gestellte Anforderung mit einer Mindestdrehfedersteifigkeit $k_{\varphi,dyn}$ von 95 [GNm/rad] wird für den erkundeten Baugrund mit einem Wert von 1.045 [GNm/rad] überschritten. Die Anforderungen werden mit einer hohen Sicherheit erfüllt.

Die Anforderung an die statische Mindestdrehfedersteifigkeit wird damit auch sicher erfüllt.

6.2 Baugrubensicherung, Wasserhaltung und Bauteilhinterfüllung

Sicherung der Baugrube

Aufgrund der Platzverhältnisse kann die Baugrube für die Herstellung der Fundamentplatte mit einer frei geböschten Baugrube erfolgen. Die vorgenannten Bereiche können unter folgenden angegebenen Böschungswinkeln β_{zul} frei geböscht werden:

Schluff, kiesig, steif / Kies, schluffig	$\beta_{zul} \leq 45$ [°] Standzeit temporär
Tonstein, stark/mäßig verwittert, plattig, schlechte - mäßige/gute Kornbindung	$\beta_{zul} \leq 70$ [°] Standzeit temporär

Die angegebene Böschungsneigung gilt für unbelastete Böschungen.

Wasserhaltung

Die geotechnischen Untersuchungen ergaben kein Grund-/Schichtenwasser.

Zur Wasserhaltung im Bauzustand wird empfohlen, dass in Verbindung mit dem Aushub der Baugrube und der Herstellung einer drucklosen Drainage zunächst ein flacher offener Graben ausgehoben wird, über den eine Ableitung des der Baugrube zulaufenden Wassers im freien Gefälle zum tieferen Gelände (nach Nordosten) erfolgt. In diesen Graben ist nach Fertigstellung des Turmfundamentes die Ableitung des Dränwassers und einer Sickerrigole am Rohrauslauf herzustellen, siehe Ausführungen auf Seite 20f.

Hinterfüllung und Überschüttung des Fundamentes

Die Arbeitsräume zur Herstellung des Fundamentes sind nach der Fertigstellung wieder zu verfüllen und die Platte im Randbereich bis zur derzeitigen mittleren Geländehöhe mit einem talseitigen Gefälle zu überschütten.

Für die Hinterfüllung und Überschüttung sollte das beim Baugrubenaushub ab einer Baugrubentiefe von ca. 0,2 m unter GOK gewonnene Material aus Tonsteinersatz (Kies, schluffig) und stark verwitterten Tonsteinen verwendet werden. Die Wiederverwendung des Aushubmaterials setzt voraus, dass dieses fachgerecht auf einer Miete zwischengelagert und mit einer Folie zum Schutz vor Witterungseinflüssen abgedeckt wird.

Die Verdichtung der Hinterfüllung und Überschüttung des Fundamentes sollte mit Hilfe von Plattendruckversuchen nach DIN 18134 oder alternativ dynamischen Plattendruckversuchen nach TP BF-StB Teil B 8.3 als Qualitätssicherung Erdbau kontrolliert werden.

Der Verdichtungsgrad D_{Pr} sollte ≥ 100 [%] der einfachen Proctordichte betragen.

Die Verdichtungsanforderungen gelten mit:

$$E_{v2} \geq 45 \text{ [MN/m}^2\text{]}$$

$$\text{bei einem Verhältniswert } E_{v2}/E_{v1} \leq 2,3$$

Die beim Aushub oberflächennah gewonnene kiesige Schluffschicht in steifer Konsistenz ist ohne Verbesserungsmaßnahmen für eine qualifizierte Bauwerkshinterfüllung nicht geeignet und sollte daher -bis auf die Masse zur Geländeabdeckung- beseitigt werden.

Mit dem Wiedereinbau des geologisch originären Tonsteinmaterials wird der Zulauf von Oberflächenwasser in die „geologische Störungszone“, die mit dem Baugrubenaushub entstanden ist, reduziert und es werden die Dränwassermengen deutlich verringert, siehe auch Kapitel 6.1.

6.3 Bodenkundliche Bewertung

Nach dem Ergebnis einer bodenkundlichen Bewertung aus dem Jahre 2016, siehe hierzu unser Gutachten zur Abfallwirtschaftlichen und Bodenkundlichen Bewertung zur UVP vom 30.06.2016, steht an den Anlagenstandorten unter einer dünnen Humus-/ Waldbodenüberdeckung Braunerde, z.T. Ranker-Braunerde oder Podsol-Braunerde an, wobei die Mächtigkeit aufgrund des vorwiegend hoch anstehenden Festgesteins (Gebirge) gering ist.

Nach der Bodenkarte NRW ist am Anlagenstandort WEA6 die Bodeneinheit L4813_B32e als Braunerde ohne Grundwasser und ohne Staunässe ausgewiesen.

Die unter der Humus-/Waldbodenaufgabe erkundete Schluffschicht mit kiesigen Nebenanteilen in steifer Konsistenz weist unter Berücksichtigung der geringen Schichtmächtigkeit von 0,2 m eine geringe Verdichtungsempfindlichkeit sowie geringe Erosionsempfindlichkeit auf.

Zusammenfassend ergibt sich damit die Bewertung, dass am Anlagenstandort der WEA 6 bei der geotechnischen Erkundung keine schutzwürdigen Böden festgestellt wurden.

Altlasten:

Hinweise auf Altlasten wurden bei den geotechnischen Untersuchungen nicht festgestellt.

Ableitung von Niederschlagswasser:

Die Ableitung von Niederschlagswasser während der Bauzeit -aus den Baugrubenbereichen- erfolgt mit der Anlage von Entwässerungsmulden/-gräben und einer großflächigen Versickerung -mit Biotopcharakter- in den angrenzenden Waldflächen.

6.4 Homogenbereiche - Boden- und Felskenngrößen (Charakteristische Werte)

Zur Bemessung der Bauteile -dem geotechnischen Design- sowie zum Lösen, Fördern, Laden, Verdichten und Wiedereinbauen werden die Böden und der Fels in die nachfolgenden Homogenbereiche unterteilt.

Homogenbereich B1

Schluff, kiesig, steif

Korngrößenverteilung	[DIN 18123]	Kornkennziffern 1/2 - 6/4 - 1/0 - 2/3 - 0/1
m_x Massenanteil an Steinen ($D > 63$ mm):	[DIN EN ISO 14688-1]	< 10 %
m_B Blöcken ($D > 200$ mm):		0 %
Dichte ρ :	[DIN EN ISO 17892-2/ DIN 18125-2]	1,95 t/m ³
Feuchtwichte γ :		19,5 kN/m ³
Wichte unter Auftrieb γ' :		10,0 kN/m ³
Kohäsion c'_k :	[DIN 18137-T1 bis T3]	2,5 kPa
Undrainede Scherfestigkeit c_u :	[DIN 18136/DIN 18137-2]	75 – 150 kPa
drainede Scherfestigkeit ϕ'_k :	[DIN 18136/DIN 18137-2]	25,0 °
Reibungswinkel ϕ'_k		
Steifemodul $E_{s1,k}$:	[DIN 18135]	20 - 40 MN/m ²
Sensitivität:	[DIN 4094-4]	1-2 (1)
Wassergehalt:	[DIN EN ISO 17892-1]	20 – 30 %
Konsistenzgrenzen:	[DIN 18122-1]	steif
Konsistenzzahl:	[DIN 18122-1]	0,75 – 1,0
Plastizität:	[DIN 18122-1]	leicht- bis mittelplastisch
Lagerungsdichte (bezogene Lagerungsdichte):	[DIN EN ISO 14688-2/ DIN 18126]	n.d.
Organischer Anteil:	[DIN 18128]	< 5 %
Bodengruppe:	[DIN 18196]	UL-UM
Frostempfindlichkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	F3
Verdichtbarkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	V3 (weniger gut/schlecht verdichtbar +)
Ortsübliche Bezeichnung:		Hangschutt

+) Wichtiger Hinweis:

Die Angaben zu den Verdichtbarkeitsklassen setzen optimale erdbauliche Bedingungen (Lösen, Laden, Witterungsschutz, Zwischenlagerung u.a.) voraus.

Für einen Wiedereinbau in Verbindung mit einer Bodenverbesserung mit Bindemittelzugabe ist eine Eignungsprüfung nach TP BF-StB Teil B 11.1 oder das verwendete Bindemittel und der Bindemittelgehalt aufgrund von Erfahrungswerten festzulegen.

Homogenbereich X1

Tonstein, stark/mäßig verwittert, plattig/schiefrig, schlechte/mäßige Kornbindung

Benennung	[DIN EN ISO 14689-1]	Tonstein
Dichte ρ :	[DIN EN ISO 17892-2/DIN 18125-2]	2,20 t/m ³
Feuchtwichte γ :		22,0 kN/m ³
Wichte unter Auftrieb γ' :		12,0 kN/m ³
Verwitterung	[DIN EN ISO 14689-1]	stark/mäßig verwittert, schlechte - mäßige Kornbindung
Veränderlichkeit	[DIN EN ISO 14689-1]	wasserempfindlich, mittlere/geringe Quellfähigkeit
Druckfestigkeit q_u	[DIN 18141/DGGT Empfehlung Nr. 1]	5 - 20 N/mm ²
Abrasivität CAI	[NF P94-430-1]	0 – 1,5
Trennflächenrichtung α, β	[DIN EN ISO 14689-1]	unregelmäßig (360 °)
Fallrichtung α	[DIN EN ISO 14689-1]	0 - 75 ° (gefaltet)
Gesteinskörperform	[DIN EN ISO 14689-1]	schiefrig / plattig geschichtet
Trennflächenabstand	[DIN EN ISO 14689-1]	< 1,0 m
Öffnungsweite der Trennflächen	[DIN EN ISO 14689-1]	0 – 15 mm
Kluffüllung:	[DIN EN ISO 14689-1]	keine
Kohäsion c'_k :	[DIN 18137-T1 bis T3]	20,0 kPa
Undränierete Scherfestigkeit c_u :	[DIN 4094-4/DIN 18136/DIN 18137-2]	-
dränierete Scherfestigkeit φ'_k :	[DIN 4094-4/DIN 18136/DIN 18137-2]	25,0 °
Reibungswinkel φ'_k		
Steifemodul $E_{s1,k}$:	[DIN 18135]	80 - 100 MN/m ²
Frostempfindlichkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	F2 - F3
Verdichtbarkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	V2 (weniger gut – gut verdichtbar *)
Ortsübliche Bezeichnung:		Dachschiefer-Folge 1

Homogenbereich X2

Tonstein, frisch/schwach verwittert, plattig/bankig, gute/gute-sehr gute Kornbindung,

Benennung	[DIN EN ISO 14689-1]	Tonstein
Dichte ρ : Feuchtwichte γ : Wichte unter Auftrieb γ' :	[DIN EN ISO 17892-2/DIN 18125-2]	2,40 t/m ³ 24,0 kN/m ³ 14,0 kN/m ³
Verwitterung	[DIN EN ISO 14689-1]	mäßig/schwach verwittert, gute – sehr gute Kornbindung
Veränderlichkeit	[DIN EN ISO 14689-1]	wasserempfindlich, geringe Quellfähigkeit
Druckfestigkeit q_u	[DIN 18141/DGGT Empfehlung Nr. 1]	20 - 100 N/mm ²
Abrasivität CAI	[NF P94-430-1]	1,5 – 2,0
Trennflächenrichtung α, β	[DIN EN ISO 14689-1]	unregelmäßig (360 °)
Fallrichtung α	[DIN EN ISO 14689-1]	0 - 75 ° (gefaltet)
Gesteinskörperform	[DIN EN ISO 14689-1]	quaderig, würfelig, Blöcke $V < 0,1 \text{ m}^3$ längste Seite a / kurze Seite $c \approx 1 - 5^+$)
Trennflächenabstand	[DIN EN ISO 14689-1]	< 1,0 m
Öffnungsweite der Trennflächen	[DIN EN ISO 14689-1]	0 – 15 mm
Kluftfüllung:	[DIN EN ISO 14689-1]	keine
Kohäsion c'_k :	[DIN 18137-T1 bis T3]	50,0 kPa
Undrained Scherfestigkeit c_u :	[DIN 4094-4/DIN 18136/DIN 18137-2]	-
drained Scherfestigkeit φ'_k : Reibungswinkel φ'_k	[DIN 4094-4/DIN 18136/DIN 18137-2]	25,0 °
Steifemodul $E_{s1,k}$:	[DIN 18135]	120 MN/m ²
Frostempfindlichkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	F2 - F3
Verdichtbarkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	V2 (weniger gut – gut verdichtbar) *)
Ortsübliche Bezeichnung:		Dachschiefer-Folge 2

*) Kantenmaße a, b, c der ausgebrochenen Felspartien

*) Zum Lösen (insbesondere bei kleinräumigen Baugruben) ist der Einsatz eines Felsmeißels und/oder einer Felsfräse vorzusehen.

6.5 Übersicht zu den Homogenbereichen

Homogenbereiche Boden/Fels	Homogenbereiche nach DIN 18300
Oberboden/Waldboden	Homogenbereich O
Homogenbereich B1 Schluff , kiesig, steinig, weich/steif	Homogenbereich B1
Homogenbereich X1 Tonstein , stark/vollständig verwittert, plattig/schiefrig, schlechte/mäßige Kornbindung	Homogenbereich X1
Homogenbereich X2 Tonstein , frisch/schwach verwittert, plattig/bankig, gute/gute-sehr gute Kornbindung	Homogenbereich X2

Anmerkungen und Hinweise:

Eine genaue Zuordnung kann erst im Rahmen einer boden- und felsmechanischen Klassifizierung (Festlegung der Homogenbereiche) vor Ort erfolgen. Bestehen zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer unterschiedliche Auffassungen zur Einordnung der vorgenannten Homogenbereiche, so kann eine genaue Einordnung im Rahmen einer Klassifizierung und damit Festlegung der Homogenbereiche vor Ort erfolgen.

Im Einvernehmen mit dem Auftraggeber sollen wegen des Zeit- und Kostenaufwandes nicht alle Parameter der Homogenbereiche versuchstechnisch ermittelt werden. Damit basieren die für die Homogenbereiche angegebenen Eigenschaften/Kennwerte -die nicht versuchstechnisch ermittelt wurden- auf gesicherten Korrelationsbeziehungen für Labor- und Feldversuche.

7 Zusammenfassung und Schlussbemerkungen

Im Rahmen der geotechnischen Untersuchungen wurde der Baugrund im Sinne der DIN 4020 mit direkten und indirekten Aufschlüssen nach DIN EN ISO 22475-1 und DIN EN ISO 22476-2 erkundet.

Die geotechnischen Untersuchungen zeigen, dass unter dem Wald-/Oberboden eine kiesige Schluffschicht in steifer Konsistenz und darunter Tonsteinersatz (Kies, schluffig) ansteht. Anschließend folgen ab einer Tiefe von ca. 0,8 m stark verwitterte Tonsteine, plattig, mit schlechter bis mäßiger Kornbindung, die den Grenzhorizont der Sondierungen bilden. Nachfolgend wurden ab 2,7 m schwach und mäßig verwitterte, zwischen 4,3 und 5,6 m frische Tonsteine, plattig/bankig, mit guter und guter bis sehr guter, lagenweise auch mäßiger Kornbindung erbohrt.

Die Dachschiefer-Folge stellt in den Zonen mit höheren/hohen Sondierwiderständen einen ausreichend bis gut tragfähigen Baugrund für die Gründung der Windkraftanlage und am bzw. unterhalb dem Grenzhorizont der Sondierungen einen gut tragfähigen Baugrund für die Gründung der Windkraftanlage dar. Der Grenzhorizont der Sondierungen weist aufgrund der Hanglage eine Höhendifferenz von ca. 3,0 m innerhalb der Fundamentfläche auf.

Ein Grund-/Schichtenwasser wurde im Bohrloch der Bohrung BK WEA 6 -im Zeitraum der Grundwasserbeobachtung- nicht festgestellt.

Auf den Ergebnissen der geotechnischen Untersuchungen basierend werden Gründungsempfehlungen zum vorgegebenen Gründungssystem Kreisfundament für die Windenergieanlage gegeben.

Der Bemessungswert des Sohlwiderstandes wird mit den Bodenkenngrößen angegeben und mit den Anforderungswerten der Herstellerangaben verglichen. Dieser Vergleich ergab, dass die Sicherheitsanforderungen mit einem hohen Sicherheitsabstand erfüllt werden.

Zum Lösen und Fördern des Bodens sind die Homogenbereiche nach DIN 18 300 benannt.

Treten im Rahmen der Bauausführung Abweichungen von den erkundeten Verhältnissen auf, so bitten wir um eine umgehende Benachrichtigung.

Wir empfehlen -zur Qualitätssicherung- die Abnahme der Gründungssohlen und damit verbunden die Umsetzung unserer gutachterlichen Empfehlungen im Sinne einer Qualitätssicherung.

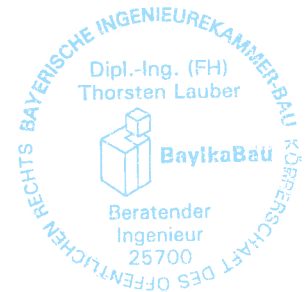
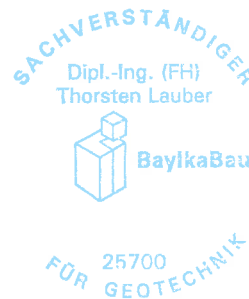
Wir stehen den am Bau Beteiligten zu weiteren geotechnischen Fragen im Rahmen der Ausführungsplanung und der Bauausführung jederzeit gerne zur Verfügung.



(i.A. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Richard A. Herrmann)
GEOTECHNIK GmbH



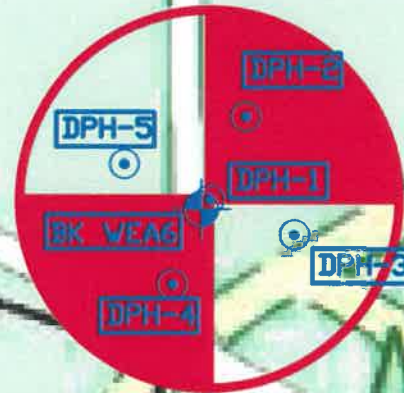
(Dipl.-Ing. (FH) Thorsten Lauber)
Sachverständiger für Geotechnik



Anlage 1

Großes Haupt

569,0



EW06

VESTAS V162-6.0

Legende:

- Bohrung BK
- Sondierung DPH

		GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lammelbach 5 Tel.: 06825/93413		91567 Herrrieden Fax: 06825/93415	
Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg WEA 6					
	Name	Datum			Maßstab
gezeichnet	Lauber	21.10.2021			1 : 1000
					Projekt Nr. GEO-210118
Auftraggeber Krug Energie GmbH & Co. KG Dortstraße 53 35117 Münchhausen-Wollmar					Lageplan
Bauort Windpark Ohrenbach - WEA 6					Anlage 1

Anlagengruppe 2

BK WEA 6
(Stöben GmbH)
30.06.-01.07.2021
M.: 1:50



GEOTECHNIK GmbH
Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner
Lammelbach 5
91567 Herrrieden
Tel.: 09825/93413
Fax: 09825/93415

Bauvorhaben:
Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg
- WEA 6
Planbezeichnung:
BK WEA 6

Plan-Nr: 2.1
Projekt-Nr: GEO-210118/5
Datum: 21.10.2021
Maßstab: 1 : 50
Bearbeiter: T.Lauber



Bild 1 Aufnahme Bohrkern BK WEA 6, Tiefe 0 - 12 m

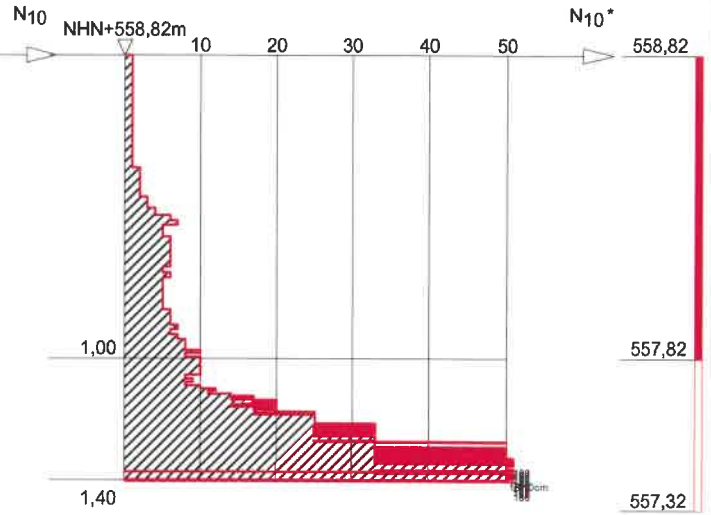
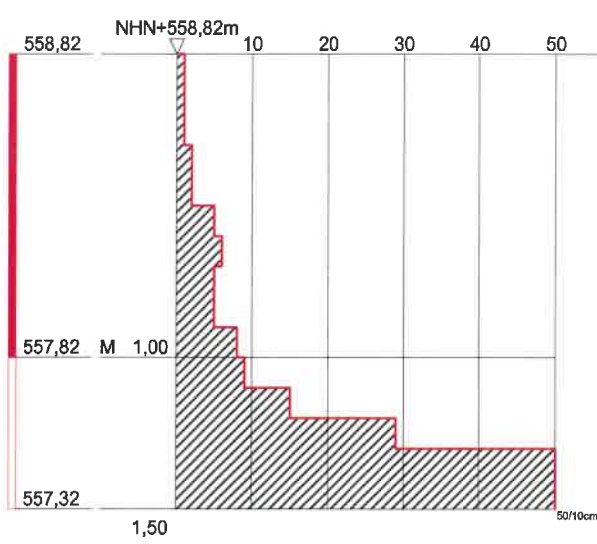
Anlagengruppe 3

WEA6 - DPH-1
(04.06.2021)

WEA6 - DPH-1*
(04.06.2021)

NHN+m

NHN+m



<p>GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lammelbach 5 91567 Herrieden Tel.: 09825/93413 Fax: 09825/93415</p>	<p>Bauvorhaben: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg - WEA 6</p> <p>Planbezeichnung: WEA6 - DPH-1</p>	Plan-Nr: 3.1
		Projekt-Nr: GEO-210118/4
		Datum: 21.10.2021
		Maßstab: 1 : 25
		Bearbeiter: T.Lauber



Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2

Geräteleiter: T. Lauber

Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 6

Sondierungsnummer: WEA6-DPH-1

Datum: 04.06.2021

Sondierart: DPH

Ansatzpunkt [m]:

Ansatzpunkt auf NHN [m]: 558,82

Grundwassersp.[m u. ASP]:

Bemerkung:

Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	1	3,10		6,10		9,10		12,10	
0,20	1	3,20		6,20		9,20		12,20	
0,30	1	3,30		6,30		9,30		12,30	
0,40	2	3,40		6,40		9,40		12,40	
0,50	2	3,50		6,50		9,50		12,50	
0,60	5	3,60		6,60		9,60		12,60	
0,70	6	3,70		6,70		9,70		12,70	
0,80	5	3,80		6,80		9,80		12,80	
0,90	5	3,90		6,90		9,90		12,90	
1,00	8	4,00		7,00		10,00		13,00	
*)	mittel	*)		*)		*)		*)	
1,10	9	4,10		7,10		10,10		13,10	
1,20	15	4,20		7,20		10,20		13,20	
1,30	29	4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40	50	4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50	50	4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60		4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70		4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80		4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90		4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00		5,00		8,00		11,00		14,00	
*)		*)		*)		*)		*)	
2,10		5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20		5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30		5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40		5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50		5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60		5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70		5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80		5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90		5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00		6,00		9,00		12,00		15,00	
*)		*)		*)		*)		*)	

*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]

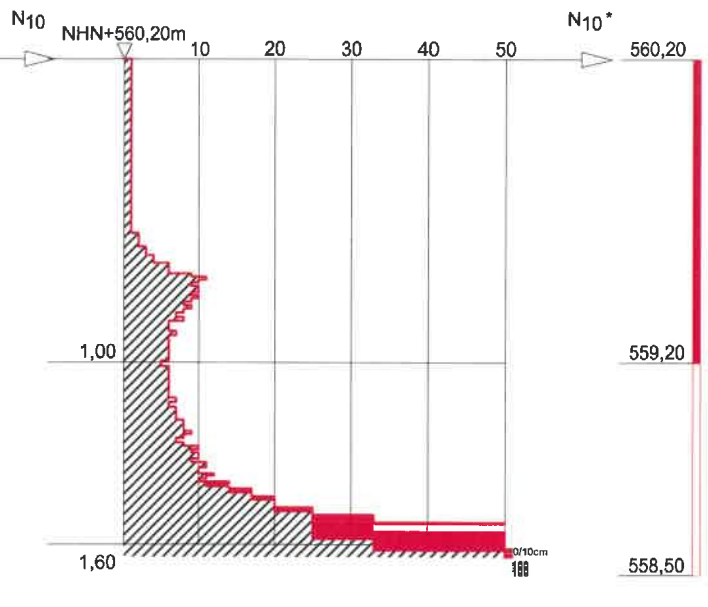
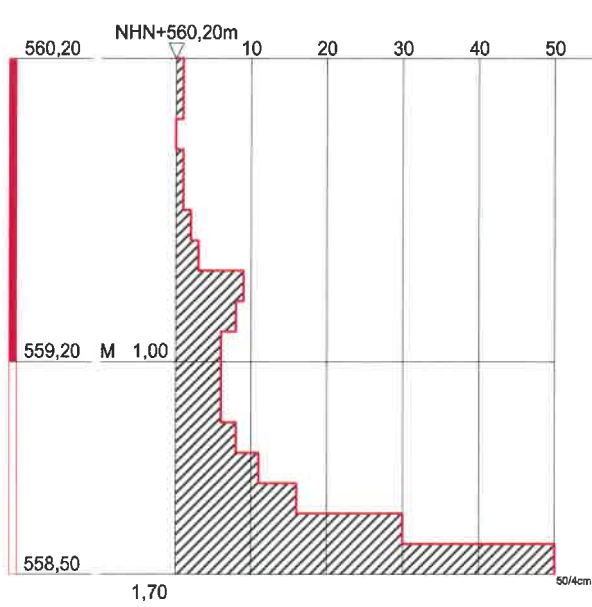
Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefen pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm- datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.

WEA6 - DPH-2
(04.06.2021)

WEA6 - DPH-2
(04.06.2021)

NHN+m

NHN+m



GEOTECHNIK GmbH
Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner
Lammelbach 5
91567 Herrieden
Tel.: 09825/93413
Fax: 09825/93415

Bauvorhaben:
Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg
- WEA 6
Planbezeichnung:
WEA6 - DPH-2

Plan-Nr:	3.3
Projekt-Nr:	GEO-210118/5
Datum:	21.10.2021
Maßstab:	1 : 25
Bearbeiter:	T.Lauber



Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2									
Geräteleiter: T. Lauber									
Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 6									
Sondierungsnummer: WEA6-DPH-2				Datum: 04.06.2021			Sondierart: DPH		
Ansatzpunkt [m]:						Ansatzpunkt auf NHN [m]: 560,20			
Grundwassersp.[m u. ASP]:									
Bemerkung:									
Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	1	3,10		6,10		9,10		12,10	
0,20	1	3,20		6,20		9,20		12,20	
0,30	0	3,30		6,30		9,30		12,30	
0,40	1	3,40		6,40		9,40		12,40	
0,50	1	3,50		6,50		9,50		12,50	
0,60	2	3,60		6,60		9,60		12,60	
0,70	3	3,70		6,70		9,70		12,70	
0,80	9	3,80		6,80		9,80		12,80	
0,90	8	3,90		6,90		9,90		12,90	
1,00	6	4,00		7,00		10,00		13,00	
*)	mittel	*)		*)		*)		*)	
1,10	6	4,10		7,10		10,10		13,10	
1,20	6	4,20		7,20		10,20		13,20	
1,30	8	4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40	11	4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50	16	4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60	30	4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70	50	4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80		4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90		4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00		5,00		8,00		11,00		14,00	
*)		*)		*)		*)		*)	
2,10		5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20		5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30		5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40		5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50		5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60		5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70		5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80		5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90		5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00		6,00		9,00		12,00		15,00	
*)		*)		*)		*)		*)	

*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]

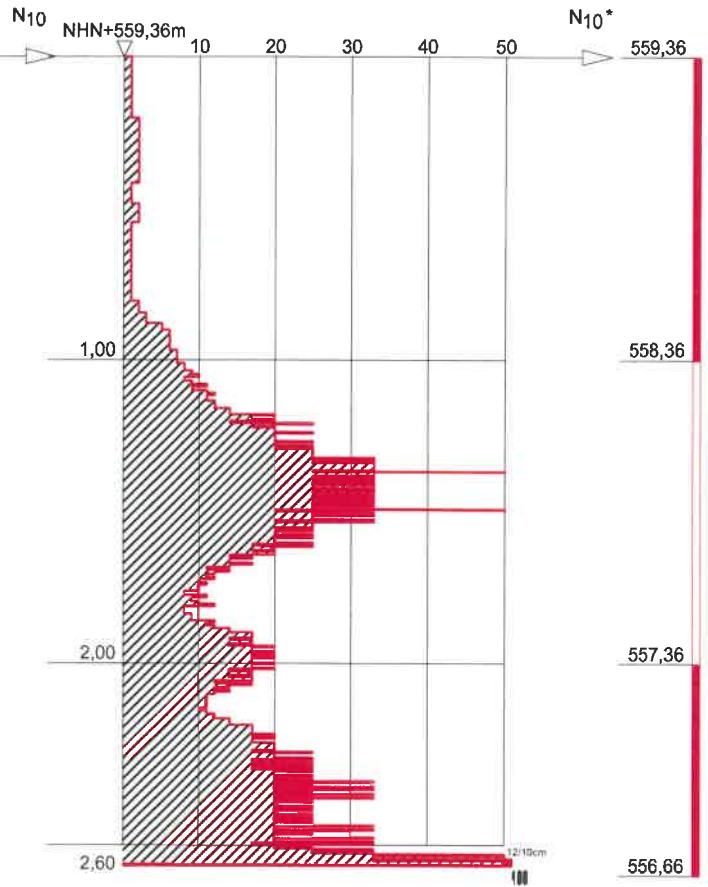
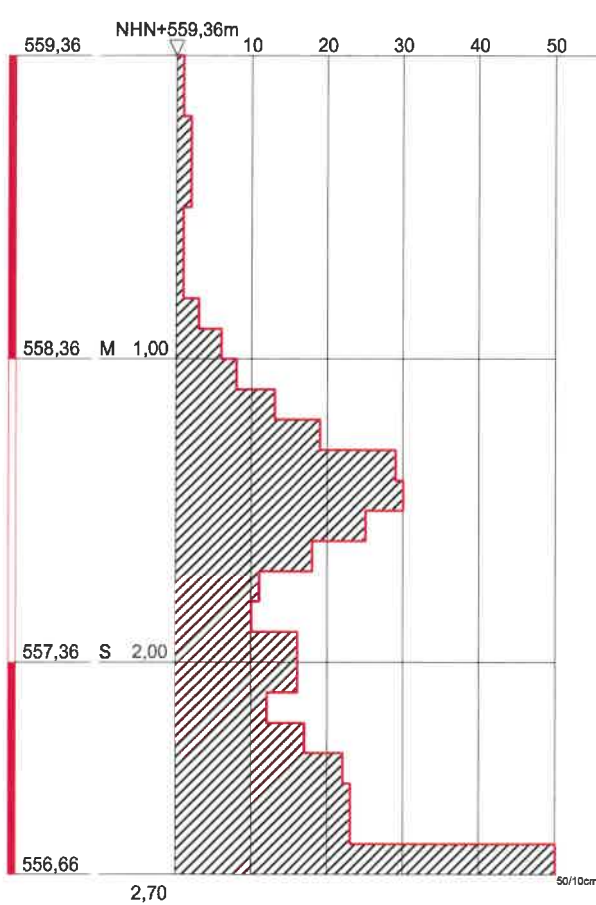
Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefern pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm- datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.

WEA6 - DPH-3
(04.06.2021)

WEA6 - DPH-3*
(04.06.2021)

NHN+m

NHN+m



GEOTECHNIK GmbH
Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner
Lammelbach 5
91567 Herrieden
Tel.: 09825/93413
Fax: 09825/93415

Bauvorhaben:
Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg
- WEA 6
Planbezeichnung:
WEA6 - DPH-3

Plan-Nr:	3.5
Projekt-Nr:	GEO-210118/5
Datum:	21.10.2021
Maßstab:	1 : 25
Bearbeiter:	T.Lauber



Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2

Geräteleiter: T. Lauber

Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 6

Sondierungsnummer: WEA6-DPH-3

Datum: 04.06.2021

Sondierart: DPH

Ansatzpunkt [m]:

Ansatzpunkt auf NHN [m]: 559,36

Grundwassersp.[m u. ASP]:

Bemerkung:

Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	1	3,10		6,10		9,10		12,10	
0,20	1	3,20		6,20		9,20		12,20	
0,30	2	3,30		6,30		9,30		12,30	
0,40	2	3,40		6,40		9,40		12,40	
0,50	2	3,50		6,50		9,50		12,50	
0,60	1	3,60		6,60		9,60		12,60	
0,70	1	3,70		6,70		9,70		12,70	
0,80	1	3,80		6,80		9,80		12,80	
0,90	3	3,90		6,90		9,90		12,90	
1,00	6	4,00		7,00		10,00		13,00	
*)	mittel	*)		*)		*)		*)	
1,10	8	4,10		7,10		10,10		13,10	
1,20	13	4,20		7,20		10,20		13,20	
1,30	19	4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40	29	4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50	30	4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60	25	4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70	18	4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80	11	4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90	10	4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00	16	5,00		8,00		11,00		14,00	
*)	schwer	*)		*)		*)		*)	
2,10	16	5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20	12	5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30	17	5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40	22	5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50	23	5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60	23	5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70	50	5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80		5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90		5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00		6,00		9,00		12,00		15,00	
*)		*)		*)		*)		*)	

*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]

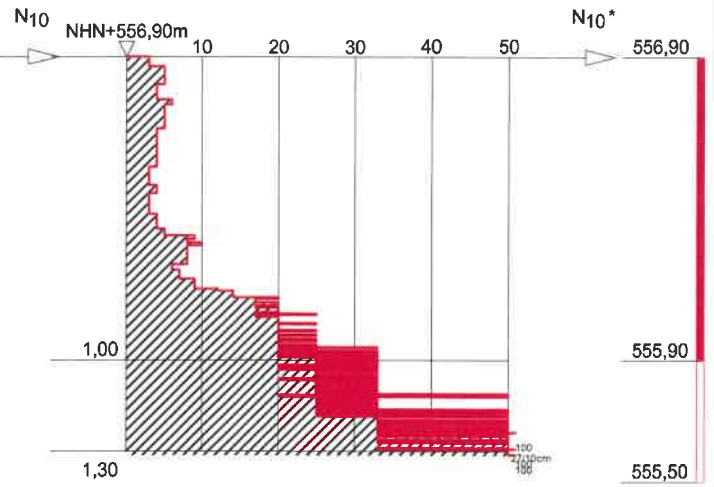
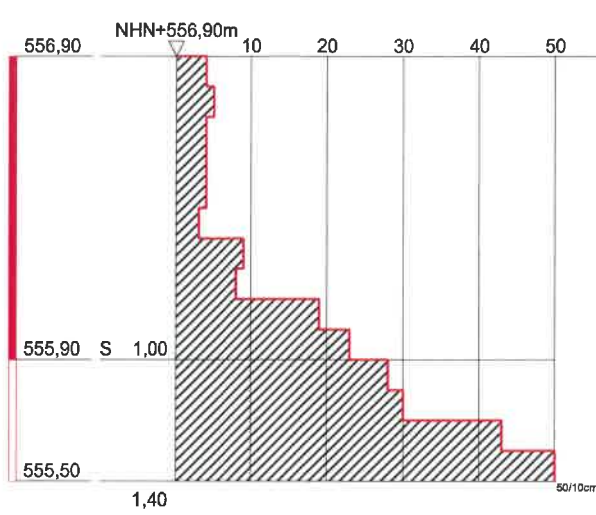
Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefern pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm- datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.

WEA6 - DPH-4
(04.06.2021)

WEA6 - DPH-4*
(04.06.2021)

NHN+m

NHN+m



<p>GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lammelbach 5 91567 Herrieden Tel.: 09825/93413 Fax: 09825/93415</p>	<p>Bauvorhaben: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg - WEA 6</p> <p>Planbezeichnung: WEA6 - DPH-4</p>	Plan-Nr: 3.7
		Projekt-Nr: GEO-210118/5
		Datum: 21.10.2021
		Maßstab: 1 : 25
		Bearbeiter: T.Lauber



Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2									
Geräteleiter: T. Lauber									
Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 6									
Sondierungsnummer: WEA6-DPH-4				Datum: 04.06.2021			Sondierart: DPH		
Ansatzpunkt [m]:						Ansatzpunkt auf NHN [m]: 556,90			
Grundwassersp.[m u. ASP]:									
Bemerkung:									
Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	4	3,10		6,10		9,10		12,10	
0,20	5	3,20		6,20		9,20		12,20	
0,30	4	3,30		6,30		9,30		12,30	
0,40	4	3,40		6,40		9,40		12,40	
0,50	4	3,50		6,50		9,50		12,50	
0,60	3	3,60		6,60		9,60		12,60	
0,70	9	3,70		6,70		9,70		12,70	
0,80	8	3,80		6,80		9,80		12,80	
0,90	19	3,90		6,90		9,90		12,90	
1,00	23	4,00		7,00		10,00		13,00	
*)	schwer	*)		*)		*)		*)	
1,10	28	4,10		7,10		10,10		13,10	
1,20	30	4,20		7,20		10,20		13,20	
1,30	43	4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40	50	4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50		4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60		4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70		4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80		4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90		4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00		5,00		8,00		11,00		14,00	
*)		*)		*)		*)		*)	
2,10		5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20		5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30		5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40		5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50		5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60		5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70		5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80		5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90		5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00		6,00		9,00		12,00		15,00	
*)		*)		*)		*)		*)	

*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]

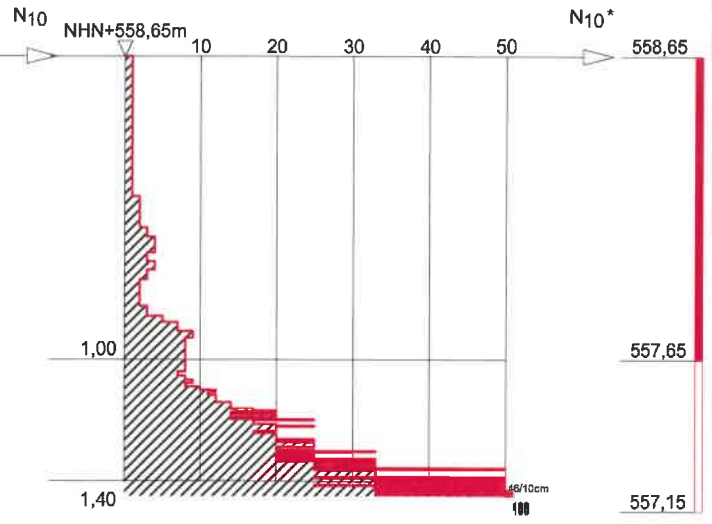
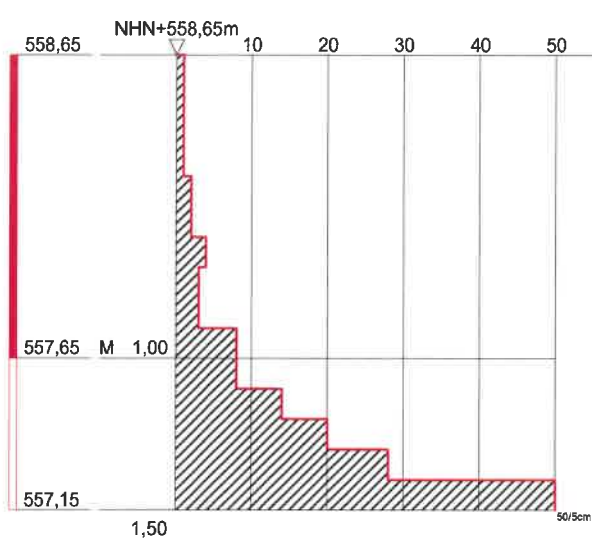
Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefern pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm-datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.

WEA6 - DPH-5
(04.06.2021)

WEA6 - DPH-5*
(04.06.2021)

NHN+m

NHN+m



<p>GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lammelbach 5 91567 Herrieden Tel.: 09825/93413 Fax: 09825/93415</p>	<p>Bauvorhaben: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg - WEA 6</p> <p>Planbezeichnung: WEA6 - DPH-5</p>	Plan-Nr: 3.9
		Projekt-Nr: GEO-210118/5
		Datum: 21.10.2021
		Maßstab: 1 : 25
		Bearbeiter: T.Lauber



Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2

Geräteleiter: T. Lauber

Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 6

Sondierungsnummer: WEA6-DPH-5

Datum: 04.06.2021

Sondierart: DPH

Ansatzpunkt [m]:

Ansatzpunkt auf NHN [m]: 558,65

Grundwassersp.[m u. ASP]:

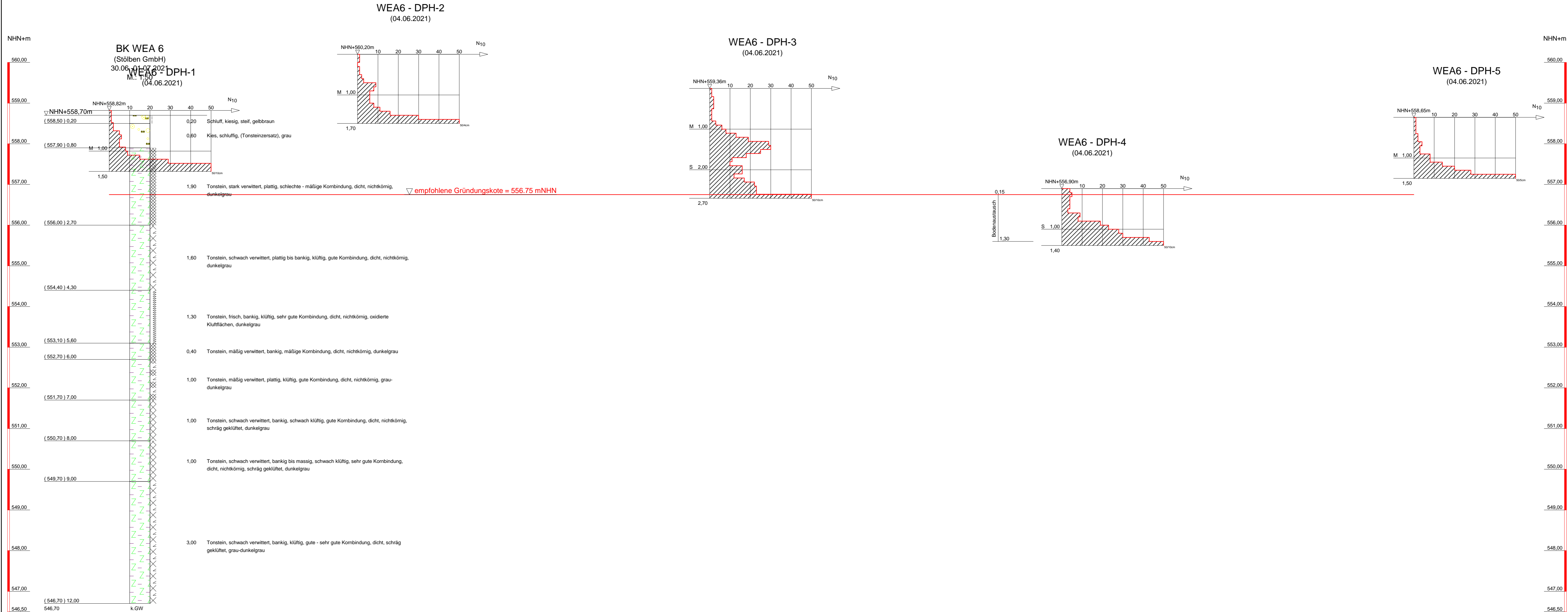
Bemerkung:

Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	1	3,10		6,10		9,10		12,10	
0,20	1	3,20		6,20		9,20		12,20	
0,30	1	3,30		6,30		9,30		12,30	
0,40	1	3,40		6,40		9,40		12,40	
0,50	2	3,50		6,50		9,50		12,50	
0,60	2	3,60		6,60		9,60		12,60	
0,70	4	3,70		6,70		9,70		12,70	
0,80	3	3,80		6,80		9,80		12,80	
0,90	3	3,90		6,90		9,90		12,90	
1,00	8	4,00		7,00		10,00		13,00	
*)	mittel	*)		*)		*)		*)	
1,10	8	4,10		7,10		10,10		13,10	
1,20	14	4,20		7,20		10,20		13,20	
1,30	20	4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40	28	4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50	50	4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60		4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70		4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80		4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90		4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00		5,00		8,00		11,00		14,00	
*)		*)		*)		*)		*)	
2,10		5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20		5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30		5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40		5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50		5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60		5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70		5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80		5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90		5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00		6,00		9,00		12,00		15,00	
*)		*)		*)		*)		*)	

*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]

Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefen pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm- datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.

Anlage 4



GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lamelbach 5 91567 Herrieden Tel.: 09825/93413 Fax: 09825/93415	Bauvorhaben: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg - WEA 6 Planbezeichnung: WEA6 - Abwicklung	Plan-Nr.: 4
		Projekt-Nr.: GEO-210118/5
		Datum: 21.10.2021
		Maßstab: 1:100/50
		Bearbeiter: T.Lauber

Anlagengruppe 5

Zusammenstellung der geomechanischen Versuchsergebnisse (Fels)

Entnahmedaten	Proben-Nr.		Zeilen-Nr.:	WEA	WEA	WEA	WEA	WEA					
	Entnahmestelle			06	06	06	06	06					
	Zusätzliche Angaben												
	Entnahmetiefe	von m bis m		8,00 8,10	8,10 8,35	8,35 8,45	8,60 8,75	8,90 9,00					
Entnahmearart		ungestört	ungestört	ungestört	ungestört	ungestört	ungestört						
Probenbeschreibung			Tst	Tst	Tst	Tst	Tst						
Stratigraphie													
Dichte- bestimmung	Korndichte	ρ_s	t/m ³	31									
	Feuchtdichte	ρ	t/m ³	32									
	Wassergehalt	w	%	33									
	Trockendichte	ρ_d	t/m ³	34									
Einaxialer Druckversuch	Einax. Druckfestigkeit		σ_u	MN/m ²									
	Belastungsmodul		B	MN/m ²	35								
	Wiederbelastungsmodul		V										
	Entlastungsmodul		E										
Poisson- zahlen	für Belastung,		ν_B	-	36								
	Wiederbelastung		ν_V										
	und Entlastung		ν_E										
Dreiaxialer Druckversuch	Vers. Typ/Probendurchm.		- / cm	37									
	Anzahl der Zyklen		-										
	Reibungswinkel		φ	°	38								
	technische Kohäsion		c	MN/m ²									
Punktlastindex			diametral axial	$I_{S(50)}$	MN/m ²	39	5,481 (s)	7,298 (s)	2,183 (p)	4,749 (s)	4,575 (s)	1,949 (p)	5,826 (s)
Spaltzugversuch			σ_z	MN/m ²	40								
Reibungsversuch	Probenfläche		A	cm ²	41								
	Anzahl der Laststufen		-										
	Trennflächentyp		-										
	Trennflächengeometrie		-		42								
	Reibungswinkel		φ	°									
technische Kohäsion		c	MN/m ²										
Quellversuche	Quellspannung		σ_a	MN/m ²	43								
	Versuchsdauer		d		44								
	Quelldehnung		$\epsilon_{a,0}$	%	45								
	Versuchsdauer		d		46								
	Quellversuch nach Huder und Amberg		K	%	47								
	Versuchsdauer		σ_0	MN/m ²	48								
DIN 52103	Wasseraufnahme												
	Absplitterung		%	49									
	Kennziffer der Absplitt.		-	50									
Veränderlichk. in Wasser DIN 4022			-	51									
Cerchar		CAI	-	53									
Abrasivitätsindex		Klassifizierung	-	54									
Frostversuch nach DIN 52104 / 4226		Absplitt. Kennzi.	% -	55 56									
Einaxialer Kriechversuch	% von einax. Druckfestigkeit		%	57									
	Kriechrate am 10. Tag (LS 1)		%										
	% von einax. Druckfestigkeit		%										
	Kriechrate am 10. Tag (LS 2)		%										
% von einax. Druckfestigkeit		%											
Kriechrate am 10. Tag (LS 3)		%											
Slake Durability Test			I_{d1}	%	58								
			I_{d2}	%									

zu Zeile 51: w- / w' / w / w* = nicht veränderlich / mäßig veränderlich / veränderlich / stark veränderlich

zu Zeile 54 u. 56: Kennziffer der Absplitter.

Bemerkungen:

Zusammenstellung der geomechanischen Versuchsergebnisse (Fels)

Entnahmedaten	Proben-Nr.		WEA	WEA	WEA	WEA	WEA	WEA	WEA
	Entnahmestelle								
	Zusätzliche Angaben								
	Entnahmetiefe	von bis	8,90 9,00	9,00 9,10	9,20 9,30	9,30 9,40	9,40 9,50	9,55 9,65	9,70 9,80
	Entnahmearart		ungestört	ungestört	ungestört	ungestört	ungestört	ungestört	ungestört
Probenbeschreibung			Tst	Tst	Tst	Tst	Tst	Tst	Tst
Stratigraphie									
Dichte- bestimmung	Korndichte	ρ_s t/m ³	31						
	Feuchtdichte	ρ t/m ³	32						
	Wassergehalt	w %	33						
	Trockendichte	ρ_d t/m ³	34						
Einaxialer Druckversuch	Einax. Druckfestigkeit	σ_u MN/m ²							
	Belastungsmodul	B MN/m ²							
	Wiederbelastungsmodul	V MN/m ²							
	Entlastungsmodul	E MN/m ²							
Poisson- zahlen	für Belastung,	ν_B							
	Wiederbelastung	ν_V							
	und Entlastung	ν_E							
Dreiaxialer Druckversuch	Vers. Typ/Probendurchm.	- / cm	37						
	Anzahl der Zyklen	-							
	Reibungswinkel	φ °	38						
	technische Kohäsion	c MN/m ²							
Punktlastindex	diametral axial	$I_{S(50)}$ MN/m ²	39	1,377 (p)	5,215 (s)	4,093 (s)	2,452 (s)	1,618 (p)	2,154 (s)
Spaltzugversuch		σ_z MN/m ²	40						
Reibungsversuch	Probenfläche	A cm ²	41						
	Anzahl der Laststufen	-							
	Trennflächentyp	-							
	Trennflächengeometrie	-	42						
	Reibungswinkel	φ °							
	technische Kohäsion	c MN/m ²							
Quellversuche	Quellspannung	σ_q MN/m ²	43						
	Versuchsdauer	d	44						
	Quelldehnung	$\epsilon_{q,0}$ %	45						
	Versuchsdauer	d	46						
	Quellversuch nach Huder und Amberg	K σ_0 MN/m ²	47						
	Versuchsdauer	d	48						
DIN 52103	Wasseraufnahme	%	49						
	Absplitterung	%							
	Kennziffer der Absplitt.	-	50						
Veränderlichk. in Wasser DIN 4022	-	51							
Cerchar	CAI	-	53						
Abrasivitätsindex	Klassifizierung	-	54						
Frostversuch nach DIN 52104 / 4226	Absplitt. Kennzi.	%	55						
Einaxialer Kriechversuch	% von einax. Druckfestigkeit	%							
	Kriechrate am 10. Tag (LS 1)	%	57						
	% von einax. Druckfestigkeit	%							
	Kriechrate am 10. Tag (LS 2)	%							
% von einax. Druckfestigkeit	%								
Kriechrate am 10. Tag (LS 3)	%								
Slake Durability Test	I_{d1}	%	58						
	I_{d2}	%							

zu Zeile 51: w - / w' / w / w* = nicht veränderlich / mäßig veränderlich / veränderlich / stark veränderlich

zu Zeile 54 u. 56: Kennziffer der Absplitter.

Bemerkungen:

Zusammenstellung der geomechanischen Versuchsergebnisse (Fels)

Entnahmedaten		Proben-Nr.		Zeilen-Nr.:	WEA									
Entnahmestelle					06									
Zusätzliche Angaben														
Entnahmetiefe		von	m		9,80									
		bis	m		10,00									
Entnahmearart				ungestört										
Probenbeschreibung				Tst										
Stratigraphie														
Dichte- bestimmung	Korndichte		ρ_s	t/m ³	31									
	Feuchtdichte		ρ	t/m ³	32									
	Wassergehalt		w	%	33									
	Trockendichte		ρ_d	t/m ³	34									
Einaxialer Druckversuch	Einax. Druckfestigkeit		σ_u	MN/m ²	35									
	Belastungsmodul		B	MN/m ²										
	Wiederbelastungsmodul		V											
	Entlastungsmodul		E											
Poisson- zahlen	für Belastung,		ν_B	-	36									
	Wiederbelastung		ν_V											
	und Entlastung		ν_E											
Dreiaxialer Druckversuch	Vers. Typ/Probendurchm.		- / cm	37										
	Anzahl der Zyklen		-	38										
	Reibungswinkel		φ											
	technische Kohäsion		c		MN/m ²									
Punktlastindex		diametral	$I_{S(50)}$	MN/m ²	39	3,868 (s)								
axial														
Spaltzugversuch		σ_z	MN/m ²	40										
Reibungsversuch	Probenfläche		A	cm ²	41									
	Anzahl der Laststufen		-	42										
	Trennflächentyp		-											
	Trennflächengeometrie		-											
	Reibungswinkel		φ	°	43									
	technische Kohäsion		c	MN/m ²										
Quellversuche	Quellspannung		σ_q	MN/m ²	43									
	Versuchsdauer		d	44										
	Quelldehnung		$\epsilon_{=0}$	%	45									
	Versuchsdauer		d	46										
	Quellversuch nach		K	%	47									
	Huder und Amberg		σ_0	MN/m ²										
DIN 52103	Wasseraufnahme			%	49									
	Absplitterung													
	Kennziffer der Absplitt.		-			50								
Veränderlichk. in Wasser DIN 4022		-	51											
Cerchar		CAI	-	53										
Abrasivitätsindex		Klassifizierung	-	54										
Frostversuch nach		Absplitt.	%	55										
DIN 52104 / 4226		Kenzi.	-		56									
Einaxialer Kriechversuch	% von einax. Druckfestigkeit		%	57										
	Kriechrate am 10. Tag (LS 1)		%											
	% von einax. Druckfestigkeit		%											
	Kriechrate am 10. Tag (LS 2)		%											
% von einax. Druckfestigkeit		%	58											
Kriechrate am 10. Tag (LS 3)		%												
Slake Durability Test		I_{d1}	%	58										
		I_{d2}	%											
zu Zeile 51: w- / w' / w / w* = nicht veränderlich / mäßig veränderlich / veränderlich / stark veränderlich						zu Zeile 54 u. 56: Kennziffer der Absplitter.								
Bemerkungen:														

Anlagengruppe 6

L-Name	x	y	z	Hk	Hy	Vz	Mx	My	Typ
1	0.00	0.00	-0.36	1375.00	0.00	18150.00	214800.00	0.00	S

Aushub 1
558.80



▽ 558.00 ∇ + 558.80

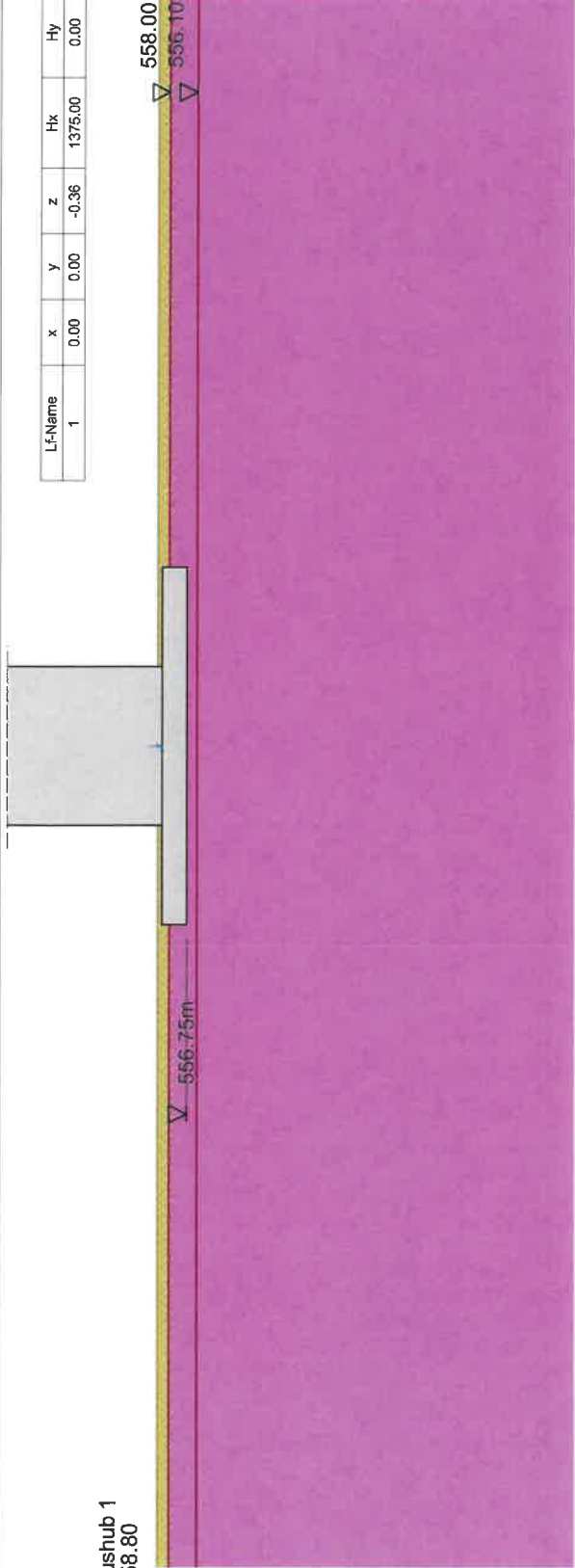
▽ 556.75m

▽ 556.10

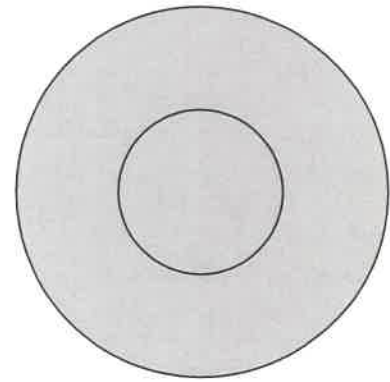
Schluff-Kies
 $\phi = 27.5^\circ$
 $c = 2.5 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma\gamma = 19.5/10.0 \text{ kN/m}^3$

Tonstein1
 $\phi = 25.0^\circ$
 $c = 20.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma\gamma = 22.0/12.0 \text{ kN/m}^3$

Tonstein2
 $\phi = 25.0^\circ$
 $c = 50.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma\gamma = 24.0/14.0 \text{ kN/m}^3$



24.50

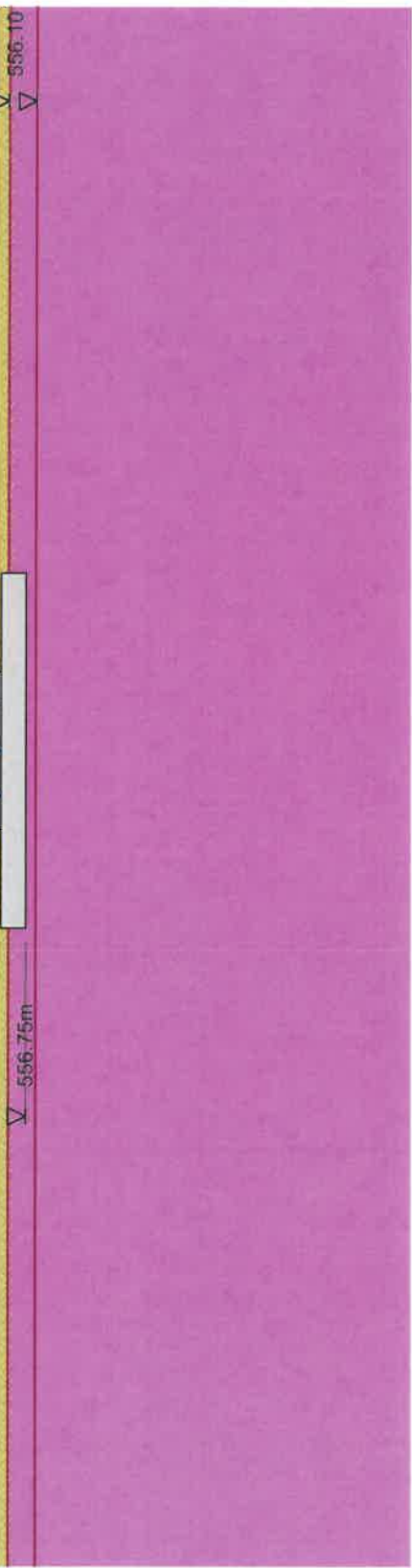


24.50

LF-Name	x	y	z	Hk	Hy	Vz	Mk	My	Typ
1	0.00	0.00	-0.36	1375.00	0.00	18150.00	214800.00	0.00	S

Aushub 1
558.80

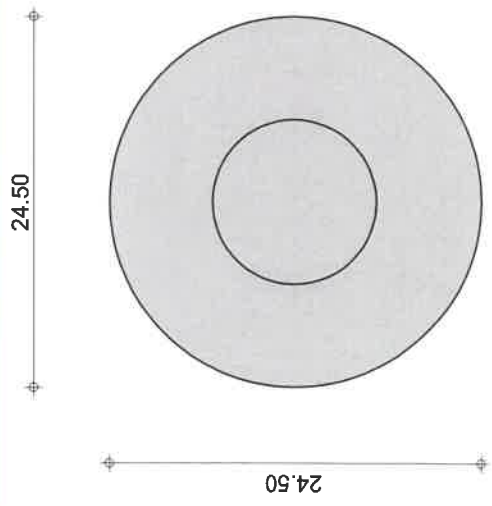
+ 558.80



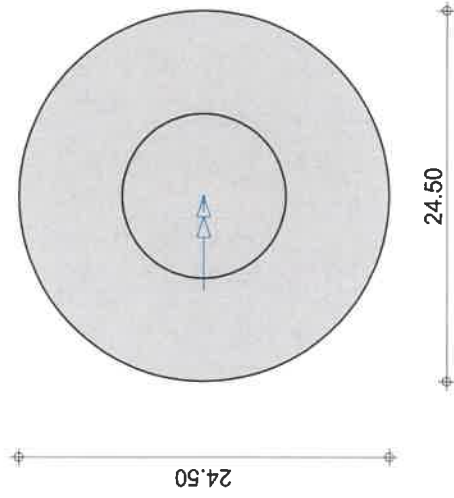
Schluff-Kies
 $\phi = 27.5^\circ$
 $c = 2.5 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma/\gamma' = 19.5/10.0 \text{ kN/m}^3$

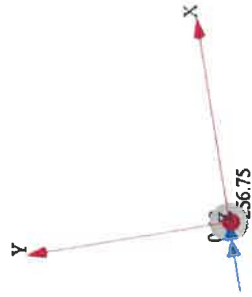
Tonstein1
 $\phi = 25.0^\circ$
 $c = 20.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma/\gamma' = 22.0/12.0 \text{ kN/m}^3$

Tonstein2
 $\phi = 25.0^\circ$
 $c = 50.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma/\gamma' = 24.0/14.0 \text{ kN/m}^3$



Lf-Name	x	y	z	Hx	Hy	Vz	Mx	My	Typ
1	0.00	0.00	-0.36	1375.00	0.00	18150.00	214800.00	0.00	S





Programm DC-Fundament - Copyright 2006-2021: DC-Software Doster & Christmann GmbH, D-81245 München

Eingabedatei: C:\ProgramData\DC-Grundbaustatik\Daten\WEA2\WEA6.dbf

Fundament-Berechnung nach DIN EN 1997-1 (Eurocode 7) und DIN 1054:2010

Erddruck nach DIN 4085:2017

Berechnung mit Nachweisverfahren 2

Kombination mit Teilsicherheitsbeiwerten der Gruppen A1 + M1 + R2

Fundamenttyp: Einzelfundament, kreisförmig

Fundamentabmessungen

Durchmesser d : 24.50 m
 Unterkante : 556.75 mNN
 Höhe h : 1.69 m
 Wichte γ : 25.00 kN/m³
 Geländeoberkante auf 558.80 mNN

Schichtdaten

		Schluff-Kies	Tonstein1	Tonstein2
Schichthöhe Δh	[m]	0.80	1.90	97.30
Innere Reibung $\text{cal } \varphi'$	[°]	27.50	25.00	25.00
Kohäsion c	[kN/m ²]	2.50	20.00	50.00
Wichte Boden γ	[kN/m ³]	19.50	22.00	24.00
Wichte unter Auftrieb γ'	[kN/m ³]	10.00	12.00	14.00
Steifemodul E_s	[MN/m ²]	40.00	100.00	120.00
zul. Bodenpressung	[kN/m ²]		475.00	550.00

Lastfall BS
 1 P

Einzellasten

Lastfall	Kat.	V [kN]	H _x [kN]	H _y [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	x [m]	y [m]	z [m]	γ Grundbau	γ Bemess.	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Eigengew.	G	19953.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	-2.05	1.35	1.35			
1	G	18150.0	1375.0	0.0	214800.0	0.0	0.00	0.00	-0.36	1.35	1.35			

Teilsicherheitsbeiwerte für statisches Gleichgewicht (EQU):

γ -	G, stb	G, dst	Q, dst
BS-P	0.90	1.10	1.50
BS-T	0.90	1.05	1.25
BS-A	0.95	1.00	1.00
BS-T/A	0.93	1.03	1.13

Teilsicherheitsbeiwerte (STR, GEO) für Nachweisverfahren 2

γ -	G	Q	R,v	R,h	γ	φ	c	cu	Ea	E0g	Ep
BS-P	1.35	1.50	1.40	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.35	1.20	1.40
BS-T	1.20	1.30	1.30	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.10	1.30
BS-A	1.10	1.10	1.20	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.10	1.00	1.20
BS-T/A	1.15	1.20	1.25	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.15	1.05	1.25

- γ - Teilsicherheitsbeiwert für ...
- G ständige Lasten
- Q veränderliche Lasten
- R,v Grundbruchwiderstand
- R,h Gleitwiderstand
- γ Wichte
- φ Reibungsbeiwert $\tan \varphi$
- c Kohäsion c
- cu Kohäsion undräniert cu
- Ea Aktiver Erddruck
- E0g Ruhedruck
- Ep Passiver Erddruck
- G, stb günstige ständige Lasten
- G, dst ungünstige ständige Lasten
- Q, dst ungünstige veränderliche Lasten

Lastfall-Kombinationen für Grundbaunachweise:

Komb.Nr.	Bem.sit.	Eigengew.	1
1	BS-P	1.00	1.00
2	BS-P	1.00	1.35
3	BS-P	1.35	1.00
4	BS-P	1.35	1.35

Lastfall-Kombinationen für Bemessung:

Komb.Nr.	Eigengew.	1
1	1.00	1.00
2	1.00	1.35
3	1.35	1.00
4	1.35	1.35

Ergebnisse:

Komb.Nr.	Sohl-normalsp. [kN/m ²]	max.Boden- pressung [kN/m ²]	Gleiten T _d /R _d	Grundbr. N _d /R _d	max. Setzung [mm]	e/d ständig	e/d gesamt	EQU: E _{d,dst} /E _{d,stab}
1	184.0	256.8	0.07	0.08	17.5	0.426	0.177	0.001
2	184.0	256.8	0.10	0.09	17.5	0.426	0.177	0.001
3	184.0	256.8	0.07	0.09	17.5	0.426	0.177	0.001
4	184.0	256.8	0.10	0.11	17.5	0.426	0.177	0.001

Maßgebend:

Komb.Nr.	Sohl-normalsp. [kN/m ²]	max.Boden- pressung [kN/m ²]	Gleiten T _d /R _d	Grundbr. N _d /R _d	max. Setzung [mm]	e/d ständig	e/d gesamt	EQU: E _{d,dst} /E _{d,stab}
	184.0	256.8	0.10	0.11	17.5	0.426	0.177	0.001

Nachweis der Lagesicherheit im GZ EQU

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 1, maßgebende Richtung: -y

Lage der Kippkante: (-12.25 m; -2.05 m)

E_{d,dst} = 331.94 kNm ≤ E_{d,stab} = 266010.66 kNm

*** Nachweis erfüllt ***

Nachweis der max. Bodenpressung

Schnittgrößen in der Sohlfuge

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 2

Belastung aus Eigengewicht: V = 19953.5 kN

Belastung aus Erdauflast: V = 3529.0 kN, M_y = 0.0 kNm, M_x = 0.0 kNm

Gesamtlast:

N = 41632.5 kN, Q_x = 1375.0 kN, M_y = 2327.9 kNm, Q_y = 0.0 kN, M_x = 214800.0 kNm

σ_{1(-x)} = 256.8 kN/m², σ_{2(+x)} = 0.0 kN/m²

Ersatzbreiten: b' = 14.18 m, a' = 15.96 m

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 2

(char. Sohlnormalspannung σ_{0,r,k} = 184.0 kN/m²)

Nachweis mit Bemessungswerten:

σ_{0,r,d} = 255.5 kN/m² < Bemessungswert Sohlwiderstand σ_{Rd} = 475.0 kN/m²

*** Nachweis erfüllt ***

Nachweis der Gleitsicherheit im Nachweisverfahren 2

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 2, maßgebende Richtung: +x

	Charakteristisch	Bemessungswerte
Belastung T	= 1375.0 kN	1856.3 kN
Erdwiderstand E _{ph} (δ _p = 0)	= 1375.0 kN	982.1 kN
Belastung V	= 41632.5 kN	
Reibungswinkel Sohle δ	= 25.00 °	
Gleitwiderstand R _t	= 19413.6 kN	17648.7 kN
Nachweis: T_d / (R_{t,d} + E_{p,d})	= 0.10 < 1.0	

*** Nachweis erfüllt ***

Nachweis der Grundbruchsicherheit im Nachweisverfahren 2

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 4, maßgebende Richtung: +x

Belastung		Charakteristisch	Bemessungswerte
Auflast P	=	21679.04 kN	29266.71 kN
Eigengewicht G	=	19953.50 kN	26937.22 kN
Gesamtlast V	=	41632.54 kN	56203.93 kN
Horizontallast H	=	1375.00 kN	1856.25 kN
Moment M_y	=	2327.88 kNm	3142.63 kNm
Moment M_x	=	214800.00 kNm	289980.00 kNm
Neigung der Resultierenden $\tan(\delta_s) = H/V$	=	0.03	
Lastrichtung zur Querrichtung ω	=	90.00 °	

Abmessungen

Einbindetiefe d	=	2.05 m
Ersatzbreite b'	=	14.18 m
Ersatzbreite quer a'	=	17.24 m

Ergebnisse

Breite der Grundbruchfigur	=	57.63 m
Tiefe der Grundbruchfigur	=	17.92 m
Maßgebende Bodenkennwerte: γ oberhalb Gründungssohle	=	21.02 kN/m ³
γ unterhalb Gründungssohle	=	23.88 kN/m ³
Reibungswinkel φ	=	25.00 °
Kohäsion c	=	49.14 kN/m ²
Tragfähigkeitsbeiwerte N_c, N_q, N_γ	=	20.72 10.66 4.51
Lastneigungsbeiwerte i_c, i_q, i_γ	=	0.94 0.95 0.92
Formbeiwerte s_c, s_q, s_γ	=	1.47 1.42 0.70

Grundbruchspannung p_d	=	2150.44 kN/m ²
Bemessungswert Grundbruchwiderstand R_d	=	525621.24 kN
Bemessungswert Beanspruchung N_d	=	56203.93 kN

Nachweis: $N_d / R_d = 0.11 < 1.0$

***** Nachweis erfüllt *****

Setzungsberechnung (GZG)

bezogen auf die Bodenpressungen an den kennzeichnenden Punkten:

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 1

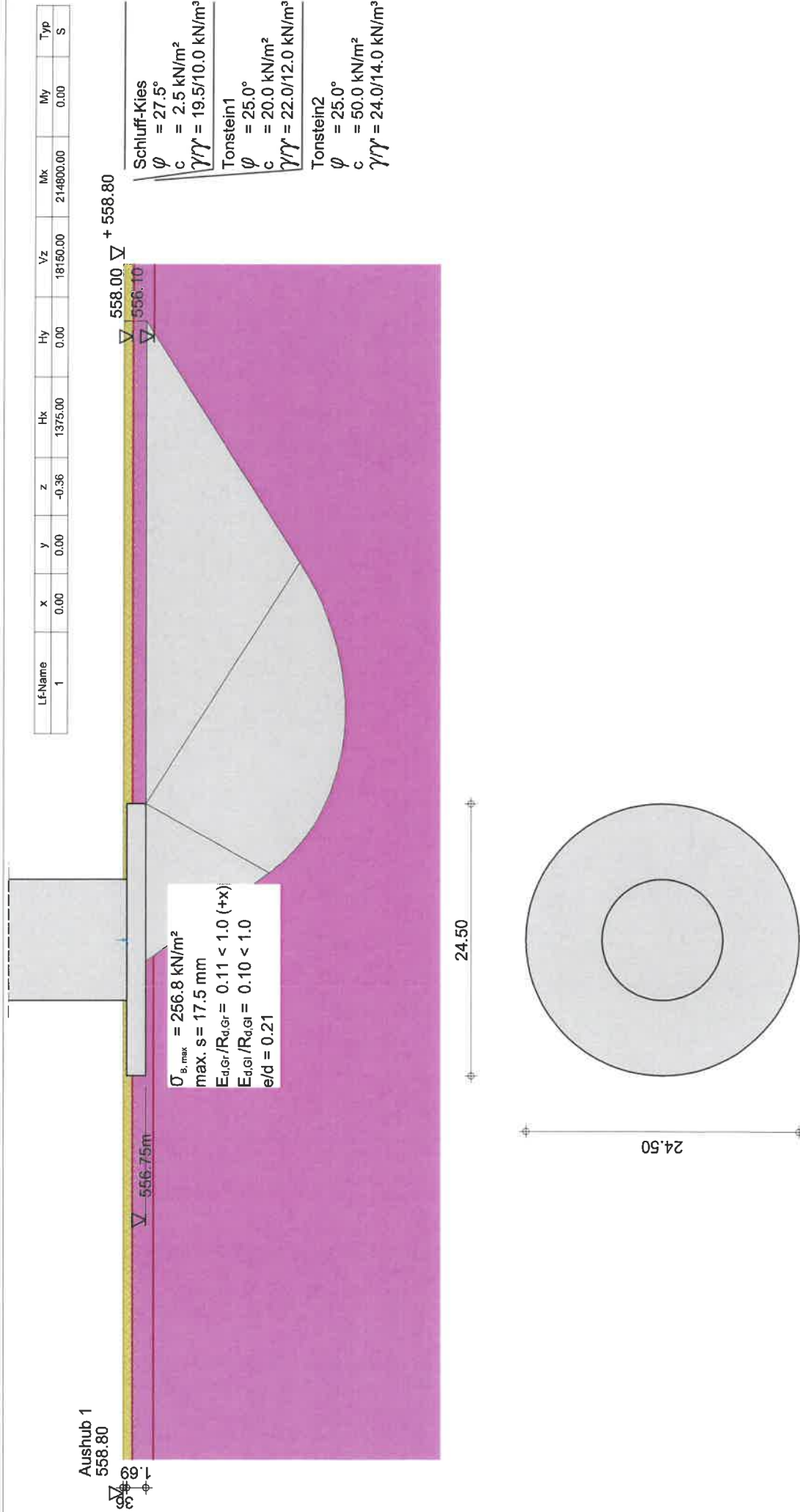
Setzung am Randpunkt (-r; 0):	7.0 mm
Setzung am Randpunkt (+r; 0):	7.3 mm
Setzung am Randpunkt (0;-r):	17.5 mm
Setzung am Randpunkt (0;+r):	-3.2 mm (Hebung)

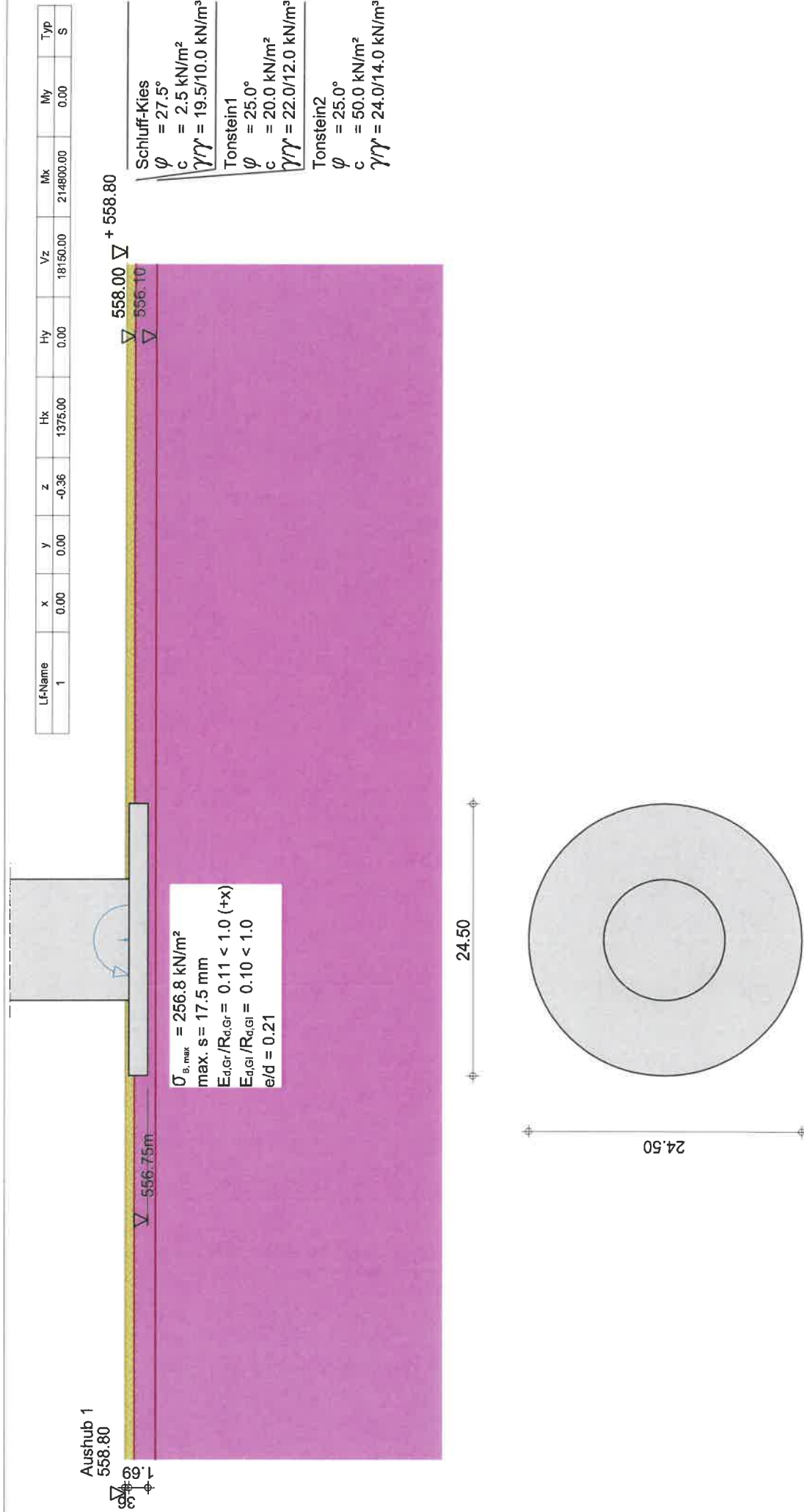
Maximale Setzung:	17.5 mm
Angesetzte Grenztiefe:	13.70 m

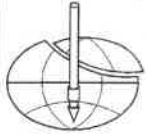
Setzung nur aus Normalkraft:

Setzung am Randpunkt (-r; 0):	4.5 mm
Setzung am Randpunkt (+r; 0):	4.7 mm
Setzung am Randpunkt (0;-r):	4.6 mm
Setzung am Randpunkt (0;+r):	4.6 mm

Maximale Setzung:	4.7 mm
Angesetzte Grenztiefe:	8.70 m







GEOTECHNIK GmbH

Prof. Dr. -Ing. Herrmann & Partner

Lammelbach 5

91567 Herrieden

Web: www.geotechnik-gmbh.com
e-mail: GEOTECHNIK_GmbH@t-online.de

Büro 2: Hans-Böckler-Straße 1
57223 Kreuztal – Buschhütten

Büro 1: Lammelbach 5
91567 Herrieden

Telefon: 09825 – 9 34 13
09825 – 9 34 14
Telefax: 09825 – 9 34 15

Funktelefon 1: 0170 – 4751946
Funktelefon 2: 0170 – 5533881

Telefon: 02732 – 55 28 26
Telefax: 02732 – 55 28 27

**Windpark
Ohrenbach
Windenergieanlage
WEA 7
Vestas Typ V162 6,0MW
169 m Nabenhöhe
in 57319 Bad Berleburg
Auftraggeber:
Krug Energie GmbH & Co. KG
35117 Münchhausen**

**Ergebnisse
der geotechnischen Untersuchungen
- Baugrund- / Gründungsgutachten -**

Auftraggeber:	Firma Krug Energie GmbH & Co. KG Dorfstraße 53 35117 Münchhausen-Wollmar
Projekt:	Windpark Ohrenbach, Windenergieanlage WEA 7 Fa. Vestas Typ V162 6,0MW, 169 m Naben- höhe bei Bad Berleburg 57319 Bad Berleburg
Auftrag:	Geotechnische Untersuchungen - Baugrund-/Gründungsgutachten (Geotechnischer Bericht nach DIN 4020)
Ihre Zeichen:	Herr Hans-Hermann Zacharias Auftrag vom 27.05.2021 (E-Mail)
Unsere Zeichen:	GEO-210129/6
Bearbeitung:	Dipl.-Ing. (FH) Thorsten Lauber Univ.-Prof. Dr.-Ing. Richard A. Herrmann
Lammelbach,	den 25.10.2021

Inhaltsverzeichnis:		Seite
1	Vorgang	4
2	Allgemeines	4
3	Geotechnische Untersuchungen	6
4	Geologie und Morphologie	13
5	Baugrundbeurteilung	14
6	Gründungsempfehlungen	15
7	Zusammenfassung und Schlussbemerkungen	32

Anlagen:

Anlage 1:	Lageplan der Aufschlüsse
Anlagengruppe 2:	Darstellung des direkten Aufschlusses Bohrung BK WEA 7 (nach DIN EN ISO 22475-1) - Bohrprofil (Anlage 2.1) - Bilddokumentation (Anlage 2.2 - 2.3)
Anlagengruppe 3:	Darstellung der indirekten Aufschlüsse Ergebnisse der schweren Rammsondierungen WEA7-DPH-1 bis WEA7-DPH-5 - (Anlage 3.1 - 3.10)
Anlage 4:	Abwicklung des direkten Aufschlusses und der indirekten Aufschlüsse
Anlagengruppe 5:	Ergebnisse der felsmechanischen Laborversuche Punktlastversuche und Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit an Festgesteinsproben - (Anlage 5.1 - 5.4)
Anlagengruppe 6:	Fundamentberechnung - Sohlspannung, Setzung, Grundbruch, Gleiten u.a. - (Anlage 6.1 - 6.10)

1 Vorgang

Die Firma Krug Energie GmbH & Co. KG als Bauherr und Investor, vertreten durch Herrn Hans-Hermann Zacharias beauftragte uns am 27.05.2021 mit der Durchführung von geotechnischen Untersuchungen und der Ausarbeitung von Baugrund-/Gründungsgutachten (Geotechnischer Bericht nach DIN 4020) für die Errichtung von 8 Windenergieanlagen (WEA 2 – WEA 9) im Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg.

Grundlage der Beauftragung ist unser Kostenangebot vom 29.01.2021.

2 Allgemeines

Das Bauvorhaben sieht nach den vorliegenden Planunterlagen den Bau von insgesamt 8 Windenergieanlagen der Firma Vestas Wind Systems A/S, DK-8200 Aarhus vom Typ V162, 6,0 MW mit einer Nabenhöhe von 169 m vor. Der Hybridturm aus einem ca. 74,76 m hohen Stahlrohrturm über einem ca. 89,09 m hohen Spannbetonschaft steht auf einer kreisförmigen Fundamentplatte mit einem Durchmesser von 24,5 m. Das Fundament weist eine Höhe von 2,90 m auf und wird auf einer ca. 10 cm dicken Sauberkeitsschicht hergestellt. Im Zentrum des Fundamentes wird mit einem Durchmesser von 4,4 m eine Weichschicht mit $d = 5$ cm auf der Sauberkeitsschicht eingebaut und zusätzlich außerhalb des Sockels mit einer Breite von 2 m eine Weichschicht $d = 15$ cm in die Sauberkeitsschicht eingebaut.

Der Windpark Ohrenbach befindet sich südöstlich der Stadt Bad Berleburg im Waldgebiet zwischen den Einzelgehöften Lützelbach/Steinbach im Nordwesten, den Dörfern Arfeld im Südwesten, Schwarzenau mit dem Oberen Hüttental im Südosten und dem Hof Brücher im Nordosten. Neben den geplanten 8 Anlagen erfolgen benachbart für 4 bereits genehmigte Anlagen der Eder Energy Erdarbeiten für die Erschließung und Baufeldvorbereitung.

Das Gelände wird von den Erhebungen des Großen Prenzenberger Kopfes (653 mNN) im Nordwesten, Ohrenbachsrücken (593 mNN) im Südwesten, dem Hahnschuß (600 mNN) im Südosten, der Schlade Seite (635 mNN) im Osten und dem Nesselbergskopf (671 mNN) im Nordosten geprägt und dazwischen hat sich das Arfetal in das Gelände eingeschnitten.

Der Standort der WEA 7 mit den Mittelpunktkoordinaten im ETRS/UTM 32N-System von Re 461467 und Ho 5655068 und einer Höhe von ca. 613,5 mNHN (im Zentrum) liegt etwa 650

m südsüdwestlich von Hof Brücher an einem von einer Erhebung (ca. 625 mNHN) nach Westen zum Arfetal abfallenden Hang im nordöstlichen Bereich des geplanten Windparks. Das Baugrundstück befindet sich an einer Waldfläche und grenzt im Osten an einen Waldwirtschaftsweg an.

Zur Bearbeitung des Baugrund-/Gründungsgutachtens und als Vorinformation zum Bauvorhaben wurden uns bisher folgende Planunterlagen zur Verfügung gestellt:

- **Prüfbericht für eine Typenprüfung „Prüfung der Standsicherheit - Hybridturm T20“**, Prüfnr.: 3108363-13-d (15 Seiten [mit Anlagen]), aufgestellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Prüfamts für Standsicherheit für die bautechnische Prüfung von Windenergieanlagen, 80686 München, am 17.02.2020
- **Prüfbericht für eine Typenprüfung „Prüfung der Standsicherheit - Flachgründung“**, Prüfnr.: 3108363-23-d, (201 Seiten [mit Anlagen]), aufgestellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Prüfamts für Standsicherheit für die bautechnische Prüfung von Windenergieanlagen, 80686 München, am 17.02.2020
- **Gutachterliche Stellungnahme für Lastannahmen zur Turmberechnung der Vestes V162-5.6 MW mit 169 m Nabenhöhe (Hybrid-Turm, Entwurfslebensdauer 20 Jahre) für Windzone WZ2GK2 (S)**, Berichts-Nr. L-05629-A052-3 Rev. 1, (243 Seiten [mit Anlagen]), aufgestellt von DNV GL Energy Renewables Certification, Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH, 20457 Hamburg, am 05.02.2020
- **Plan „Übersichtsplan 1/2, Übersicht WEA 2 - 6 [Planung]**, M.: 1:5000, aufgestellt von Windenergie Wenger-Rosenau GmbH & Co. KG, 16816 Neuruppin, gezeichnet am 29.07.2021
- **Plan „Übersicht 8 WEA [Entwurf]**, M.: 1:10000, aufgestellt von Windenergie Wenger-Rosenau GmbH & Co. KG, 16816 Neuruppin, gezeichnet am 20.04.2021
- **Koordinatenliste der Anlagen-Mittelpunkte**, Stand: 01.06.2021
- **Liste „Geländehöhen der Anlagen-Mittelpunkte“**, übermittelt von Dipl.-Ing. Burghaus, ÖbVI, Stand: 14.10.2021, Messgenauigkeit ca. $\pm 10 - 15$ cm

3 Geotechnische Untersuchungen

3.1 Allgemeines

Die geotechnischen Untersuchungen des Baugrundes und der örtlichen Situation für die geplante Errichtung der Windenergieanlage WEA 7 im Windpark Ohrenbach wurden am 25.06.2021 mit der Durchführung von fünf schweren Rammsondierungen DPH nach DIN EN ISO 22476-2 zur Ermittlung der relativen Baugrundfestigkeiten sowie zur Abgrenzung eines vorhandenen Grenzhorizontes begonnen. Die Felduntersuchungen wurden am 14.-16.07.2021 mit dem Niederbringen einer Bohrung nach DIN EN ISO 22475-1 Tabelle 2 + 5 zur Schaffung eines *direkten* Baugrundaufschlusses und der Wiederverfüllung des Bohrloches abgeschlossen.

Die Bohrung wurde zur Schaffung eines direkten Baugrundaufschlusses mit der Gewinnung durchgehend gekernter Boden- und Felsproben und damit zur Beurteilung der Baugrundverhältnisse im Bereich der geplanten neuen Windenergieanlage abgeteuft. Die Rammsondierungen dienten zur Ermittlung geotechnischer insitu Kenngrößen nach DIN EN 1997-2, aus denen geotechnische Kennwerte für die Bemessung nach DIN EN 1997-1 abgeleitet werden, sowie zur Abgrenzung von Festigkeits- und Grenzhorizonten.

Die Festlegung der Bohr- und Sondierpunkte wurde in Anlehnung an die DIN 4020 und die örtlichen Gegebenheiten an definierten Punkten in Form eines Rasters (hier zentralsymmetrische Anordnung) ausgewählt, um eine flächenhafte Erkundung des Baugrundes im Bereich des Turmfundamentes zu erzielen.

Die geodätische Einmessung der einzelnen Aufschlusspunkte bzw. der Ansatzhöhen erfolgte mit einer GPS-Vermessung. Die Ansatzhöhen sind auf das Normalhöhennull (mNHN) im System des Deutschen Haupthöhennetzes (DHHN 2016) bezogen.

Die Lage der durchgeführten Untersuchungen im Bereich des Baugrundstückes wurde mit den Orten der Bohrung und Sondierungen auf dem Grundriss des Baugeländes eingemessen. Diese Einmessung wurde in einem Lageplan dargestellt und ist dem Baugrund-/ Gründungsgutachten als **Anlage 1** beigelegt. Als Grundplan diente ein Auszug aus dem Plan „Übersichtsplan 2/2, Übersicht WEA 7 - 9 [Planung] des Büros Windenergie Weniger-Rosenau GmbH & Co. KG, 16816 Neuruppin.

3.2 Direkter Aufschluss mit einer Bohrung nach DIN EN ISO 22475-1

Bohrung BK WEA 7

Die Bohrung BK WEA 7 wurde von dem von der Firma Krug Energie direkt beauftragten Bohrunternehmen Stölben GmbH, 56856 Zell/Mosel, mit Bohrverfahren nach Tabelle 2 und 5 der DIN EN ISO 22475-1 abgeteuft. Der Bohrpunkt für BK WEA 7 wurde ca. 3 m neben dem Zentrum des geplanten Fundamentes der Windenergieanlage festgelegt. Die Bohrung wurde als Rammkernbohrung mit Einfachkernrohr im Überlagerungsbereich im Trockenbohrverfahren und als Rotationskernbohrung im Felsbereich mit Wasserspülung mit dem Doppelkernrohr abgeteuft und wurde bei einer Bohrtiefe von 12 m planmäßig beendet. Das Spülwasser wurde aus dem Trinkwassernetz in Bad Berleburg entnommen und mit einem Wasserfass zur Bohrstelle transportiert.

Die Lage der Bohrung ist im Lageplan der **Anlage 1** dargestellt.

Bohrung BK WEA 7

Die Bohrung BK WEA 7 wurde ca. 3 m neben dem Mittelpunkt des geplanten Kreisringfundamentes der Windenergieanlage WEA 7 niedergebracht. Der Oberboden war im Bereich um das Zentrum der Anlage mit der Herstellung einer Arbeitsebene für das Bohrgerät bereits abgetragen worden.

Bohrung BK WEA 7 (Ansatzpunkt = 614,15 mNHN)

Die Bohrung BK WEA 7 ergab folgendes Bohrprofil:

0,00 – 0,65 m Schluff, stark kiesig, steinig, weich, hellbraun

0,65 – 1,35 m Tonstein, schiefrig, zersetzt, dunkel-schwarzbraun

1,35 – 1,70 m Tonstein, stark verwittert, stückig, mäßige Kornbindung, dicht, nichtkörnig, schluffige Kluffüllungen, grau-schwarzgrau

- 1,70 – 2,00 m Tonstein, stark verwittert, stückig, mäßige Kornbindung, dicht, nichtkörnig, grau-schwarzgrau
- 2,00 – 3,60 m Tonstein, schiefrig, mäßig verwittert, plattig, mäßige Kornbindung, dicht, nichtkörnig, teilweise gebändert, grau-schwarzgrau
- 3,60 – 4,65 m Tonstein, schiefrig, schwach verwittert, bankig, sehr gute Kornbindung, dicht, nichtkörnig, schräg geklüftet, grau-schwarzgrau
- 4,65 – 5,10 m Tonstein, stark verwittert, grobstückig, gute Kornbindung, dicht, nichtkörnig, grau-schwarzgrau
- 5,10 – 8,70 m Tonstein, schwach verwittert bis frisch, bankig, klüftig, sehr gute Kornbindung, dicht, nichtkörnig, schräg geklüftet, Grauwackebänder ab 8,35 m, grau-schwarzgrau
- 8,70 – 8,95 m Tonstein, schiefrig, stark verwittert, mäßige Kornbindung, dicht, nichtkörnig, mit schluffigen Kluffüllungen, grau-schwarzgrau
- 8,95 – 10,45 m Tonstein, schwach verwittert, bankig, klüftig, mäßige Kornbindung, dicht, schräg geklüftet, grau-schwarzbraun
- 10,45 – 12,00 m Sandstein, frisch, kompakt, sehr gute Kornbindung, dicht, feinkörnig, grau-braun-rotbraun
- Ein Grund-/Schichtenwasser wurde im Bohrloch der Bohrung BK WEA 7 im Beobachtungszeitraum nicht festgestellt.

Die Bohrung BK WEA 7 wurde planmäßig in einer Tiefe von 12,00 m unter GOF bei 602,15 NHN beendet. Das Bohrloch wurde nach Beendigung der Bohrarbeiten mit hoch quellaktivem Tongranulat verfüllt.

Die Ergebnisse des direkten Aufschlusses (Bohrung BK WEA 7) sind in der **Anlage 2.1** als Bodenprofil nach DIN 4023 dargestellt.

3.3 Indirekte Aufschlüsse mit Rammsondierungen nach DIN EN ISO 22476-2

Rammsondierungen DPH

Die Lage der Sondierpunkte ist im Lageplan der **Anlage 1** dargestellt.

Schwere Rammsondierungen DPH-1 bis DPH-5

Zur Ermittlung der Baugrundfestigkeiten und zur Abgrenzung der Verwitterungshorizonte (Überlagerung) sowie des Grenzhorizontes wurden im Bereich des Baugrundstücks fünf schwere Rammsondierungen DPH nach DIN EN ISO 22476-2 durchgeführt. Die Rammsondierungen dienten zur Ermittlung geotechnischer insitu Kenngrößen nach DIN EN 1997-2, aus denen geotechnische Kennwerte für die Bemessung nach DIN EN 1997-1 abgeleitet werden, sowie zur Abgrenzung von Festigkeits- und Grenzhorizonten.

Die Rammsondierungen DPH wurden im Zentrum und in einem Radius von 12,25 m um das Zentrum der geplanten Windenergieanlage absondiert und waren mit Rammwiderständen $N_{10} \geq 50$ Schläge pro 10 cm Eindringung planmäßig zu beenden.

Die Sondierungen ergaben oberflächennah bis in eine Tiefe von 0,4 bis 0,8 m eine Zone mit sehr geringen bis geringen Rammwiderständen mit 1 bis 5 (Schlägen pro 10 cm Eindringung)*. Nachfolgend wurde ein Anstieg auf höhere Sondierwiderstände ($N_{10} \geq 10^*$) gemessen, bevor die Sondierungen DPH-1 bis DPH-5 in einer Tiefe von 1,0 bis 1,7 m nach einem treppenförmigen Anstieg am Grenzhorizont, ausgewiesen mit $N_{10} \geq 50$ beendet wurden.

Die Sondierungen DPH-1 bis DPH-5 wurden bei ca. 609,2 bis 614,8 mNHN mit Erreichen des Grenzhorizontes beendet.

In der Zusammenfassung lassen sich der direkte und die indirekten Aufschlüsse wie folgt bewerten:

In Verbindung mit dem direkten Aufschluss sind die -nach dem erfolgten Oberbodenabtrag-gemessenen sehr geringen bis geringen Rammwiderstände auf stark kiesige, (schwach) steinige Schluffe in weicher Konsistenz zurückzuführen. Der Anstieg der Sondierwiderstände auf höhere N_{10} -Werte ist mit dem Erreichen des Verwitterungshorizontes des Oberen Quarzit

in Form von stark verwitterten Tonsteinen, stückig, mit mäßiger Kornbindung verbunden. Den Grenzhorizont der Sondierungen bilden die darunter erkundeten mäßig und schwach verwitterten Tonsteine, schiefrig, plattig/bankig, mit mäßiger, tiefer guter bis sehr guter Kornbindung. Im tieferen Untergrund wurden ab 5,1 m Tiefe Grauwackebänder im Tonstein und ab 10,45 m ein feinkörniger Sandstein erbohrt.

In der nachfolgenden Tabelle werden die Koten für die Rammwiderstandshorizonte mit $N_{10} \geq 10$ und $N_{10} \geq 50$ für den Bereich des geplanten Fundamentes dargestellt.

Tabelle 3.3-1: Höhenkoten Rammwiderstandshorizont $N_{10} \geq 10$ und $N_{10} \geq 50$ [Schläge/10 cm]

DPH	Höhenkote Sondieransatzpunkt	Höhenkote (Tiefe u. ASP) RW-Horizont $N_{10} \geq 10$ [Schläge/10 cm]	Höhenkote (Tiefe u. ASP) RW-Horizont $N_{10} \geq 50$ [Schläge/10 cm]
Nr.	mNHN	mNHN (m)	mNHN (m)
DPH-1	613,37	612,87 (0,5)	612,27 (1,1)
DPH-2	615,97	615,27 (0,7)	614,77 (1,2)
DPH-3	613,27	612,37 (0,9)	611,57 (1,7)
DPH-4	610,46	609,56 (0,9)	609,16 (1,3)
DPH-5	613,37	612,67 (0,7)	612,37 (1,0)

Die Ergebnisse der schweren Rammsondierungen sind in der **Anlagengruppe 3** (Anlagen 3.1 - 3.10) in Form von Sondierprotokollen und Rammdiagrammen nach DIN EN ISO 22476-2 zusammengestellt.

3.4 Laboruntersuchungen

Die bei der Kernbohrung BK WEA 7 gewonnenen Bohrkern aus der Dachschieferfolge wurden zur Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit an das Labor FeBoLab GmbH, 91747 Westheim übergeben.

3.4.1 Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit q_u nach DIN 18141-1

Die einaxiale Druckfestigkeit q_u wurde nach DIN 18141-1 (nach DGGT-Empfehlung Nr. 1) bestimmt.

Die Ergebnisse sind nachfolgend und tabellarisch in der **Anlage 5.4** dargestellt.

Tabelle 3.4-1: Einaxiale Druckfestigkeit q_u

Bohrung (Nr.)	Probe Nr.	Entnahmetiefe [m]	Feuchtdichte [t/m ³]	Einaxiale Druckfestigkeit [MN/m ²]
BK WEA 7	7/11	5,20 - 5,50	2.639	2,282

Der untersuchte Tonstein weist eine Feuchtdichte von 2,602 [t/m³] und eine einaxiale Druckfestigkeit von 2,282 [MN/m²] auf. Die Stauchung beim Bruch betrug 0,07 %. Der Belastungsmodul B wurde mit 3431 MN/m² ermittelt.

3.4.2 Ermittlung der einaxialen Druckfestigkeit q_u mittels Punktlastversuchen gemäß den Empfehlungen Nr. 5 der DGGT

Die Ermittlung der einaxialen Druckfestigkeit q_u wurde über Korrelationsbeziehungen aus Punktlastversuchen gemäß den Empfehlungen Nr. 5 der DGGT durchgeführt. Die Ergebnisse der Punktlastversuche sind mit der Angabe der Probenabmessungen, der Bruchlast und den mit Korrelationsbeziehungen errechneten Punktlastindex $I_{s(50)}$ der Felsproben tabellarisch dargestellt (siehe auch Versuchsprotokoll in der **Anlage 5.1 - 5.3**).

Tabelle 3.4-2: Punktlastindex $I_{s(50)}$

Aufschluss Bohrung (Nr.)	Entnahmetiefe unter Ansatzpunkt [m]	Punktlastindex $I_{s(50)}$ [MN/m ²]
BK WEA 7	4,00 - 4,20	8,480 (s) 0,412 (p)
BK WEA 7	4,20 - 4,35	3,053 (s) 2,361 (p)
BK WEA 7	4,25 - 4,45	10,696 (s) 4,142 (p)
BK WEA 7	4,45 - 4,60	5,402 (s)
BK WEA 7	4,70 - 4,80	4,371 (s))
BK WEA 7	5,10 - 5,20	1,436 (s) 0,364 (p)
BK WEA 7	5,50 - 5,60	7,393 (s)
BK WEA 7	5,60 - 5,70	1,863 (p)
BK WEA 7	5,75 - 5,85	9,764 (s)
BK WEA 7	5,90 - 6,00	9,424 (s)

Der untersuchte Tonstein weist im Punktlastversuch unter Ansatz des Korrekturdiagramms der BAW (Korrekturfaktor = 20) eine einaxiale Druckfestigkeit q_u von 29 bis 214 [MN/m²] (senkrechte Belastungsrichtung) bzw. 7 bis 83 [MN/m²] (parallele Belastungsrichtung) auf.

Das Ergebnis der Laboruntersuchungen ist in Form von Versuchsprotokollen in der **Anlagegruppe 5** (Anlage 5.1 - 5.4) diesem Baugrund-/Gründungsgutachten beigelegt.

4 Geologie und Morphologie

4.1 Allgemeine Geologische Situation

Die Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen, Blatt Nr. 4916 Bad Berleburg weist für das Baugelände der WEA 7 den Oberen Quarzit der Eifel-Stufe aus der Formation Mitteldevon aus. Das Gebirge ist hier gefaltet und die Schichten fallen mit einem Winkel von ca. 87° nach Norden ein.

Die durchgeführten geotechnischen Untersuchungen stehen in Einklang mit der geologischen Karte und zeigen, dass am Standort der WEA 7 zunächst die Tonsteine und tiefer Tonsteine mit Grauwackebänder und schließlich Feinsandsteine des Oberen Quarzit anstehen. Der Obere Quarzit besteht aus Feinsandstein, quarzitisch, z.T. Schluffstein, z.T. karbonatisch, dünn- bis mittelbankig, grau bis hellgrau und untergeordnet Tonstein, dunkelgrau, gerschiefert und bildet in diesem Bereich das Liegende.

4.2 Erdbebenzone

Das Baugrundstück befindet sich in der Erdbebenzone 0 nach DIN EN 1998-1/NA. Für die Erdbebenzone 0 ist der Grad der Erdbebengefährdung als so gering einzuschätzen, dass ein Nachweis der Standsicherheit für den Lastfall Erdbeben nicht erforderlich ist.

4.3 Morphologie

Der Windpark Ohrenbach befindet sich südöstlich der Stadt Bad Berleburg im Waldgebiet zwischen den Einzelgehöften Lützelbach/Steinbach im Nordwesten, den Dörfern Arfeld im Südwesten, Schwarzenau mit dem Oberen Hüttental im Südosten und dem Hof Brücher im Nordosten. Neben den geplanten 8 Anlagen erfolgen benachbart für 4 bereits genehmigte Anlagen der Eder Energy Erdarbeiten für die Erschließung und Baufeldvorbereitung.

Das Gelände wird von den Erhebungen des Großen Prenzenberger Kopfes (653 mNN) im Nordwesten, Ohrenbachsrücken (593 mNN) im Südwesten, dem Hahnschuß (600 mNN) im Südosten, der Schlade Seite (635 mNN) im Osten und dem Nesselbergskopf (671 mNN) im Nordosten geprägt und dazwischen hat sich das Arfetal in das Gelände eingeschnitten.

Der Standort der WEA 7 liegt etwa 650 m südsüdwestlich von Hof Brücher an einem von einer Erhebung (ca. 625 mNHN) nach Westen zum Arfetal abfallenden Hang im nordöstlichen Bereich des geplanten Windparks. Die Hangneigung beträgt am Anlagenstandort ca. 13°.

5 Baugrundbeurteilung

Die geotechnischen Untersuchungen zeigen, dass unter dem Wald-/Oberboden bis in eine Tiefe von ca. 0,65 m eine stark kiesige, steinige Schluffschicht in weicher Konsistenz ansteht. Darunter folgen zersetzte Tonstein und stark verwitterte Tonsteine, stückig, mit mäßiger Kornbindung. Nachfolgend wurden ab 2,0 m mäßig und schwach verwitterte Tonsteine, schiefrig, plattig/bankig, mit mäßiger, tiefer guter bis sehr guter Kornbindung erbohrt, die den Grenzhorizont der Sondierungen bilden. Im tieferen Untergrund stehen teils unverwitterte, frische Tonsteine mit Grauwackbändern und ab 10,45 m Tiefe Feinsandsteine, mit guter bis sehr guter Kornbindung an.

Der Obere Quarzit stellt in den Zonen mit höheren Sondierwiderständen einen ausreichend bis gut tragfähigen Baugrund für die Gründung der Windkraftanlage und am bzw. unterhalb dem Grenzhorizont der Sondierungen einen gut tragfähigen Baugrund für die Gründung der Windkraftanlage dar. Der Grenzhorizont der Sondierungen weist aufgrund der Hanglage eine Höhendifferenz von ca. 5,5 m innerhalb der Fundamentfläche auf.

Ein Grund-/Schichtenwasser wurde im Bohrloch der Bohrung BK WEA 7 -im Zeitraum der Grundwasserbeobachtung- nicht festgestellt.

6 Gründungsempfehlungen

6.1 Gründungsvariante

Gründung der Windkraftanlage mit einem Kreisfundament auf dem Tonsteinhorizont des Oberen Quarzit

Allgemeines

Das Gelände im Bereich der geplanten Windenergieanlage WEA 7 fällt nach Westen von ca. 616,0 mNHN auf 610,5 mNHN um ca. 5,5 m ab. Daraus resultiert eine Hangneigung von ca. 13°. Die Geländehöhe im Zentrum der Anlage beträgt ca. 613,5 mNHN.

Für die Gründung der Windenergieanlage wird auf der Grundlage der Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen und der Hangsituation eine Gründungskote (UK Sauberkeitsschicht) bei ca. 610,5 mNHN empfohlen. Diese Kote liegt ca. 2,8 bis 5,5 m unter der derzeitigen Geländeoberfläche und bei DPH-4 (talseitig) etwa in Höhe der Geländeoberfläche.

Die empfohlene Gründungskote liegt nach den Ergebnissen der geotechnischen Untersuchungen vorwiegend in mäßig verwitterten Tonsteinen am Übergang zu schwach verwitterten Tonsteinen unterhalb dem Grenzhorizont der Sondierungen. Im talseitigen Randbereich bei DPH-4 sind zunächst die anstehenden gering tragfähigen Boden-/Felszonen in einer Mächtigkeit von ca. 1,2 m auszutauschen.

Ein Grund-/Schichtenwasser wurde bei der Bohrung BK WEA 7 im Beobachtungszeitraum nicht festgestellt. Zur Wasserhaltung im Bauzustand und Sicherung gegen Aufschwimmen im Endzustand wird in Verbindung mit der Gefällesituation der Einbau einer drucklosen, wartungsfreien Drainage empfohlen, siehe nachfolgende Empfehlungen.

Im Bereich von DPH-4 ist bei der empfohlenen Gründungskote noch ein Bodenaustausch zum Ausräumen der geringer tragfähigen Zonen bis zum Erreichen der mäßig verwitterten Tonsteine erforderlich, um eine annähernd setzungsfreie, insbesondere aber verkantungs-/verkipfungsfreie Auflagerung des hohen und schlanken Bauteiles sicherzustellen. Die Austauschmächtigkeit beträgt hier voraussichtlich ca. 1,2 m.

Nach dem vorliegenden Prüfbericht für eine Typenprüfung „Prüfung der Standsicherheit - Flachgründung“ zur geplanten Windenergieanlage vom Typ Vestas V162, 6,0 MW mit einer Nabenhöhe von 169 m kann die Gründung als Flachgründung mit einem Kreisfundament mit einem Durchmesser D_A von 24,5 m erfolgen, wobei der höchste, für den Auftrieb maßgebende Wasserstand bei 0,24 m über Fundamentunterkante liegen darf.

Im genannten Prüfbericht werden für den Baugrund folgende Anforderungen gestellt:

3.3 Baugrund

Die Mindestwerte der dynamischen und statischen Drehfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Fundament betragen gemäß Dokument [4] $k_{\varphi,dyn} \geq 95 \text{ GNm/rad}$ und $k_{\varphi,stat} \geq 40 \text{ GNm/rad}$.

Der höchste für den Auftrieb maßgebende Wasserstand liegt bei 0,24 m über Fundamentunterkante.

...

Auflagen

Baugrund

- 1. Die vorhandenen Bodenkennwerte, die Zuordnung des Bodens zu Expositionsklassen nach DIN EN 1992-1-1/3/3 und der höchste für den Auftrieb maßgebende Wasserstand sind für den jeweiligen Standort zu ermitteln und im geotechnischen Untersuchungsbericht zu beschreiben.*
- 2. Grundbautechnische Berechnungen sind im Rahmen des geotechnischen Entwurfsberichts durchzuführen. Die Schnittgrößen an Fundamentunterkante sind in [2] angegeben.*
- 3. Die Mindestwerte der dynamischen und statischen Drehfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Fundament gemäß Abschnitt 3.3 müssen für den jeweiligen Standort nachgewiesen werden. Dabei kann das Fundament in guter Näherung als Starrkörper angenommen werden.*
- 4. Die im geotechnischen Entwurfsbericht angenommenen Baugrundverhältnisse sind beim Baugrubenaushub vom Bodengutachter zu überprüfen und zu bestätigen. Vor Aufbringen der Sauberkeitsschicht ist die Tragfähigkeit der Baugrubensohle durch den Bodengutachter zu bestätigen.*

Aus den geotechnischen Untersuchungen und den v.g. technischen Anforderungen ergeben sich die nachfolgenden Empfehlungen:

Herstellung des Baugrubenaushubs und des Bodenaustausches

Die empfohlene Gründungskote mit 610,50 mNHN liegt -bis auf den Bereich DPH-4 und im Übergang zur DPH-4- unterhalb dem Grenzhorizont der Sondierungen mit $DPH-N_{10} \geq 50^*$ und damit im gut tragfähigen Tonsteinhorizont.

Zur Erreichung der Gründungssohle ist nach dem Abtrag des Ober-/Waldbodens zunächst die stark kiesige, (schwach) steinige Schluffschicht in weicher Konsistenz auszuräumen und zu beseitigen.

Anschließend sind die stark verwitterten, stückigen Tonsteine mit mäßiger Kornbindung bis zur Gründungssohle auszuheben bzw. auszubrechen.

Der Baugrubenaushub sollte mit einem Kettenbagger, der mit einem Baggerlöffel mit Felszähnen ausgestattet ist, erfolgen, um die erkundeten Tonsteine lösen zu können. Der Endaushub, d.h. das Abziehen der Baugrubensohle sollte zur Vermeidung von tiefer reichenden Auflockerungen mit einem Baggerlöffel ohne Zähne oder einer Fräse erfolgen. Gegebenfalls ist die Gründungssohle von Hand nachzuarbeiten.

Anschließend ist im Bereich von DPH-4 -zur Geländeeinbindung/Geländebruchsicherheit- ein Bodenaustausch bis zur Kote $N_{10} \geq 50^*$ bis in eine Tiefe von ca. 1,2 m unter GOF herzustellen. Dieser Bodenaustausch ist zur Erzielung einer Lastausbreitung mit einem Überstand von mindestens der Höhe des Tragschichtaufbaues/Bodenaustausches über die Außenkante des Kreisfundamentes hinauszuführen, was bei DPH-4 eine Baugrubenverbreiterung der kreisrunden Baugrube erforderlich macht.

Der Bodenaustausch ist mit

Variante a) durch gering verwittertes Tonsteinmaterial aus den benachbarten Aushubbereichen zu ersetzen mit einem qualifizierten, lagenweisen Einbau $d \leq 25$ cm mit den Anforderungen für $E_{v2} \geq 120$ MN/m², $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,0$, lagenweise nachgewiesen
oder

Variante b) das ausgehobene Material durch Zugabe von Zement qualifiziert zu verbessern und danach lagenweise wieder bis zur UK Sauberkeitsschicht einzubauen und qualifiziert zu verdichten.

Zur qualifizierten Bodenverbesserung bzw. Verbesserung von granularem Felsmaterial wird ein Bindemittelgehalt von ca. 3 Gew.-% empfohlen, woraus eine Menge von ca. 60 kg je m³ verbesserten Boden-/Felsbruchmaterial resultiert. Das Bindemittel kann mit einer Anbaufräse, Schaufelseparator oder anderem geeigneten Gerät eingearbeitet und das Aushubmaterial mit dem Bindemittel vermischt werden. Beim Einfräsen des Bindemittels kann ggf. eine dosierte Wasserzugabe für die Hydratation des Zementanteils erforderlich werden. Die Wassermenge ist bei der Bauausführung mit einer Beurteilung des Bindemittel-Boden-Fels-Gemisches örtlich festzulegen. Anschließend wird das Boden-Bindemittel-Gemisch mit einem geeigneten Verdichtungsgerät (z.B. Walzenzug, optimal mit Stampffußbandage oder Bagger-Anbauverdichtungsplatte) in Schüttlagen ≤ 25 cm lagenweise eingebaut und verdichtet.

Ergänzend wird auf die Empfehlungen im Merkblatt über Bodenverfestigungen und Bodenverbesserungen mit Bindemitteln der FGSV, Ausgabe 2004 hingewiesen.

Die qualifizierte Boden- bzw. Felsverbesserung ist ohne Arbeitsunterbrechungen in einem Zuge herzustellen, so dass ein Einbau im „frischen“ Zustand erfolgt und der Abbindeprozess nicht unnötig lange durch die Verdichtungsarbeiten beeinflusst wird.

Ein Befahren des Planums nach der qualifizierten Bodenverbesserung mit Radfahrzeugen ist zu vermeiden.

Die Festigkeit des verbesserten Materials ist mit einaxialen Druckversuchen zu prüfen und die Druckfestigkeit mit $q_u \geq 5$ MN/m² festzulegen.

Die Festlegungen zu den Varianten a) oder b) können im Rahmen des Baugrubenaushubs bzw. der Sohlabnahme getroffen werden.

Der Aushub/Ausbruch der stark verwitterten Tonsteine ist auf einer Miete neben dem Anlagenstandort zwischenzulagern, durch eine Folienabdeckung vor Witterungseinflüssen zu schützen und nach Fertigstellung des Fundamentes für die Hinterfüllung und Überschüttung wieder lagenweise einzubauen, siehe auch Empfehlungen zur Bauteilhinterfüllung und -überschüttung.

Zum Schutz der Gründungssohle vor Witterungseinflüssen ist die Sauberkeitsschicht unmittelbar nach dem Aushub bzw. dem teilweisen Bodenaustausch und Tragschichtaufbau und einer Abnahme durch den geotechnischen Sachverständigen einzubauen.

Nach dem das Fundament nicht in das ständige Grundwasser eintaucht, tritt kein Betonangriff aus dem Grundwasser auf das Fundament auf und der Fundamentbeton kann für die Expositionsklasse XA 0 ausgelegt werden.

**Bemessungswert des Sohlwiderstandes nach DIN EN 1997-1 (EC 7-1)/
DIN 1054:2010-12**

Für die Gründungssohle auf den stark/mäßig verwitterten Tonsteinen der Dachschiefer-Folge kann der Sohlwiderstand wie nachfolgend angegeben angesetzt werden:

Kreisfundament

$$\sigma_{R,d} \leq 475^* \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

mit

- $d \geq 1,2$ [m] Einbindetiefe unter GOF; DPH-N₁₀ $\geq 20^*$
- Gründungskote: Tonstein, stark/mäßig verwittert
 sowie v.g. Qualitätsanforderung für die Austauschbereiche
- Frostsicherheit und Geländeanschüttung $h \geq 2$ m (im Bereich
 DPH-4 und Übergang)

Der angegebene Sohlwiderstand stellt bei der Gründung den maximalen Sohlwiderstand dar.

***) Anmerkung:**

Dies entspricht einer zulässigen Sohlspannung $\sigma_{k,vorh}$ von ca. 339 [kN/m²] nach DIN 1054:2005-01.

Wichtiger Hinweis:

Der Bemessungswert des Sohlwiderstandes stellt keine zulässige Sohlspannung nach DIN 1054:2005 oder früheren Ausgaben der DIN 1054 dar !

Nachweisverfahren nach DIN 1054:2010-12 in Verbindung mit EC 7

Es ist nachzuweisen, dass die Bemessungswerte $\sigma_{E,d}$ der Sohldruckbeanspruchung höchstens so groß sind wie die Bemessungswerte $\sigma_{R,d}$ des Sohlwiderstands: $\sigma_{E,d} \leq \sigma_{R,d}$

Der Bemessungswert der Sohldruckbeanspruchung ergibt sich aus der ungünstigsten Einwirkungskombination. Hierfür kommen folgende Wege in Frage:

- Sofern die Schnittgrößen mit charakteristischen bzw. repräsentativen Werten der Einwirkungen ermittelt wurden, ergibt sich $\sigma_{E,d}$ aus den charakteristischen bzw. repräsentativen Vertikalbeanspruchungen $N_{G,k}$ und $N_{Q,k}$ bzw. $N_{Q,rep}$, multipliziert mit den Teilsicherheitsbeiwerten γ_G und γ_Q für Grenzzustände GEO und das Nachweisverfahren 2 (GEO-2).

- Sofern die Schnittgrößen mit Bemessungswerten der Einwirkungen ermittelt wurden, ergibt sich der Bemessungswert der Sohldruckbeanspruchung aus dem Bemessungswert der Vertikalbeanspruchung $V_d = N_d$.

Eine Berechnung der Setzungen des Fundamentes unter Ansatz der charakteristischen statischen Lasten ergab maximale Setzungen bis 1,9 cm (mit Moment aus Turm) bzw. 0,6 cm (nur Normalkraft), siehe Fundamentberechnung in der **Anlagengruppe 6**.

Ein Nachweis zur Geländebruchsicherheit war infolge der Lage der Gründungsebene im talseitigen Bereich mit dem Bodenaustausch auf dem Felshorizont und der erforderlichen Ballastierung des Geländes zum Verwitterungsschutz und Frostsicherheit nicht zu führen.

Die unterhalb der Gründungssohle erkundeten Tonsteine unterliegen nicht einer Konsolidation oder Kriechverformungen, wie sie bei bindigen Böden auftreten. Damit sind für die Baugrundverhältnisse am geplanten Anlagenstandort keine Berechnungen des Konsolidations- und Kriechverhaltens über die zu betrachtende Standzeit von 20 Jahren erforderlich.

Zur Qualitätssicherung, d.h. zur Kontrolle des Bemessungsansatzes des Sohlwiderstandes sollten die Gründungskoten vom geotechnischen Sachverständigen in Form einer Prüfabnahme abgenommen werden.

Herstellung einer drucklosen, wartungsfreien Dränage

Aufgrund der Gefällesituation ist am Standort der WEA 7 die Herstellung einer drucklosen, wartungsfreien Dränage möglich.

Mit dem Endaushub der Baugrube zur Herstellung des Turmfundamentes ist am Rand ein flacher Graben für die Ableitung der Dränage herzustellen, so dass im Bauzustand eine Ableitung des der Baugrube zulaufenden Niederschlags-/Sickerwassers im freien Gefälle nach Nordosten (Tiefpunkt bei DPH-4) möglich ist.

Nach der Herstellung des Turmfundamentes ist im Arbeitsraum in Höhe der Sauberkeitsschicht eine Dränage ringförmig um das Fundament mit einem Gefälle von mindestens 1 ‰ herzustellen. Die Dränage ist auf einer Sohlgerinne aus Beton zu verlegen, dass ein Gefälle in radialer Richtung nach außen aufweist, so dass kein Dränwasser dem Fundament zufließen kann. Die Fläche aus dem Überstand der Baugrube bei DPH-4 ist mit einem Gefälle (Sohlfläche aus Beton) zur Dränage hin auszubilden. Die Dränage ist aus einem Dränrohr DN 150 mit einer Ummantelung aus Filtersand 0,2/2 mm und einer filterstabilen Abgrenzung aus einem Geotextil (Masse $\geq 250 \text{ g/m}^2$) zum anstehenden Boden und der über der Dränage

einzubauenden Bauwerkshinterfüllung herzustellen. Die Ableitung des Dränwassers erfolgt über 2 Auslauf-/ Vollrohre zum Geländetiefpunkt nach Nordwesten. Am Auslaufpunkt der Dränage sollte eine Sickerrigole (Schottergraben) mit umlaufendem Geotextil, einem Gefälle von 5 % und einer Verfüllung z.B. mit Grobschotter 20/100 mm hergestellt werden, um einen konzentrierten Auslauf des Dränwassers und mit dem hier einzuleitenden Niederschlagswasser vom Turmschaft eine mögliche Vernässung im Waldbereich zu vermeiden. Die Rigole sollte mit einem Notüberlauf an den benachbarten Wegseitengraben versehen werden. Zur Vermeidung eines stärkeren Dränwasserzulaufes ist eine Geländeanpassung d.h. Anschüttung mit bindigem Material -mit einem talseitigen Gefälle- bei DPH-4 sowie zum Verwitterungsschutz und zur Frostsicherheit erforderlich.

Dynamische Drehfedersteifigkeit $k_{\varphi, \text{dyn}}$

Die dynamische Drehfedersteifigkeit wird für starre Kreisfundamente mit nachfolgender Gleichung berechnet:

$$k_{\varphi, \text{dyn}} = \frac{8 \cdot G \cdot r^3}{3 \cdot (1 - \nu)}$$

mit

r Radius des Kreisfundamentes = 12,25 [m]

G Dyn. Schubmodul

ν Poissonzahl, $\nu = 0,25$ (für Tonstein)

Dyn. Schubmodul:

$$G = \frac{E_{\text{dyn}}}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

mit $E_{\text{dyn}}/E_{\text{stat}} \approx 6$ (nach Placzek)

$$E_{\text{stat}} = \frac{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2}{1 - \nu} \cdot E_{s, \text{stat}}$$

Tonsteinhorizont unter dem Fundament (ab 612,15 mNHN)

$E_{s, \text{stat}} = 80$ [MN/m²] (unterster Wert für Tonsteinhorizont),
siehe Homogenbereich X1 - Kapitel 6.4

$$\rightarrow E_{\text{stat}} = 0,833 \cdot 80$$
 [MN/m²] = 66,6 [MN/m²]

$$\rightarrow E_{\text{dyn}} = 400$$
 [MN/m²]

$$\rightarrow G_{\text{dyn}} = 160$$
 [MN/m²] = 0,16 [GN/m²]

$$k_{\varphi, \text{dyn}} = \frac{8 \cdot 0,160 \cdot 12,25^3}{3 \cdot (1 - 0,25)} = 1.045,767$$
 [GNm/rad] > 95 [GNm/rad] = min. $k_{\varphi, \text{dyn}}$

Die in den Herstellerangaben gestellte Anforderung mit einer Mindestdrehfedersteifigkeit $k_{\varphi, \text{dyn}}$ von 95 [GNm/rad] wird für den erkundeten Baugrund mit einem Wert von 1.045 [GNm/rad] überschritten. Die Anforderungen werden mit einer hohen Sicherheit erfüllt.

Die Anforderung an die statische Mindestdrehfedersteifigkeit wird damit auch sicher erfüllt.

6.2 Baugrubensicherung, Wasserhaltung und Bauteilhinterfüllung

Sicherung der Baugrube

Aufgrund der Platzverhältnisse kann die Baugrube für die Herstellung der Fundamentplatte mit einer frei geböschten Baugrube erfolgen. Die vorgenannten Bereiche können unter folgenden angegebenen Böschungswinkeln β_{zul} frei geböscht werden:

Schluff, stark kiesig, schwach steinig, weich	$\beta_{\text{zul}} \leq 45$ [°] Standzeit temporär
Tonstein, stark/mäßig verwittert, plattig, schlechte - mäßige/gute Kornbindung	$\beta_{\text{zul}} \leq 70$ [°] Standzeit temporär

Die angegebene Böschungsneigung gilt für unbelastete Böschungen.

Wasserhaltung

Die geotechnischen Untersuchungen ergaben kein Grund-/Schichtenwasser.

Zur Wasserhaltung im Bauzustand wird empfohlen, dass in Verbindung mit dem Aushub der Baugrube und der Herstellung einer drucklosen Drainage zunächst ein flacher offener Graben ausgehoben wird, über den eine Ableitung des der Baugrube zulaufenden Wassers im freien Gefälle zum tieferen Gelände (nach Nordosten) erfolgt. In diesen Graben ist nach Fertigstellung des Turmfundamentes die Ableitung des Dränwassers und einer Sickerrigole am Rohrauslauf herzustellen, siehe Ausführungen auf Seite 20f.

Hinterfüllung und Überschüttung des Fundamentes

Die Arbeitsräume zur Herstellung des Fundamentes sind nach der Fertigstellung wieder zu verfüllen und die Platte im Randbereich bis zur derzeitigen mittleren Geländehöhe mit einem talseitigen Gefälle zu überschütten.

Für die Hinterfüllung und Überschüttung sollte das beim Baugrubenaushub ab einer Baugrubentiefe von ca. 0,65 m unter GOK gewonnene Material aus Tonsteinersatz und stark verwitterten Tonsteinen verwendet werden. Die Wiederverwendung des Aushubmaterials setzt voraus, dass dieses fachgerecht auf einer Miete zwischengelagert und mit einer Folie zum Schutz vor Witterungseinflüssen abgedeckt wird.

Die Verdichtung der Hinterfüllung und Überschüttung des Fundamentes sollte mit Hilfe von Plattendruckversuchen nach DIN 18134 oder alternativ dynamischen Plattendruckversuchen nach TP BF-StB Teil B 8.3 als Qualitätssicherung Erdbau kontrolliert werden.

Der Verdichtungsgrad D_p sollte ≥ 100 [%] der einfachen Proctordichte betragen.

Die Verdichtungsanforderungen gelten mit:

$$E_{v2} \geq 45 \text{ [MN/m}^2\text{]}$$

$$\text{bei einem Verhältniswert } E_{v2}/E_{v1} \leq 2,3$$

Die beim Aushub oberflächennah gewonnene kiesige Schluffschicht in weicher Konsistenz ist ohne Verbesserungsmaßnahmen für eine qualifizierte Bauwerkshinterfüllung nicht geeignet und sollte daher -bis auf die Masse zur Geländeabdeckung- beseitigt werden.

Mit dem Wiedereinbau des geologisch originären Tonsteinmaterials wird der Zulauf von Oberflächenwasser in die „geologische Störungszone“, die mit dem Baugrubenaushub entstanden ist, reduziert und es werden die Dränwassermengen deutlich verringert, siehe auch Kapitel 6.1.

6.3 Bodenkundliche Bewertung

Nach dem Ergebnis einer bodenkundlichen Bewertung aus dem Jahre 2016, siehe hierzu unser Gutachten zur Abfallwirtschaftlichen und Bodenkundlichen Bewertung zur UVP vom 30.06.2016, steht an den Anlagenstandorten unter einer dünnen Humus-/ Waldbodenüberdeckung Braunerde, z.T. Ranker-Braunerde oder Podsol-Braunerde an, wobei die Mächtigkeit aufgrund des vorwiegend hoch anstehenden Festgesteins (Gebirge) gering ist.

Nach der Bodenkarte NRW ist am Anlagenstandort WEA7 die Bodeneinheit L4813_B31d als Braunerde ohne Grundwasser und ohne Staunässe ausgewiesen.

Die unter der Humus-/Waldbodenaufgabe erkundete Schluffschicht mit stark kiesigen, steinigen Nebenanteilen in weicher Konsistenz weist unter Berücksichtigung der geringen Schichtmächtigkeit von 0,65 m eine geringe Verdichtungsempfindlichkeit sowie geringe Erosionsempfindlichkeit auf. Der erkundete Boden weicht damit von der bodenkundlichen Kartierung in der Form ab, dass er einen hohen bis sehr hohen Kies-/Steinanteil aufweist und der Sand-/Tonanteil fehlt. Weiter ist der Boden nicht tiefgründig vorhanden. Aufgrund des Kies-/Steinanteils ist das Wasseraufnahmevermögen bzw. die Speicherung von Bodenwasser sehr stark eingeschränkt und zusammenfassend liegt daher aus geotechnischer Sicht kein Biotopentwicklungspotenzial (auch nicht für Extremstandorte) vor. Dies gilt auch unter Berücksichtigung der Hangneigung von ca. 13 °.

Zusammenfassend ergibt sich damit die Bewertung, dass am Anlagenstandort der WEA 7 -abweichend von der Bodenkarte- bei der geotechnischen Erkundung keine schutzwürdigen Böden festgestellt wurden.

Altlasten:

Hinweise auf Altlasten wurden bei den geotechnischen Untersuchungen nicht festgestellt.

Ableitung von Niederschlagswasser:

Die Ableitung von Niederschlagswasser während der Bauzeit -aus den Baugrubenbereichen- erfolgt mit der Anlage von Entwässerungsmulden/-gräben und einer großflächigen Versickerung -mit Biotopcharakter- in den angrenzenden Waldflächen.

6.4 Homogenbereiche - Boden- und Felskenngrößen (Charakteristische Werte)

Zur Bemessung der Bauteile -dem geotechnischen Design- sowie zum Lösen, Fördern, Laden, Verdichten und Wiedereinbauen werden die Böden und der Fels in die nachfolgenden Homogenbereiche unterteilt.

Homogenbereich B1

Schluff, stark kiesig, steinig, weich

Korngrößenverteilung	[DIN 18123]	Kornkennziffern 1/2 - 6/4 - 1/0 - 2/3 - 0/1
m_x Massenanteil an Steinen ($D > 63$ mm):	[DIN EN ISO 14688-1]	< 25 %
m_B Blöcken ($D > 200$ mm):		0 %
Dichte ρ :	[DIN EN ISO 17892-2/ DIN 18125-2]	1,95 t/m ³
Feuchtwichte γ :		19,5 kN/m ³
Wichte unter Auftrieb γ' :		10,0 kN/m ³
Kohäsion c'_k :	[DIN 18137-T1 bis T3]	2,5 kPa
Undrainede Scherfestigkeit c_u :	[DIN 18136/DIN 18137-2]	75 – 150 kPa
drainede Scherfestigkeit φ'_k :	[DIN 18136/DIN 18137-2]	27,5 °
Reibungswinkel φ'_k		
Steifemodul $E_{s1,k}$:	[DIN 18135]	20 - 40 MN/m ²
Sensitivität:	[DIN 4094-4]	1-2 (1)
Wassergehalt:	[DIN EN ISO 17892-1]	20 – 35 %
Konsistenzgrenzen:	[DIN 18122-1]	weich
Konsistenzzahl:	[DIN 18122-1]	0,5 – 0,75
Plastizität:	[DIN 18122-1]	leicht- bis mittelplastisch
Lagerungsdichte (bezogene Lagerungsdichte):	[DIN EN ISO 14688-2/ DIN 18126]	n.d.
Organischer Anteil:	[DIN 18128]	< 5 %
Bodengruppe:	[DIN 18196]	UL-UM
Frostempfindlichkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	F3
Verdichtbarkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	V3 (weniger gut/schlecht verdichtbar) +)
Ortsübliche Bezeichnung:		Hangschutt

+) Wichtiger Hinweis:

Die Angaben zu den Verdichtbarkeitsklassen setzen optimale erdbauliche Bedingungen (Lösen, Laden, Witterungsschutz, Zwischenlagerung u.a.) voraus.

Für einen Wiedereinbau in Verbindung mit einer Bodenverbesserung mit Bindemittelzugabe ist eine Eignungsprüfung nach TP BF-StB Teil B 11.1 oder das verwendete Bindemittel und der Bindemittelgehalt aufgrund von Erfahrungswerten festzulegen.

Homogenbereich X1

Tonstein, stark/mäßig verwittert, plattig/schiefrig, schlechte/mäßige Kornbindung

Benennung	[DIN EN ISO 14689-1]	Tonstein
Dichte ρ :	[DIN EN ISO 17892-2/DIN 18125-2]	2,20 t/m ³
Feuchtwichte γ :		22,0 kN/m ³
Wichte unter Auftrieb γ' :		12,0 kN/m ³
Verwitterung	[DIN EN ISO 14689-1]	stark/mäßig verwittert, schlechte - mäßige Kornbindung
Veränderlichkeit	[DIN EN ISO 14689-1]	wasserempfindlich, mittlere/geringe Quellfähigkeit
Druckfestigkeit q_u	[DIN 18141/DGGT Empfehlung Nr. 1]	5 - 20 N/mm ²
Abrasivität CAI	[NF P94-430-1]	0 – 1,5
Trennflächenrichtung α, β	[DIN EN ISO 14689-1]	unregelmäßig (360 °)
Fallrichtung α	[DIN EN ISO 14689-1]	0 - 75 ° (gefaltet)
Gesteinskörperform	[DIN EN ISO 14689-1]	schiefrig / plattig geschichtet
Trennflächenabstand	[DIN EN ISO 14689-1]	< 1,0 m
Öffnungsweite der Trennflächen	[DIN EN ISO 14689-1]	0 – 15 mm
Kluffüllung:	[DIN EN ISO 14689-1]	keine
Kohäsion c'_k :	[DIN 18137-T1 bis T3]	20,0 kPa
Undrained Scherfestigkeit c_u :	[DIN 4094-4/DIN 18136/DIN 18137-2]	-
drained Scherfestigkeit φ'_k :	[DIN 4094-4/DIN 18136/DIN 18137-2]	25,0 °
Reibungswinkel φ'_k		
Steifemodul $E_{s1,k}$:	[DIN 18135]	80 - 100 MN/m ²
Frostempfindlichkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	F2 - F3
Verdichtbarkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	V2 (weniger gut – gut verdichtbar) *)
Ortsübliche Bezeichnung:		Oberer Quarzit 1

Homogenbereich X2

Tonstein/Grauwacke/Feinsandstein, frisch/schwach verwittert, plattig/bankig, gute/gute-sehr gute Kornbindung

Benennung	[DIN EN ISO 14689-1]	Tonstein/Grauwacke/Feinsandstein
Dichte ρ :	[DIN EN ISO 17892-2/DIN 18125-2]	2,40 t/m ³
Feuchtwichte γ :		24,0 kN/m ³
Wichte unter Auftrieb γ' :		14,0 kN/m ³
Verwitterung	[DIN EN ISO 14689-1]	mäßig/schwach verwittert, gute – sehr gute Kornbindung
Veränderlichkeit	[DIN EN ISO 14689-1]	wasserempfindlich, geringe Quellfähigkeit
Druckfestigkeit q_u	[DIN 18141/DGGT Empfehlung Nr. 1]	20 - 100 N/mm ²
Abrasivität CAI	[NF P94-430-1]	1,5 – 2,0
Trennflächenrichtung α, β	[DIN EN ISO 14689-1]	unregelmäßig (360 °)
Fallrichtung α	[DIN EN ISO 14689-1]	0 - 75 ° (gefaltet)
Gesteinskörperform	[DIN EN ISO 14689-1]	quaderig, würfelig, Blöcke $V < 0,1 \text{ m}^3$ längste Seite a / kurze Seite $c \approx 1 - 5^+$)
Trennflächenabstand	[DIN EN ISO 14689-1]	< 1,0 m
Öffnungsweite der Trennflächen	[DIN EN ISO 14689-1]	0 – 15 mm
Klufffüllung:	[DIN EN ISO 14689-1]	keine
Kohäsion c'_k :	[DIN 18137-T1 bis T3]	50,0 kPa
Undrainede Scherfestigkeit c_u :	[DIN 4094-4/DIN 18136/DIN 18137-2]	-
drainede Scherfestigkeit φ'_k :	[DIN 4094-4/DIN 18136/DIN 18137-2]	25,0 °
Reibungswinkel φ'_k		
Steifemodul $E_{s1,k}$:	[DIN 18135]	120 MN/m ²
Frostempfindlichkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	F2 - F3
Verdichtbarkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	V2 (weniger gut – gut verdichtbar) *)
Ortsübliche Bezeichnung:		Oberer Quarzit 2

[†]) Kantenmaße a, b, c der ausgebrochenen Felspartien

*) Zum Lösen (insbesondere bei kleinräumigen Baugruben) ist der Einsatz eines Felsmeißels und/oder einer Felsfräse vorzusehen.

6.5 Übersicht zu den Homogenbereichen

Homogenbereiche Boden/Fels	Homogenbereiche nach DIN 18300
Oberboden/Waldboden	Homogenbereich O
Homogenbereich B1 Schluff , stark kiesig, (schwach) steinig, weich	Homogenbereich B1
Homogenbereich X1 Tonstein , stark/vollständig verwittert, plattig/schiefrig, schlechte/mäßige Kornbindung	Homogenbereich X1
Homogenbereich X2 Tonstein/Grauwacke/Feinsandstein , frisch/schwach verwittert, plattig/bankig, gute/gute-sehr gute Kornbindung	Homogenbereich X2

Anmerkungen und Hinweise:

Eine genaue Zuordnung kann erst im Rahmen einer boden- und felsmechanischen Klassifizierung (Festlegung der Homogenbereiche) vor Ort erfolgen. Bestehen zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer unterschiedliche Auffassungen zur Einordnung der vorgenannten Homogenbereiche, so kann eine genaue Einordnung im Rahmen einer Klassifizierung und damit Festlegung der Homogenbereiche vor Ort erfolgen.

Im Einvernehmen mit dem Auftraggeber sollen wegen des Zeit- und Kostenaufwandes nicht alle Parameter der Homogenbereiche versuchstechnisch ermittelt werden. Damit basieren die für die Homogenbereiche angegebenen Eigenschaften/Kennwerte -die nicht versuchstechnisch ermittelt wurden- auf gesicherten Korrelationsbeziehungen für Labor- und Feldversuche.

7 Zusammenfassung und Schlussbemerkungen

Im Rahmen der geotechnischen Untersuchungen wurde der Baugrund im Sinne der DIN 4020 mit direkten und indirekten Aufschlüssen nach DIN EN ISO 22475-1 und DIN EN ISO 22476-2 erkundet.

Die geotechnischen Untersuchungen zeigen, dass unter dem Wald-/Oberboden bis in eine Tiefe von ca. 0,65 m eine stark kiesige, steinige Schluffschicht in weicher Konsistenz ansteht. Darunter folgen zersetzte Tonstein und stark verwitterte Tonsteine, stückig, mit mäßiger Kornbindung. Nachfolgend wurden ab 2,0 m mäßig und schwach verwitterte Tonsteine, schiefrig, plattig/bankig, mit mäßiger, tiefer guter bis sehr guter Kornbindung erbohrt, die den Grenzhorizont der Sondierungen bilden. Im tieferen Untergrund stehen teils unverwitterte, frische Tonsteine mit Grauwackebändern und ab 10,45 m Tiefe Feinsandsteine, mit guter bis sehr guter Kornbindung an.

Der Obere Quarzit stellt in den Zonen mit höheren Sondierwiderständen einen ausreichend bis gut tragfähigen Baugrund für die Gründung der Windkraftanlage und am bzw. unterhalb dem Grenzhorizont der Sondierungen einen gut tragfähigen Baugrund für die Gründung der Windkraftanlage dar. Der Grenzhorizont der Sondierungen weist aufgrund der Hanglage eine Höhendifferenz von ca. 5,5 m innerhalb der Fundamentfläche auf.

Ein Grund-/Schichtenwasser wurde im Bohrloch der Bohrung BK WEA 7 -im Zeitraum der Grundwasserbeobachtung- nicht festgestellt.

Auf den Ergebnissen der geotechnischen Untersuchungen basierend werden Gründungsempfehlungen zum vorgegebenen Gründungssystem Kreisfundament für die Windenergieanlage gegeben.

Der Bemessungswert des Sohlwiderstandes wird mit den Bodenkenngößen angegeben und mit den Anforderungswerten der Herstellerangaben verglichen. Dieser Vergleich ergab, dass die Sicherheitsanforderungen mit einem hohen Sicherheitsabstand erfüllt werden.

Zum Lösen und Fördern des Bodens sind die Homogenbereiche nach DIN 18 300 benannt.

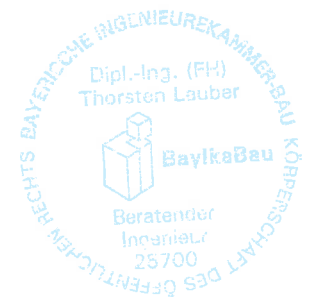
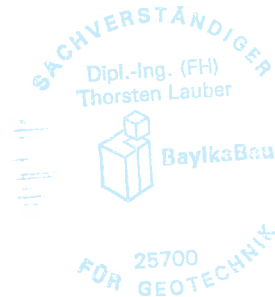
Treten im Rahmen der Bauausführung Abweichungen von den erkundeten Verhältnissen auf, so bitten wir um eine umgehende Benachrichtigung.

Wir empfehlen -zur Qualitätssicherung- die Abnahme der Gründungssohlen und damit verbunden die Umsetzung unserer gutachterlichen Empfehlungen im Sinne einer Qualitätssicherung.

Wir stehen den am Bau Beteiligten zu weiteren geotechnischen Fragen im Rahmen der Ausführungsplanung und der Bauausführung jederzeit gerne zur Verfügung.

(i.A. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Richard A. Herrmann)
GEOTECHNIK GmbH

(Dipl.-Ing. (FH) Thorsten Lauber)
Sachverständiger für Geotechnik

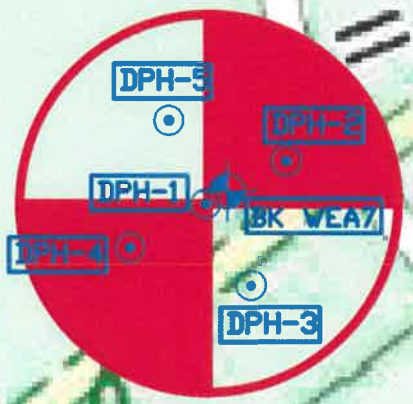


Anlage 1



WEA 7

VESTAS V162-6.0 M
Standortkoordinate in
re=461630
ho=5653993
Nabenhöhe=169,0m
Rotorradius=81,0m
Gesamthöh



Legende:

- Bohrung BK
- Sondierung DPH

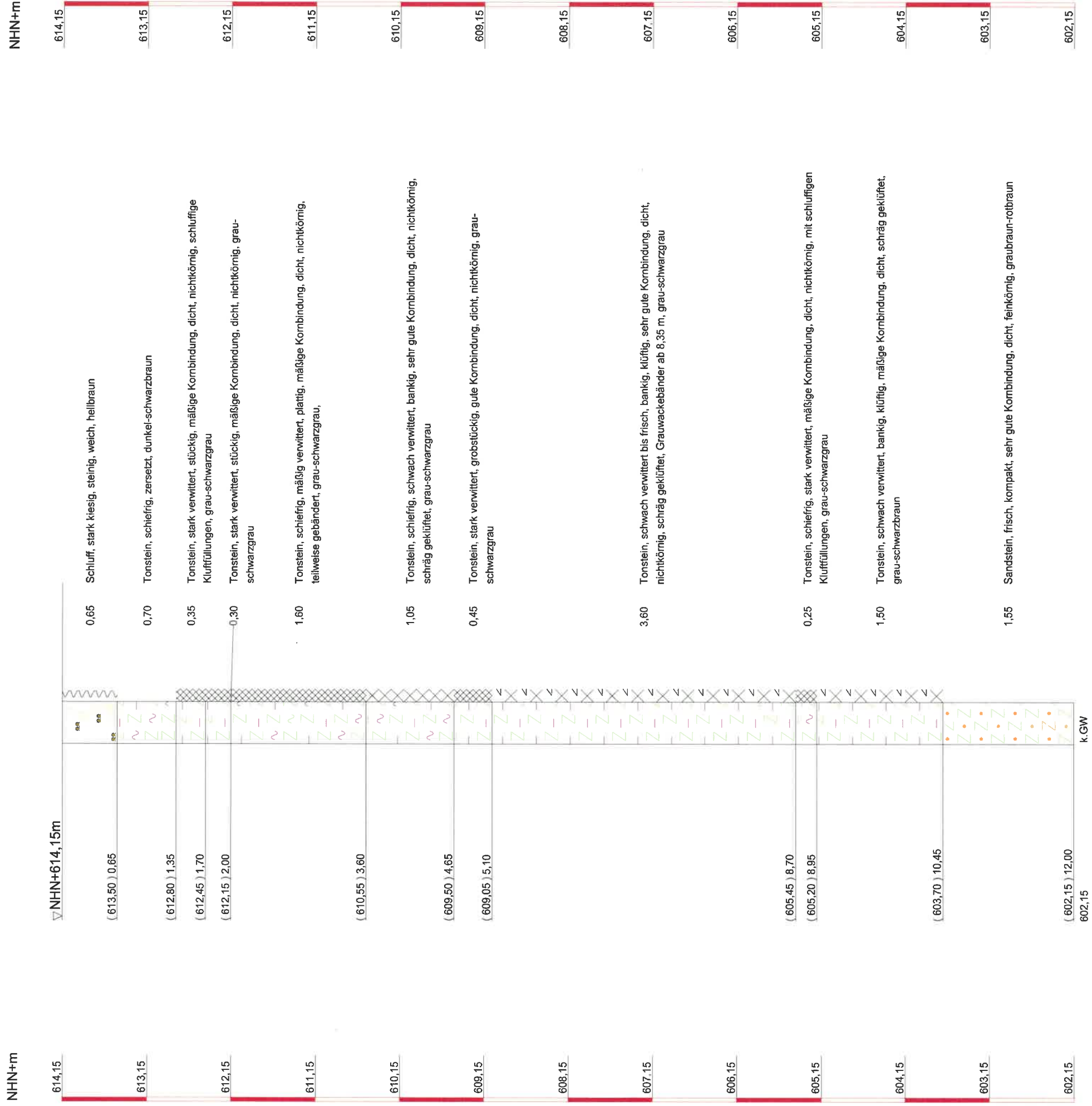
GEOTECHNIK GmbH
 Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner
 Lammelbach 5 91567 Herrrieden
 Tel.: 09825/93413 Fax: 09825/93415

Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg
 WEA 7

Name	Datum	Maßstab
gezeichnet Lauber	22.10.2021	1 : 1000
		Projekt Nr. GEO-210118
Auftraggeber Krug Energie GmbH & Co. KG Dorfstraße 53 35117 Münchhausen-Wollmar		Lageplan
Bauort Windpark Ohrenbach - WEA 7		Anlage 1

Anlagengruppe 2

BK WEA 7
(Stölsen GmbH)
14.-16.07.2021
M.: 1:50



GEOTECHNIK GmbH
Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner
Lammelbach 5
91567 Herrieden
Tel.: 09825/93413
Fax: 09825/93415

Bauvorhaben:
Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg
- WEA 7
Planbezeichnung:
BK WEA 7

Plan-Nr.: 2.1
Projekt-Nr.: GEO-210118/6
Datum: 22.10.2021
Maßstab: 1 : 50
Bearbeiter: T.Lauber



Bild 1 Übersichtsaufnahme Standort WEA 7 (vom Waldwirtschaftsweg aus) mit Bohrgerät



Bild 2 Aufnahme Bohrkern BK WEA 7, Tiefe 0 - 10 m



Bild 3 Aufnahme Bohrkern BK WEA 4, Tiefe 3 -12 m

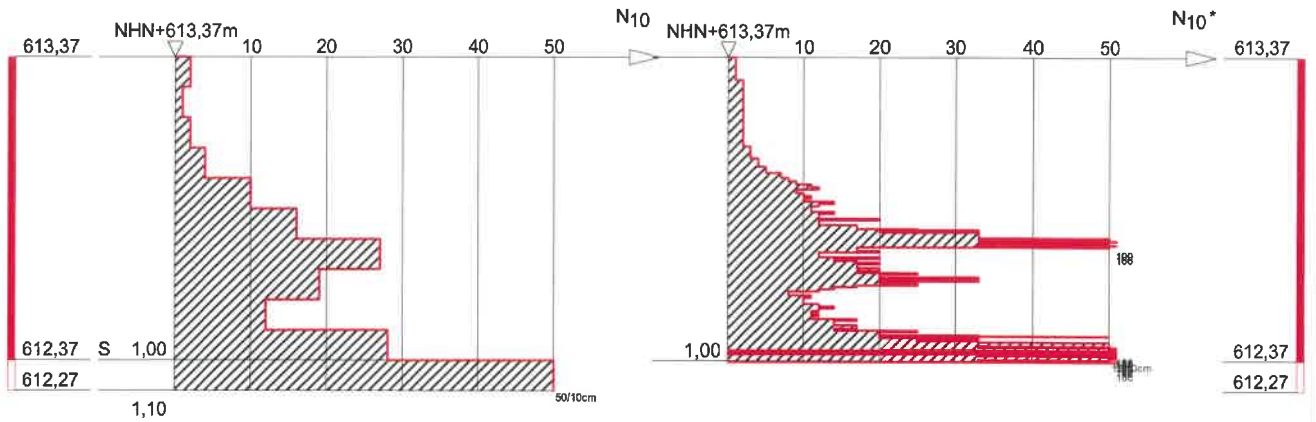
Anlagengruppe 3

WEA7 - DPH-1
(25.06.2021)

WEA7 - DPH-1*
(25.06.2021)

NHN+m

NHN+m



<p>GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lammelbach 5 91567 Herrieden Tel.: 09825/93413 Fax: 09825/93415</p>	<p>Bauvorhaben: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg - WEA 7</p> <p>Planbezeichnung: WEA7 - DPH-1</p>	Plan-Nr: 3.1
		Projekt-Nr: GEO-210118/6
		Datum: 22.10.2021
		Maßstab: 1 : 25
		Bearbeiter: T.Lauber



Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2

Geräteführer: T. Lauber

Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 7

Sondierungsnummer: WEA7-DPH-1

Datum: 25.06.2021

Sondierart: DPH

Ansatzpunkt [m]:

Ansatzpunkt auf NHN [m]: 613,37

Grundwassersp.[m u. ASP]:

Bemerkung:

Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	2	3,10		6,10		9,10		12,10	
0,20	1	3,20		6,20		9,20		12,20	
0,30	2	3,30		6,30		9,30		12,30	
0,40	4	3,40		6,40		9,40		12,40	
0,50	10	3,50		6,50		9,50		12,50	
0,60	16	3,60		6,60		9,60		12,60	
0,70	27	3,70		6,70		9,70		12,70	
0,80	19	3,80		6,80		9,80		12,80	
0,90	12	3,90		6,90		9,90		12,90	
1,00	28	4,00		7,00		10,00		13,00	
*)	schwer	*)		*)		*)		*)	
1,10	50	4,10		7,10		10,10		13,10	
1,20		4,20		7,20		10,20		13,20	
1,30		4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40		4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50		4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60		4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70		4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80		4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90		4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00		5,00		8,00		11,00		14,00	
*)		*)		*)		*)		*)	
2,10		5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20		5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30		5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40		5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50		5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60		5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70		5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80		5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90		5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00		6,00		9,00		12,00		15,00	
*)		*)		*)		*)		*)	

*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]

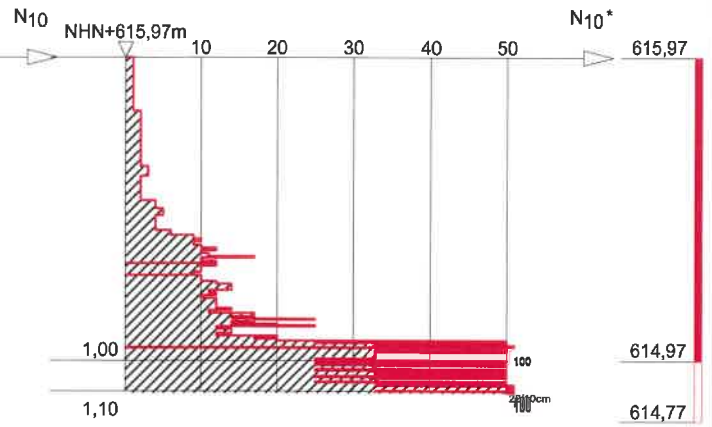
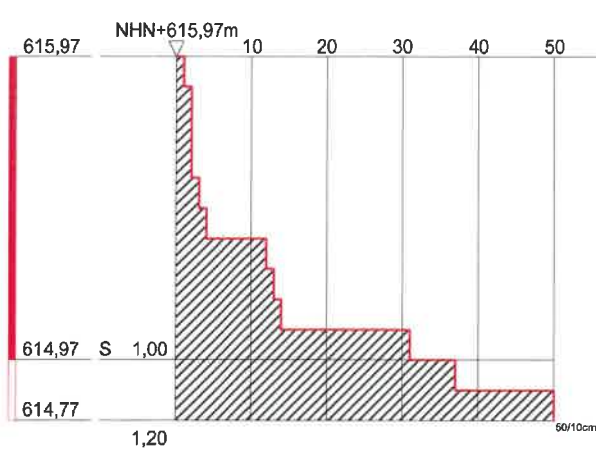
Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefen pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm- datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.

WEA7 - DPH-2
(25.06.2021)

WEA7 - DPH-2*
(25.06.2021)

NHN+m

NHN+m



<p>GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lammelbach 5 91567 Herrieden Tel.: 09825/93413 Fax: 09825/93415</p>	<p>Bauvorhaben: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg - WEA 7 Planbezeichnung: WEA7 - DPH-2</p>	Plan-Nr: 3.3
		Projekt-Nr: GEO-210118/6
		Datum: 22.10.2021
		Maßstab: 1 : 25
		Bearbeiter: T.Lauber



Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2

Geräteleiter: T. Lauber

Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 7

Sondierungsnummer: WEA7-DPH-2

Datum: 25.06.2021

Sondierart: DPH

Ansatzpunkt [m]:

Ansatzpunkt auf NHN [m]: 615,97

Grundwassersp.[m u. ASP]:

Bemerkung:

Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	1	3,10		6,10		9,10		12,10	
0,20	2	3,20		6,20		9,20		12,20	
0,30	2	3,30		6,30		9,30		12,30	
0,40	2	3,40		6,40		9,40		12,40	
0,50	3	3,50		6,50		9,50		12,50	
0,60	4	3,60		6,60		9,60		12,60	
0,70	12	3,70		6,70		9,70		12,70	
0,80	13	3,80		6,80		9,80		12,80	
0,90	14	3,90		6,90		9,90		12,90	
1,00	31	4,00		7,00		10,00		13,00	
*)	schwer	*)		*)		*)		*)	
1,10	37	4,10		7,10		10,10		13,10	
1,20	50	4,20		7,20		10,20		13,20	
1,30		4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40		4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50		4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60		4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70		4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80		4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90		4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00		5,00		8,00		11,00		14,00	
*)		*)		*)		*)		*)	
2,10		5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20		5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30		5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40		5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50		5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60		5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70		5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80		5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90		5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00		6,00		9,00		12,00		15,00	
*)		*)		*)		*)		*)	

*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]

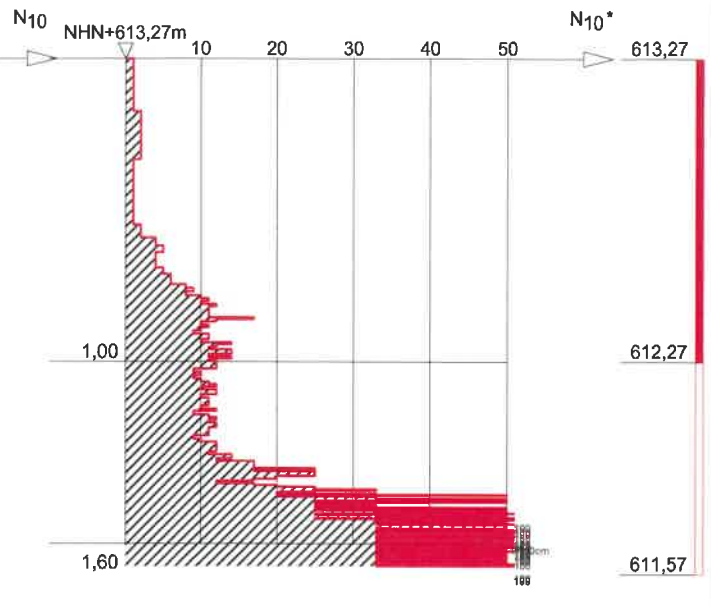
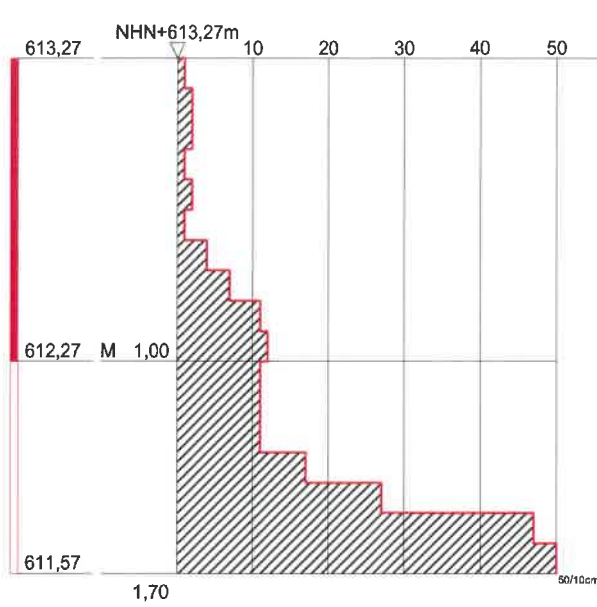
Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefen pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm-datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.

WEA7 - DPH-3
(25.06.2021)

WEA7 - DPH-3*
(25.06.2021)

NHN+m

NHN+m



GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lammelbach 5 91567 Herrieden Tel.: 09825/93413 Fax: 09825/93415	Bauvorhaben: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg - WEA 7 Planbezeichnung: WEA7 - DPH-3	Plan-Nr: 3.5
		Projekt-Nr: GEO-210118/6
		Datum: 22.10.2021
		Maßstab: 1 : 25
		Bearbeiter: T.Lauber



Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2

Geräteleiter: T. Lauber

Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 7

Sondierungsnummer: WEA7-DPH-3

Datum: 25.06.2021

Sondierart: DPH

Ansatzpunkt [m]:

Ansatzpunkt auf NHN [m]: 613,27

Grundwassersp.[m u. ASP]:

Bemerkung:

Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	1	3,10		6,10		9,10		12,10	
0,20	2	3,20		6,20		9,20		12,20	
0,30	2	3,30		6,30		9,30		12,30	
0,40	1	3,40		6,40		9,40		12,40	
0,50	2	3,50		6,50		9,50		12,50	
0,60	1	3,60		6,60		9,60		12,60	
0,70	4	3,70		6,70		9,70		12,70	
0,80	7	3,80		6,80		9,80		12,80	
0,90	11	3,90		6,90		9,90		12,90	
1,00	12	4,00		7,00		10,00		13,00	
*)	mittel	*)		*)		*)		*)	
1,10	11	4,10		7,10		10,10		13,10	
1,20	11	4,20		7,20		10,20		13,20	
1,30	11	4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40	17	4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50	27	4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60	47	4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70	50	4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80		4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90		4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00		5,00		8,00		11,00		14,00	
*)		*)		*)		*)		*)	
2,10		5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20		5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30		5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40		5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50		5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60		5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70		5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80		5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90		5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00		6,00		9,00		12,00		15,00	
*)		*)		*)		*)		*)	

*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]

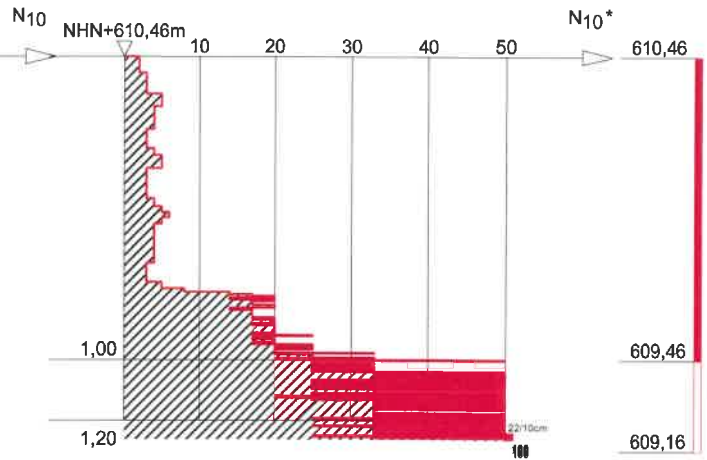
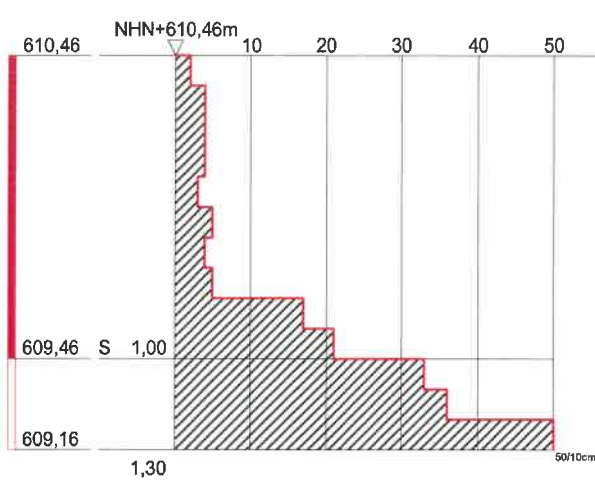
Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefen pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm-datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.

WEA7 - DPH-4
(25.06.2021)

WEA7 - DPH-4*
(25.06.2021)

NHN+m

NHN+m



<p>GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lammelbach 5 91567 Herrieden Tel.: 09825/93413 Fax: 09825/93415</p>	<p>Bauvorhaben: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg - WEA 7</p> <p>Planbezeichnung: WEA7 - DPH-4</p>	Plan-Nr: 3.7
		Projekt-Nr: GEO-210118/6
		Datum: 22.10.2021
		Maßstab: 1 : 25
		Bearbeiter: T.Lauber



Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2

Geräteleiter: T. Lauber

Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 7

Sondierungsnummer: WEA7-DPH-4

Datum: 25.06.2021

Sondierart: DPH

Ansatzpunkt [m]:

Ansatzpunkt auf NHN [m]: 610,46

Grundwassersp.[m u. ASP]:

Bemerkung:

Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	2	3,10		6,10		9,10		12,10	
0,20	4	3,20		6,20		9,20		12,20	
0,30	4	3,30		6,30		9,30		12,30	
0,40	4	3,40		6,40		9,40		12,40	
0,50	3	3,50		6,50		9,50		12,50	
0,60	5	3,60		6,60		9,60		12,60	
0,70	4	3,70		6,70		9,70		12,70	
0,80	5	3,80		6,80		9,80		12,80	
0,90	17	3,90		6,90		9,90		12,90	
1,00	21	4,00		7,00		10,00		13,00	
*)	schwer	*)		*)		*)		*)	
1,10	33	4,10		7,10		10,10		13,10	
1,20	36	4,20		7,20		10,20		13,20	
1,30	50	4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40		4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50		4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60		4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70		4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80		4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90		4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00		5,00		8,00		11,00		14,00	
*)		*)		*)		*)		*)	
2,10		5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20		5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30		5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40		5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50		5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60		5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70		5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80		5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90		5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00		6,00		9,00		12,00		15,00	
*)		*)		*)		*)		*)	

*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]

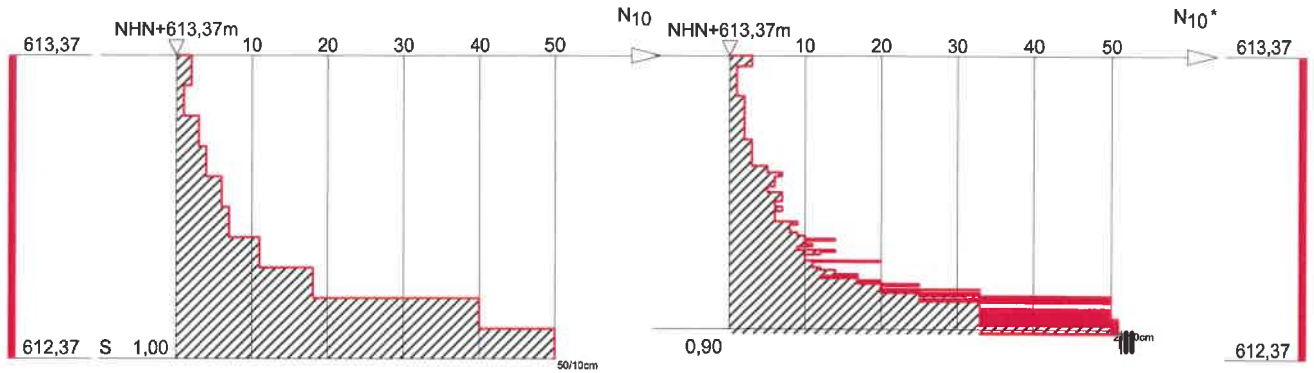
Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefen pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm-
datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten
Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.

WEA7 - DPH-5
(25.06.2021)

WEA7 - DPH-5*
(25.06.2021)

NHN+m

NHN+m



GEOTECHNIK GmbH
Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner
Lammelbach 5
91567 Herrieden
Tel.: 09825/93413
Fax: 09825/93415

Bauvorhaben:
Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg
- WEA 7
Planbezeichnung:
WEA7 - DPH-5

Plan-Nr: 3.9
Projekt-Nr: GEO-210118/6
Datum: 22.10.2021
Maßstab: 1 : 25
Bearbeiter: T.Lauber



Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2

Geräteführer: T. Lauber

Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 7

Sondierungsnummer: WEA7-DPH-5

Datum: 25.06.2021

Sondierart: DPH

Ansatzpunkt [m]:

Ansatzpunkt auf NHN [m]: 613,37

Grundwassersp.[m u. ASP]:

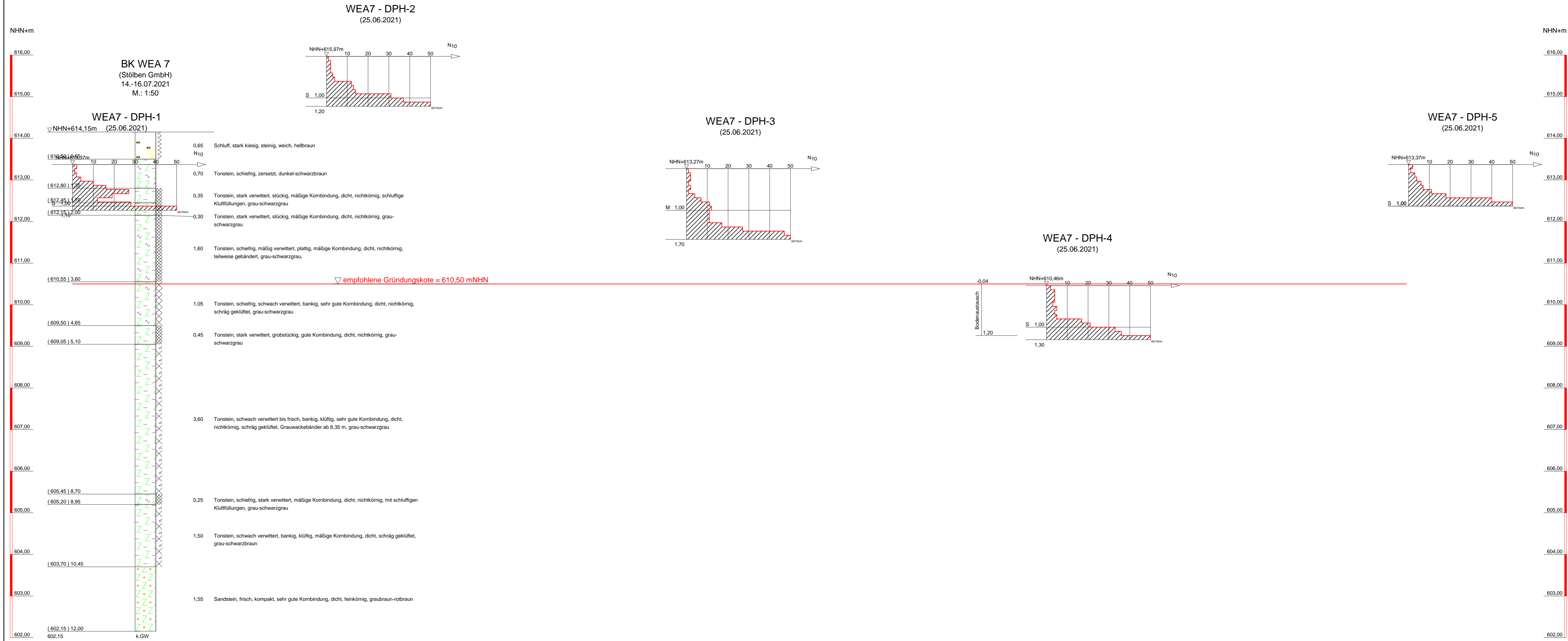
Bemerkung:

Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	2	3,10		6,10		9,10		12,10	
0,20	1	3,20		6,20		9,20		12,20	
0,30	3	3,30		6,30		9,30		12,30	
0,40	4	3,40		6,40		9,40		12,40	
0,50	6	3,50		6,50		9,50		12,50	
0,60	7	3,60		6,60		9,60		12,60	
0,70	11	3,70		6,70		9,70		12,70	
0,80	18	3,80		6,80		9,80		12,80	
0,90	40	3,90		6,90		9,90		12,90	
1,00	50	4,00		7,00		10,00		13,00	
*)	schwer	*)		*)		*)		*)	
1,10		4,10		7,10		10,10		13,10	
1,20		4,20		7,20		10,20		13,20	
1,30		4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40		4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50		4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60		4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70		4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80		4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90		4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00		5,00		8,00		11,00		14,00	
*)		*)		*)		*)		*)	
2,10		5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20		5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30		5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40		5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50		5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60		5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70		5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80		5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90		5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00		6,00		9,00		12,00		15,00	
*)		*)		*)		*)		*)	

*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]

Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefen pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm- datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.


Anlage 4



GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lammelbach 5 91567 Herrieden Tel.: 09825/93413 Fax: 09825/93415	Bauvorhaben: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg - WEA 7 Planbezeichnung: WEA7 - Awicklung	Plan-Nr: 4
		Projekt-Nr: GEO-210118/6
		Datum: 22.10.2021
		Maßstab: 1:100/50
		Bearbeiter: T.Lauber

Anlagengruppe 5

Zusammenstellung der geomechanischen Versuchsergebnisse (Fels)

Entnahmedaten						WEA	WEA	WEA	WEA
Proben-Nr.						07	07	07	07
Entnahmestelle									
Zusätzliche Angaben									
Entnahmetiefe		von	m			4,00	4,20	4,25	4,45
		bis	m			4,20	4,35	4,45	4,60
Entnahmeart						ungestört	ungestört	ungestört	ungestört
Probenbeschreibung						Tst	Tst	Tst	Tst
Stratigraphie									
Dichte- bestimmung	Korndichte	ρ_s	t/m ³	31					
	Feuchtdichte	ρ	t/m ³	32					
	Wassergehalt	w	%	33					
	Trockendichte	ρ_d	t/m ³	34					
Einaxialer Druckversuch	Einax. Druckfestigkeit	σ_u	MN/m ²	35					
	Belastungsmodul	B	MN/m ²						
	Wiederbelastungsmodul	V							
	Entlastungsmodul	E							
Poisson- zahlen	für Belastung, Wiederbelastung und Entlastung	ν_B ν_V ν_E	-	36					
	Dreiaxialer Druckversuch	Vers. Typ/Probendurchm.	- / cm	37					
		Anzahl der Zyklen	-						
	Reibungswinkel	φ	°	38					
	technische Kohäsion	c	MN/m ²						
Punktlastindex	diametral axial	$I_{S(50)}$	MN/m ²	39	8,480 (s)	0,412 (p)	3,053 (s)	2,361 (p)	10,696 (s)
Spaltzugversuch		σ_z	MN/m ²	40					
Reibungsversuch	Probenfläche	A	cm ²	41					
	Anzahl der Laststufen	-							
	Trennflächentyp	-							
	Trennflächengeometrie	-		42					
	Reibungswinkel	φ	°						
	technische Kohäsion	c	MN/m ²						
Quellversuche	Quellspannung	σ_q	MN/m ²	43					
	Versuchsdauer	d		44					
	Quelldehnung	$\epsilon_{q,0}$	%	45					
	Versuchsdauer	d		46					
	Quellversuch nach Huder und Amberg	K	%	47					
	Versuchsdauer	σ_0	MN/m ²	48					
DIN 52103	Wasseraufnahme		%	49					
	Absplitterung		%						
	Kennziffer der Absplitt.		-	50					
Veränderlichk. in Wasser DIN 4022		-	51						
Cerchar	CAI	-	53						
Abrasivitätsindex	Klassifizierung	-	54						
Frostversuch nach DIN 52104 / 4226	Absplitt. Kennzi.	% -	55 56						
Einaxialer Kriechversuch	% von einax. Druckfestigkeit		%	57					
	Kriechrate am 10. Tag (LS 1)		%						
	% von einax. Druckfestigkeit		%						
	Kriechrate am 10. Tag (LS 2)		%						
	% von einax. Druckfestigkeit		%						
	Kriechrate am 10. Tag (LS 3)		%						
Slake Durability Test	I_{d1}	%	58						
	I_{d2}	%							

zu Zeile 51: w- / w' / w / w* = nicht veränderlich / mäßig veränderlich / veränderlich / stark veränderlich

zu Zeile 54 u. 56: Kennziffer der Absplitt.

Bemerkungen:

Zusammenstellung der geomechanischen Versuchsergebnisse (Fels)

Entnahmedaten						WEA 07	WEA 07	WEA 07	WEA 07	WEA 07	WEA 07
Proben-Nr.											
Entnahmestelle											
Zusätzliche Angaben											
Entnahmetiefe		von	m			4,70	5,10	5,20	5,50	5,60	5,75
		bis	m			4,80	5,20	5,50	5,60	5,70	5,85
Entnahmeart						ungestört	ungestört	ungestört	ungestört	ungestört	ungestört
Probenbeschreibung						Tst	Tst	Tst	Tst	Tst	Tst
Stratigraphie											
Dichtebestimmung	Korndichte	ρ_s	t/m ³	31							
	Feuchtdichte	ρ	t/m ³	32							
	Wassergehalt	w	%	33							
	Trockendichte	ρ_d	t/m ³	34							
Einaxialer Druckversuch	Einax. Druckfestigkeit	σ_u	MN/m ²					2,282			
	Belastungsmodul	B						3431			
	Wiederbelastungsmodul	V	MN/m ²	35							
	Entlastungsmodul	E									
Poisson-zahlen	für Belastung,	ν_B									
	Wiederbelastung	ν_V	-	36							
	und Entlastung	ν_E									
Dreiaxialer Druckversuch	Vers. Typ/Probendurchm.	- / cm		37							
	Anzahl der Zyklen	-									
	Reibungswinkel	φ	°	38							
	technische Kohäsion	c	MN/m ²								
Punktlastindex	diametral axial	$I_{S(50)}$	MN/m ²	39	4,371 (s)	1,436 (s)	0,364 (p)		7,393 (s)	1,863 (p)	9,764 (s)
Spaltzugversuch		σ_z	MN/m ²	40							
Reibungsversuch	Probenfläche	A	cm ²	41							
	Anzahl der Laststufen	-									
	Trennflächentyp	-									
	Trennflächengeometrie	-		42							
	Reibungswinkel	φ	°								
	technische Kohäsion	c	MN/m ²								
Quellversuche	Quellspannung	σ_q	MN/m ²	43							
	Versuchsdauer	d		44							
	Quelldehnung	$\epsilon_{u,0}$	%	45							
	Versuchsdauer	d		46							
	Quellversuch nach Huder und Amberg	K	%	47							
	Versuchsdauer	σ_0	MN/m ²	48							
DIN 52103	Wasseraufnahme		%	49							
	Absplitterung										
	Kennziffer der Absplitt.		-	50							
Veränderlichk. in Wasser DIN 4022		-	51								
Cerchar	CAI	-	53								
Abrasivitätsindex	Klassifizierung	-	54								
Frostversuch nach DIN 52104 / 4226	Absplitt. Kennzi.	%	55								
Einaxialer Kriechversuch	% von einax. Druckfestigkeit		%								
	Kriechrate am 10. Tag (LS 1)		%	57							
	% von einax. Druckfestigkeit		%								
	Kriechrate am 10. Tag (LS 2)		%								
% von einax. Druckfestigkeit		%									
Kriechrate am 10. Tag (LS 3)		%									
Slake Durability Test	I_{d1}	%									
	I_{d2}	%		58							

zu Zeile 51: w- / w' / w / w* = nicht veränderlich / mäßig veränderlich / veränderlich / stark veränderlich zu Zeile 54 u. 56: Kennziffer der Absplitter.

Bemerkungen:

Zusammenstellung der geomechanischen Versuchsergebnisse (Fels)

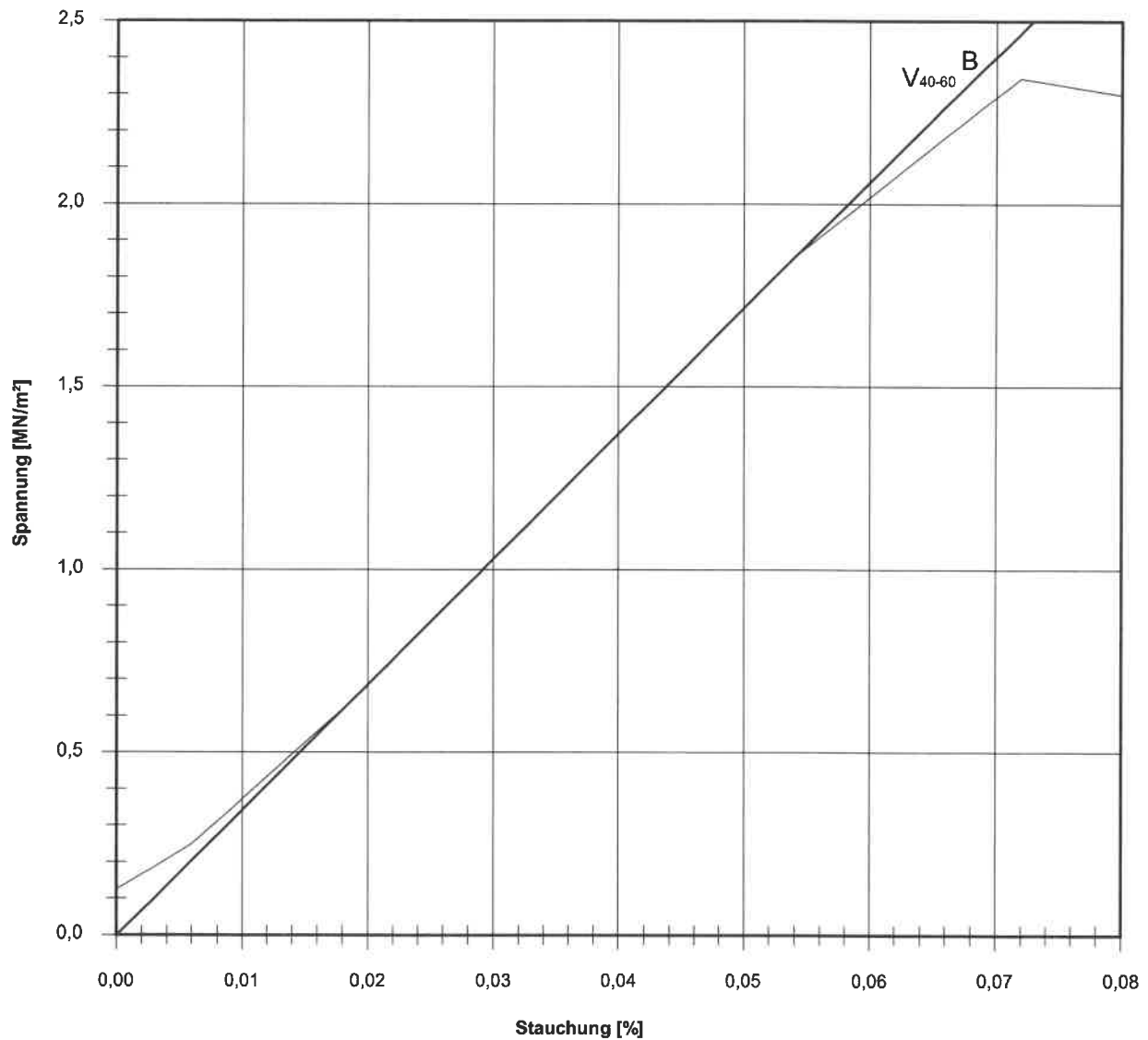
Entnahmedaten		Proben-Nr.		Zeilen-Nr.:					
Entnahmestelle					WEA				
Zusätzliche Angaben					07				
Entnahmetiefe von m					5,90				
Entnahmetiefe bis m					6,00				
Entnahmeart				ungestört					
Probenbeschreibung				Tst					
Stratigraphie									
Dichte- bestimmung	Korndichte	ρ_s	t/m ³	31					
	Feuchtdichte	ρ	t/m ³	32					
	Wassergehalt	w	%	33					
	Trockendichte	ρ_d	t/m ³	34					
Einaxialer Druckversuch	Einax. Druckfestigkeit	σ_u	MN/m ²	35					
	Belastungsmodul	B	MN/m ²						
	Wiederbelastungsmodul	V							
	Entlastungsmodul	E							
Poisson- zahlen	für Belastung,	ν_B	-	36					
	Wiederbelastung	ν_V							
	und Entlastung	ν_E							
Dreiaxialer Druckversuch	Vers. Typ/Probendurchm.	- / cm	37						
	Anzahl der Zyklen	-	38						
	Reibungswinkel	φ °							
	technische Kohäsion	c	MN/m ²						
Punktlastindex	diametral	$I_{S(50)}$	MN/m ²	39					
	axial				9,424 (s)				
Spaltzugversuch		σ_z	MN/m ²	40					
Reibungsversuch	Probenfläche	A	cm ²	41					
	Anzahl der Laststufen	-							
	Trennflächentyp	-							
	Trennflächengeometrie	-							
	Reibungswinkel	φ °							
technische Kohäsion	c	MN/m ²	42						
Quellversuche	Quellspannung	σ_q	MN/m ²	43					
	Versuchsdauer	d		44					
	Quelldehnung	$\epsilon_{q,0}$	%	45					
	Versuchsdauer	d		46					
	Quellversuch nach	K	%	47					
	Huder und Amberg	σ_0	MN/m ²						
Versuchsdauer	d		48						
DIN 52103	Wasseraufnahme		%	49					
	Absplitterung								
	Kennziffer der Absplitt.	-							
Veränderlichk. in Wasser DIN 4022		-		51					
Cerchar		CAI	-	53					
Abrasivitätsindex		Klassifizierung	-	54					
Frostversuch nach		Absplitt.	%	55					
DIN 52104 / 4226		Kenzi.	-	56					
Einaxialer Kriechversuch	% von einax. Druckfestigkeit		%	57					
	Kriechrate am 10. Tag (LS 1)		%						
	% von einax. Druckfestigkeit		%						
	Kriechrate am 10. Tag (LS 2)		%						
	% von einax. Druckfestigkeit		%						
Kriechrate am 10. Tag (LS 3)		%							
Slake Durability Test		I_{d1}	%	58					
		I_{d2}	%						
zu Zeile 51: w- / w' / w / w* = nicht veränderlich / mäßig veränderlich / veränderlich / stark veränderlich					zu Zeile 54 u. 56: Kennziffer der Absplitter.				
Bemerkungen:									

Einaxialer Druckversuch

Felsprobe ohne Messung der Querdehnung
nach DGGT-Empfehlung Nr. 1

Entnahmestelle WEA 07		
Tiefe unter GOK: 5,20 - 5,50 m		
Entnahmeart: ungestört		
Probenbeschreibung: Tst	Bodengruppe:	Stratigraphie:
Entrn. am:		von: Geotechnik Herrmann

Ausgeführt von: J. Bergen	am: 05.08.2021	Gepr.:
Ausgewertet von: Eckerlein	am: 09.08.2021	
Probenhöhe: 166,9 mm	Feuchtdichte: 2,639 t/m ³	Verformungsgeschwindigkeit: 0,20 mm/min
Durchmesser: 101,6 mm	Wassergehalt: %	Höhen/Durchmesserverhältnis(h/d): 1,64
Querschnittsfläche: 81,07 cm ²	Trockendichte: t/m ³	Korrekturfaktor, $f = 8/(7+2d/h)$: 0,974

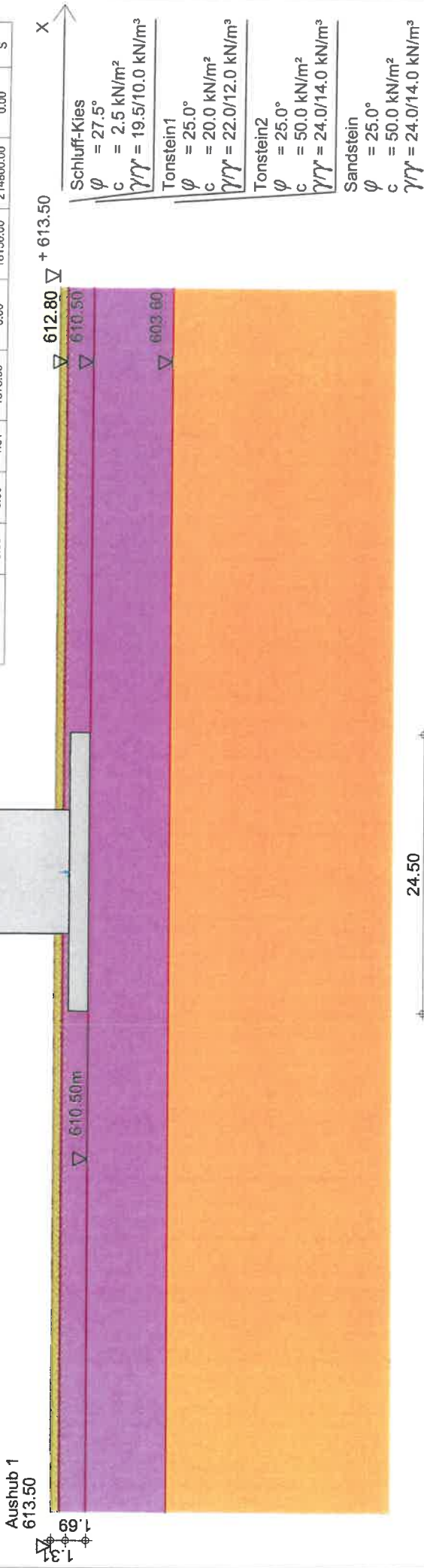


Bruchspannung σ :	2,344 MN/m ²	Verformungsmoduli:		Poissonszahl:
Einaxiale Druckfestigkeit		Belastungsmodul V40-60 :	3431 MN/m ²	
$f \cdot \sigma = q_U$ bzw. σ_U :	2,282 MN/m ²	Modul d. einaxialen Druckf. E_u :		
Stauchung beim Bruch:	0,07 %	Belastungsmodul B :	3431 MN/m ²	für Belastung ν_B :
Querdehnung beim Bruch:		Wiederbelastungsmodul V :		für Wiederbelastung ν_V :
		Entlastungsmodul E :		für Entlastung ν_E :

Bemerkungen:

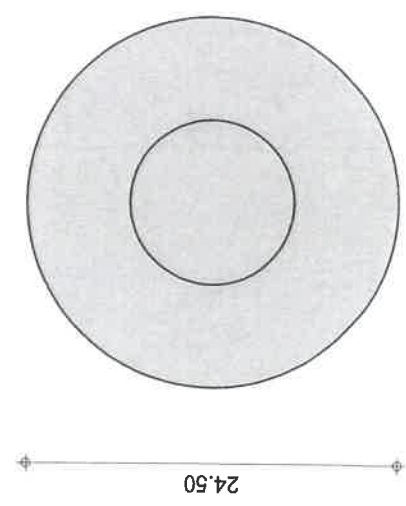
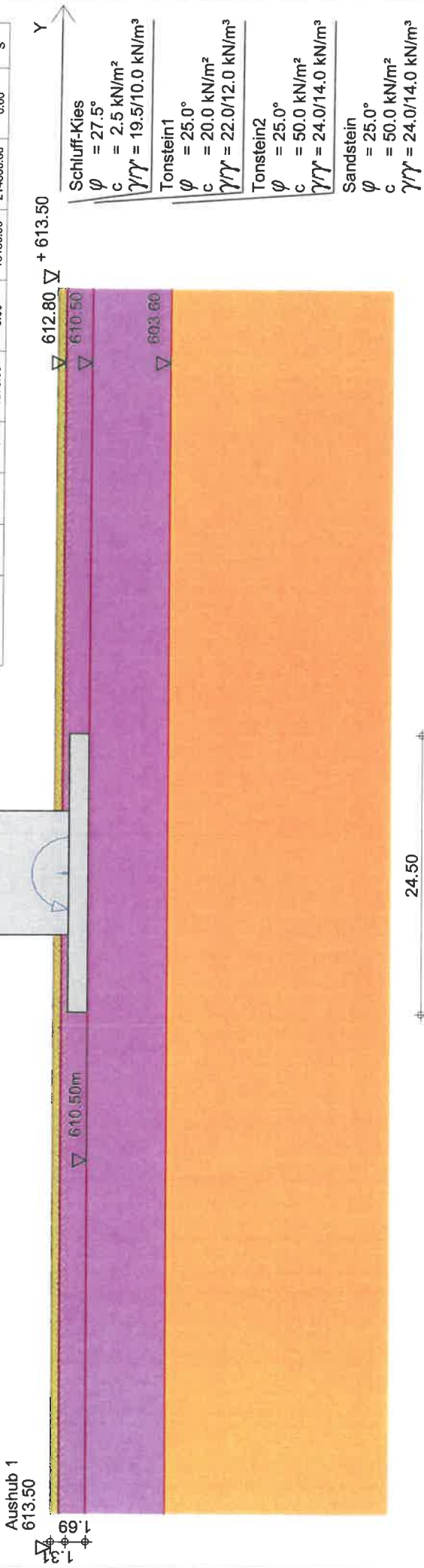
Anlagengruppe 6

Lf-Name	x	y	z	Hx	Hy	Vz	Mx	My	Typ
1	0,00	0,00	-1,31	1375,00	0,00	18150,00	214800,00	0,00	S

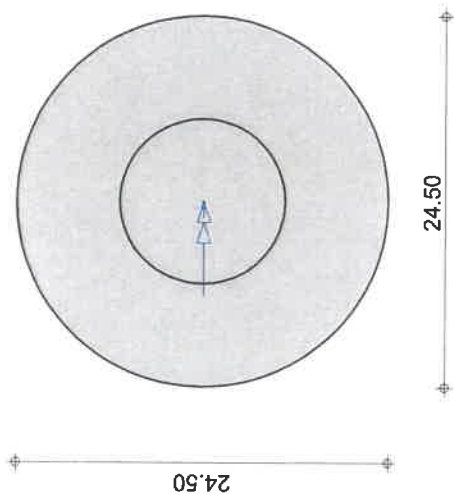


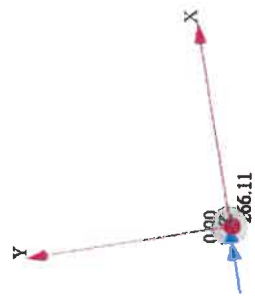
Seite	1
Maßstab	1: 500

Lf-Name	x	y	z	Hx	Hy	Vz	Mx	My	Typ
1	0.00	0.00	-1.31	1375.00	0.00	18150.00	214800.00	0.00	S



Lf-Name	x	y	z	Hk	Hy	Vz	Mx	My	Typ
1	0.00	0.00	-1.31	1375.00	0.00	18150.00	214800.00	0.00	S





Programm DC-Fundament - Copyright 2006-2021: DC-Software Doster & Christmann GmbH, D-81245 München

Eingabedatei: C:\ProgramData\DC-Grundbaustatik\Daten\WEA2\WEA7.dbf

Fundament-Berechnung nach DIN EN 1997-1 (Eurocode 7) und DIN 1054:2010

Erddruck nach DIN 4085:2017

Berechnung mit Nachweisverfahren 2

Kombination mit Teilsicherheitsbeiwerten der Gruppen A1 + M1 + R2

Fundamenttyp: Einzelfundament, kreisförmig

Fundamentabmessungen

Durchmesser d : 24.50 m
 Unterkante : 610.50 mNN
 Höhe h : 1.69 m
 Wichte γ : 25.00 kN/m³
 Geländeoberkante auf 613.50 mNN

Schichtdaten

		Schluff-Kies	Tonstein1	Tonstein2	Sandstein
Schichthöhe Δh	[m]	0.70	2.30	6.90	90.10
Innere Reibung $\text{cal } \varphi'$	[°]	27.50	25.00	25.00	25.00
Kohäsion c	[kN/m ²]	2.50	20.00	50.00	50.00
Wichte Boden γ	[kN/m ³]	19.50	22.00	24.00	24.00
Wichte unter Auftrieb γ'	[kN/m ³]	10.00	12.00	14.00	14.00
Steifemodul E_s	[MN/m ²]	40.00	100.00	120.00	120.00
zul. Bodenpressung	[kN/m ²]		475.00	475.00	550.00

Lastfall BS
 1 P

Einzellasten

Lastfall	Kat.	V [kN]	H _x [kN]	H _y [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	x [m]	y [m]	z [m]	γ Grundbau	γ Bemess.	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Eigengew.	G	19953.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	-3.00	1.35	1.35			
1	G	18150.0	1375.0	0.0	214800.0	0.0	0.00	0.00	-1.31	1.35	1.35			

Teilsicherheitsbeiwerte für statisches Gleichgewicht (EQU):

γ	G, stb	G, dst	Q, dst
BS-P	0.90	1.10	1.50
BS-T	0.90	1.05	1.25
BS-A	0.95	1.00	1.00
BS-T/A	0.93	1.03	1.13

Teilsicherheitsbeiwerte (STR, GEO) für Nachweisverfahren 2

γ	G	Q	R,v	R,h	γ	φ	c	cu	Ea	E0g	Ep
BS-P	1.35	1.50	1.40	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.35	1.20	1.40
BS-T	1.20	1.30	1.30	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.10	1.30
BS-A	1.10	1.10	1.20	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.10	1.00	1.20
BS-T/A	1.15	1.20	1.25	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.15	1.05	1.25

- γ - Teilsicherheitsbeiwert für ...
 G ständige Lasten
 Q veränderliche Lasten
 R,v Grundbruchwiderstand
 R,h Gleitwiderstand
 γ Wichte
 φ Reibungsbeiwert $\tan \varphi$
 c Kohäsion c
 cu Kohäsion undränert cu
 Ea Aktiver Erddruck
 E0g Ruhedruck
 Ep Passiver Erddruck
 G, stb günstige ständige Lasten
 G, dst ungünstige ständige Lasten
 Q, dst ungünstige veränderliche Lasten

Lastfall-Kombinationen für Grundbaunachweise:

Komb.Nr.	Bem.sit.	Eigengew.	1
1	BS-P	1.00	1.00
2	BS-P	1.00	1.35
3	BS-P	1.35	1.00
4	BS-P	1.35	1.35

Lastfall-Kombinationen für Bemessung:

Komb.Nr.	Eigengew.	1
1	1.00	1.00
2	1.00	1.35
3	1.35	1.00
4	1.35	1.35

Ergebnisse:

Komb.Nr.	Sohl-normalsp. [kN/m ²]	max.Boden- pressung [kN/m ²]	Gleiten T _d /R _d	Grundbr. N _d /R _d	max. Setzung [mm]	e/d ständig	e/d gesamt	EQU: E _{d,dst} /E _{d,stb}
1	190.3	266.1	0.06	0.07	19.1	0.342	0.115	0.002
2	190.3	266.1	0.08	0.08	19.1	0.342	0.115	0.002
3	190.3	266.1	0.06	0.09	19.1	0.342	0.115	0.002
4	190.3	266.1	0.08	0.10	19.1	0.342	0.115	0.002

Maßgebend:

Komb.Nr.	Sohl-normalsp. [kN/m ²]	max.Boden- pressung [kN/m ²]	Gleiten T _d /R _d	Grundbr. N _d /R _d	max. Setzung [mm]	e/d ständig	e/d gesamt	EQU: E _{d,dst} /E _{d,stb}
	190.3	266.1	0.08	0.10	19.1	0.342	0.115	0.002

Nachweis der Lagesicherheit im GZ EQU

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 1, maßgebende Richtung: -y

Lage der Kippkante: (-12.25 m;-3.00 m)

E_{d,dst} = 719.23 kNm ≤ E_{d,stb} = 378415.06 kNm

*** Nachweis erfüllt ***

Nachweis der max. Bodenpressung

Schnittgrößen in der Sohlfuge

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 4

Belastung aus Eigengewicht: V = 19953.5 kN

Belastung aus Erdauflast: V = 13689.3 kN, M_y = 0.0 kNm, M_x = 0.0 kNm

Gesamtlast:

N = 51792.8 kN, Q_x = 1375.0 kN, M_y = 2327.9 kNm, Q_y = 0.0 kN, M_x = 214800.0 kNm

σ_{1(-x)} = 266.1 kN/m², σ_{2(+x)} = 0.0 kN/m²

Ersatzbreiten: b' = 16.20 m, a' = 16.79 m

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 4

(char. Sohlnormalspannung σ_{or,k} = 190.3 kN/m²)

Nachweis mit Bemessungswerten:

σ_{or,d} = 256.9 kN/m² < Bemessungswert Sohlwiderstand σ_{Rd} = 475.0 kN/m²

*** Nachweis erfüllt ***

Nachweis der Gleitsicherheit im Nachweisverfahren 2

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 2, maßgebende Richtung: +x

	Charakteristisch	Bemessungswerte
Belastung T	= 1375.0 kN	1856.3 kN
Erdwiderstand E _{ph} (δ _p = 0)	= 1375.0 kN	982.1 kN
Belastung V	= 51792.8 kN	
Reibungswinkel Sohle δ	= 25.00 °	
Gleitwiderstand R _t	= 24151.4 kN	21955.8 kN
Nachweis: T_d / (R_{t,d} + E_{p,d})	= 0.08 < 1.0	

*** Nachweis erfüllt ***

Nachweis der Grundbruchsicherheit im Nachweisverfahren 2

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 4, maßgebende Richtung: +x

Belastung		Charakteristisch	Bemessungswerte
Auflast P	=	31839.32 kN	42983.09 kN
Eigengewicht G	=	19953.50 kN	26937.22 kN
Gesamtlast V	=	51792.82 kN	69920.31 kN
Horizontallast H	=	1375.00 kN	1856.25 kN
Moment M_y	=	2327.88 kNm	3142.63 kNm
Moment M_x	=	214800.00 kNm	289980.00 kNm
Neigung der Resultierenden $\tan(\delta_s) = H/V$	=	0.03	
Lastrichtung zur Querrichtung ω	=	90.00 °	

Abmessungen

Einbindetiefe d	=	3.00 m
Ersatzbreite b'	=	16.20 m
Ersatzbreite quer a'	=	17.42 m

Ergebnisse

Breite der Grundbruchfigur	=	66.50 m
Tiefe der Grundbruchfigur	=	20.74 m
Maßgebende Bodenkennwerte: γ oberhalb Gründungssohle	=	21.42 kN/m ³
γ unterhalb Gründungssohle	=	24.00 kN/m ³
Reibungswinkel φ	=	25.00 °
Kohäsion c	=	50.00 kN/m ²
Tragfähigkeitsbeiwerte N_c, N_q, N_γ	=	20.72 10.66 4.51
Lastneigungsbeiwerte i_c, i_q, i_γ	=	0.96 0.96 0.93
Formbeiwerte s_c, s_q, s_γ	=	1.47 1.42 0.70

Grundbruchspannung p_d	=	2524.20 kN/m ²
Bemessungswert Grundbruchwiderstand R_d	=	712562.63 kN
Bemessungswert Beanspruchung N_d	=	69920.31 kN

Nachweis: $N_d / R_d = 0.10 < 1.0$

***** Nachweis erfüllt *****

Setzungsberechnung (GZG)

bezogen auf die Bodenpressungen an den kennzeichnenden Punkten:

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 1

Setzung am Randpunkt (-r; 0):	8.9 mm
Setzung am Randpunkt (+r; 0):	9.1 mm
Setzung am Randpunkt (0;-r):	19.1 mm
Setzung am Randpunkt (0;+r):	-1.1 mm (Hebung)

Maximale Setzung:	19.1 mm
Angesetzte Grenztiefe:	14.90 m

Setzung nur aus Normalkraft:

Setzung am Randpunkt (-r; 0):	5.7 mm
Setzung am Randpunkt (+r; 0):	5.8 mm
Setzung am Randpunkt (0;-r):	5.8 mm
Setzung am Randpunkt (0;+r):	5.8 mm

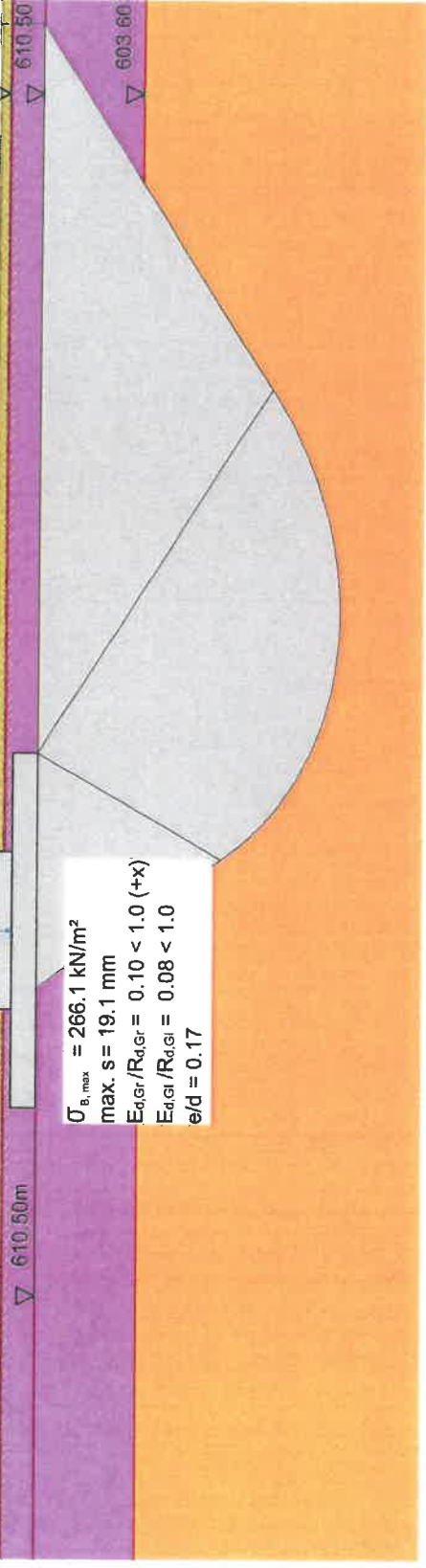
Maximale Setzung:	5.8 mm
Angesetzte Grenztiefe:	9.90 m

Lf-Name	x	y	z	Hx	Hy	Vz	Mx	My	Typ
1	0.00	0.00	-1.31	1375.00	0.00	18150.00	214800.00	0.00	S

Aushub 1
613.50

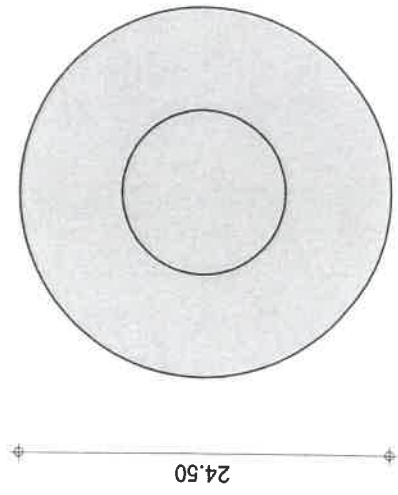


610.50m
▽ 610.50
▽ 612.80
▽ 613.50

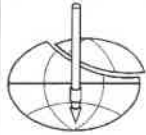


$\sigma_{B, max} = 266.1 \text{ kN/m}^2$
 max. s = 19.1 mm
 $E_{d,Gr}/R_{d,Gr} = 0.10 < 1.0 (+x)$
 $E_{d,Gr}/R_{d,Gr} = 0.08 < 1.0$
 e/d = 0.17

- Schluff-Kies
 - $\varphi = 27.5^\circ$
 - $c = 2.5 \text{ kN/m}^2$
 - $\gamma/\gamma' = 19.5/10.0 \text{ kN/m}^3$
- Tonstein1
 - $\varphi = 25.0^\circ$
 - $c = 20.0 \text{ kN/m}^2$
 - $\gamma/\gamma' = 22.0/12.0 \text{ kN/m}^3$
- Tonstein2
 - $\varphi = 25.0^\circ$
 - $c = 50.0 \text{ kN/m}^2$
 - $\gamma/\gamma' = 24.0/14.0 \text{ kN/m}^3$
- Sandstein
 - $\varphi = 25.0^\circ$
 - $c = 50.0 \text{ kN/m}^2$
 - $\gamma/\gamma' = 24.0/14.0 \text{ kN/m}^3$







GEOTECHNIK GmbH
Prof. Dr. -Ing. Herrmann & Partner

Büro 1: Lammelbach 5
91567 Herrieden

Telefon: 09825 – 9 34 13

09825 – 9 34 14

Telefax: 09825 – 9 34 15

Lammelbach 5

91567 Herrieden

Web: www.geotechnik-gmbh.com
e-mail: GEOTECHNIK_GmbH@t-online.de

Funktelefon 1: 0170 – 4751946

Funktelefon 2: 0170 – 5533881

Büro 2: Hans-Böckler-Straße 1
57223 Kreuztal – Buschhütten

Telefon: 02732 – 55 28 26

Telefax: 02732 – 55 28 27

**Windpark
Ohrenbach
Windenergieanlage
WEA 8
Vestas Typ V162 6,0MW
169 m Nabhöhe
in 57319 Bad Berleburg
Auftraggeber:
Krug Energie GmbH & Co. KG
35117 Münchhausen**

**Ergebnisse
der geotechnischen Untersuchungen
- Baugrund- / Gründungsgutachten -**

Auftraggeber:	Firma Krug Energie GmbH & Co. KG Dorfstraße 53 35117 Münchhausen-Wollmar
Projekt:	Windpark Ohrenbach, Windenergieanlage WEA 8 Fa. Vestas Typ V162 6,0MW, 169 m Naben- höhe bei Bad Berleburg 57319 Bad Berleburg
Auftrag:	Geotechnische Untersuchungen - Baugrund-/Gründungsgutachten (Geotechnischer Bericht nach DIN 4020)
Ihre Zeichen:	Herr Hans-Hermann Zacharias Auftrag vom 27.05.2021 (E-Mail)
Unsere Zeichen:	GEO-210129/7
Bearbeitung:	Dipl.-Ing. (FH) Thorsten Lauber Univ.-Prof. Dr.-Ing. Richard A. Herrmann
Lammelbach,	den 27.10.2021

Inhaltsverzeichnis:		Seite
1	Vorgang	4
2	Allgemeines	4
3	Geotechnische Untersuchungen	6
4	Geologie und Morphologie	13
5	Baugrundbeurteilung	14
6	Gründungsempfehlungen	15
7	Zusammenfassung und Schlussbemerkungen	31

Anlagen:

Anlage 1:	Lageplan der Aufschlüsse
Anlagengruppe 2:	Darstellung des direkten Aufschlusses Bohrung BK WEA 8 (nach DIN EN ISO 22475-1) - Bohrprofil (Anlage 2.1) - Bilddokumentation (Anlage 2.2)
Anlagengruppe 3:	Darstellung der indirekten Aufschlüsse Ergebnisse der schweren Rammsondierungen WEA8-DPH-1 bis WEA8-DPH-5 - (Anlage 3.1 - 3.10)
Anlage 4:	Abwicklung des direkten Aufschlusses und der indirekten Aufschlüsse
Anlagengruppe 5:	Ergebnisse der felsmechanischen Laborversuche Punktlastversuche und Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit an Festgesteinsproben - (Anlage 5.1 - 5.3)
Anlagengruppe 6:	Fundamentberechnung - Sohlspannung, Setzung, Grundbruch, Gleiten u.a. - (Anlage 6.1 - 6.10)

1 Vorgang

Die Firma Krug Energie GmbH & Co. KG als Bauherr und Investor, vertreten durch Herrn Hans-Hermann Zacharias beauftragte uns am 27.05.2021 mit der Durchführung von geotechnischen Untersuchungen und der Ausarbeitung von Baugrund-/Gründungsgutachten (Geotechnischer Bericht nach DIN 4020) für die Errichtung von 8 Windenergieanlagen (WEA 2 - WEA 9) im Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg.

Grundlage der Beauftragung ist unser Kostenangebot vom 29.01.2021.

2 Allgemeines

Das Bauvorhaben sieht nach den vorliegenden Planunterlagen den Bau von insgesamt 8 Windenergieanlagen der Firma Vestas Wind Systems A/S, DK-8200 Aarhus vom Typ V162, 6,0 MW mit einer Nabenhöhe von 169 m vor. Der Hybridturm aus einem ca. 74,76 m hohen Stahlrohrturm über einem ca. 89,09 m hohen Spannbetonschaft steht auf einer kreisförmigen Fundamentplatte mit einem Durchmesser von 24,5 m. Das Fundament weist eine Höhe von 2,90 m auf und wird auf einer ca. 10 cm dicken Sauberkeitsschicht hergestellt. Im Zentrum des Fundamentes wird mit einem Durchmesser von 4,4 m eine Weichschicht mit $d = 5$ cm auf der Sauberkeitsschicht eingebaut und zusätzlich außerhalb des Sockels mit einer Breite von 2 m eine Weichschicht $d = 15$ cm in die Sauberkeitsschicht eingebaut.

Der Windpark Ohrenbach befindet sich südöstlich der Stadt Bad Berleburg im Waldgebiet zwischen den Einzelgehöften Lützelbach/Steinbach im Nordwesten, den Dörfern Arfeld im Südwesten, Schwarzenau mit dem Oberen Hüttental im Südosten und dem Hof Brücher im Nordosten. Neben den geplanten 8 Anlagen erfolgen benachbart für 4 bereits genehmigte Anlagen der Eder Energy Erdarbeiten für die Erschließung und Baufeldvorbereitung.

Das Gelände wird von den Erhebungen des Großen Prenzenberger Kopfes (653 mNN) im Nordwesten, Ohrenbachsrücken (593 mNN) im Südwesten, dem Hahnschuß (600 mNN) im Südosten, der Schlade Seite (635 mNN) im Osten und dem Nesselbergskopf (671 mNN) im Nordosten geprägt und dazwischen hat sich das Arfetal in das Gelände eingeschnitten.

Der Standort der WEA 8 mit den Mittelpunktkoordinaten im ETRS/UTM 32N-System von Re 461782 und Ho 5654690 und einer Höhe von ca. 598,3 mNHN (im Zentrum) liegt ca. 230 m südwestlich der Erhebung des Schmale Seite (635 mNHN) am nach Südwesten zum Arfetal abfallenden Hang am östlichen Rand des geplanten Windparks.

Das Baugrundstück befindet sich in einer Waldfläche und grenzt im Südwesten an einen Waldwirtschaftsweg an. Für die Durchführung der Baugrunderkundung, d.h. Erreichbarkeit für ein Bohrgerät und das zugehörige Equipment wurde eine Rampe zum Zentrum der Anlage hergestellt und eine kleine Schneise vom südwestlich angrenzenden Weg zum Zentrum der Anlage hergestellt.

Zur Bearbeitung des Baugrund-/Gründungsgutachtens und als Vorinformation zum Bauvorhaben wurden uns bisher folgende Planunterlagen zur Verfügung gestellt:

- **Prüfbericht für eine Typenprüfung „Prüfung der Standsicherheit - Hybridturm T20“**, Prüfnr.: 3108363-13-d (15 Seiten [mit Anlagen]), aufgestellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Prüfamts für Standsicherheit für die bautechnische Prüfung von Windenergieanlagen, 80686 München, am 17.02.2020
- **Prüfbericht für eine Typenprüfung „Prüfung der Standsicherheit - Flachgründung“**, Prüfnr.: 3108363-23-d, (201 Seiten [mit Anlagen]), aufgestellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Prüfamts für Standsicherheit für die bautechnische Prüfung von Windenergieanlagen, 80686 München, am 17.02.2020
- **Gutachterliche Stellungnahme für Lastannahmen zur Turmberechnung der Vestes V162-5.6 MW mit 169 m Nabenhöhe (Hybrid-Turm, Entwurfslebensdauer 20 Jahre) für Windzone WZ2GK2 (S)**, Berichts-Nr. L-05629-A052-3 Rev. 1, (243 Seiten [mit Anlagen]), aufgestellt von DNV GL Energy Renewables Certification, Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH, 20457 Hamburg, am 05.02.2020
- **Plan „Übersichtsplan 1/2, Übersicht WEA 2 - 6 [Planung]**, M.: 1:5000, aufgestellt von Windenergie Wenger-Rosenau GmbH & Co. KG, 16816 Neuruppin, gezeichnet am 29.07.2021
- **Plan „Übersicht 8 WEA [Entwurf]**, M.: 1:10000, aufgestellt von Windenergie Wenger-Rosenau GmbH & Co. KG, 16816 Neuruppin, gezeichnet am 20.04.2021
- **Koordinatenliste der Anlagen-Mittelpunkte**, Stand: 01.06.2021
- **Liste „Geländehöhen der Anlagen-Mittelpunkte“**, übermittelt von Dipl.-Ing. Burghaus, ÖbVI, Stand: 14.10.2021, Messgenauigkeit ca. $\pm 10 - 15$ cm

3 Geotechnische Untersuchungen

3.1 Allgemeines

Die geotechnischen Untersuchungen des Baugrundes und der örtlichen Situation für die geplante Errichtung der Windenergieanlage WEA 8 im Windpark Ohrenbach wurden am 25.06.2021 mit der Durchführung von fünf schweren Rammsondierungen DPH nach DIN EN ISO 22476-2 zur Ermittlung der relativen Baugrundfestigkeiten sowie zur Abgrenzung eines vorhandenen Grenzhorizontes begonnen. Die Felduntersuchungen wurden am 19. - 20.07.2021 mit dem Niederbringen einer Bohrung nach DIN EN ISO 22475-1 Tabelle 2 + 5 zur Schaffung eines *direkten* Baugrundaufschlusses und der Wiederverfüllung des Bohrloches abgeschlossen.

Die Bohrung wurde zur Schaffung eines direkten Baugrundaufschlusses mit der Gewinnung durchgehend gekernter Boden- und Felsproben und damit zur Beurteilung der Baugrundverhältnisse im Bereich der geplanten neuen Windenergieanlage abgeteuft. Die Rammsondierungen dienten zur Ermittlung geotechnischer insitu Kenngrößen nach DIN EN 1997-2, aus denen geotechnische Kennwerte für die Bemessung nach DIN EN 1997-1 abgeleitet werden, sowie zur Abgrenzung von Festigkeits- und Grenzhorizonten.

Die Festlegung der Bohr- und Sondierpunkte wurde in Anlehnung an die DIN 4020 und die örtlichen Gegebenheiten an definierten Punkten in Form eines Rasters (hier zentralsymmetrische Anordnung) ausgewählt, um eine flächenhafte Erkundung des Baugrundes im Bereich des Turmfundamentes zu erzielen.

Die geodätische Einmessung der einzelnen Aufschlusspunkte bzw. der Ansatzhöhen erfolgte mit einer GPS-Vermessung. Die Ansatzhöhen sind auf das Normalhöhennull (mNHN) im System des Deutschen Haupthöhennetzes (DHHN 2016) bezogen.

Die Lage der durchgeführten Untersuchungen im Bereich des Baugrundstückes wurde mit den Orten der Bohrung und Sondierungen auf dem Grundriss des Baugeländes eingemessen. Diese Einmessung wurde in einem Lageplan dargestellt und ist dem Baugrund-/ Gründungsgutachten als **Anlage 1** beigefügt. Als Grundplan diente ein Auszug aus dem Plan „Übersichtsplan 1/2, Übersicht WEA 7 - 9 [Planung] des Büros Windenergie Wenger-Rosenau GmbH & Co. KG, 16816 Neuruppin.

3.2 Direkter Aufschluss mit einer Bohrung nach DIN EN ISO 22475-1

Bohrung BK WEA 8

Die Bohrung BK WEA 8 wurde von dem von der Firma Krug Energie direkt beauftragten Bohrunternehmen Stölben GmbH, 56856 Zell/Mosel, mit Bohrverfahren nach Tabelle 2 und 5 der DIN EN ISO 22475-1 abgeteuft. Der Bohrpunkt für BK WEA 8 wurde ca. 3 m neben dem Zentrum des geplanten Fundamentes der Windenergieanlage festgelegt. Die Bohrung wurde als Rammkernbohrung mit Einfachkernrohr im Überlagerungsbereich im Trockenbohrverfahren und als Rotationskernbohrung im Felsbereich mit Wasserspülung mit dem Doppelkernrohr abgeteuft und wurde bei einer Bohrtiefe von 12 m planmäßig beendet. Das Spülwasser wurde aus dem Trinkwassernetz in Bad Berleburg entnommen und mit einem Wasserfass zur Bohrstelle transportiert.

Die Lage der Bohrung ist im Lageplan der **Anlage 1** dargestellt.

Bohrung BK WEA 8

Die Bohrung BK WEA 8 wurde ca. 3 m neben dem Mittelpunkt des geplanten Kreisringfundamentes der Windenergieanlage WEA 8 niedergebracht. Der Oberboden war im Bereich um das Zentrum der Anlage mit der Herstellung einer Arbeitsebene für das Bohrgerät bereits abgetragen worden.

Bohrung BK WEA 8 (Ansatzpunkt = 597,80 mNHN)

Die Bohrung BK WEA 8 ergab folgendes Bohrprofil:

- | | |
|---------------|--|
| 0,00 – 0,60 m | Schluff, stark kiesig, steinig, weich bis steif, mit Wurzeln, hellbraun |
| 0,60 – 1,70 m | Tonstein, stark bis vollständig verwittert, plattig, grusig bis stückig, schlechte Kornbindung, dicht, nichtkörnig, hellbraun-schwarzbraun |
| 1,70 – 3,80 m | Tonstein, Schluffstein, stark verwittert, grusig bis stückig, schlechte Kornbindung, dicht nichtkörnig, hellbraun-dunkelbraun |

- 3,80 – 7,00 m Tonstein, mäßig verwittert, plattig, gute bis sehr gute Kornbindung, dicht, nichtkörnig, senkrecht geschiefert, teil schluffige Kluffüllungen, grau-schwarzgrau
- 7,00 – 9,10 m Tonstein, schwach verwittert bis frisch, kompakt, sehr gute Kornbindung, teils plattig, senkrecht geschiefert, dicht, nichtkörnig, braun
- 9,10 – 9,70 m Tonstein, stark schiefrig, mäßig verwittert, gute bis sehr gute Kornbindung, dicht, vertikale Schichtflächen, braun-schwarzbraun
- 9,70 – 12,00 m Tonstein, schwach verwittert bis frisch, kompakt, sehr gute Kornbindung, vertikal geschiefert, dicht, nichtkörnig, grau-schwarzbraun
- Ein Grund-/Schichtenwasser wurde im Bohrloch der Bohrung BK WEA 8 im Beobachtungszeitraum nicht festgestellt.

Die Bohrung BK WEA 8 wurde planmäßig in einer Tiefe von 12,00 m unter GOF bei 585,80 NHN beendet. Das Bohrloch wurde nach Beendigung der Bohrarbeiten mit hoch quellaktivem Tongranulat verfüllt.

Die Ergebnisse des direkten Aufschlusses (Bohrung BK WEA 8) sind in der **Anlage 2.1** als Bodenprofil nach DIN 4023 dargestellt.

3.3 Indirekte Aufschlüsse mit Rammsondierungen nach DIN EN ISO 22476-2

Rammsondierungen DPH

Die Lage der Sondierpunkte ist im Lageplan der **Anlage 1** dargestellt.

Schwere Rammsondierungen DPH-1 bis DPH-5

Zur Ermittlung der Baugrundfestigkeiten und zur Abgrenzung der Verwitterungshorizonte (Überlagerung) sowie des Grenzhorizontes wurden im Bereich des Baugrundstücks fünf schwere Rammsondierungen DPH nach DIN EN ISO 22476-2 durchgeführt. Die Rammsondierungen dienten zur Ermittlung geotechnischer insitu Kenngrößen nach DIN EN 1997-2, aus denen geotechnische Kennwerte für die Bemessung nach DIN EN 1997-1 abgeleitet werden, sowie zur Abgrenzung von Festigkeits- und Grenzhorizonten.

Die Rammsondierungen DPH wurden im Zentrum und in einem Radius von 12,25 m um das Zentrum der geplanten Windenergieanlage absondiert und waren mit Rammwiderständen $N_{10} \geq 50$ Schläge pro 10 cm Eindringung planmäßig zu beenden.

Die Sondierungen ergaben oberflächennah bis in eine Tiefe von 0,3 bis 0,8 m eine Zone mit sehr geringen bis geringen Rammwiderständen mit 1 bis 4 (Schlägen pro 10 cm Eindringung)*. Nachfolgend wurde ein Anstieg auf wechselnde mittlere bis höhere Schlagzahlen und ab Tiefen von 1,5 bis 2,6 m eine weitere Zunahme auf höhere Sondierwiderstände ($N_{10} \geq 10^*$) gemessen. Darunter folgte ein meist treppenförmiger Anstieg der Rammwiderstände, bevor die Sondierungen in einer Tiefe von 2,3 bis 3,0 m am Grenzhorizont, ausgewiesen mit $N_{10} \geq 50$ beendet wurden.

Die Sondierungen DPH-1 bis DPH-5 wurden bei ca. 593,6 bis 598,1 mNHN mit Erreichen des Grenzhorizontes beendet.

In der Zusammenfassung lassen sich der direkte und die indirekten Aufschlüsse wie folgt bewerten:

In Verbindung mit dem direkten Aufschluss sind die -nach dem erfolgten Oberbodenabtrag gemessenen sehr geringen bis geringen Rammwiderstände auf eine stark kiesige, steinige Schluffschicht in weicher bis steifer Konsistenz zurückzuführen. Der Anstieg der Sondierwiderstände auf mittlere und höhere N_{10} -Werte ist mit dem Erreichen des Verwitterungshori-

zontes der Styliolinenschiefer- und sandstein-Folge in Form von stark bis vollständig verwitterten Tonsteinen, grusig bis stückig, mit schlechter Kornbindung verbunden, die auch den Grenzhorizont der Sondierungen bilden. Im tieferen Untergrund wurden schwach verwitterte bis frische, zwischen 9,1 und 9,7 m mäßig verwitterte Tonsteine, plattig/kompakt, mit guter bis sehr guter Kornbindung erbohrt.

In der nachfolgenden Tabelle werden die Koten für die Rammwiderstandshorizonte mit $N_{10} \geq 10$ und $N_{10} \geq 50$ für den Bereich des geplanten Fundamentes dargestellt.

Tabelle 3.3-1: Höhenkoten Rammwiderstandshorizont $N_{10} \geq 10$ und $N_{10} \geq 50$ [Schläge/10 cm]

DPH	Höhenkote Sondieransatzpunkt	Höhenkote (Tiefe u. ASP) RW-Horizont $N_{10} \geq 10$ [Schläge/10 cm]	Höhenkote (Tiefe u. ASP) RW-Horizont $N_{10} \geq 50$ [Schläge/10 cm]
Nr.	mNHN	mNHN (m)	mNHN (m)
DPH-1	598,26	596,46 (1,8)	595,86 (2,4)
DPH-2	600,87	598,97 (1,9)	598,07 (2,8)
DPH-3	599,85	598,25 (1,6)	597,25 (2,6)
DPH-4	596,56	593,96 (2,6)	593,56 (3,0)
DPH-5	597,90	596,40 (1,5)	595,60 (2,3)

Die Ergebnisse der schweren Rammsondierungen sind in der **Anlagengruppe 3** (Anlagen 3.1 - 3.10) in Form von Sondierprotokollen und Rammdiagrammen nach DIN EN ISO 22476-2 zusammengestellt.

3.4 Laboruntersuchungen

Die bei der Kernbohrung BK WEA 8 gewonnenen Bohrkerne aus der Dachschieferfolge wurden zur Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit an das Labor FeBoLab GmbH, 91747 Westheim übergeben.

3.4.1 Ermittlung der einaxialen Druckfestigkeit q_u mittels Punktlastversuchen gemäß den Empfehlungen Nr. 5 der DGGT

Die Ermittlung der einaxialen Druckfestigkeit q_u wurde über Korrelationsbeziehungen aus Punktlastversuchen gemäß den Empfehlungen Nr. 5 der DGGT durchgeführt. Die Ergebnisse der Punktlastversuche sind mit der Angabe der Probenabmessungen, der Bruchlast und den mit Korrelationsbeziehungen errechneten Punktlastindex $I_{s(50)}$ der Felsproben tabellarisch dargestellt (siehe auch Versuchsprotokoll in der **Anlage 5.1 - 5.3**).

Tabelle 3.4-1: Punktlastindex $I_{s(50)}$

Aufschluss Bohrung (Nr.)	Entnahmetiefe unter Ansatzpunkt [m]	Punktlastindex $I_{s(50)}$ [MN/m ²]
BK WEA 8	2,00 - 2,20	1,433 (s)
BK WEA 8	2,40 - 2,60	0,806 (s)
BK WEA 8	2,80 - 3,00	1,425 (s) 0,681 (p)
BK WEA 8	3,20 - 3,40	1,543 (s) 0,792 (p)
BK WEA 8	3,80 - 4,00	1,683 (s) 0,832 (p)
BK WEA 8	4,00 - 4,20	0,641 (s)
BK WEA 8	4,40 - 4,60	1,254 (s) 0,577 (p)
BK WEA 8	4,80 - 5,00	1,116 (s) 0,753 (p)
BK WEA 8	5,20 - 5,40	1,402 (p)
BK WEA 8	5,40 - 5,60	1,264 (s) 0,384 (p)
BK WEA 8	5,80 - 6,00	1,325 (s)

Der untersuchte Tonstein weist im Punktlastversuch unter Ansatz des Korrekturdiagramms der BAW (Korrekturfaktor = 20) eine einaxiale Druckfestigkeit q_u von 13 bis 34 [MN/m²] (senkrechte Belastungsrichtung) bzw. 8 bis 17 [MN/m²] (parallele Belastungsrichtung) auf.

Das Ergebnis der Laboruntersuchungen ist in Form von Versuchsprotokollen in der **Anlagegruppe 5** (Anlage 5.1 - 5.3) diesem Baugrund-/Gründungsgutachten beigefügt.

4 Geologie und Morphologie

4.1 Allgemeine Geologische Situation

Die Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen, Blatt Nr. 4916 Bad Berleburg weist für das Baugelände der WEA 8 die Styliolinschiefer- und Sandstein-Folge der Givet-Stufe aus der Formation Mitteldevon aus. Südwestlich angrenzend ist der Übergang zum Oberen Quarzit ausgewiesen. Das Gebirge fällt hier mit einem Winkel von ca. 51° nach Norden ein.

Die durchgeführten geotechnischen Untersuchungen stehen in Einklang mit der geologischen Karte und zeigen, dass am Standort der WEA 8 die Styliolinschiefer- und sandstein-Folge ansteht. Die Styliolinschiefer- und sandstein-Folge besteht aus Tonstein, geschiefert, dunkel- bis grüngrau und schwarz, teils mit Styliolinen und Tentaculiten; Sandstein, grau bis grüngrau, z.T. stark karbonatisch, mit Sedimentstrukturen und örtlich reich an Styliolinen und bildet in diesem Bereich das Liegende.

4.2 Erdbebenzone

Das Baugrundstück befindet sich in der Erdbebenzone 0 nach DIN EN 1998-1/NA. Für die Erdbebenzone 0 ist der Grad der Erdbebengefährdung als so gering einzuschätzen, dass ein Nachweis der Standsicherheit für den Lastfall Erdbeben nicht erforderlich ist.

4.3 Morphologie

Der Windpark Ohrenbach befindet sich südöstlich der Stadt Bad Berleburg im Waldgebiet zwischen den Einzelgehöften Lützelbach/Steinbach im Nordwesten, den Dörfern Arfeld im Südwesten, Schwarzenau mit dem Oberen Hüttental im Südosten und dem Hof Brücher im Nordosten. Neben den geplanten 8 Anlagen erfolgen benachbart für 4 bereits genehmigte Anlagen der Eder Energy Erdarbeiten für die Erschließung und Baufeldvorbereitung.

Das Gelände wird von den Erhebungen des Großen Prenzenberger Kopfes (653 mNN) im Nordwesten, Ohrenbachsrücken (593 mNN) im Südwesten, dem Hahnschuß (600 mNN) im Südosten, der Schlade Seite (635 mNN) im Osten und dem Nesselbergskopf (671 mNN) im Nordosten geprägt und dazwischen hat sich das Arfetal in das Gelände eingeschnitten.

Der Standort der WEA 8 liegt ca. 230 m südwestlich der Erhebung des Schlade Seite (635 mNN) am nach Südwesten zum Arfetal abfallenden Hang am östlichen Rand des geplanten Windparks. Die Hangneigung beträgt am Anlagenstandort ca. 10°.

5 Baugrundbeurteilung

Die geotechnischen Untersuchungen zeigen, dass unter dem Wald-/Oberboden eine stark kiesige, steinige Schluffschicht in weicher bis steifer Konsistenz und darunter ab 0,6 m Tonstein, stark bis vollständig verwittert, mit schlechter Kornbindung ansteht. Anschließend folgen ab einer Tiefe von ca. 1,7 m stark verwitterte Tonsteine/Schluffsteine, grusig bis stückig, mit schlechter Kornbindung, die den Grenzhorizont der Sondierungen bilden. Nachfolgend wurden ab 3,8 m schwach verwitterte bis frische, zwischen 9,1 und 9,7 m mäßig verwitterte Tonsteine, plattig/kompakt, mit guter bis sehr guter Kornbindung erbohrt, denen bis zum Ende der Bohrung bei 12,0 m schwach verwitterte bis frische, kompakte Tonsteine mit sehr guter Kornbindung folgten.

Die Styliolinschiefer- und sandstein-Folge stellt in den Zonen mit höheren Sondierwiderständen einen ausreichend tragfähigen Baugrund für die Gründung der Windkraftanlage und am bzw. unterhalb dem Grenzhorizont der Sondierungen einen gut tragfähigen Baugrund für die Gründung der Windkraftanlage dar. Der Grenzhorizont der Sondierungen weist aufgrund der Hanglage eine Höhendifferenz von ca. 4,5 m innerhalb der Fundamentfläche auf.

Ein Grund-/Schichtenwasser wurde im Bohrloch der Bohrung BK WEA 8 -im Zeitraum der Grundwasserbeobachtung- nicht festgestellt.

6 Gründungsempfehlungen

6.1 Gründungsvariante

Gründung der Windkraftanlage mit einem Kreisfundament auf dem Tonsteinhorizont der Styliolinenschiefer- und sandstein-Folge

Allgemeines

Das Gelände im Bereich der geplanten Windenergieanlage WEA 8 fällt nach Südwesten von ca. 600,9 mNHN auf 596,6 mNHN um ca. 4,3 m ab. Daraus resultiert eine Hangneigung von ca. 10°. Die Geländehöhe im Zentrum der Anlage beträgt ca. 598,3 mNHN.

Für die Gründung der Windenergieanlage wird auf der Grundlage der Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen und der Hangsituation eine Gründungskote (UK Sauberkeitsschicht) bei ca. 595,70 mNHN empfohlen. Diese Kote liegt ca. 0,9 bis 5,2 m unter der derzeitigen Geländeoberfläche.

Die empfohlene Gründungskote liegt nach den Ergebnissen der geotechnischen Untersuchungen vorwiegend in stark verwitterten Tonsteinen/Schluffsteinen unterhalb dem Grenzhorizont der Sondierungen. Im talseitigen Randbereich bei DPH-4 sind zunächst die anstehenden gering tragfähigen Boden-/Felszonen in einer Mächtigkeit von ca. 1,7 m auszutauschen.

Ein Grund-/Schichtenwasser wurde bei der Bohrung BK WEA 8 im Beobachtungszeitraum nicht festgestellt. Zur Wasserhaltung im Bauzustand und Sicherung gegen Aufschwimmen im Endzustand wird in Verbindung mit der Gefällesituation der Einbau einer drucklosen, wartungsfreien Drainage empfohlen, siehe nachfolgende Empfehlungen.

Im Bereich von DPH-4 ist bei der empfohlenen Gründungskote noch ein Bodenaustausch zum Ausräumen der geringer tragfähigen Zonen bis zum Erreichen der mäßig verwitterten Tonsteine erforderlich, um eine annähernd setzungsfreie, insbesondere aber verkantungs-/verkipfungsfreie Auflagerung des hohen und schlanken Bauteiles sicherzustellen. Die Austauschmächtigkeit beträgt hier voraussichtlich ca. 1,7 m.

Nach dem vorliegenden Prüfbericht für eine Typenprüfung „Prüfung der Standsicherheit - Flachgründung“ zur geplanten Windenergieanlage vom Typ Vestas V162, 6,0 MW mit einer Nabenhöhe von 169 m kann die Gründung als Flachgründung mit einem Kreisfundament mit

einem Durchmesser D_A von 24,5 m erfolgen, wobei der höchste, für den Auftrieb maßgebende Wasserstand bei 0,24 m über Fundamentunterkante liegen darf.

Im genannten Prüfbericht werden für den Baugrund folgende Anforderungen gestellt:

3.3 Baugrund

Die Mindestwerte der dynamischen und statischen Drehfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Fundament betragen gemäß Dokument [4] $k_{\varphi,dyn} \geq 95 \text{ GNm/rad}$ und $k_{\varphi,stat} \geq 40 \text{ GNm/rad}$.

Der höchste für den Auftrieb maßgebende Wasserstand liegt bei 0,24 m über Fundamentunterkante.

...

Auflagen

Baugrund

1. Die vorhandenen Bodenkennwerte, die Zuordnung des Bodens zu Expositionsklassen nach DIN EN 1992-1-1/3/3 und der höchste für den Auftrieb maßgebende Wasserstand sind für den jeweiligen Standort zu ermitteln und im geotechnischen Untersuchungsbericht zu beschreiben.
2. Grundbautechnische Berechnungen sind im Rahmen des geotechnischen Entwurfsberichts durchzuführen. Die Schnittgrößen an Fundamentunterkante sind in [2] angegeben.
3. Die Mindestwerte der dynamischen und statischen Drehfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Fundament gemäß Abschnitt 3.3 müssen für den jeweiligen Standort nachgewiesen werden. Dabei kann das Fundament in guter Näherung als Starrkörper angenommen werden.
4. Die im geotechnischen Entwurfsbericht angenommenen Baugrundverhältnisse sind beim Baugrubenaushub vom Bodengutachter zu überprüfen und zu bestätigen. Vor Aufbringen der Sauberkeitsschicht ist die Tragfähigkeit der Baugrubensohle durch den Bodengutachter zu bestätigen.

Aus den geotechnischen Untersuchungen und den v.g. technischen Anforderungen ergeben sich die nachfolgenden Empfehlungen:

Herstellung des Baugrubenaushubs und des Bodenaustausches

Die empfohlene Gründungskote mit 595,70 mNHN liegt -bis auf den Bereich DPH-4- unterhalb bzw. am Grenzhorizont der Sondierungen mit $DPH-N_{10} \geq 50^*$ und damit im gut tragfähigen Tonsteinhorizont.

Zur Erreichung der Gründungssohle ist nach dem Abtrag des Ober-/Waldbodens zunächst die stark kiesige, steinige Schluffschicht in weich bis steifer Konsistenz auszuräumen und zu beseitigen.

Anschließend sind die stark bis vollständig verwitterten Tonsteine mit schlechter bis mäßiger Kornbindung bis zur Gründungssohle auszuheben bzw. auszubrechen.

Der Baugrubenaushub sollte mit einem Kettenbagger, der mit einem Baggerlöffel mit Felszähnen ausgestattet ist, erfolgen, um die erkundeten Tonsteine lösen zu können. Der Endaushub, d.h. das Abziehen der Baugrubensohle sollte zur Vermeidung von tiefer reichenden Auflockerungen mit einem Baggerlöffel ohne Zähne oder einer Fräse erfolgen. Gegebenfalls ist die Gründungssohle von Hand nachzuarbeiten.

Anschließend ist im Bereich von DPH-4 und Übergangsbereich zur DPH-4 -zur Geländeeinbindung/Geländebruchsicherheit- ein Bodenaustausch bis zur Kote $N_{10} \geq 50^*$ bis in eine Tiefe von ca. 2,6 m unter GOF herzustellen. Dieser Bodenaustausch ist zur Erzielung einer Lastausbreitung mit einem Überstand von mindestens der Höhe des Tragschichtaufbaues/ Bodenaustausches über die Außenkante des Kreisfundamentes hinauszuführen, was bei DPH-4 eine Baugrubenverbreiterung der kreisrunden Baugrube erforderlich macht.

Der Bodenaustausch ist mit

Variante a) durch gering verwittertes Tonsteinmaterial aus den benachbarten Aushubbereichen zu ersetzen mit einem qualifizierten, lagenweisen Einbau $d \leq 25$ cm mit den Anforderungen für $E_{v2} \geq 120$ MN/m², $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,0$, lagenweise nachgewiesen

oder

Variante b) das ausgehobene Material durch Zugabe von Zement qualifiziert zu verbessern und danach lagenweise wieder bis zur UK Sauberkeitsschicht einzubauen und qualifiziert zu verdichten.

Zur qualifizierten Bodenverbesserung bzw. Verbesserung von granularem Felsmaterial wird ein Bindemittelgehalt von ca. 3 Gew.-% empfohlen, woraus eine Menge von ca. 60 kg je m³

verbesserten Boden-/Felsbruchmaterial resultiert. Das Bindemittel kann mit einer Anbaufräse, Schaufelseparator oder anderem geeigneten Gerät eingearbeitet und das Aushubmaterial mit dem Bindemittel vermischt werden. Beim Einfräsen des Bindemittels kann ggf. eine dosierte Wasserzugabe für die Hydratation des Zementanteils erforderlich werden. Die Wassermenge ist bei der Bauausführung mit einer Beurteilung des Bindemittel-Boden-Fels-Gemisches örtlich festzulegen. Anschließend wird das Boden-Bindemittel-Gemisch mit einem geeigneten Verdichtungsgerät (z.B. Walzenzug, optimal mit Stampffußbandage oder Bagger-Anbauverdichtungsplatte) in Schüttagungen ≤ 25 cm lagenweise eingebaut und verdichtet.

Ergänzend wird auf die Empfehlungen im Merkblatt über Bodenverfestigungen und Bodenverbesserungen mit Bindemitteln der FGSV, Ausgabe 2004 hingewiesen.

Die qualifizierte Boden- bzw. Felsverbesserung ist ohne Arbeitsunterbrechungen in einem Zuge herzustellen, so dass ein Einbau im „frischen“ Zustand erfolgt und der Abbindeprozess nicht unnötig lange durch die Verdichtungsarbeiten beeinflusst wird.

Ein Befahren des Planums nach der qualifizierten Bodenverbesserung mit Radfahrzeugen ist zu vermeiden.

Die Festigkeit des verbesserten Materials ist mit einaxialen Druckversuchen zu prüfen und die Druckfestigkeit mit $q_u \geq 5$ MN/m² festzulegen.

Die Festlegungen zu den Varianten a) oder b) können im Rahmen des Baugrubenaushubs bzw. der Sohlabnahme getroffen werden.

Der Aushub/Ausbruch der stark verwitterten Tonsteine ist auf einer Mietschiff neben dem Anlagenstandort zwischenzulagern, durch eine Folienabdeckung vor Witterungseinflüssen zu schützen und nach Fertigstellung des Fundamentes für die Hinterfüllung und Überschüttung wieder lagenweise einzubauen, siehe auch Empfehlungen zur Bauteilhinterfüllung und -überschüttung.

Zum Schutz der Gründungssohle vor Witterungseinflüssen ist die Sauberkeitsschicht unmittelbar nach dem Aushub bzw. dem teilweisen Bodenaustausch und Tragschichtaufbau und einer Abnahme durch den geotechnischen Sachverständigen einzubauen.

Nach dem das Fundament nicht in das ständige Grundwasser eintaucht, tritt kein Betonangriff aus dem Grundwasser auf das Fundament auf und der Fundamentbeton kann für die Expositionsklasse XA 0 ausgelegt werden.

**Bemessungswert des Sohlwiderstandes nach DIN EN 1997-1 (EC 7-1)/
DIN 1054:2010-12**

Für die Gründungssohle auf den stark/mäßig verwitterten Tonsteinen der Styliolinenschiefer- und sandstein-Folge kann der Sohlwiderstand wie nachfolgend angegeben angesetzt werden:

Kreisfundament

$$\sigma_{R,d} \leq 475^* \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

mit

- $d \geq 1,2$ [m] Einbindetiefe unter GOF; $DPH-N_{10} \geq 20^*$
- Gründungskote: Tonstein, stark/mäßig verwittert
sowie v.g. Qualitätsanforderung für die Austauschbereiche
- Frostsicherheit und Geländeanschüttung $h \geq 2$ m (im Bereich DPH-4 und Übergang)

Der angegebene Sohlwiderstand stellt bei der Gründung den maximalen Sohlwiderstand dar.

*) Anmerkung:

Dies entspricht einer zulässigen Sohlspannung $\sigma_{k,vorh}$ von ca. 339 [kN/m²] nach DIN 1054:2005-01.

Wichtiger Hinweis:

Der Bemessungswert des Sohlwiderstandes stellt keine zulässige Sohlspannung nach DIN 1054:2005 oder früheren Ausgaben der DIN 1054 dar !

Nachweisverfahren nach DIN 1054:2010-12 in Verbindung mit EC 7

Es ist nachzuweisen, dass die Bemessungswerte $\sigma_{E,d}$ der Sohldruckbeanspruchung höchstens so groß sind wie die Bemessungswerte $\sigma_{R,d}$ des Sohlwiderstands: $\sigma_{E,d} \leq \sigma_{R,d}$

Der Bemessungswert der Sohldruckbeanspruchung ergibt sich aus der ungünstigsten Einwirkungskombination. Hierfür kommen folgende Wege in Frage:

- Sofern die Schnittgrößen mit charakteristischen bzw. repräsentativen Werten der Einwirkungen ermittelt wurden, ergibt sich $\sigma_{E,d}$ aus den charakteristischen bzw. repräsentativen Vertikalbeanspruchungen $N_{G,k}$ und $N_{Q,k}$ bzw. $N_{Q,rep}$, multipliziert mit den Teilsicherheitsbeiwerten γ_G und γ_Q für Grenzzustände GEO und das Nachweisverfahren 2 (GEO-2).

- Sofern die Schnittgrößen mit Bemessungswerten der Einwirkungen ermittelt wurden, ergibt sich der Bemessungswert der Sohldruckbeanspruchung aus dem Bemessungswert der Vertikalbeanspruchung $V_d = N_d$.

Eine Berechnung der Setzungen des Fundamentes unter Ansatz der charakteristischen statischen Lasten ergab maximale Setzungen bis 1,9 cm (mit Moment aus Turm) bzw. 0,6 cm (nur Normalkraft), siehe Fundamentberechnung in der **Anlagengruppe 6**.

Ein Nachweis zur Geländebruchsicherheit war infolge der Lage der Gründungsebene im talseitigen Bereich mit dem Bodenaustausch auf dem Felshorizont und der erforderlichen Ballastierung des Geländes zum Verwitterungsschutz und Frostsicherheit nicht zu führen.

Die unterhalb der Gründungssohle erkundeten Tonsteine unterliegen nicht einer Konsolidation oder Kriechverformungen, wie sie bei bindigen Böden auftreten. Damit sind für die Baugrundverhältnisse am geplanten Anlagenstandort keine Berechnungen des Konsolidations- und Kriechverhaltens über die zu betrachtende Standzeit von 20 Jahren erforderlich.

Zur Qualitätssicherung, d.h. zur Kontrolle des Bemessungsansatzes des Sohlwiderstandes sollten die Gründungskoten vom geotechnischen Sachverständigen in Form einer Prüfabnahme abgenommen werden.

Herstellung einer drucklosen, wartungsfreien Dränage

Aufgrund der Gefällesituation ist am Standort der WEA 8 die Herstellung einer drucklosen, wartungsfreien Dränage möglich.

Mit dem Endaushub der Baugrube zur Herstellung des Turmfundamentes ist am Rand ein flacher Graben für die Ableitung der Dränage herzustellen, so dass im Bauzustand eine Ableitung des der Baugrube zulaufenden Niederschlags-/Sickerwassers im freien Gefälle nach Südwesten (Tiefpunkt bei DPH-4) möglich ist.

Nach der Herstellung des Turmfundamentes ist im Arbeitsraum in Höhe der Sauberkeitsschicht eine Dränage ringförmig um das Fundament mit einem Gefälle von mindestens 1 ‰ herzustellen. Die Dränage ist auf einer Sohlgerinne aus Beton zu verlegen, dass ein Gefälle in radialer Richtung nach außen aufweist, so dass kein Dränwasser dem Fundament zufließen kann. Die Fläche aus dem Überstand der Baugrube bei DPH-4 ist mit einem Gefälle (Sohlfläche aus Beton) zur Dränage hin auszubilden. Die Dränage ist aus einem Dränrohr DN 150 mit einer Ummantelung aus Filtersand 0,2/2 mm und einer filterstabilen Abgrenzung aus einem Geotextil (Masse $\geq 250 \text{ g/m}^2$) zum anstehenden Boden und der über der Dränage

einzubauenden Bauwerkshinterfüllung herzustellen. Die Ableitung des Dränwassers erfolgt über 2 Auslauf-/ Vollrohre zum Geländetiefpunkt nach Südwesten. Am Auslaufpunkt der Dränage sollte eine Sickerrigole (Schottergraben) mit umlaufendem Geotextil, einem Gefälle von 5 % und einer Verfüllung z.B. mit Grobschotter 20/100 mm hergestellt werden, um einen konzentrierten Auslauf des Dränwassers und mit dem hier einzuleitenden Niederschlagswasser vom Turmschaft eine mögliche Vernässung im Waldbereich zu vermeiden. Die Rigole sollte mit einem Notüberlauf an den benachbarten Wegseitengraben versehen werden. Zur Vermeidung eines stärkeren Dränwasserzulaufes ist eine Geländeanpassung d.h. Anschüttung mit bindigem Material -mit einem talseitigen Gefälle- bei DPH-4 sowie zum Verwitterungsschutz und zur Frostsicherheit erforderlich.

Dynamische Drehfedersteifigkeit $k_{\varphi, \text{dyn}}$

Die dynamische Drehfedersteifigkeit wird für starre Kreisfundamente mit nachfolgender Gleichung berechnet:

$$k_{\varphi, \text{dyn}} = \frac{8 \cdot G \cdot r^3}{3 \cdot (1 - \nu)}$$

mit

r Radius des Kreisfundamentes = 12,25 [m]

G Dyn. Schubmodul

ν Poissonzahl, $\nu = 0,25$ (für Tonstein)

Dyn. Schubmodul:

$$G = \frac{E_{\text{dyn}}}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

mit $E_{\text{dyn}}/E_{\text{stat}} \approx 6$ (nach Placzek)

$$E_{\text{stat}} = \frac{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2}{1 - \nu} \cdot E_{s, \text{stat}}$$

Tonsteinhorizont unter dem Fundament (ab 597,7 mNHN)

$E_{s, \text{stat}} = 80$ [MN/m²] (unterster Wert für Tonsteinhorizont),
siehe Homogenbereich X1 - Kapitel 6.4

$$\rightarrow E_{\text{stat}} = 0,833 \cdot 80$$
 [MN/m²] = 66,6 [MN/m²]

$$\rightarrow E_{\text{dyn}} = 400$$
 [MN/m²]

$$\rightarrow G_{\text{dyn}} = 160$$
 [MN/m²] = 0,16 [GN/m²]

$$k_{\varphi, \text{dyn}} = \frac{8 \cdot 0,160 \cdot 12,25^3}{3 \cdot (1 - 0,25)} = 1.045,767$$
 [GNm/rad] > 95 [GNm/rad] = min. $k_{\varphi, \text{dyn}}$

Die in den Herstellerangaben gestellte Anforderung mit einer Mindestdrehfedersteifigkeit $k_{\varphi, dyn}$ von 95 [GNm/rad] wird für den erkundeten Baugrund mit einem Wert von 1.045 [GNm/rad] überschritten. Die Anforderungen werden mit einer hohen Sicherheit erfüllt.

Die Anforderung an die statische Mindestdrehfedersteifigkeit wird damit auch sicher erfüllt.

6.2 Baugrubensicherung, Wasserhaltung und Bauteilhinterfüllung

Sicherung der Baugrube

Aufgrund der Platzverhältnisse kann die Baugrube für die Herstellung der Fundamentplatte mit einer frei geböschten Baugrube erfolgen. Die vorgenannten Bereiche können unter folgenden angegebenen Böschungswinkeln β_{zul} frei geböscht werden:

Schluff, kiesig, steif	$\beta_{zul} \leq 45$ [°] Standzeit temporär
Tonstein, stark bis vollständig verwittert	$\beta_{zul} \leq 60$ [°] Standzeit temporär
Tonstein/Schluffstein, stark/mäßig verwittert, plattig, schlechte - mäßige/gute Kornbindung	$\beta_{zul} \leq 70$ [°] Standzeit temporär

Die angegebene Böschungsneigung gilt für unbelastete Böschungen.

Wasserhaltung

Die geotechnischen Untersuchungen ergaben kein Grund-/Schichtenwasser.

Zur Wasserhaltung im Bauzustand wird empfohlen, dass in Verbindung mit dem Aushub der Baugrube und der Herstellung einer drucklosen Dränage zunächst ein flacher offener Graben ausgehoben wird, über den eine Ableitung des der Baugrube zulaufenden Wassers im freien Gefälle zum tieferen Gelände (nach Südwesten) erfolgt. In diesen Graben ist nach Fertigstellung des Turmfundamentes die Ableitung des Dränwassers und einer Sickerrigole am Rohrauslauf herzustellen, siehe Ausführungen auf Seite 20f.

Hinterfüllung und Überschüttung des Fundamentes

Die Arbeitsräume zur Herstellung des Fundamentes sind nach der Fertigstellung wieder zu verfüllen und die Platte im Randbereich bis zur derzeitigen mittleren Geländehöhe mit einem talseitigen Gefälle zu überschütten.

Für die Hinterfüllung und Überschüttung sollte das beim Baugrubenaushub ab einer Baugrubentiefe von ca. 0,6 m unter GOK gewonnene Material aus stark bis vollständig verwittertem Tonstein und stark/mäßig verwitterten Tonsteinen verwendet werden. Die Wiederverwendung des Aushubmaterials setzt voraus, dass dieses fachgerecht auf einer Miete zwischengelagert und mit einer Folie zum Schutz vor Witterungseinflüssen abgedeckt wird.

Die Verdichtung der Hinterfüllung und Überschüttung des Fundamentes sollte mit Hilfe von Plattendruckversuchen nach DIN 18134 oder alternativ dynamischen Plattendruckversuchen nach TP BF-StB Teil B 8.3 als Qualitätssicherung Erdbau kontrolliert werden.

Der Verdichtungsgrad D_{Pr} sollte ≥ 100 [%] der einfachen Proctordichte betragen.

Die Verdichtungsanforderungen gelten mit:

$$E_{v2} \geq 45 \text{ [MN/m}^2\text{]}$$

$$\text{bei einem Verhältniswert } E_{v2}/E_{v1} \leq 2,3$$

Die beim Aushub oberflächennah gewonnene stark kiesige Schluffschicht in weicher bis steifer Konsistenz ist ohne Verbesserungsmaßnahmen für eine qualifizierte Bauwerkshinterfüllung nicht geeignet und sollte daher -bis auf die Masse zur Geländeabdeckung- beseitigt werden.

Mit dem Wiedereinbau des geologisch originären Tonsteinmaterials wird der Zulauf von Oberflächenwasser in die „geologische Störungszone“, die mit dem Baugrubenaushub entstanden ist, reduziert und es werden die Dränwassermengen deutlich verringert, siehe auch Kapitel 6.1.

6.3 Bodenkundliche Bewertung

Nach dem Ergebnis einer bodenkundlichen Bewertung aus dem Jahre 2016, siehe hierzu unser Gutachten zur Abfallwirtschaftlichen und Bodenkundlichen Bewertung zur UVP vom 30.06.2016, steht an den Anlagenstandorten unter einer dünnen Humus-/ Waldbodenüberdeckung Braunerde, z.T. Ranker-Braunerde oder Podsol-Braunerde an, wobei die Mächtigkeit aufgrund des vorwiegend hoch anstehenden Festgesteins (Gebirge) gering ist.

Nach der Bodenkarte NRW ist am Anlagenstandort WEA8 die Bodeneinheit L4813_B32e als Braunerde ohne Grundwasser und ohne Staunässe ausgewiesen.

Die unter der Humus-/Waldbodenaufgabe erkundete Schluffschicht mit stark kiesigen und steinigen Nebenanteilen in weicher bis steifer Konsistenz weist unter Berücksichtigung der geringen Schichtmächtigkeit von 0,6 m eine geringe Verdichtungsempfindlichkeit sowie geringe Erosionsempfindlichkeit auf.

Zusammenfassend ergibt sich damit die Bewertung, dass am Anlagenstandort der WEA 8 bei der geotechnischen Erkundung keine schutzwürdigen Böden festgestellt wurden.

Altlasten:

Hinweise auf Altlasten wurden bei den geotechnischen Untersuchungen nicht festgestellt.

Ableitung von Niederschlagswasser:

Die Ableitung von Niederschlagswasser während der Bauzeit -aus den Baugrubenbereichen- erfolgt mit der Anlage von Entwässerungsmulden/-gräben und einer großflächigen Versickerung -mit Biotopcharakter- in den angrenzenden Waldflächen.

6.4 Homogenbereiche - Boden- und Felskenngrößen (Charakteristische Werte)

Zur Bemessung der Bauteile -dem geotechnischen Design- sowie zum Lösen, Fördern, Laden, Verdichten und Wiedereinbauen werden die Böden und der Fels in die nachfolgenden Homogenbereiche unterteilt.

Homogenbereich B1

Schluff, stark kiesig, steinig, weich - steif

Korngrößenverteilung	[DIN 18123]	Kornkennziffern 1/2 - 6/4 - 1/0 - 2/3 - 0/1
m_x Massenanteil an Steinen ($D > 63$ mm):	[DIN EN ISO 14688-1]	< 20 %
m_B Blöcken ($D > 200$ mm):		0 %
Dichte ρ :	[DIN EN ISO 17892-2/ DIN 18125-2]	1,95 t/m ³
Feuchtwichte γ :		19,5 kN/m ³
Wichte unter Auftrieb γ' :		10,0 kN/m ³
Kohäsion c'_k :	[DIN 18137-T1 bis T3]	2,5 kPa
Undrained Scherfestigkeit c_u :	[DIN 18136/DIN 18137-2]	75 – 150 kPa
drained Scherfestigkeit ϕ'_k :	[DIN 18136/DIN 18137-2]	25,0 °
Reibungswinkel ϕ'_k		
Steifemodul $E_{s1,k}$:	[DIN 18135]	10 - 30 MN/m ²
Sensitivität:	[DIN 4094-4]	1-2 (1)
Wassergehalt:	[DIN EN ISO 17892-1]	20 – 30 %
Konsistenzgrenzen:	[DIN 18122-1]	weich - steif
Konsistenzzahl:	[DIN 18122-1]	0,5 – 1,0
Plastizität:	[DIN 18122-1]	leicht- bis mittelplastisch
Lagerungsdichte (bezogene Lagerungsdichte):	[DIN EN ISO 14688-2/ DIN 18126]	n.d.
Organischer Anteil:	[DIN 18128]	< 5 %
Bodengruppe:	[DIN 18196]	UL-UM
Frostempfindlichkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	F3
Verdichtbarkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	V3 (weniger gut/schlecht verdichtbar) +)
Ortsübliche Bezeichnung:		Hangschutt

+) Wichtiger Hinweis:

Die Angaben zu den Verdichtbarkeitsklassen setzen optimale erdbauliche Bedingungen (Lösen, Laden, Witterungsschutz, Zwischenlagerung u.a.) voraus.

Für einen Wiedereinbau in Verbindung mit einer Bodenverbesserung mit Bindemittelzugabe ist eine Eignungsprüfung nach TP BF-StB Teil B 11.1 oder das verwendete Bindemittel und der Bindemittelgehalt aufgrund von Erfahrungswerten festzulegen.

Homogenbereich X1

Tonstein, vollständig/stark/mäßig verwittert, plattig/schiefrig, schlechte/mäßige Kornbindung

Benennung	[DIN EN ISO 14689-1]	Tonstein
Dichte ρ :	[DIN EN ISO 17892-2/DIN 18125-2]	2,20 t/m ³
Feuchtwichte γ :		22,0 kN/m ³
Wichte unter Auftrieb γ' :		12,0 kN/m ³
Verwitterung	[DIN EN ISO 14689-1]	vollständig/stark/mäßig verwittert, schlechte - mäßige Kornbindung
Veränderlichkeit	[DIN EN ISO 14689-1]	wasserempfindlich, mittlere/geringe Quelfähigkeit
Druckfestigkeit q_u	[DIN 18141/DGGT Empfehlung Nr. 1]	5 - 20 N/mm ²
Abrasivität CAI	[NF P94-430-1]	0 – 1,5
Trennflächenrichtung α, β	[DIN EN ISO 14689-1]	unregelmäßig (360 °)
Fallrichtung α	[DIN EN ISO 14689-1]	0 - 75 ° (gefaltet)
Gesteinskörperform	[DIN EN ISO 14689-1]	schiefrig / plattig geschichtet
Trennflächenabstand	[DIN EN ISO 14689-1]	< 1,0 m
Öffnungsweite der Trennflächen	[DIN EN ISO 14689-1]	0 – 15 mm
Kluffüllung:	[DIN EN ISO 14689-1]	keine
Kohäsion c'_k :	[DIN 18137-T1 bis T3]	20,0 kPa
Undrainede Scherfestigkeit c_u :	[DIN 4094-4/DIN 18136/DIN 18137-2]	-
drainede Scherfestigkeit ϕ'_k :	[DIN 4094-4/DIN 18136/DIN 18137-2]	25,0 °
Reibungswinkel ϕ'_k		
Steifemodul $E_{s1,k}$:	[DIN 18135]	80 - 100 MN/m ²
Frostempfindlichkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	F2 - F3
Verdichtbarkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	V2 (weniger gut – gut verdichtbar) *)
Ortsübliche Bezeichnung:		Styliolinenschiefer- und sandstein-Folge 1

Homogenbereich X2

Tonstein, frisch/schwach verwittert, plattig/bankig, gute/gute-sehr gute Kornbindung,

Benennung	[DIN EN ISO 14689-1]	Tonstein
Dichte ρ :	[DIN EN ISO 17892-2/DIN 18125-2]	2,40 t/m ³
Feuchtwichte γ :		24,0 kN/m ³
Wichte unter Auftrieb γ' :		14,0 kN/m ³
Verwitterung	[DIN EN ISO 14689-1]	mäßig/schwach verwittert, gute – sehr gute Kornbindung
Veränderlichkeit	[DIN EN ISO 14689-1]	wasserempfindlich, geringe Quellfähigkeit
Druckfestigkeit q_u	[DIN 18141/DGGT Empfehlung Nr. 1]	20 - 100 N/mm ²
Abrasivität CAI	[NF P94-430-1]	1,5 – 2,0
Trennflächenrichtung α, β	[DIN EN ISO 14689-1]	unregelmäßig (360 °)
Fallrichtung α	[DIN EN ISO 14689-1]	0 - 75 ° (gefaltet)
Gesteinskörperform	[DIN EN ISO 14689-1]	quaderig, würfelig, Blöcke $V < 0,1 \text{ m}^3$ längste Seite a / kurze Seite c $\approx 1 - 5^+$)
Trennflächenabstand	[DIN EN ISO 14689-1]	< 1,0 m
Öffnungsweite der Trennflächen	[DIN EN ISO 14689-1]	0 – 15 mm
Kluftfüllung:	[DIN EN ISO 14689-1]	keine
Kohäsion c'_k :	[DIN 18137-T1 bis T3]	50,0 kPa
Undrained Scherfestigkeit c_u :	[DIN 4094-4/DIN 18136/DIN 18137-2]	-
drained Scherfestigkeit φ'_k :	[DIN 4094-4/DIN 18136/DIN 18137-2]	25,0 °
Reibungswinkel φ'_k		
Steifemodul $E_{s1,k}$:	[DIN 18135]	120 MN/m ²
Frostempfindlichkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	F2 - F3
Verdichtbarkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	V2 (weniger gut – gut verdichtbar) *)
Ortsübliche Bezeichnung:		Styliolinenschiefer- und sandstein-Folge 2

[†]) Kantenmaße a, b, c der ausgebrochenen Felspartien

*) Zum Lösen (insbesondere bei kleinräumigen Baugruben) ist der Einsatz eines Felsmeißels und/oder einer Felsfräse vorzusehen.

6.5 Übersicht zu den Homogenbereichen

Homogenbereiche Boden/Fels	Homogenbereiche nach DIN 18300
Oberboden/Waldboden	Homogenbereich O
Homogenbereich B1 Schluff , stark kiesig, steinig, weich-steif	Homogenbereich B1
Homogenbereich X1 Tonstein , vollständig/stark/vollständig verwittert, plattig/schiefrig, schlechte/mäßige Kornbindung	Homogenbereich X1
Homogenbereich X2 Tonstein , frisch/schwach verwittert, plattig/bankig, gute/gute-sehr gute Kornbindung	Homogenbereich X2

Anmerkungen und Hinweise:

Eine genaue Zuordnung kann erst im Rahmen einer boden- und felsmechanischen Klassifizierung (Festlegung der Homogenbereiche) vor Ort erfolgen. Bestehen zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer unterschiedliche Auffassungen zur Einordnung der vorgenannten Homogenbereiche, so kann eine genaue Einordnung im Rahmen einer Klassifizierung und damit Festlegung der Homogenbereiche vor Ort erfolgen.

Im Einvernehmen mit dem Auftraggeber sollen wegen des Zeit- und Kostenaufwandes nicht alle Parameter der Homogenbereiche versuchstechnisch ermittelt werden. Damit basieren die für die Homogenbereiche angegebenen Eigenschaften/Kennwerte -die nicht versuchstechnisch ermittelt wurden- auf gesicherten Korrelationsbeziehungen für Labor- und Feldversuche.

7 Zusammenfassung und Schlussbemerkungen

Im Rahmen der geotechnischen Untersuchungen wurde der Baugrund im Sinne der DIN 4020 mit direkten und indirekten Aufschlüssen nach DIN EN ISO 22475-1 und DIN EN ISO 22476-2 erkundet.

Die geotechnischen Untersuchungen zeigen, dass unter dem Wald-/Oberboden eine stark kiesige, steinige Schluffschicht in weicher bis steifer Konsistenz und darunter ab 0,6 m Tonstein, stark bis vollständig verwittert, mit schlechter Kornbindung ansteht. Anschließend folgen ab einer Tiefe von ca. 1,7 m stark verwitterte Tonsteine/Schluffsteine, grusig bis stückig, mit schlechter Kornbindung, die den Grenzhorizont der Sondierungen bilden. Nachfolgend wurden ab 3,8 m schwach verwitterte bis frische, zwischen 9,1 und 9,7 m mäßig verwitterte Tonsteine, plattig/kompakt, mit guter bis sehr guter Kornbindung erbohrt, denen bis zum Ende der Bohrung bei 12,0 m schwach verwitterte bis frische, kompakte Tonsteine mit sehr guter Kornbindung folgten.

Die Styliolinschiefer- und sandstein-Folge stellt in den Zonen mit höheren Sondierwiderständen einen ausreichend tragfähigen Baugrund für die Gründung der Windkraftanlage und am bzw. unterhalb dem Grenzhorizont der Sondierungen einen gut tragfähigen Baugrund für die Gründung der Windkraftanlage dar. Der Grenzhorizont der Sondierungen weist aufgrund der Hanglage eine Höhendifferenz von ca. 4,5 m innerhalb der Fundamentfläche auf.

Ein Grund-/Schichtenwasser wurde im Bohrloch der Bohrung BK WEA 8 -im Zeitraum der Grundwasserbeobachtung- nicht festgestellt.

Auf den Ergebnissen der geotechnischen Untersuchungen basierend werden Gründungsempfehlungen zum vorgegebenen Gründungssystem Kreisfundament für die Windenergieanlage gegeben.

Der Bemessungswert des Sohlwiderstandes wird mit den Bodenkenngrößen angegeben und mit den Anforderungswerten der Herstellerangaben verglichen. Dieser Vergleich ergab, dass die Sicherheitsanforderungen mit einem hohen Sicherheitsabstand erfüllt werden.

Zum Lösen und Fördern des Bodens sind die Homogenbereiche nach DIN 18 300 benannt.

Treten im Rahmen der Bauausführung Abweichungen von den erkundeten Verhältnissen auf, so bitten wir um eine umgehende Benachrichtigung.

Wir empfehlen -zur Qualitätssicherung- die Abnahme der Gründungssohlen und damit verbunden die Umsetzung unserer gutachterlichen Empfehlungen im Sinne einer Qualitätssicherung.

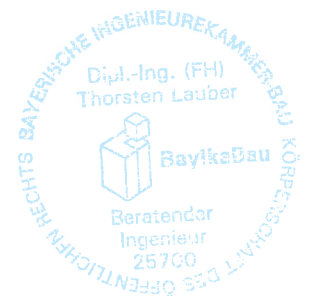
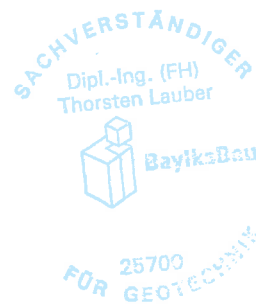
Wir stehen den am Bau Beteiligten zu weiteren geotechnischen Fragen im Rahmen der Ausführungsplanung und der Bauausführung jederzeit gerne zur Verfügung.



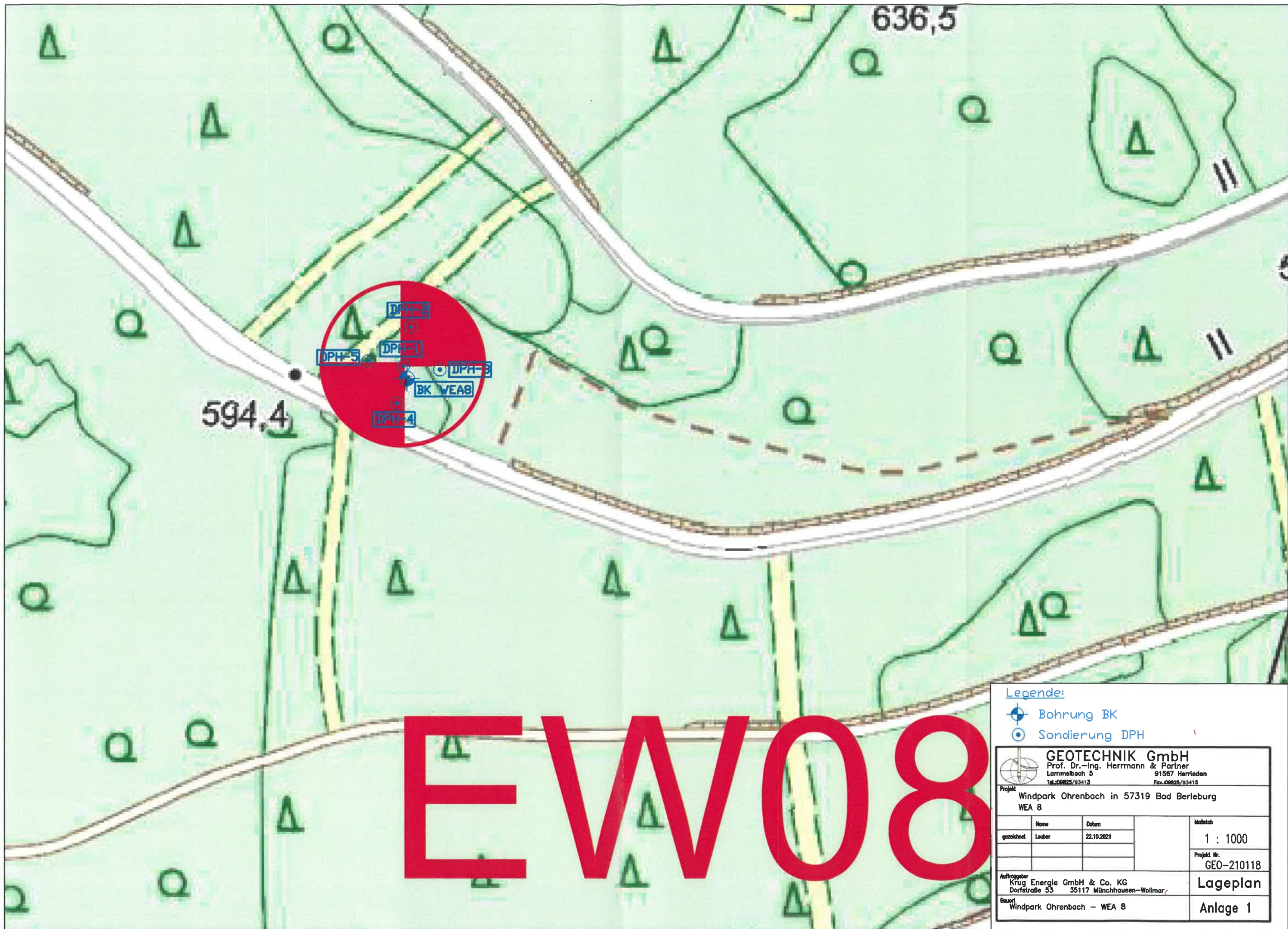
(i.A. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Richard A. Herrmann)
GEOTECHNIK GmbH



(Dipl.-Ing. (FH) Thorsten Lauber)
Sachverständiger für Geotechnik



Anlage 1



594,4

636,5

DPH-5

DPH-1


DPH-3

BK WEA8

DPH-4

EWO8

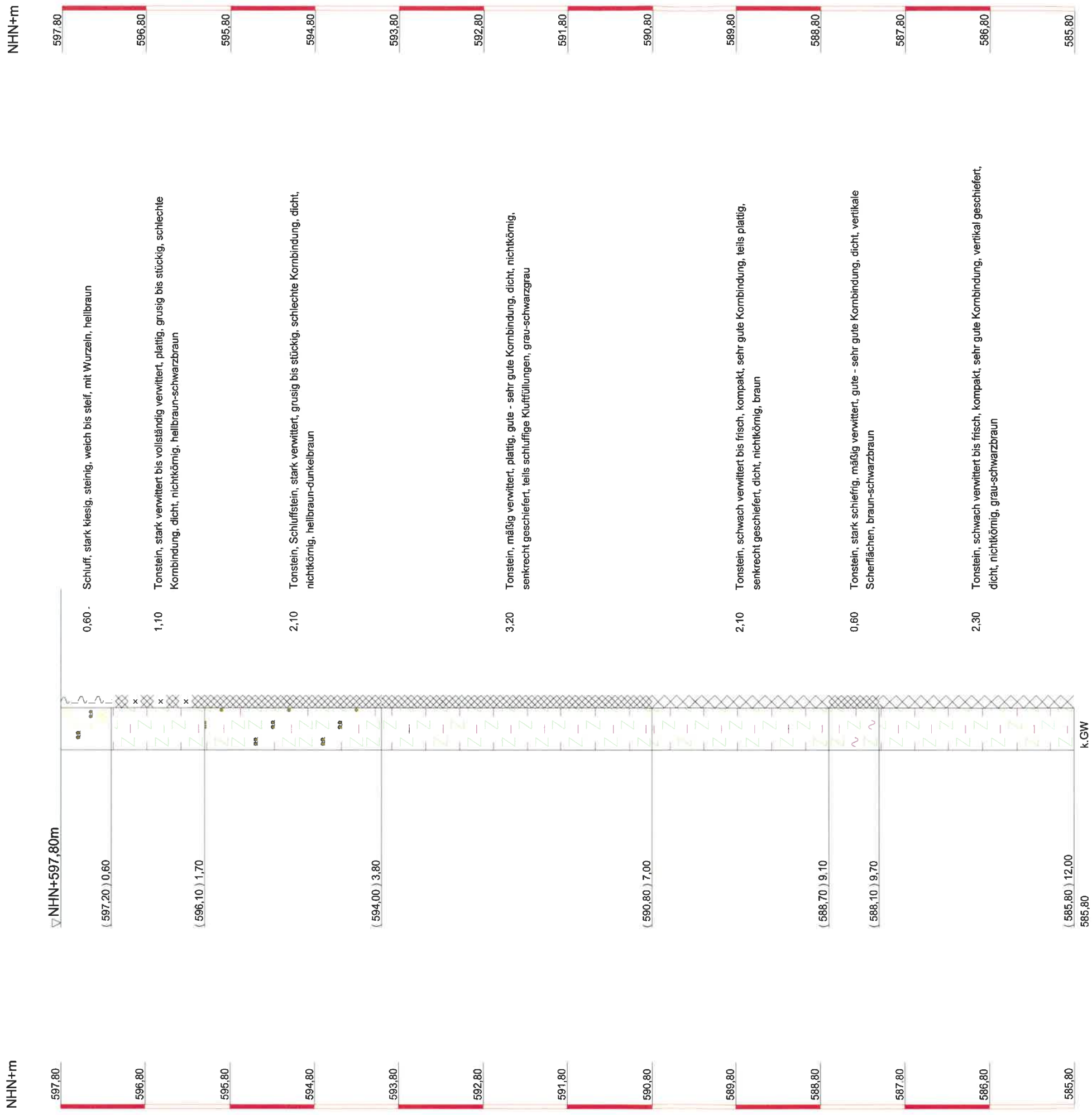
Legende:

-  Bohrung BK
-  Sondierung DPH

 GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lammelbach 5 91567 Herrieden Tel.: 09825/93413 Fax: 09825/93415			
Projekt Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg WEA 8			
Name	Datum	Maßstab	
gezeichnet Lauber	22.10.2021	1 : 1000	
			Projekt Nr. GEO-210118
Auftraggeber Krüg Energie GmbH & Co. KG Dorfstraße 53 35117 Münchhausen-Wollmar			Lageplan
Bauort Windpark Ohrenbach - WEA 8			Anlage 1

Anlagengruppe 2

BK WEA 8
(Stölben GmbH)
19.-20.07.2021
M.: 1:50



GEOTECHNIK GmbH
Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner
Lammelbach 5
91567 Herrieden
Tel.: 09825/93413
Fax: 09825/93415

Bauvorhaben:
Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg
- WEA 8

Planbezeichnung:
BK WEA 8

Plan-Nr: 2.1

Projekt-Nr: GEO-210118/7

Datum: 22.10.2021

Maßstab: 1 : 50

Bearbeiter: T. Lauber



Bild 1 Übersichtsaufnahme Standort WEA 8 (vom Waldwirtschaftsweg aus)



Bild 2 Aufnahme Bohrkern BK WEA 8, Tiefe 0 - 12 m

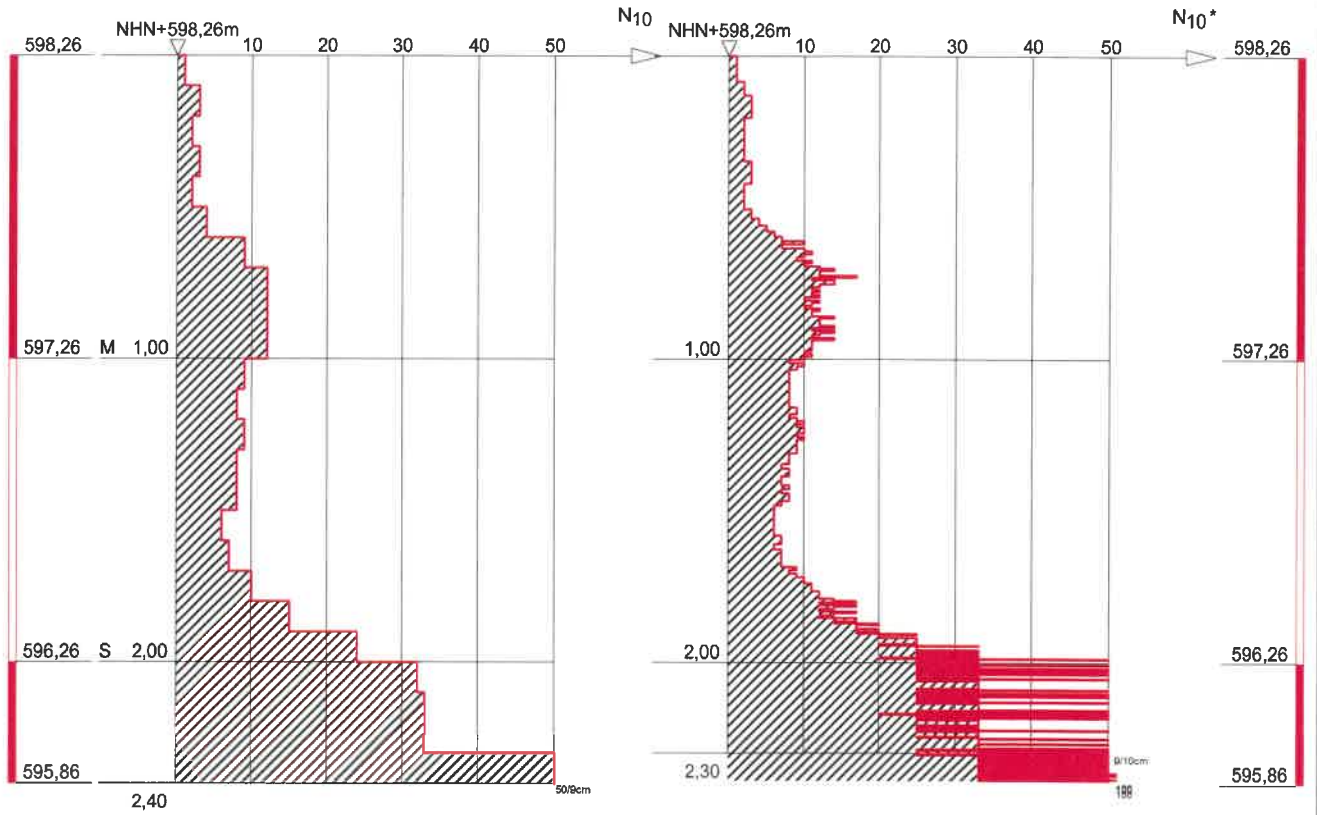
Anlagengruppe 3

WEA8 - DPH-1
(25.06.2021)

WEA8 - DPH-1*
(25.06.2021)

NHN+m

NHN+m



<p>GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lammelbach 5 91567 Herrieden Tel.: 09825/93413 Fax: 09825/93415</p>	<p>Bauvorhaben: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg - WEA 8</p> <p>Planbezeichnung: WEA8 - DPH-1</p>	Plan-Nr: 3.1
		Projekt-Nr: GEO-210118/7
		Datum: 25.10.2021
		Maßstab: 1 : 25
		Bearbeiter: T.Lauber



Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2									
Geräteleiter: T. Lauber									
Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 8									
Sondierungsnummer: WEA8-DPH-1				Datum: 25.06.2021			Sondierart: DPH		
Ansatzpunkt [m]:					Ansatzpunkt auf NHN [m]: 598,26				
Grundwassersp.[m u. ASP]:									
Bemerkung:									
Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	1	3,10		6,10		9,10		12,10	
0,20	3	3,20		6,20		9,20		12,20	
0,30	2	3,30		6,30		9,30		12,30	
0,40	3	3,40		6,40		9,40		12,40	
0,50	2	3,50		6,50		9,50		12,50	
0,60	4	3,60		6,60		9,60		12,60	
0,70	9	3,70		6,70		9,70		12,70	
0,80	12	3,80		6,80		9,80		12,80	
0,90	12	3,90		6,90		9,90		12,90	
1,00	12	4,00		7,00		10,00		13,00	
*)	mittel	*)		*)		*)		*)	
1,10	9	4,10		7,10		10,10		13,10	
1,20	8	4,20		7,20		10,20		13,20	
1,30	9	4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40	8	4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50	8	4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60	6	4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70	7	4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80	10	4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90	15	4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00	24	5,00		8,00		11,00		14,00	
*)	schwer	*)		*)		*)		*)	
2,10	32	5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20	33	5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30	33	5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40	50	5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50		5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60		5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70		5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80		5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90		5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00		6,00		9,00		12,00		15,00	
*)		*)		*)		*)		*)	
*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]									

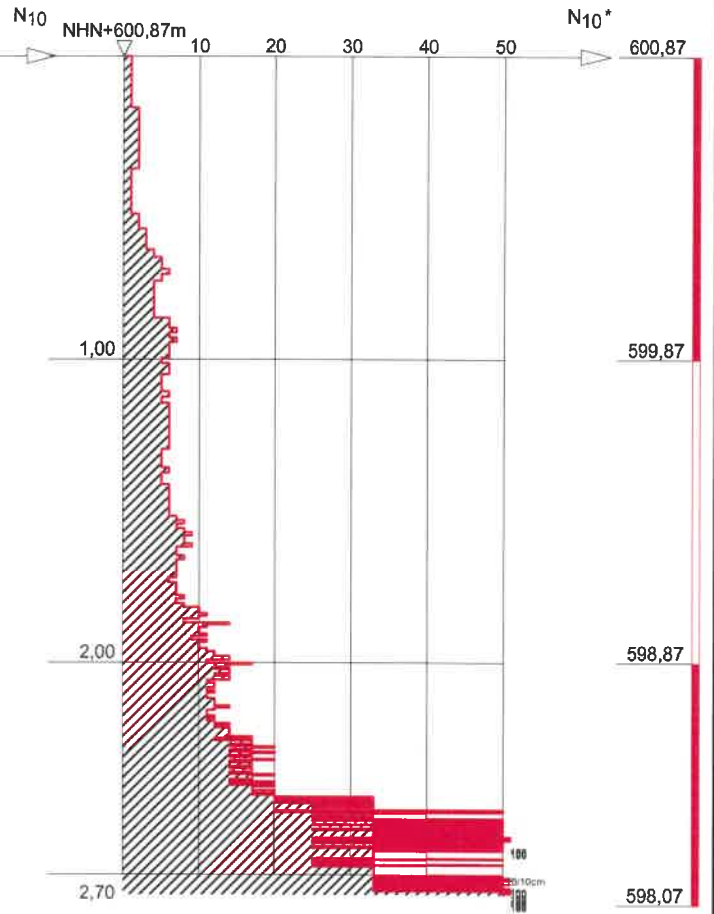
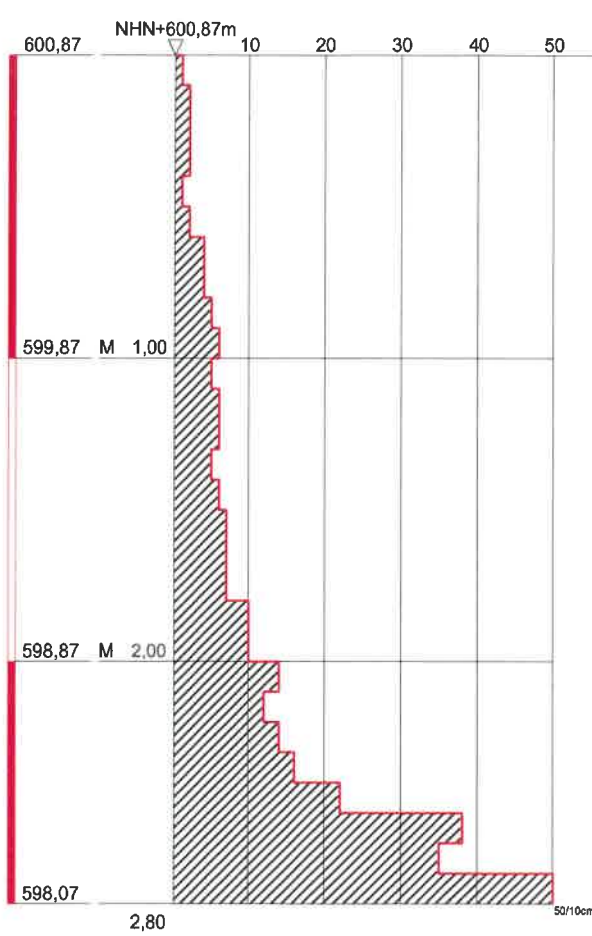
Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefen pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm-datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.

WEA8 - DPH-2
(25.06.2021)

WEA8 - DPH-2*
(25.06.2021)

NHN+m

NHN+m



<p>GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lammelbach 5 91567 Herrieden Tel.: 09825/93413 Fax: 09825/93415</p>	<p>Bauvorhaben: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg - WEA 8</p> <p>Planbezeichnung: WEA8 - DPH-2</p>	Plan-Nr: 3.3
		Projekt-Nr: GEO-210118/7
		Datum: 25.10.2021
		Maßstab: 1 : 25
		Bearbeiter: T.Lauber



Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2									
Geräteleiter: T. Lauber									
Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 8									
Sondierungsnummer: WEA8-DPH-2				Datum: 25.06.2021			Sondierart: DPH		
Ansatzpunkt [m]:					Ansatzpunkt auf NHN [m]: 600,87				
Grundwassersp.[m u. ASP]:									
Bemerkung:									
Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	1	3,10		6,10		9,10		12,10	
0,20	2	3,20		6,20		9,20		12,20	
0,30	2	3,30		6,30		9,30		12,30	
0,40	2	3,40		6,40		9,40		12,40	
0,50	1	3,50		6,50		9,50		12,50	
0,60	2	3,60		6,60		9,60		12,60	
0,70	4	3,70		6,70		9,70		12,70	
0,80	4	3,80		6,80		9,80		12,80	
0,90	5	3,90		6,90		9,90		12,90	
1,00	6	4,00		7,00		10,00		13,00	
*)	mittel	*)		*)		*)		*)	
1,10	5	4,10		7,10		10,10		13,10	
1,20	6	4,20		7,20		10,20		13,20	
1,30	6	4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40	5	4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50	6	4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60	7	4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70	7	4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80	7	4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90	10	4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00	10	5,00		8,00		11,00		14,00	
*)	mittel	*)		*)		*)		*)	
2,10	14	5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20	12	5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30	14	5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40	16	5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50	22	5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60	38	5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70	35	5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80	50	5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90		5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00		6,00		9,00		12,00		15,00	
*)		*)		*)		*)		*)	
*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]									

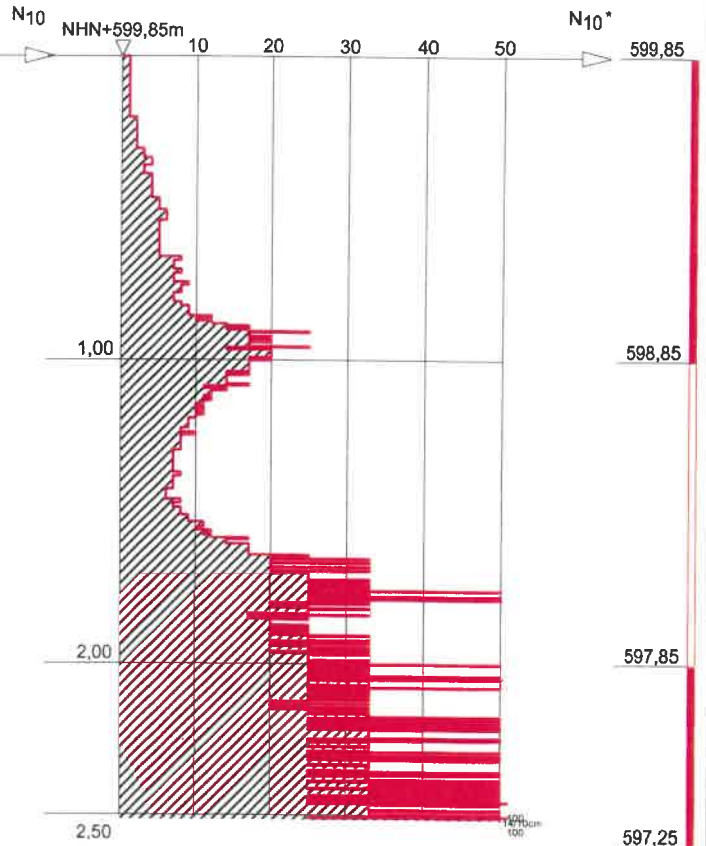
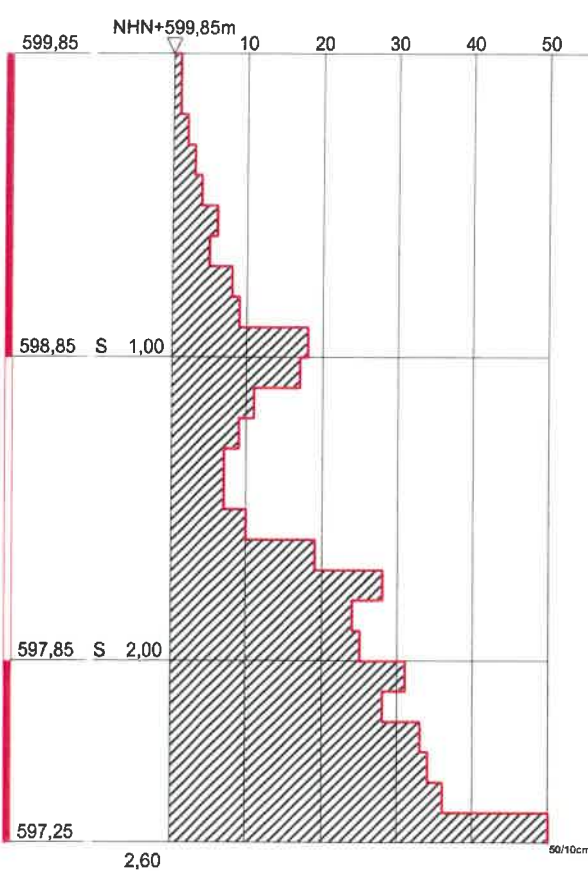
Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefen pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm-datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.

WEA8 - DPH-3
(25.06.2021)

WEA8 - DPH-3*
(25.06.2021)

NHN+m

NHN+m



<p>GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lammelbach 5 91567 Herrieden Tel.: 09825/93413 Fax: 09825/93415</p>	<p>Bauvorhaben: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg - WEA 8</p> <p>Planbezeichnung: WEA8 - DPH-3</p>	Plan-Nr: 3.5
		Projekt-Nr: GEO-210118/7
		Datum: 25.10.2021
		Maßstab: 1 : 25
		Bearbeiter: T.Lauber



Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2									
Geräteleiter: T. Lauber									
Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 8									
Sondierungsnummer: WEA8-DPH-3				Datum: 25.06.2021			Sondierart: DPH		
Ansatzpunkt [m]:					Ansatzpunkt auf NHN [m]: 599,85				
Grundwassersp.[m u. ASP]:									
Bemerkung:									
Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	1	3,10		6,10		9,10		12,10	
0,20	1	3,20		6,20		9,20		12,20	
0,30	2	3,30		6,30		9,30		12,30	
0,40	3	3,40		6,40		9,40		12,40	
0,50	4	3,50		6,50		9,50		12,50	
0,60	6	3,60		6,60		9,60		12,60	
0,70	5	3,70		6,70		9,70		12,70	
0,80	8	3,80		6,80		9,80		12,80	
0,90	9	3,90		6,90		9,90		12,90	
1,00	18	4,00		7,00		10,00		13,00	
*)	schwer	*)		*)		*)		*)	
1,10	17	4,10		7,10		10,10		13,10	
1,20	11	4,20		7,20		10,20		13,20	
1,30	9	4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40	7	4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50	7	4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60	10	4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70	19	4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80	28	4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90	24	4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00	25	5,00		8,00		11,00		14,00	
*)	schwer	*)		*)		*)		*)	
2,10	31	5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20	28	5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30	33	5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40	34	5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50	36	5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60	50	5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70		5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80		5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90		5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00		6,00		9,00		12,00		15,00	
*)		*)		*)		*)		*)	
*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]									

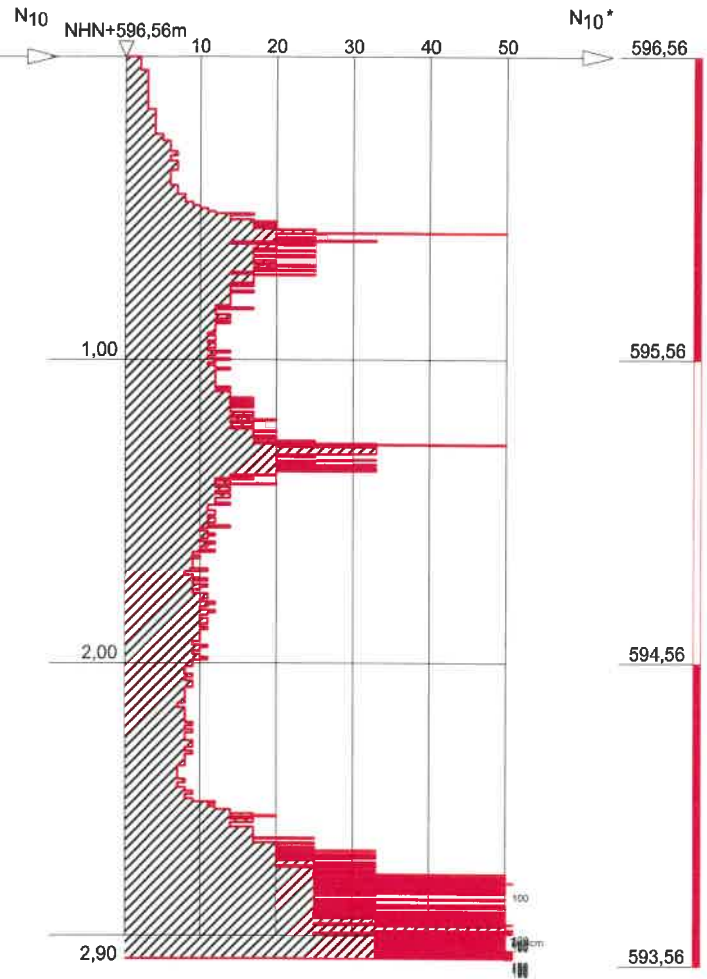
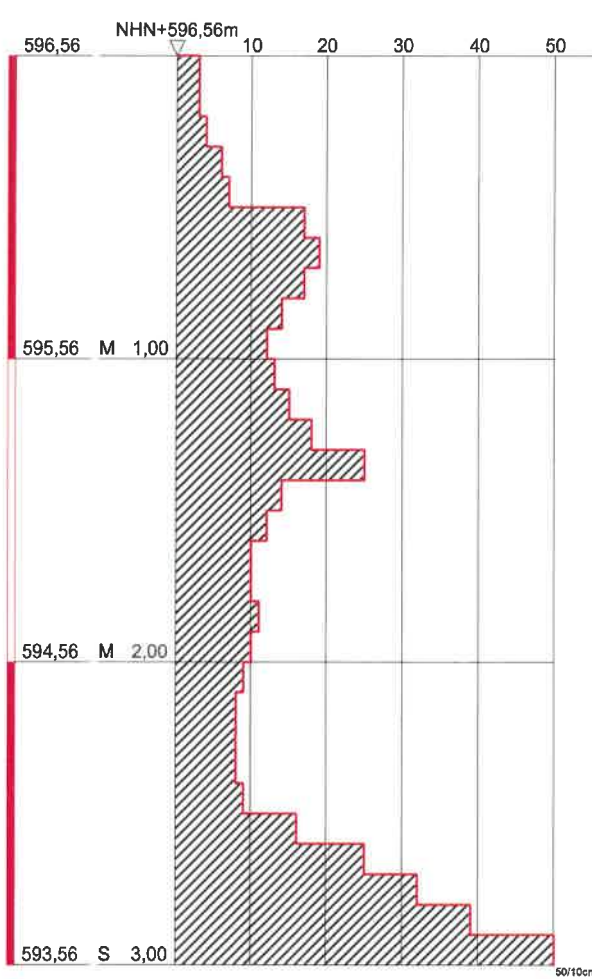
Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefen pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm-datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.

WEA8 - DPH-4
(25.06.2021)

WEA8 - DPH-4*
(25.06.2021)

NHN+m

NHN+m



<p>GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lammelbach 5 91567 Herrieden Tel.: 09825/93413 Fax: 09825/93415</p>	<p>Bauvorhaben: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg - WEA 8</p> <p>Planbezeichnung: WEA8 - DPH-4</p>	Plan-Nr: 3.7
		Projekt-Nr: GEO-210118/7
		Datum: 25.10.2021
		Maßstab: 1 : 25
		Bearbeiter: T.Lauber



Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2

Geräteleiter: T. Lauber

Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 8

Sondierungsnummer: WEA8-DPH-4

Datum: 25.06.2021

Sondierart: DPH

Ansatzpunkt [m]:

Ansatzpunkt auf NHN [m]: 596,56

Grundwassersp.[m u. ASP]:

Bemerkung:

Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	3	3,10		6,10		9,10		12,10	
0,20	3	3,20		6,20		9,20		12,20	
0,30	4	3,30		6,30		9,30		12,30	
0,40	6	3,40		6,40		9,40		12,40	
0,50	7	3,50		6,50		9,50		12,50	
0,60	17	3,60		6,60		9,60		12,60	
0,70	19	3,70		6,70		9,70		12,70	
0,80	17	3,80		6,80		9,80		12,80	
0,90	14	3,90		6,90		9,90		12,90	
1,00	12	4,00		7,00		10,00		13,00	
*)	mittel	*)		*)		*)		*)	
1,10	13	4,10		7,10		10,10		13,10	
1,20	15	4,20		7,20		10,20		13,20	
1,30	18	4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40	25	4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50	14	4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60	12	4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70	10	4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80	10	4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90	11	4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00	10	5,00		8,00		11,00		14,00	
*)	mittel	*)		*)		*)		*)	
2,10	9	5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20	8	5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30	8	5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40	8	5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50	9	5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60	16	5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70	25	5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80	32	5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90	39	5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00	50	6,00		9,00		12,00		15,00	
*)	schwer	*)		*)		*)		*)	

*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]

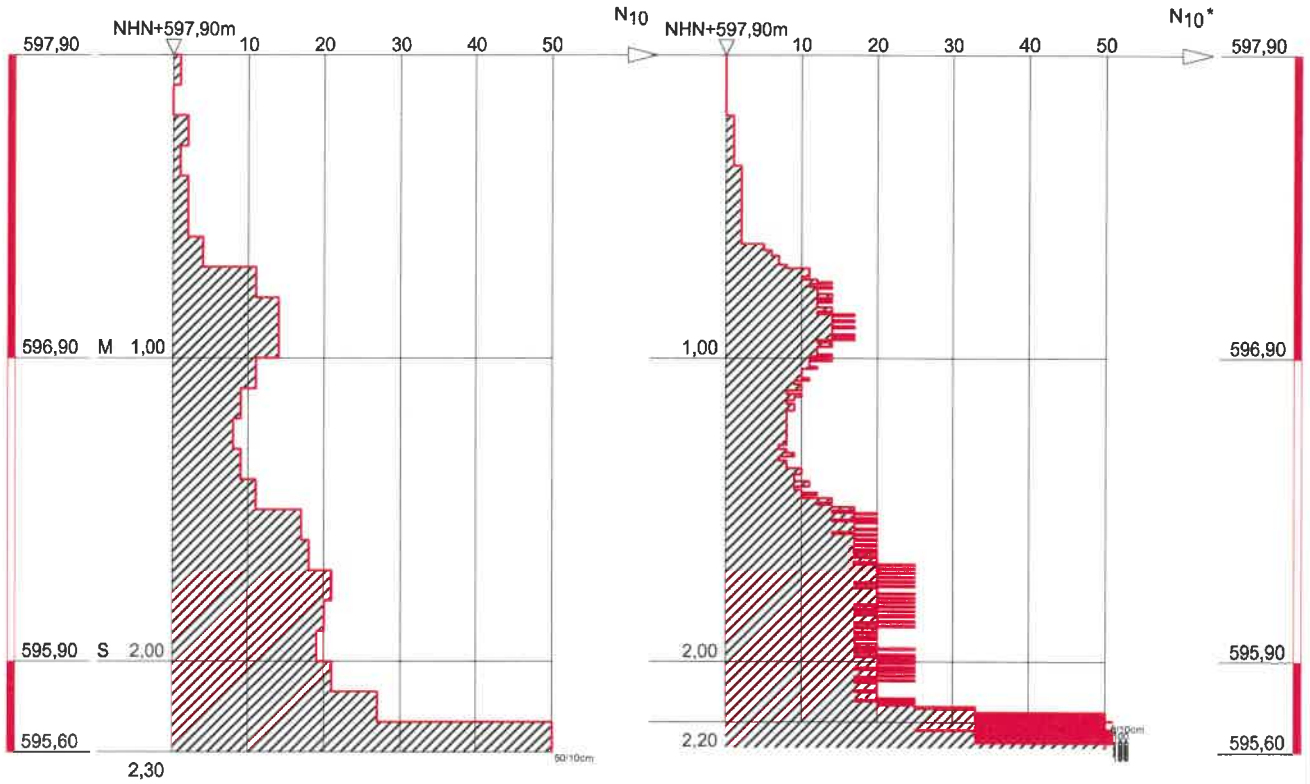
Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefen pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm-datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.

WEA8 - DPH-5
(25.06.2021)

WEA8 - DPH-5*
(25.06.2021)

NHN+m

NHN+m



GEOTECHNIK GmbH
Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner
Lammelbach 5
91567 Herrieden
Tel.: 09825/93413
Fax: 09825/93415

Bauvorhaben:
Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg
- WEA 8
Planbezeichnung:
WEA8 - DPH-5

Plan-Nr: 3.9
Projekt-Nr: GEO-210118/7
Datum: 25.10.2021
Maßstab: 1 : 25
Bearbeiter: T.Lauber



Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2

Geräteleiter: T. Lauber

Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 8

Sondierungsnummer: WEA8-DPH-5

Datum: 25.06.2021

Sondierart: DPH

Ansatzpunkt [m]:

Ansatzpunkt auf NHN [m]: 597,90

Grundwassersp.[m u. ASP]:

Bemerkung:

Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	1	3,10		6,10		9,10		12,10	
0,20	0	3,20		6,20		9,20		12,20	
0,30	2	3,30		6,30		9,30		12,30	
0,40	1	3,40		6,40		9,40		12,40	
0,50	2	3,50		6,50		9,50		12,50	
0,60	2	3,60		6,60		9,60		12,60	
0,70	4	3,70		6,70		9,70		12,70	
0,80	11	3,80		6,80		9,80		12,80	
0,90	14	3,90		6,90		9,90		12,90	
1,00	14	4,00		7,00		10,00		13,00	
*)	mittel	*)		*)		*)		*)	
1,10	11	4,10		7,10		10,10		13,10	
1,20	9	4,20		7,20		10,20		13,20	
1,30	8	4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40	9	4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50	11	4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60	17	4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70	18	4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80	21	4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90	20	4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00	19	5,00		8,00		11,00		14,00	
*)	schwer	*)		*)		*)		*)	
2,10	21	5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20	27	5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30	50	5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40		5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50		5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60		5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70		5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80		5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90		5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00		6,00		9,00		12,00		15,00	
*)		*)		*)		*)		*)	

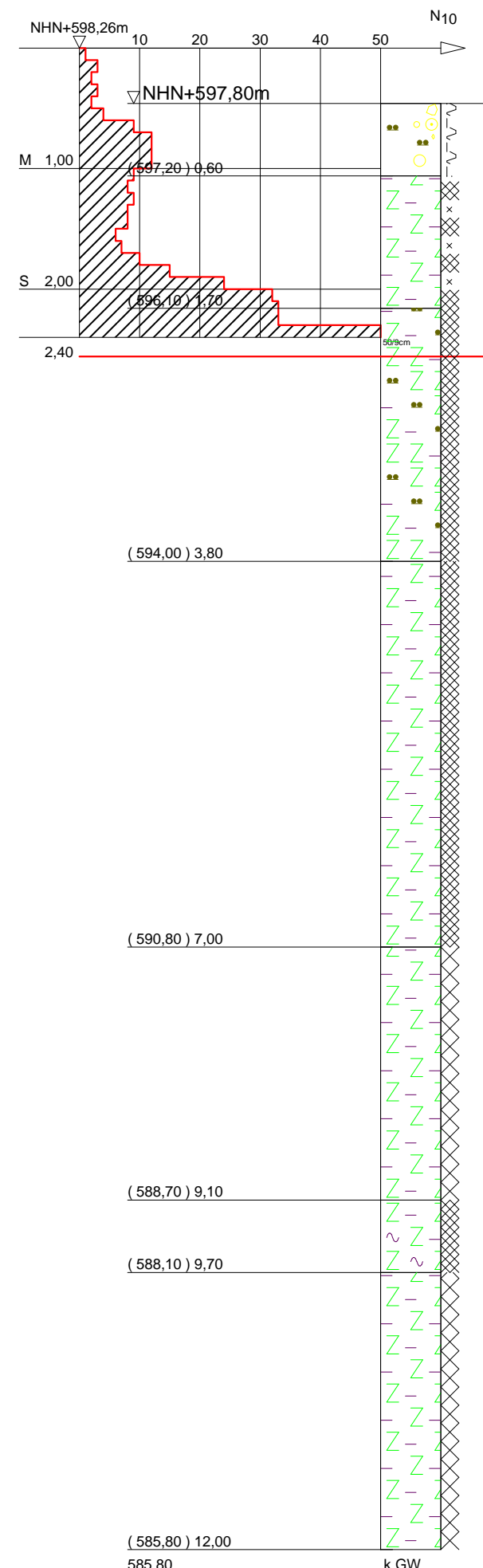
*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]

Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefen pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm-datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.

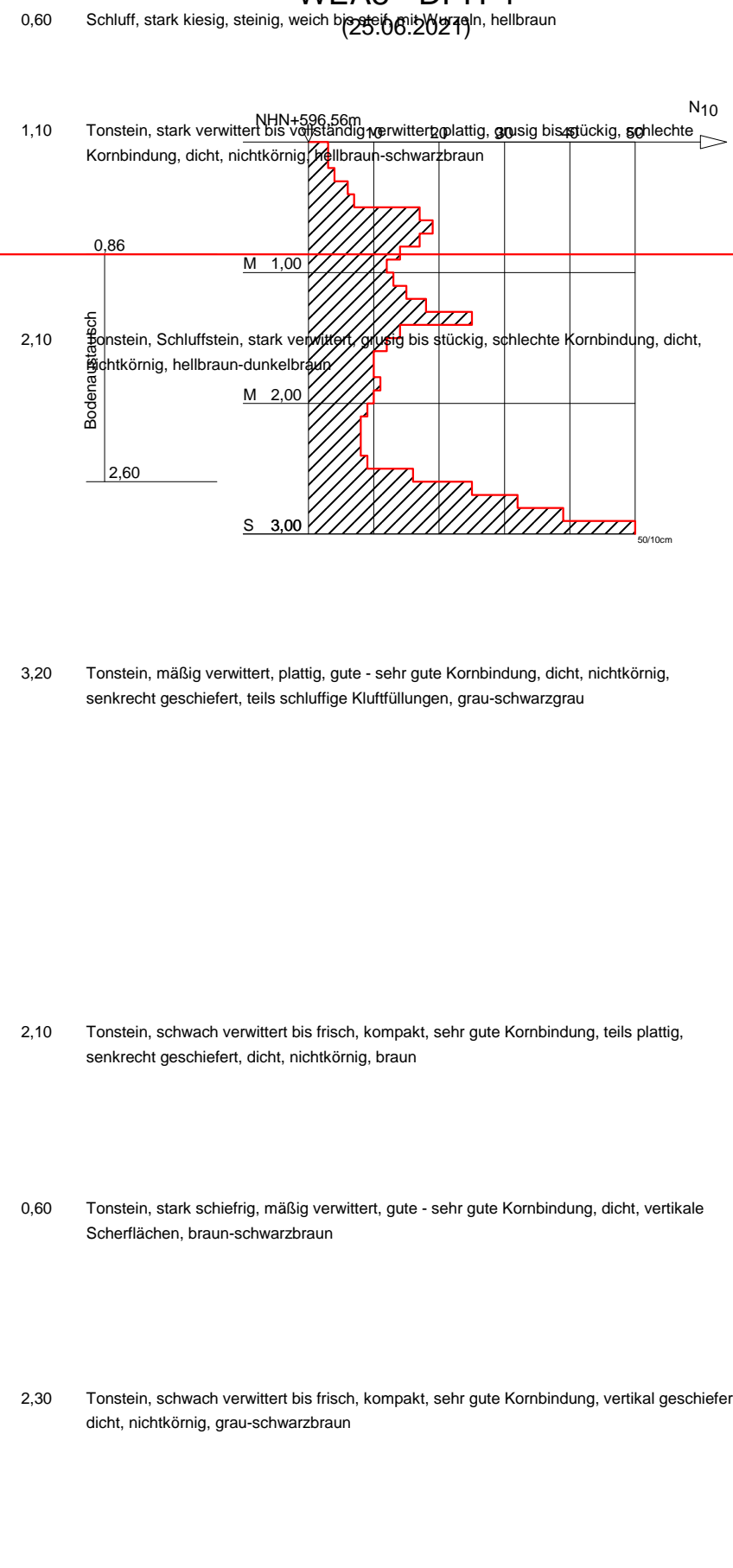
Anlage 4

NHN+m
601.00
600.00
599.00
598.00
597.00
596.00
595.00
594.00
593.00
592.00
591.00
590.00
589.00
588.00
587.00
586.00

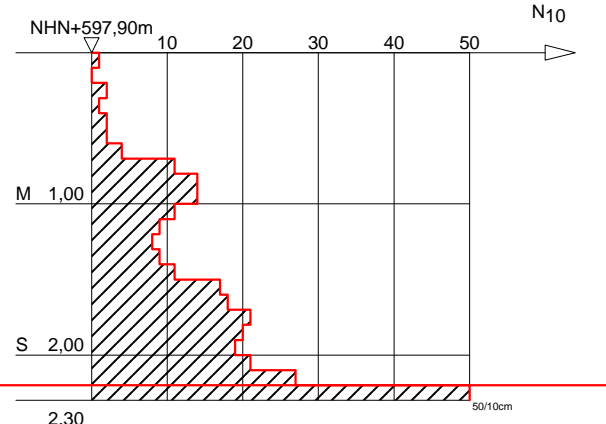
WEA8 - DPH-1 BK WEA 8
(25.06.2021) (Stöben GmbH)
19.-20.07.2021
M.: 1:50



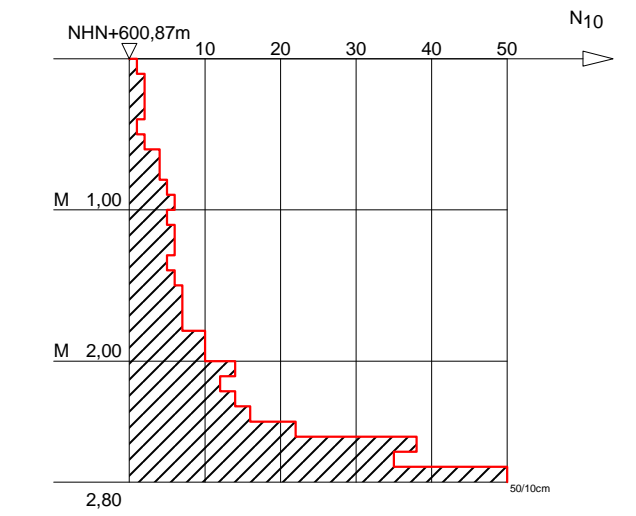
WEA8 - DPH-4
(25.06.2021)



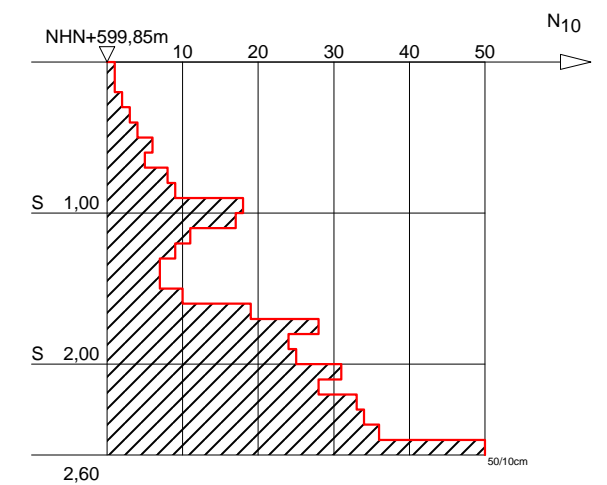
WEA8 - DPH-5
(25.06.2021)



WEA8 - DPH-2
(25.06.2021)



WEA8 - DPH-3
(25.06.2021)




NHN+m
601.00
600.00
599.00
598.00
597.00
596.00
595.00
594.00
593.00
592.00
591.00
590.00
589.00
588.00
587.00
586.00

empfohlene Gründungskote = 595,70 mNHN

GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lammelbach 5 91567 Herrieden Tel.: 09825/93413 Fax: 09825/93415	Bauvorhaben: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg - WEA 8 Planbezeichnung: WEA8 - Abwicklung	Plan-Nr: 4
		Projekt-Nr: GEO-210118/7
		Datum: 25.10.2021
		Maßstab: 1:100/50
		Bearbeiter: T.Lauber

Anlagengruppe 5

Zusammenstellung der geomechanischen Versuchsergebnisse (Fels)


Entnahmedaten		Proben-Nr.		Zeilen-Nr.:	WEA	WEA	WEA	WEA	WEA		
Entnahmestelle					08	08	08	08	08		
Zusätzliche Angaben											
Entnahmetiefe	von	m			2,00	2,40	2,80	3,20	3,80		
	bis	m			2,20	2,60	3,00	3,40	4,00		
Entnahmearart				ungestört	ungestört	ungestört	ungestört	ungestört			
Probenbeschreibung				Tst	Tst	Tst	Tst	Tst			
Stratigraphie											
Dichte- bestimmung	Korndichte	ρ_s	t/m ³	31							
	Feuchtdichte	ρ	t/m ³	32							
	Wassergehalt	w	%	33							
	Trockendichte	ρ_d	t/m ³	34							
Einaxialer Druckversuch	Einax. Druckfestigkeit	σ_u	MN/m ²								
	Belastungsmodul	B									
	Wiederbelastungsmodul	V	MN/m ²	35							
	Entlastungsmodul	E									
Poisson- zahlen	für Belastung,	ν_B	-								
	Wiederbelastung	ν_V									
	und Entlastung	ν_E									
Dreiaxialer Druckversuch	Vers. Typ/Probendurchm.	- / cm		37							
	Anzahl der Zyklen	-									
	Reibungswinkel	φ	°	38							
	technische Kohäsion	c	MN/m ²								
Punktlastindex	diametral axial	$I_{S(50)}$	MN/m ²	39	1,433 (s)	0,806 (s)	1,425 (s)	0,681 (p)	1,543 (s)	0,792 (p)	1,683 (s)
Spaltzugversuch		σ_z	MN/m ²	40							
Reibungsversuch	Probenfläche	A	cm ²	41							
	Anzahl der Laststufen	-									
	Trennflächentyp	-									
	Trennflächengeometrie	-		42							
	Reibungswinkel	φ	°								
technische Kohäsion	c	MN/m ²									
Quellversuche	Quellspannung	σ_q	MN/m ²	43							
	Versuchsdauer	d		44							
	Quelldehnung	$\epsilon_{q,0}$	%	45							
	Versuchsdauer	d		46							
	Quellversuch nach	K	%	47							
	Huder und Amberg	σ_0	MN/m ²								
DIN 52103	Versuchsdauer	d		48							
	Wasseraufnahme		%	49							
	Absplitterung		%								
Kennziffer der Absplitt.	-		50								
Veränderlichk. in Wasser DIN 4022	-		51								
Cerchar	CAI	-	53								
Abrasivitätsindex	Klassifizierung	-	54								
Frostversuch nach	Absplitt.	%	55								
DIN 52104 / 4226	Kenzi.	-	56								
Einaxialer Kriechversuch	% von einax. Druckfestigkeit		%								
	Kriechrate am 10. Tag (LS 1)		%								
	% von einax. Druckfestigkeit		%								
	Kriechrate am 10. Tag (LS 2)		%	57							
	% von einax. Druckfestigkeit		%								
Kriechrate am 10. Tag (LS 3)		%									
Slake Durability Test	I_{d1}	%									
	I_{d2}	%	58								

zu Zeile 51: w- / w' / w / w* = nicht veränderlich / mäßig veränderlich / veränderlich / stark veränderlich

zu Zeile 54 u. 56: Kennziffer der Absplitter.

Bemerkungen:

Zusammenstellung der geomechanischen Versuchsergebnisse (Fels)

Entnahmedaten		Proben-Nr.		WEA	WEA	WEA	WEA	WEA			
		Entnahmestelle							08	08	08
Zusätzliche Angaben											
Entnahmetiefe		von	m	3,80	4,00	4,40	4,80	5,20			
		bis	m	4,00	4,20	4,60	5,00	5,40			
Entnahmearart				ungestört	ungestört	ungestört	ungestört	ungestört			
Probenbeschreibung				Tst	Tst	Tst	Tst	Tst			
Stratigraphie											
Dichte- bestimmung	Korndichte	ρ_s	1/m ³	31							
	Feuchtdichte	ρ	1/m ³	32							
	Wassergehalt	w	%	33							
	Trockendichte	ρ_d	1/m ³	34							
Einaxialer Druckversuch	Einax. Druckfestigkeit	σ_u	MN/m ²	35							
	Belastungsmodul	B									
	Wiederbelastungsmodul	V	MN/m ²								
	Entlastungsmodul	E									
Poisson- zahlen	für Belastung,	ν_B	-	36							
	Wiederbelastung	ν_V									
	und Entlastung	ν_E									
Dreiaxialer Druckversuch	Vers. Typ/Probendurchm.	- / cm	37								
	Anzahl der Zyklen	-									
	Reibungswinkel	φ	°	38							
	technische Kohäsion	c	MN/m ²								
Punktlastindex	diametral axial	$I_{S(50)}$	MN/m ²	39	0,832 (p)	0,641 (s)	1,254 (s)	0,577 (p)	1,116 (s)	0,753 (p)	1,402 (s)
Spaltzugversuch		σ_z	MN/m ²	40							
Reibungsversuch	Probenfläche	A	cm ²	41							
	Anzahl der Laststufen	-									
	Trennflächentyp	-									
	Trennflächengeometrie	-			42						
	Reibungswinkel	μ	°								
	technische Kohäsion	c	MN/m ²								
Quellversuche	Quellspannung	σ_q	MN/m ²	43							
	Versuchsdauer	d		44							
	Quelldehnung	$\epsilon_{>0}$	%	45							
	Versuchsdauer	d		46							
	Quellversuch nach	K	%	47							
	Huder und Amberg	σ_0	MN/m ²								
	Versuchsdauer	d		48							
DIN 52103	Wasseraufnahme		%	49							
	Absplitterung										
	Kennziffer der Absplitt.	-			50						
Veränderlichk. in Wasser DIN 4022	-		51								
Cerchar	CAI	-	53								
Abrasivitätsindex	Klassifizierung	-	54								
Frostversuch nach	Absplitt.	%	55								
DIN 52104 / 4226	Kennzi.	-	56								
Einaxialer Kriechversuch	% von einax. Druckfestigkeit		%	57							
	Kriechrate am 10. Tag (LS 1)		%								
	% von einax. Druckfestigkeit		%								
	Kriechrate am 10. Tag (LS 2)		%								
	% von einax. Druckfestigkeit		%								
Kriechrate am 10. Tag (LS 3)		%									
Slake Durability Test	I_{d1}	%	58								
	I_{d2}	%									

zu Zeile 51: w - / w' / w / w* = nicht veränderlich / mäßig veränderlich / veränderlich / stark veränderlich

zu Zeile 54 u. 56: Kennziffer der Absplitter.

Bemerkungen:

Zusammenstellung der geomechanischen Versuchsergebnisse (Fels)

Entnahmedaten		Proben-Nr.		WEA 08		WEA 08							
Entnahmestelle													
Zusätzliche Angaben													
Entnahmetiefe		von	m	5,40		5,80							
		bis	m	5,60		6,00							
Entnahmearart				ungestört		ungestört							
Probenbeschreibung				Tst		Tst							
Stratigraphie													
Dichte- bestimmung	Korndichte	ρ_s	1/m ³	31									
	Feuchtdichte	ρ	1/m ³	32									
	Wassergehalt	w	%	33									
	Trockendichte	ρ_d	1/m ³	34									
Einaxialer Druckversuch	Einax. Druckfestigkeit	σ_u	MN/m ²	35									
	Belastungsmodul	B	MN/m ²										
	Wiederbelastungsmodul	V											
	Entlastungsmodul	E											
Poisson- zahlen	für Belastung,	ν_B	-	36									
	Wiederbelastung	ν_V											
	und Entlastung	ν_E											
Dreiaxialer Druckversuch	Vers. Typ/Probendurchm.		- / cm	37									
	Anzahl der Zyklen		-	38									
	Reibungswinkel	ϕ	°										
	technische Kohäsion	c	MN/m ²										
Punktlastindex		diametral	$I_{S(50)}$	MN/m ²	39	1,264 (s)	0,384 (p)	1,325 (s)					
		axial											
Spaltzugversuch		σ_z	MN/m ²	40									
Reibungsversuch	Probenfläche	A	cm ²	41									
	Anzahl der Laststufen		-										
	Trennflächentyp		-		42								
	Trennflächengeometrie		-										
	Reibungswinkel	η	°										
	technische Kohäsion	c	MN/m ²										
Quellversuche	Quellspannung	σ_q	MN/m ²	43									
	Versuchsdauer	d		44									
	Quelldehnung	$\varepsilon_{q,0}$	%	45									
	Versuchsdauer	d		46									
	Quellversuch nach	K	%	47									
	Huder und Amberg	σ_0	MN/m ²										
	Versuchsdauer	d		48									
DIN 52103	Wasseraufnahme		%	49									
	Absplitterung												
	Kennziffer der Absplitt.		-		50								
Veränderlichk. in Wasser DIN 4022			-	51									
Cerchar		CAI	-	53									
Abrasivitätsindex		Klassifizierung	-	54									
Frostversuch nach		Absplitt.	%	55									
DIN 52104 / 4226		Kennzi.	-		56								
Einaxialer Kriechversuch	% von einax. Druckfestigkeit		%	57									
	Kriechrate am 10. Tag (LS 1)		%										
	% von einax. Druckfestigkeit		%										
	Kriechrate am 10. Tag (LS 2)		%										
	% von einax. Druckfestigkeit		%	58									
Kriechrate am 10. Tag (LS 3)		%											
Slake Durability Test		I_{d1}	%	58									
		I_{d2}	%										

zu Zeile 51: w - / w' / w / w* = nicht veränderlich / mäßig veränderlich / veränderlich / stark veränderlich

zu Zeile 54 u. 56: Kennziffer der Absplitter.

Bemerkungen:

Anlagengruppe 6

Lf-Name	x	y	z	Hx	Hy	Vz	Mx	My	Typ
1	0.00	0.00	-0.91	1375.00	0.00	18150.00	214800.00	0.00	S

Aushub 1
598.30

▽ 597.70 ∇ + 598.30

▽ 595.70m

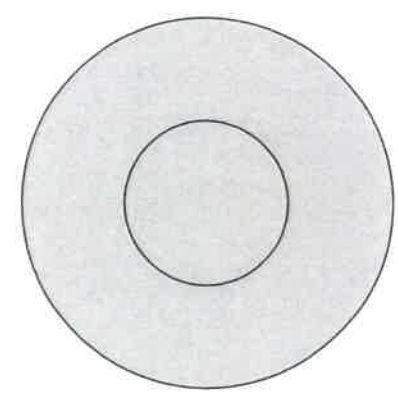


Schluff-Kies
 $\phi = 27.5^\circ$
 $c = 2.5 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma/\gamma' = 19.5/10.0 \text{ kN/m}^3$

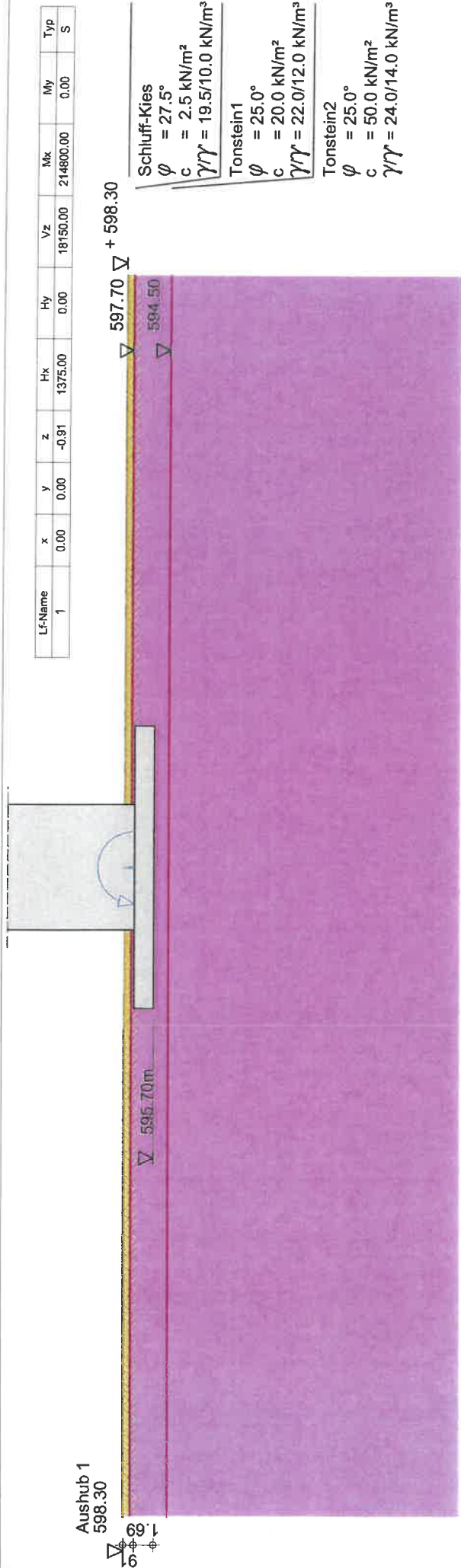
Tonstein1
 $\phi = 25.0^\circ$
 $c = 20.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma/\gamma' = 22.0/12.0 \text{ kN/m}^3$

Tonstein2
 $\phi = 25.0^\circ$
 $c = 50.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma/\gamma' = 24.0/14.0 \text{ kN/m}^3$

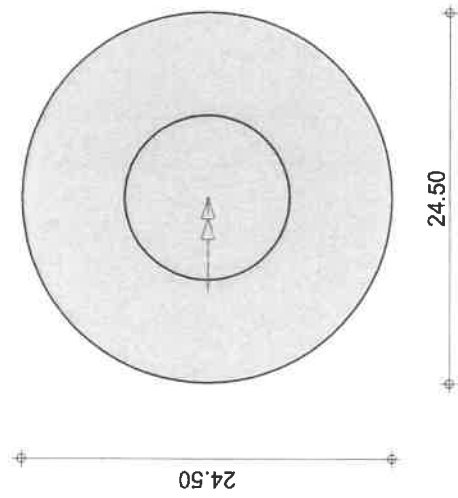
24.50



24.50

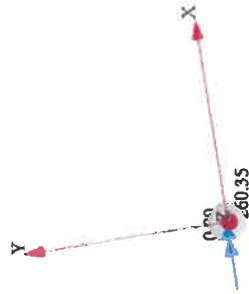


Lf-Name	x	y	z	Hx	Hy	Vz	Mx	My	Typ
1	0.00	0.00	-0.91	1375.00	0.00	18150.00	214800.00	0.00	S



GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner
 Lammelbach 5, 91567 Herrieden
 Windpark Ohrenbach
 WEA 8

Seite	3
Maßstab	1 : 500



Programm DC-Fundament - Copyright 2006-2021: DC-Software Doster & Christmann GmbH, D-81245 München

Eingabedatei: C:\ProgramData\DC-Grundbaustatik\Daten\WEA2\WEA8.dbf

Fundament-Berechnung nach DIN EN 1997-1 (Eurocode 7) und DIN 1054:2010

Erddruck nach DIN 4085:2017

Berechnung mit Nachweisverfahren 2
 Kombination mit Teilsicherheitsbeiwerten der Gruppen A1 + M1 + R2

Fundamenttyp: Einzelfundament, kreisförmig

Fundamentabmessungen

Durchmesser d : 24.50 m
 Unterkante : 595.70 mNN
 Höhe h : 1.69 m
 Wichte γ : 25.00 kN/m³
 Geländeoberkante auf 598.30 mNN

Schichtdaten

		Schluff-Kies	Tonstein1	Tonstein2
Schichthöhe Δh	[m]	0.60	3.20	96.20
Innere Reibung $\text{cal } \varphi'$	[°]	27.50	25.00	25.00
Kohäsion c	[kN/m ²]	2.50	20.00	50.00
Wichte Boden γ	[kN/m ³]	19.50	22.00	24.00
Wichte unter Auftrieb γ'	[kN/m ³]	10.00	12.00	14.00
Steifemodul E_s	[MN/m ²]	40.00	80.00	120.00
zul. Bodenpressung	[kN/m ²]		475.00	475.00

Lastfall BS
 1 P

Einzellasten

Lastfall	Kat.	V [kN]	H _x [kN]	H _y [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	x [m]	y [m]	z [m]	γ Grundbau	γ Bemess.	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Eigengew.	G	19953.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	-2.60	1.35	1.35			
1	G	18150.0	1375.0	0.0	14800.0	0.0	0.00	0.00	-0.91	1.35	1.35			

Teilsicherheitsbeiwerte für statisches Gleichgewicht (EQU):

γ -	G, stb	G, dst	Q, dst
BS-P	0.90	1.10	1.50
BS-T	0.90	1.05	1.25
BS-A	0.95	1.00	1.00
BS-T/A	0.93	1.03	1.13

Teilsicherheitsbeiwerte (STR, GEO) für Nachweisverfahren 2

γ -	G	Q	R,v	R,h	γ	φ	c	cu	Ea	E0g	Ep
BS-P	1.35	1.50	1.40	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.35	1.20	1.40
BS-T	1.20	1.30	1.30	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.10	1.30
BS-A	1.10	1.10	1.20	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.10	1.00	1.20
BS-T/A	1.15	1.20	1.25	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.15	1.05	1.25

- γ - Teilsicherheitsbeiwert für ...
- G ständige Lasten
- Q veränderliche Lasten
- R,v Grundbruchwiderstand
- R,h Gleitwiderstand
- γ Wichte
- φ Reibungsbeiwert $\tan \varphi$
- c Kohäsion c
- cu Kohäsion undrained cu
- Ea Aktiver Erddruck
- E0g Ruhedruck
- Ep Passiver Erddruck
- G, stb günstige ständige Lasten
- G, dst ungünstige ständige Lasten
- Q, dst ungünstige veränderliche Lasten

Lastfall-Kombinationen für Grundbaunachweise:

Komb.Nr.	Bem.sit.	Eigengew.	1
1	BS-P	1.00	1.00
2	BS-P	1.00	1.35
3	BS-P	1.35	1.00
4	BS-P	1.35	1.35

Lastfall-Kombinationen für Bemessung:

Komb.Nr.	Eigengew.	1
1	1.00	1.00
2	1.00	1.35
3	1.35	1.00
4	1.35	1.35

Ergebnisse:

Komb.Nr.	Sohl-normalsp. [kN/m ²]	max.Boden- pressung [kN/m ²]	Gleiten T _d /R _d	Grundbr. N _d /R _d	max. Setzung [mm]	e/d ständig	e/d gesamt	EQU: E _{d,dst} /E _{d,stb}
1	186.3	260.4	0.07	0.08	19.2	0.373	0.137	0.002
2	186.3	260.4	0.09	0.09	19.2	0.373	0.137	0.002
3	186.3	260.4	0.07	0.09	19.2	0.373	0.137	0.002
4	186.3	260.4	0.09	0.10	19.2	0.373	0.137	0.002

Maßgebend:

Komb.Nr.	Sohl-normalsp. [kN/m ²]	max.Boden- pressung [kN/m ²]	Gleiten T _d /R _d	Grundbr. N _d /R _d	max. Setzung [mm]	e/d ständig	e/d gesamt	EQU: E _{d,dst} /E _{d,stb}
	186.3	260.4	0.09	0.10	19.2	0.373	0.137	0.002

Nachweis der Lagesicherheit im GZ EQU

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 1, maßgebende Richtung: -y

Lage der Kippkante: (-12.25 m; -2.60 m)

E_{d,dst} = 563.23 kNm ≤ E_{d,stb} = 330473.29 kNm

*** Nachweis erfüllt ***

Nachweis der max. Bodenpressung

Schnittgrößen in der Sohlfuge

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 4

Belastung aus Eigengewicht: V = 19953.5 kN

Belastung aus Erdauflast: V = 9355.0 kN, M_y = 0.0 kNm, M_x = 0.0 kNm

Gesamtlast:

N = 47458.5 kN, Q_x = 1375.0 kN, M_y = 2327.9 kNm, Q_y = 0.0 kN, M_x = 214800.0 kNm

σ_{1(-x)} = 260.4 kN/m², σ_{2(+x)} = 0.0 kN/m²

Ersatzbreiten: b' = 15.45 m, a' = 16.49 m

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 4

(char. Sohlnormalspannung σ_{or,k} = 186.3 kN/m²)

Nachweis mit Bemessungswerten:

σ_{or,d} = 251.4 kN/m² < Bemessungswert Sohlwiderstand σ_{Rd} = 475.0 kN/m²

*** Nachweis erfüllt ***

Nachweis der Gleitsicherheit im Nachweisverfahren 2

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 2, maßgebende Richtung: +x

	Charakteristisch	Bemessungswerte
Belastung T	= 1375.0 kN	1856.3 kN
Erdwiderstand E _{ph} (δ _p = 0)	= 1375.0 kN	982.1 kN
Belastung V	= 47458.5 kN	
Reibungswinkel Sohle δ	= 25.00 °	
Gleitwiderstand R _t	= 22130.3 kN	20118.4 kN
Nachweis: T_d / (R_{t,d} + E_{p,d})	= 0.09 < 1.0	

*** Nachweis erfüllt ***

Nachweis der Grundbruchsicherheit im Nachweisverfahren 2

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 4, maßgebende Richtung: +x

Belastung		Charakteristisch	Bemessungswerte
Auflast P	=	27505.01 kN	37131.77 kN
Eigengewicht G	=	19953.50 kN	26937.22 kN
Gesamtlast V	=	47458.51 kN	64068.99 kN
Horizontallast H	=	1375.00 kN	1856.25 kN
Moment M_y	=	2327.88 kNm	3142.63 kNm
Moment M_x	=	214800.00 kNm	289980.00 kNm
Neigung der Resultierenden $\tan(\delta_s) = H/V$	=	0.03	
Lastrichtung zur Querrichtung ω	=	90.00 °	

Abmessungen

Einbindetiefe d	=	2.60 m
Ersatzbreite b'	=	15.45 m
Ersatzbreite quer a'	=	17.33 m

Ergebnisse

Breite der Grundbruchfigur	=	63.16 m
Tiefe der Grundbruchfigur	=	19.68 m
Maßgebende Bodenkennwerte: γ oberhalb Gründungssohle	=	21.42 kN/m ³
γ unterhalb Gründungssohle	=	23.80 kN/m ³
Reibungswinkel φ	=	25.00 °
Kohäsion c	=	48.56 kN/m ²
Tragfähigkeitsbeiwerte N_c, N_q, N_γ	=	20.72 10.66 4.51
Lastneigungsbeiwerte i_c, i_q, i_γ	=	0.95 0.96 0.93
Formbeiwerte s_c, s_q, s_γ	=	1.47 1.42 0.70

Grundbruchspannung p_d	=	2348.63 kN/m ²
Bemessungswert Grundbruchwiderstand R_d	=	628580.46 kN
Bemessungswert Beanspruchung N_d	=	64068.99 kN

Nachweis: $N_d / R_d = 0.10 < 1.0$

*** Nachweis erfüllt ***

Setzungsberechnung (GZG)

bezogen auf die Bodenpressungen an den kennzeichnenden Punkten:

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 1

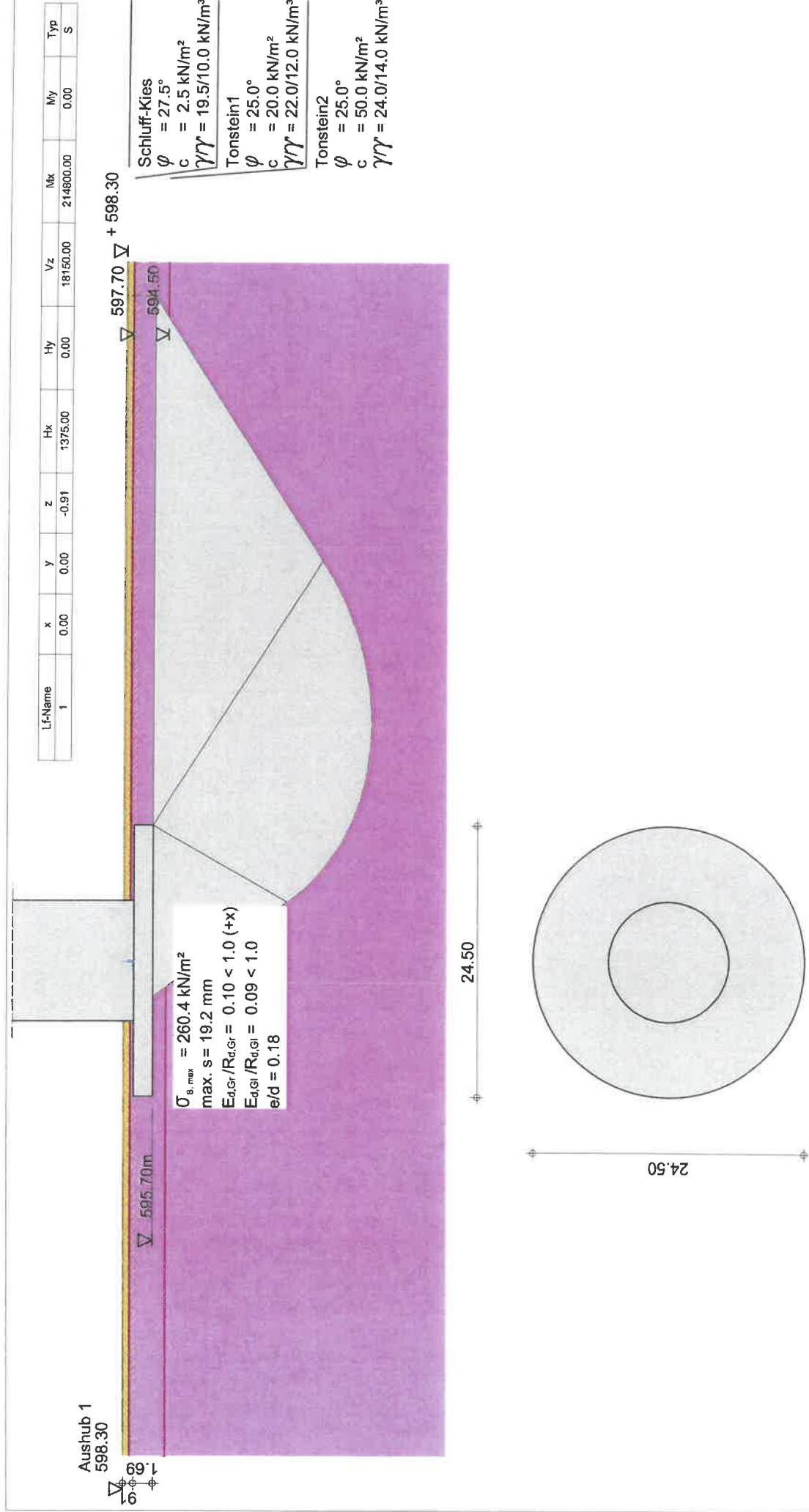
Setzung am Randpunkt (-r; 0):	8.3 mm
Setzung am Randpunkt (+r; 0):	8.5 mm
Setzung am Randpunkt (0;-r):	19.2 mm
Setzung am Randpunkt (0;+r):	-2.4 mm (Hebung)

Maximale Setzung:	19.2 mm
Angesetzte Grenztiefe:	13.80 m

Setzung nur aus Normalkraft:

Setzung am Randpunkt (-r; 0):	5.9 mm
Setzung am Randpunkt (+r; 0):	6.1 mm
Setzung am Randpunkt (0;-r):	6.0 mm
Setzung am Randpunkt (0;+r):	6.0 mm

Maximale Setzung:	6.1 mm
Angesetzte Grenztiefe:	9.80 m



Lf-Name	x	y	z	Hx	Hy	Vz	Mx	My	Typ
1	0,00	0,00	-0,91	1375,00	0,00	18150,00	214800,00	0,00	S

Aushub 1
598.30

597.70 ∇ + 598.30

595.70m



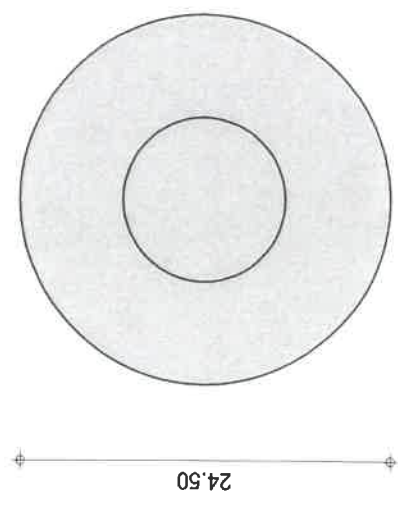
$\sigma_{B, \max} = 260.4 \text{ kN/m}^2$
 $\max. s = 19.2 \text{ mm}$
 $E_{d,Gr}/R_{d,Gr} = 0.10 < 1.0 (+x)$
 $E_{d,Gl}/R_{d,Gl} = 0.09 < 1.0$
 $e/d = 0.18$

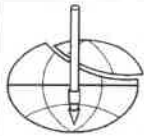
Schluff-Kies
 $\varphi = 27.5^\circ$
 $c = 2.5 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma/\gamma' = 19.5/10.0 \text{ kN/m}^3$

Tonstein1
 $\varphi = 25.0^\circ$
 $c = 20.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma/\gamma' = 22.0/12.0 \text{ kN/m}^3$

Tonstein2
 $\varphi = 25.0^\circ$
 $c = 50.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma/\gamma' = 24.0/14.0 \text{ kN/m}^3$

24.50





GEOTECHNIK GmbH

Prof. Dr. -Ing. Herrmann & Partner

Lammelbach 5

91567 Herrieden

Web: www.geotechnik-gmbh.com
e-mail: GEOTECHNIK_GmbH@t-online.de

Büro 2: Hans-Böckler-Straße 1
57223 Kreuztal – Buschhütten

Büro 1: Lammelbach 5
91567 Herrieden

Telefon: 09825 – 9 34 13
09825 – 9 34 14
Telefax: 09825 – 9 34 15

Funktelefon 1: 0170 – 4751946
Funktelefon 2: 0170 – 5533881

Telefon: 02732 – 55 28 26
Telefax: 02732 – 55 28 27

**Windpark
Ohrenbach
Windenergieanlage
WEA 9**

**Vestas Typ V162 6,0MW
169 m Nabhöhe
in 57319 Bad Berleburg**

**Auftraggeber:
Krug Energie GmbH & Co. KG
35117 Münchhausen**

**Ergebnisse
der geotechnischen Untersuchungen
- Baugrund- / Gründungsgutachten -**

Auftraggeber:	Firma Krug Energie GmbH & Co. KG Dorfstraße 53 35117 Münchhausen-Wollmar
Projekt:	Windpark Ohrenbach, Windenergieanlage WEA 9 Fa. Vestas Typ V162 6,0MW, 169 m Naben- höhe bei Bad Berleburg 57319 Bad Berleburg
Auftrag:	Geotechnische Untersuchungen - Baugrund-/Gründungsgutachten (Geotechnischer Bericht nach DIN 4020)
Ihre Zeichen:	Herr Hans-Hermann Zacharias Auftrag vom 27.05.2021 (E-Mail)
Unsere Zeichen:	GEO-210129/8
Bearbeitung:	Dipl.-Ing. (FH) Thorsten Lauber Univ.-Prof. Dr.-Ing. Richard A. Herrmann
Lammelbach,	den 28.10.2021

Inhaltsverzeichnis:		Seite
1	Vorgang	4
2	Allgemeines	4
3	Geotechnische Untersuchungen	6
4	Geologie und Morphologie	13
5	Baugrundbeurteilung	14
6	Gründungsempfehlungen	15
7	Zusammenfassung und Schlussbemerkungen	32

Anlagen:

Anlage 1:	Lageplan der Aufschlüsse
Anlagengruppe 2:	Darstellung des direkten Aufschlusses Bohrung BK WEA 9 (nach DIN EN ISO 22475-1) - Bohrprofil (Anlage 2.1) - Bilddokumentation (Anlage 2.2)
Anlagengruppe 3:	Darstellung der indirekten Aufschlüsse Ergebnisse der schweren Rammsondierungen WEA9-DPH-1 bis WEA9-DPH-5 - (Anlage 3.1 - 3.10)
Anlage 4:	Abwicklung des direkten Aufschlusses und der indirekten Aufschlüsse
Anlagengruppe 5:	Ergebnisse der felsmechanischen Laborversuche Punktlastversuche und Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit an Festgesteinsproben - (Anlage 5.1 - 5.2)
Anlagengruppe 6:	Fundamentberechnung - Sohlspannung, Setzung, Grundbruch, Gleiten u.a. - (Anlage 6.1 - 6.10)

1 Vorgang

Die Firma Krug Energie GmbH & Co. KG als Bauherr und Investor, vertreten durch Herrn Hans-Hermann Zacharias beauftragte uns am 27.05.2021 mit der Durchführung von geotechnischen Untersuchungen und der Ausarbeitung von Baugrund-/Gründungsgutachten (Geotechnischer Bericht nach DIN 4020) für die Errichtung von 8 Windenergieanlagen (WEA 2 - WEA 9) im Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg.

Grundlage der Beauftragung ist unser Kostenangebot vom 29.01.2021.

2 Allgemeines

Das Bauvorhaben sieht nach den vorliegenden Planunterlagen den Bau von insgesamt 8 Windenergieanlagen der Firma Vestas Wind Systems A/S, DK-8200 Aarhus vom Typ V162, 6,0 MW mit einer Nabenhöhe von 169 m vor. Der Hybridturm aus einem ca. 74,76 m hohen Stahlrohrturm über einem ca. 89,09 m hohen Spannbetonschaft steht auf einer kreisförmigen Fundamentplatte mit einem Durchmesser von 24,5 m. Das Fundament weist eine Höhe von 2,90 m auf und wird auf einer ca. 10 cm dicken Sauberkeitsschicht hergestellt. Im Zentrum des Fundamentes wird mit einem Durchmesser von 4,4 m eine Weichschicht mit $d = 5$ cm auf der Sauberkeitsschicht eingebaut und zusätzlich außerhalb des Sockels mit einer Breite von 2 m eine Weichschicht $d = 15$ cm in die Sauberkeitsschicht eingebaut.

Der Windpark Ohrenbach befindet sich südöstlich der Stadt Bad Berleburg im Waldgebiet zwischen den Einzelgehöften Lützelbach/Steinbach im Nordwesten, den Dörfern Arfeld im Südwesten, Schwarzenau mit dem Oberen Hüttental im Südosten und dem Hof Brücher im Nordosten. Neben den geplanten 8 Anlagen erfolgen benachbart für 4 bereits genehmigte Anlagen der Eder Energy Erdarbeiten für die Erschließung und Baufeldvorbereitung.

Das Gelände wird von den Erhebungen des Großen Prenzenberger Kopfes (653 mNN) im Nordwesten, Ohrenbachsrücken (593 mNN) im Südwesten, dem Hahnschuß (600 mNN) im Südosten, der Schlade Seite (635 mNN) im Osten und dem Nesselbergskopf (671 mNN) im Nordosten geprägt und dazwischen hat sich das Arfetal in das Gelände eingeschnitten.

Der Standort der WEA 9 mit den Mittelpunktkoordinaten im ETRS/UTM 32N-System von Re 461630 und Ho 5653993 und einer Höhe von ca. 549,0 mNHN (im Zentrum) liegt an einem Höhenrücken ca. 20 m westlich des Hochpunktes an der Hellersche'n Hude (Pkt. 551,5

mNHN) in einem nach Süden, Westen und Norden abfallenden Hang am südöstlichen Rand des geplanten Windparks.

Das Baugrundstück befindet sich in einer Kahlfläche und liegt oberhalb eines Waldwirtschaftsweges. Für die Durchführung der Baugrunderkundung, d.h. Erreichbarkeit für ein Bohrgerät und das zugehörige Equipment wurde eine Zufahrt zum Zentrum der Anlage hergestellt.

Zur Bearbeitung des Baugrund-/Gründungsgutachtens und als Vorinformation zum Bauvorhaben wurden uns bisher folgende Planunterlagen zur Verfügung gestellt:

- **Prüfbericht für eine Typenprüfung „Prüfung der Standsicherheit - Hybridturm T20“**, Prüfnr.: 3108363-13-d (15 Seiten [mit Anlagen]), aufgestellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Prüfamts für Standsicherheit für die bautechnische Prüfung von Windenergieanlagen, 80686 München, am 17.02.2020
- **Prüfbericht für eine Typenprüfung „Prüfung der Standsicherheit - Flachgründung“**, Prüfnr.: 3108363-23-d, (201 Seiten [mit Anlagen]), aufgestellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Prüfamts für Standsicherheit für die bautechnische Prüfung von Windenergieanlagen, 80686 München, am 17.02.2020
- **Gutachterliche Stellungnahme für Lastannahmen zur Turmberechnung der Vestes V162-5.6 MW mit 169 m Nabenhöhe (Hybrid-Turm, Entwurfslebensdauer 20 Jahre) für Windzone WZ2GK2 (S)**, Berichts-Nr. L-05629-A052-3 Rev. 1, (243 Seiten [mit Anlagen]), aufgestellt von DNV GL Energy Renewables Certification, Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH, 20457 Hamburg, am 05.02.2020
- **Plan „Übersichtsplan 2/2, Übersicht WEA 7 - 9 [Planung]**, M.: 1:5000, aufgestellt von Windenergie Wenger-Rosenau GmbH & Co. KG, 16816 Neuruppin, gezeichnet am 29.07.2021
- **Plan „Übersicht 8 WEA [Entwurf]**, M.: 1:10000, aufgestellt von Windenergie Wenger-Rosenau GmbH & Co. KG, 16816 Neuruppin, gezeichnet am 20.04.2021
- **Koordinatenliste der Anlagen-Mittelpunkte**, Stand: 01.06.2021
- **Liste „Geländehöhen der Anlagen-Mittelpunkte“**, übermittelt von Dipl.-Ing. Burghaus, ÖbVI, Stand: 14.10.2021, Messgenauigkeit ca. $\pm 10 - 15$ cm

3 Geotechnische Untersuchungen

3.1 Allgemeines

Die geotechnischen Untersuchungen des Baugrundes und der örtlichen Situation für die geplante Errichtung der Windenergieanlage WEA 9 im Windpark Ohrenbach wurden am 24.06.2021 mit der Durchführung von fünf schweren Rammsondierungen DPH nach DIN EN ISO 22476-2 zur Ermittlung der relativen Baugrundfestigkeiten sowie zur Abgrenzung eines vorhandenen Grenzhorizontes begonnen. Die Felduntersuchungen wurden am 21. - 22.07.2021 mit dem Niederbringen einer Bohrung nach DIN EN ISO 22475-1 Tabelle 2 + 5 zur Schaffung eines *direkten* Baugrundaufschlusses und der Wiederverfüllung des Bohrloches abgeschlossen.

Die Bohrung wurde zur Schaffung eines direkten Baugrundaufschlusses mit der Gewinnung durchgehend gekernter Boden- und Felsproben und damit zur Beurteilung der Baugrundverhältnisse im Bereich der geplanten neuen Windenergieanlage abgeteuft. Die Rammsondierungen dienten zur Ermittlung geotechnischer insitu Kenngrößen nach DIN EN 1997-2, aus denen geotechnische Kennwerte für die Bemessung nach DIN EN 1997-1 abgeleitet werden, sowie zur Abgrenzung von Festigkeits- und Grenzhorizonten.

Die Festlegung der Bohr- und Sondierpunkte wurde in Anlehnung an die DIN 4020 und die örtlichen Gegebenheiten an definierten Punkten in Form eines Rasters (hier zentralsymmetrische Anordnung) ausgewählt, um eine flächenhafte Erkundung des Baugrundes im Bereich des Turmfundamentes zu erzielen.

Die geodätische Einmessung der einzelnen Aufschlusspunkte bzw. der Ansatzhöhen erfolgte mit einer GPS-Vermessung. Die Ansatzhöhen sind auf das Normalhöhennull (mNHN) im System des Deutschen Haupthöhennetzes (DHHN 2016) bezogen.

Die Lage der durchgeführten Untersuchungen im Bereich des Baugrundstückes wurde mit den Orten der Bohrung und Sondierungen auf dem Grundriss des Baugeländes eingemessen. Diese Einmessung wurde in einem Lageplan dargestellt und ist dem Baugrund-/ Gründungsgutachten als **Anlage 1** beigelegt. Als Grundplan diente ein Auszug aus dem Plan „Übersichtsplan 2/2, Übersicht WEA 7 - 9 [Planung] des Büros Windenergie Wenger-Rosenau GmbH & Co. KG, 16816 Neuruppin.

3.2 Direkter Aufschluss mit einer Bohrung nach DIN EN ISO 22475-1

Bohrung BK WEA 9

Die Bohrung BK WEA 9 wurde von dem von der Firma Krug Energie direkt beauftragten Bohrunternehmen Stölben GmbH, 56856 Zell/Mosel, mit Bohrverfahren nach Tabelle 2 und 5 der DIN EN ISO 22475-1 abgeteuft. Der Bohrpunkt für BK WEA 9 wurde ca. 1 m neben dem Zentrum des geplanten Fundamentes der Windenergieanlage festgelegt. Die Bohrung wurde als Rammkernbohrung mit Einfachkernrohr im Überlagerungsbereich im Trockenbohrverfahren und als Rotationskernbohrung im Felsbereich mit Wasserspülung mit dem Doppelkernrohr abgeteuft und wurde bei einer Bohrtiefe von 12 m planmäßig beendet. Das Spülwasser wurde aus dem Trinkwassernetz in Bad Berleburg entnommen und mit einem Wasserfass zur Bohrstelle transportiert.

Die Lage der Bohrung ist im Lageplan der **Anlage 1** dargestellt.

Bohrung BK WEA 9

Die Bohrung BK WEA 9 wurde ca. 1 m neben dem Mittelpunkt des geplanten Kreisringfundamentes der Windenergieanlage WEA 9 niedergebracht. Der Oberboden war im Bereich um das Zentrum der Anlage mit der Herstellung einer Arbeitsebene für das Bohrgerät bereits abgetragen worden.

Bohrung BK WEA 9 (Ansatzpunkt = 549,10 mNHN)

Die Bohrung BK WEA 9 ergab folgendes Bohrprofil:

- | | |
|---------------|--|
| 0,00 – 0,70 m | Schluff, stark kiesig, schwach steinig, organisch, halbfest bis fest, mit Holz- / Wurzelresten, hell-dunkelbraun |
| 0,70 – 1,00 m | Schluff, kiesig, steinig, halbfest bis fest, mit Holz- / Wurzelresten, dunkelbraun |

- 1,00 – 2,10 m Tonstein, vollständig verwittert, plattig, stückig bis grusig, schlechte Kornbindung, dicht, nichtkörnig, dunkel-schwarzbraun
- 2,10 – 3,15 m Tonstein, schiefrig, stark verwittert, plattig, mäßige Kornbindung, dicht nichtkörnig, teils schluffige Kluffüllungen, grau-schwarzbraun
- 3,15 – 6,10 m Tonstein, schiefrig, mäßig verwittert, stückig, gute bis sehr gute Kornbindung, dicht, nichtkörnig, gewellt, grau-schwarzbraun
- 6,10 – 7,80 m Tonstein, schiefrig, schwach verwittert, gute bis sehr gute Kornbindung, dicht, nichtkörnig, grau-schwarzbraun
- 7,80 – 12,00 m Tonstein, frisch, schwach klüftig bis kompakt, sehr gute Kornbindung, quarzitisches, dicht, nichtkörnig, mit Quarzbändern bei 8,5, 9,7, 9,9 und ab 10,7 m stark gebändert, schwarzbraun-hellgrau
- Ein Grund-/Schichtenwasser wurde im Bohrloch der Bohrung BK WEA 9 im Beobachtungszeitraum nicht festgestellt.

Die Bohrung BK WEA 9 wurde planmäßig in einer Tiefe von 12,00 m unter GOF bei 537,10 NHN beendet. Das Bohrloch wurde nach Beendigung der Bohrarbeiten mit hoch quellaktivem Tongranulat verfüllt.

Die Ergebnisse des direkten Aufschlusses (Bohrung BK WEA 9) sind in der **Anlage 2.1** als Bodenprofil nach DIN 4023 dargestellt.

3.3 Indirekte Aufschlüsse mit Rammsondierungen nach DIN EN ISO 22476-2

Rammsondierungen DPH

Die Lage der Sondierpunkte ist im Lageplan der *Anlage 1* dargestellt.

Schwere Rammsondierungen DPH-1 bis DPH-5

Zur Ermittlung der Baugrundfestigkeiten und zur Abgrenzung der Verwitterungshorizonte (Überlagerung) sowie des Grenzhorizontes wurden im Bereich des Baugrundstücks fünf schwere Rammsondierungen DPH nach DIN EN ISO 22476-2 durchgeführt. Die Rammsondierungen dienten zur Ermittlung geotechnischer insitu Kenngrößen nach DIN EN 1997-2, aus denen geotechnische Kennwerte für die Bemessung nach DIN EN 1997-1 abgeleitet werden, sowie zur Abgrenzung von Festigkeits- und Grenzhorizonten.

Die Rammsondierungen DPH wurden im Zentrum und in einem Radius von 12,25 m um das Zentrum der geplanten Windenergieanlage absondiert und waren mit Rammwiderständen $N_{10} \geq 50$ Schläge pro 10 cm Eindringung planmäßig zu beenden.

Die Sondierungen ergaben oberflächennah bis in eine Tiefe von 0,4 bis 0,7 m eine Zone mit sehr geringen bis geringen Rammwiderständen mit 1 bis 4 (Schlägen pro 10 cm Eindringung)*. Nachfolgend wurde bei DPH-1 ein Anstieg auf wechselnde mittlere bis geringe Schlagzahlen und ab einer Tiefe von 1,5 m eine weitere Zunahme auf höhere Sondierwiderstände ($N_{10} \geq 10^*$) gemessen. Bei den Sondierungen DPH-2 bis DPH-5 wurde unter dem vorbeschriebenen Sondierabschnitt eine Zunahme auf höhere Schlagzahlen gemessen, die bei DPH-5 im Tiefenbereich von 2,0 bis 2,1 m auf mittlere bis niedrige Sondierwiderstände zurückgingen. Darunter folgte ein meist treppenförmiger Anstieg der Rammwiderstände, bevor die Sondierungen in einer Tiefe von 1,0 bis 2,3 m am Grenzhorizont, ausgewiesen mit $N_{10} \geq 50$ beendet wurden.

Die Sondierungen DPH-1 bis DPH-5 wurden bei ca. 545,5 bis 548,9 mNHN mit Erreichen des Grenzhorizontes beendet.

In der Zusammenfassung lassen sich der direkte und die indirekten Aufschlüsse wie folgt bewerten:

In Verbindung mit dem direkten Aufschluss sind die -nach dem erfolgten Oberbodenabtrag gemessenen sehr geringen bis geringen Rammwiderstände auf (stark) kiesige, (schwach)

steinige, teils organische Schluffe in halbfester bis fester Konsistenz zurückzuführen. Der Anstieg der Sondierwiderstände auf mittlere und höhere N_{10} -Werte ist mit dem Erreichen des Verwitterungshorizontes der Styliolinschiefer- und sandstein-Folge in Form von vollständig und stark verwitterten Tonsteinen, grusig bis stückig, mit schlechter und mäßiger Kornbindung verbunden, die auch den Grenzhorizont der Sondierungen bilden. Im tieferen Untergrund wurden zunächst mäßig verwitterte, ab 6,1 m schwach verwitterte und ab 7,8 m frische Tonsteine, schiefrig, mit guter bis sehr guter Kornbindung und im unteren Bereich einer Quarzbänderung bis zum Ende der Bohrung bei 12,0 m erbohrt.

In der nachfolgenden Tabelle werden die Koten für die Rammwiderstandshorizonte mit $N_{10} \geq 10$ und $N_{10} \geq 50$ für den Bereich des geplanten Fundamentes dargestellt.

Tabelle 3.3-1: Höhenkoten Rammwiderstandshorizont $N_{10} \geq 10$ und $N_{10} \geq 50$ [Schläge/10 cm]

DPH	Höhenkote Sondieransatzpunkt	Höhenkote (Tiefe u. ASP) RW-Horizont	Höhenkote (Tiefe u. ASP) RW-Horizont
		$N_{10} \geq 10$ [Schläge/10 cm]	$N_{10} \geq 50$ [Schläge/10 cm]
Nr.	mNHN	mNHN (m)	mNHN (m)
DPH-1	549,04	547,54 (1,5)	546,94 (2,1)
DPH-2	548,17	547,17 (1,0)	546,47 (1,7)
DPH-3	549,93	549,33 (0,6)	548,93 (1,0)
DPH-4	548,11	547,01 (1,1)	546,31 (1,8)
DPH-5	547,77	545,57 (2,2)	545,47 (2,3)

Die Ergebnisse der schweren Rammsondierungen sind in der **Anlagengruppe 3** (Anlagen 3.1 - 3.10) in Form von Sondierprotokollen und Rammdiagrammen nach DIN EN ISO 22476-2 zusammengestellt.

3.4 Laboruntersuchungen

Die bei der Kernbohrung BK WEA 9 gewonnenen Bohrkern aus der Dachschieferfolge wurden zur Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit an das Labor FeBoLab GmbH, 91747 Westheim übergeben.

3.4.1 Ermittlung der einaxialen Druckfestigkeit q_u mittels Punktlastversuchen gemäß den Empfehlungen Nr. 5 der DGGT

Die Ermittlung der einaxialen Druckfestigkeit q_u wurde über Korrelationsbeziehungen aus Punktlastversuchen gemäß den Empfehlungen Nr. 5 der DGGT durchgeführt. Die Ergebnisse der Punktlastversuche sind mit der Angabe der Probenabmessungen, der Bruchlast und den mit Korrelationsbeziehungen errechneten Punktlastindex $I_{s(50)}$ der Felsproben tabellarisch dargestellt (siehe auch Versuchsprotokoll in der **Anlage 5.1 - 5.2**).

Tabelle 3.4-1: Punktlastindex $I_{s(50)}$

Aufschluss Bohrung (Nr.)	Entnahmetiefe unter Ansatzpunkt [m]	Punktlastindex $I_{s(50)}$ [MN/m ²]
BK WEA 9	2,00 - 2,10	7,832 (s)
BK WEA 9	2,10 - 2,30	0,878 (s)
BK WEA 9	2,30 – 2,50	1,021 (s)
BK WEA 9	2,50 – 2,70	2,680 (s) 0,213 (p)
BK WEA 9	2,70 – 2,90	8,562 (s)
BK WEA 9	2,90 – 3,00	8,923 (s)
BK WEA 9	3,00 – 3,20	6,305 (s)
BK WEA 9	3,20 – 3,40	6,493 (s)
BK WEA 9	3,40 – 3,60	4,331 (s)
BK WEA 9	3,60 – 3,70	1,907 (s) 0,996 (p)
BK WEA 9	3,70 - 3,90	8,343 (s)
BK WEA 9	3,90 – 4,00	8,757 (s)

Der untersuchte Tonstein weist im Punktlastversuch unter Ansatz des Korrekturdiagramms der BAW (Korrekturfaktor = 20) eine einaxiale Druckfestigkeit q_u von 18 bis 178 [MN/m²] (senkrechte Belastungsrichtung) bzw. 4 bis 20 [MN/m²] (parallele Belastungsrichtung) auf.

Das Ergebnis der Laboruntersuchungen ist in Form von Versuchsprotokollen in der **Anlagegruppe 5** (Anlage 5.1 - 5.2) diesem Baugrund-/Gründungsgutachten beigefügt.

4 Geologie und Morphologie

4.1 Allgemeine Geologische Situation

Die Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen, Blatt Nr. 4916 Bad Berleburg weist für das Baugelände der WEA 9 die Styliolinschiefer- und Sandstein-Folge der Givet-Stufe aus der Formation Mitteldevon aus. Südöstlich angrenzend ist der Übergang zu den Adorf-Bänderschiefern ausgewiesen. Das Gebirge ist hier überkippt und fällt mit einem Winkel von ca. 70° nach Nordwesten ein.

Die durchgeführten geotechnischen Untersuchungen stehen in Einklang mit der geologischen Karte und zeigen, dass am Standort der WEA 9 die Styliolinschiefer- und sandstein-Folge ansteht. Die Styliolinschiefer- und sandstein-Folge besteht aus Tonstein, geschiefert, dunkel- bis grüngrau und schwarz, teils mit Styliolinen und Tentaculiten; Sandstein, grau bis grüngrau, z.T. stark karbonatisch, mit Sedimentstrukturen und örtlich reich an Styliolinen und bildet in diesem Bereich das Liegende.

4.2 Erdbebenzone

Das Baugrundstück befindet sich in der Erdbebenzone 0 nach DIN EN 1998-1/NA. Für die Erdbebenzone 0 ist der Grad der Erdbebengefährdung als so gering einzuschätzen, dass ein Nachweis der Standsicherheit für den Lastfall Erdbeben nicht erforderlich ist.

4.3 Morphologie

Der Windpark Ohrenbach befindet sich südöstlich der Stadt Bad Berleburg im Waldgebiet zwischen den Einzelgehöften Lützelbach/Steinbach im Nordwesten, den Dörfern Arfeld im Südwesten, Schwarzenau mit dem Oberen Hüttental im Südosten und dem Hof Brücher im Nordosten. Neben den geplanten 8 Anlagen erfolgen benachbart für 4 bereits genehmigte Anlagen der Eder Energy Erdarbeiten für die Erschließung und Baufeldvorbereitung.

Das Gelände wird von den Erhebungen des Großen Prenzenberger Kopfes (653 mNN) im Nordwesten, Ohrenbachsrücken (593 mNN) im Südwesten, dem Hahnschuß (600 mNN) im Südosten, der Schlade Seite (635 mNN) im Osten und dem Nesselbergskopf (671 mNN) im Nordosten geprägt und dazwischen hat sich das Arfetal in das Gelände eingeschnitten.

Der Standort der WEA 9 liegt an einem Höhenrücken ca. 20 m westlich des Hochpunktes an der Hellersche'n Hude (Pkt. 551,5 mNHN) in einem nach Süden, Westen und Norden abfallenden Hang am südöstlichen Rand des geplanten Windparks. Die Hangneigung beträgt am Anlagenstandort ca. 5°.

5 Baugrundbeurteilung

Die geotechnischen Untersuchungen zeigen, dass unter dem Wald-/Oberboden (stark) kiesige, (schwach) steinige Schluffe in halbfester bis fester Konsistenz und darunter ab 1,0 m Tonstein, vollständig verwittert, mit schlechter Kornbindung ansteht. Anschließend folgen ab einer Tiefe von ca. 2,1 m stark verwitterte Tonsteine, schiefrig, plattig, mit mäßiger Kornbindung, die den Grenzhorizont der Sondierungen bilden. Nachfolgend wurden ab 3,15 m mäßig verwitterte, ab 6,1 m schwach verwitterte und ab 7,8 m frische Tonsteine, schiefrig, plattig, mit guter bis sehr guter Kornbindung und im unteren Bereich einer Quarzbänderung bis zum Ende der Bohrung bei 12,0 m erbohrt.

Die Styliolinschiefer- und sandstein-Folge stellt in den Zonen mit höheren Sondierwiderständen einen ausreichend tragfähigen Baugrund für die Gründung der Windkraftanlage und am bzw. unterhalb dem Grenzhorizont der Sondierungen einen gut tragfähigen Baugrund für die Gründung der Windkraftanlage dar. Der Grenzhorizont der Sondierungen weist aufgrund der Hanglage eine Höhendifferenz von ca. 3,4 m innerhalb der Fundamentfläche auf.

Ein Grund-/Schichtenwasser wurde im Bohrloch der Bohrung BK WEA 9 -im Zeitraum der Grundwasserbeobachtung- nicht festgestellt.

6 Gründungsempfehlungen

6.1 Gründungsvariante

Gründung der Windkraftanlage mit einem Kreisfundament auf dem Tonsteinhorizont der Styliolinschiefer- und sandstein-Folge

Allgemeines

Das Gelände im Bereich der geplanten Windenergieanlage WEA 9 fällt nach Norden, Westen und Süden von ca. 549,9 mNHN auf 548,2 bzw. 547,7 mNHN um maximal ca. 2,2 m ab. Daraus resultiert eine Hangneigung von ca. 5°. Die Geländehöhe im Zentrum der Anlage beträgt ca. 549,0 mNHN.

Für die Gründung der Windenergieanlage wird auf der Grundlage der Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen und der Hangsituation eine Gründungskote (UK Sauberkeitsschicht) bei ca. 546,5 mNHN empfohlen. Diese Kote liegt ca. 1,2 bis 3,4 m unter der derzeitigen Geländeoberfläche.

Die empfohlene Gründungskote liegt nach den Ergebnissen der geotechnischen Untersuchungen vorwiegend in stark verwitterten Tonsteinen unterhalb bzw. am Übergang zum Grenzhorizont der Sondierungen. Im westlichen Randbereich bei DPH-5 sind zunächst die anstehenden gering tragfähigen Boden-/Felszonen in einer Mächtigkeit von ca. 1,1 m auszutauschen.

Ein Grund-/Schichtenwasser wurde bei der Bohrung BK WEA 9 im Beobachtungszeitraum nicht festgestellt. Zur Wasserhaltung im Bauzustand und Sicherung gegen Aufschwimmen im Endzustand wird in Verbindung mit der Gefällesituation der Einbau einer drucklosen, wartungsfreien Drainage empfohlen, siehe nachfolgende Empfehlungen.

Im Bereich von DPH-5 ist bei der empfohlenen Gründungskote noch ein Bodenaustausch zum Ausräumen der geringer tragfähigen Zonen bis zum Erreichen der mäßig verwitterten Tonsteine erforderlich, um eine annähernd setzungsfreie, insbesondere aber verkantungs-/verkipfungsfreie Auflagerung des hohen und schlanken Bauteiles sicherzustellen. Die Austauschmächtigkeit beträgt hier voraussichtlich ca. 1,0 m.

Nach dem vorliegenden Prüfbericht für eine Typenprüfung „Prüfung der Standsicherheit - Flachgründung“ zur geplanten Windenergieanlage vom Typ Vestas V162, 6,0 MW mit einer Nabenhöhe von 169 m kann die Gründung als Flachgründung mit einem Kreisfundament mit einem Durchmesser D_A von 24,5 m erfolgen, wobei der höchste, für den Auftrieb maßgebende Wasserstand bei 0,24 m über Fundamentunterkante liegen darf.

Im genannten Prüfbericht werden für den Baugrund folgende Anforderungen gestellt:

3.3 Baugrund

Die Mindestwerte der dynamischen und statischen Drehfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Fundament betragen gemäß Dokument [4] $k_{\varphi,dyn} \geq 95 \text{ GNm/rad}$ und $k_{\varphi,stat} \geq 40 \text{ GNm/rad}$.

Der höchste für den Auftrieb maßgebende Wasserstand liegt bei 0,24 m über Fundamentunterkante.

...

Auflagen

Baugrund

- 1. Die vorhandenen Bodenkennwerte, die Zuordnung des Bodens zu Expositionsklassen nach DIN EN 1992-1-1/3/3 und der höchste für den Auftrieb maßgebende Wasserstand sind für den jeweiligen Standort zu ermitteln und im geotechnischen Untersuchungsbericht zu beschreiben.*
- 2. Grundbautechnische Berechnungen sind im Rahmen des geotechnischen Entwurfsberichts durchzuführen. Die Schnittgrößen an Fundamentunterkante sind in [2] angegeben.*
- 3. Die Mindestwerte der dynamischen und statischen Drehfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Fundament gemäß Abschnitt 3.3 müssen für den jeweiligen Standort nachgewiesen werden. Dabei kann das Fundament in guter Näherung als Starrkörper angenommen werden.*
- 4. Die im geotechnischen Entwurfsbericht angenommenen Baugrundverhältnisse sind beim Baugrubenaushub vom Bodengutachter zu überprüfen und zu bestätigen. Vor Aufbringen der Sauberkeitsschicht ist die Tragfähigkeit der Baugrubensohle durch den Bodengutachter zu bestätigen.*

Aus den geotechnischen Untersuchungen und den v.g. technischen Anforderungen ergeben sich die nachfolgenden Empfehlungen:

Herstellung des Baugrubenaushubs und des Bodenaustausches

Die empfohlene Gründungskote mit 546,5 mNHN liegt -bis auf den Bereich DPH-5- unterhalb bzw. am Grenzhorizont der Sondierungen mit $DPH-N_{10} \geq 50^*$ und damit im gut tragfähigen Tonsteinhorizont.

Zur Erreichung der Gründungssohle sind nach dem Abtrag des Ober-/Waldbodens zunächst die (stark) kiesigen, (schwach) steinigen, teils organischen Schluffe in halbfester bis fester Konsistenz auszuräumen und zu beseitigen.

Anschließend sind die vollständig und stark verwitterten Tonsteine mit schlechter und mäßiger Kornbindung bis zur Gründungssohle auszuheben bzw. auszubrechen.

Der Baugrubenaushub sollte mit einem Kettenbagger, der mit einem Baggerlöffel mit Felszähnen ausgestattet ist, erfolgen, um die erkundeten Tonsteine lösen zu können. Der Endaushub, d.h. das Abziehen der Baugrubensohle sollte zur Vermeidung von tiefer reichenden Auflockerungen mit einem Baggerlöffel ohne Zähne oder einer Fräse erfolgen. Gegebenfalls ist die Gründungssohle von Hand nachzuarbeiten.

Anschließend ist im Bereich von DPH-5 und Übergangsbereich zur DPH-5 -zur Geländeeinbindung/Geländebruchsicherheit- ein Bodenaustausch bis zur Kote $N_{10} \geq 50^*$ bis in eine Tiefe von ca. 2,2 m unter GOF herzustellen. Dieser Bodenaustausch ist zur Erzielung einer Lastausbreitung mit einem Überstand von mindestens der Höhe des Tragschichtaufbaues/ Bodenaustausches über die Außenkante des Kreisfundamentes hinauszuführen, was bei DPH-5 eine Baugrubenverbreiterung der kreisrunden Baugrube erforderlich macht.

Der Bodenaustausch ist mit

Variante a) durch gering verwittertes Tonsteinmaterial aus den benachbarten Aushubbereichen zu ersetzen mit einem qualifizierten, lagenweisen Einbau $d \leq 25$ cm mit den Anforderungen für $E_{v2} \geq 120$ MN/m², $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,0$, lagenweise nachgewiesen
oder

Variante b) das ausgehobene Material durch Zugabe von Zement qualifiziert zu verbessern und danach lagenweise wieder bis zur UK Sauberkeitsschicht einzubauen und qualifiziert zu verdichten.

Zur qualifizierten Bodenverbesserung bzw. Verbesserung von granularem Felsmaterial wird ein Bindemittelgehalt von ca. 3 Gew.-% empfohlen, woraus eine Menge von ca. 60 kg je m³

verbesserten Boden-/Felsbruchmaterial resultiert. Das Bindemittel kann mit einer Anbaufräse, Schaufelseparator oder anderem geeigneten Gerät eingearbeitet und das Aushubmaterial mit dem Bindemittel vermischt werden. Beim Einfräsen des Bindemittels kann ggf. eine dosierte Wasserzugabe für die Hydratation des Zementanteils erforderlich werden. Die Wassermenge ist bei der Bauausführung mit einer Beurteilung des Bindemittel-Boden-Fels-Gemisches örtlich festzulegen. Anschließend wird das Boden-Bindemittel-Gemisch mit einem geeigneten Verdichtungsgerät (z.B. Walzenzug, optimal mit Stampffußbandage oder Bagger-Anbauverdichtungsplatte) in Schüttilagen ≤ 25 cm lagenweise eingebaut und verdichtet.

Ergänzend wird auf die Empfehlungen im Merkblatt über Bodenverfestigungen und Bodenverbesserungen mit Bindemitteln der FGSV, Ausgabe 2004 hingewiesen.

Die qualifizierte Boden- bzw. Felsverbesserung ist ohne Arbeitsunterbrechungen in einem Zuge herzustellen, so dass ein Einbau im „frischen“ Zustand erfolgt und der Abbindeprozess nicht unnötig lange durch die Verdichtungsarbeiten beeinflusst wird.

Ein Befahren des Planums nach der qualifizierten Bodenverbesserung mit Radfahrzeugen ist zu vermeiden.

Die Festigkeit des verbesserten Materials ist mit einaxialen Druckversuchen zu prüfen und die Druckfestigkeit mit $q_u \geq 5$ MN/m² festzulegen.

Die Festlegungen zu den Varianten a) oder b) können im Rahmen des Baugrubenaushubs bzw. der Sohlabnahme getroffen werden.

Der Aushub/Ausbruch der vollständig/stark verwitterten Tonsteine ist auf einer Miete neben dem Anlagenstandort zwischenzulagern, durch eine Folienabdeckung vor Witterungseinflüssen zu schützen und nach Fertigstellung des Fundamentes für die Hinterfüllung und Überschüttung wieder lagenweise einzubauen, siehe auch Empfehlungen zur Bauteilhinterfüllung und -überschüttung.

Zum Schutz der Gründungssohle vor Witterungseinflüssen ist die Sauberkeitsschicht unmittelbar nach dem Aushub bzw. dem teilweisen Bodenaustausch und Tragschichtaufbau und einer Abnahme durch den geotechnischen Sachverständigen einzubauen.

Nach dem das Fundament nicht in das ständige Grundwasser eintaucht, tritt kein Betonangriff aus dem Grundwasser auf das Fundament auf und der Fundamentbeton kann für die Expositionsklasse XA 0 ausgelegt werden.

**Bemessungswert des Sohlwiderstandes nach DIN EN 1997-1 (EC 7-1)/
DIN 1054:2010-12**

Für die Gründungssohle auf den stark/mäßig verwitterten Tonsteinen der Styliolinenschiefer- und sandstein-Folge kann der Sohlwiderstand wie nachfolgend angegeben angesetzt werden:

Kreisfundament

$$\sigma_{R,d} \leq 475^* \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

mit

- $d \geq 1,5 \text{ [m]}$ Einbindetiefe unter GOF; DPH-N₁₀ $\geq 20^*$
- Gründungskote: Tonstein, stark/mäßig verwittert
sowie v.g. Qualitätsanforderung für die Austauschbereiche
- Frostsicherheit und Geländeanschüttung $h \geq 1,5 \text{ m}$ (im Bereich DPH-5 und Übergang)

Der angegebene Sohlwiderstand stellt bei der Gründung den maximalen Sohlwiderstand dar.

*) Anmerkung:

Dies entspricht einer zulässigen Sohlspannung $\sigma_{k,vorh}$ von ca. 339 [kN/m²] nach DIN 1054:2005-01.

Wichtiger Hinweis:

Der Bemessungswert des Sohlwiderstandes stellt keine zulässige Sohlspannung nach DIN 1054:2005 oder früheren Ausgaben der DIN 1054 dar !

Nachweisverfahren nach DIN 1054:2010-12 in Verbindung mit EC 7

Es ist nachzuweisen, dass die Bemessungswerte $\sigma_{E,d}$ der Sohldruckbeanspruchung höchstens so groß sind wie die Bemessungswerte $\sigma_{R,d}$ des Sohlwiderstands: $\sigma_{E,d} \leq \sigma_{R,d}$

Der Bemessungswert der Sohldruckbeanspruchung ergibt sich aus der ungünstigsten Einwirkungskombination. Hierfür kommen folgende Wege in Frage:

- Sofern die Schnittgrößen mit charakteristischen bzw. repräsentativen Werten der Einwirkungen ermittelt wurden, ergibt sich $\sigma_{E,d}$ aus den charakteristischen bzw. repräsentativen Vertikalbeanspruchungen $N_{G,k}$ und $N_{Q,k}$ bzw. $N_{Q,rep}$, multipliziert mit den Teilsicherheitsbeiwerten γ_G und γ_Q für Grenzzustände GEO und das Nachweisverfahren 2 (GEO-2).

- Sofern die Schnittgrößen mit Bemessungswerten der Einwirkungen ermittelt wurden, ergibt sich der Bemessungswert der Sohldruckbeanspruchung aus dem Bemessungswert der Vertikalbeanspruchung $V_d = N_d$.

Eine Berechnung der Setzungen des Fundamentes unter Ansatz der charakteristischen statischen Lasten ergab maximale Setzungen bis 1,9 cm (mit Moment aus Turm) bzw. 0,5 cm (nur Normalkraft), siehe Fundamentberechnung in der **Anlagengruppe 6**.

Ein Nachweis zur Geländebruchsicherheit war infolge der Lage der Gründungsebene im talseitigen Bereich mit dem Bodenaustausch auf dem Felshorizont und der erforderlichen Ballastierung des Geländes zum Verwitterungsschutz und Frostsicherheit nicht zu führen.

Die unterhalb der Gründungssohle erkundeten Tonsteine unterliegen nicht einer Konsolidation oder Kriechverformungen, wie sie bei bindigen Böden auftreten. Damit sind für die Baugrundverhältnisse am geplanten Anlagenstandort keine Berechnungen des Konsolidations- und Kriechverhaltens über die zu betrachtende Standzeit von 20 Jahren erforderlich.

Zur Qualitätssicherung, d.h. zur Kontrolle des Bemessungsansatzes des Sohlwiderstandes sollten die Gründungskoten vom geotechnischen Sachverständigen in Form einer Prüfabnahme abgenommen werden.

Herstellung einer drucklosen, wartungsfreien Dränage

Aufgrund der Gefällesituation ist am Standort der WEA 9 die Herstellung einer drucklosen, wartungsfreien Dränage möglich.

Mit dem Endaushub der Baugrube zur Herstellung des Turmfundamentes ist am Rand ein flacher Graben für die Ableitung der Dränage herzustellen, so dass im Bauzustand eine Ableitung des der Baugrube zulaufenden Niederschlags-/Sickerwassers im freien Gefälle nach Südwesten (Tiefpunkt bei DPH-5) möglich ist.

Nach der Herstellung des Turmfundamentes ist im Arbeitsraum in Höhe der Sauberkeitsschicht eine Dränage ringförmig um das Fundament mit einem Gefälle von mindestens 1 ‰ herzustellen. Die Dränage ist auf einer Sohlgerinne aus Beton zu verlegen, dass ein Gefälle in radialer Richtung nach außen aufweist, so dass kein Dränwasser dem Fundament zufließen kann. Die Fläche aus dem Überstand der Baugrube bei DPH-5 ist mit einem Gefälle (Sohlfläche aus Beton) zur Dränage hin auszubilden. Die Dränage ist aus einem Dränrohr DN 150 mit einer Ummantelung aus Filtersand 0,2/2 mm und einer filterstabilen Abgrenzung aus einem Geotextil (Masse $\geq 250 \text{ g/m}^2$) zum anstehenden Boden und der über der Dränage

einzubauenden Bauwerkshinterfüllung herzustellen. Die Ableitung des Dränwassers erfolgt über 2 Auslauf-/ Vollrohre zum Geländetiefpunkt nach Südwesten. Am Auslaufpunkt der Dränage sollte eine Sickerrigole (Schottergraben) mit umlaufendem Geotextil, einem Gefälle von 5 % und einer Verfüllung z.B. mit Grobschotter 20/100 mm hergestellt werden, um einen konzentrierten Auslauf des Dränwassers und mit dem hier einzuleitenden Niederschlagswasser vom Turmschaft eine mögliche Vernässung im Waldbereich zu vermeiden. Die Rigole sollte mit einem Notüberlauf an den benachbarten Wegseitengraben versehen werden. Zur Vermeidung eines stärkeren Dränwasserzulaufes ist eine Geländeanpassung d.h. Anschüttung mit bindigem Material -mit einem talseitigen Gefälle- bei DPH-5 sowie zum Verwitterungsschutz und zur Frostsicherheit erforderlich.

Dynamische Drehfedersteifigkeit $k_{\varphi, \text{dyn}}$

Die dynamische Drehfedersteifigkeit wird für starre Kreisfundamente mit nachfolgender Gleichung berechnet:

$$k_{\varphi, \text{dyn}} = \frac{8 \cdot G \cdot r^3}{3 \cdot (1 - \nu)}$$

mit

r Radius des Kreisfundamentes = 12,25 [m]

G Dyn. Schubmodul

ν Poissonzahl, $\nu = 0,25$ (für Tonstein)

Dyn. Schubmodul:

$$G = \frac{E_{\text{dyn}}}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

mit $E_{\text{dyn}}/E_{\text{stat}} \approx 6$ (nach Placzek)

$$E_{\text{stat}} = \frac{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2}{1 - \nu} \cdot E_{s, \text{stat}}$$

Tonsteinhorizont unter dem Fundament (ab 548,1 mNHN)

$E_{s, \text{stat}} = 80$ [MN/m²] (unterster Wert für Tonsteinhorizont),
siehe Homogenbereich X1 - Kapitel 6.4

$$\rightarrow E_{\text{stat}} = 0,833 \cdot 80$$
 [MN/m²] = 66,6 [MN/m²]

$$\rightarrow E_{\text{dyn}} = 400$$
 [MN/m²]

$$\rightarrow G_{\text{dyn}} = 160$$
 [MN/m²] = 0,16 [GN/m²]

$$k_{\varphi, \text{dyn}} = \frac{8 \cdot 0,160 \cdot 12,25^3}{3 \cdot (1 - 0,25)} = 1.045,767$$
 [GNm/rad] > 95 [GNm/rad] = min. $k_{\varphi, \text{dyn}}$

Die in den Herstellerangaben gestellte Anforderung mit einer Mindestdrehfedersteifigkeit $k_{\varphi, dyn}$ von 95 [GNm/rad] wird für den erkundeten Baugrund mit einem Wert von 1.045 [GNm/rad] überschritten. Die Anforderungen werden mit einer hohen Sicherheit erfüllt.

Die Anforderung an die statische Mindestdrehfedersteifigkeit wird damit auch sicher erfüllt.

6.2 Baugrubensicherung, Wasserhaltung und Bauteilhinterfüllung

Sicherung der Baugrube

Aufgrund der Platzverhältnisse kann die Baugrube für die Herstellung der Fundamentplatte mit einer frei geböschten Baugrube erfolgen. Die vorgenannten Bereiche können unter folgenden angegebenen Böschungswinkeln β_{zul} frei geböscht werden:

Schluff, kiesig, steinig, halbfest-fest	$\beta_{zul} \leq 45$ [°] Standzeit temporär
Tonstein, stark/vollständig verwittert, schiefrig, schlechte / mäßige Kornbindung	$\beta_{zul} \leq 70$ [°] Standzeit temporär

Die angegebene Böschungsneigung gilt für unbelastete Böschungen.

Wasserhaltung

Die geotechnischen Untersuchungen ergaben kein Grund-/Schichtenwasser.

Zur Wasserhaltung im Bauzustand wird empfohlen, dass in Verbindung mit dem Aushub der Baugrube und der Herstellung einer drucklosen Dränage zunächst ein flacher offener Graben ausgehoben wird, über den eine Ableitung des der Baugrube zulaufenden Wassers im freien Gefälle zum tieferen Gelände (nach Westen) erfolgt. In diesen Graben ist nach Fertigstellung des Turmfundamentes die Ableitung des Dränwassers und einer Sickerrigole am Rohrauslauf herzustellen, siehe Ausführungen auf Seite 20f.

Hinterfüllung und Überschüttung des Fundamentes

Die Arbeitsräume zur Herstellung des Fundamentes sind nach der Fertigstellung wieder zu verfüllen und die Platte im Randbereich bis zur derzeitigen mittleren Geländehöhe mit einem talseitigen Gefälle zu überschütten.

Für die Hinterfüllung und Überschüttung sollte das beim Baugrubenaushub ab einer Baugrubentiefe von ca. 1,0 m unter GOF gewonnene Material aus vollständig und stark verwittertem Tonstein verwendet werden. Die Wiederverwendung des Aushubmaterials setzt voraus, dass dieses fachgerecht auf einer Miete zwischengelagert und mit einer Folie zum Schutz vor Witterungseinflüssen abgedeckt wird.

Die Verdichtung der Hinterfüllung und Überschüttung des Fundamentes sollte mit Hilfe von Plattendruckversuchen nach DIN 18134 oder alternativ dynamischen Plattendruckversuchen nach TP BF-StB Teil B 8.3 als Qualitätssicherung Erdbau kontrolliert werden.

Der Verdichtungsgrad D_{Pr} sollte ≥ 100 [%] der einfachen Proctordichte betragen.

Die Verdichtungsanforderungen gelten mit:

$$E_{v2} \geq 45 \text{ [MN/m}^2\text{]}$$

$$\text{bei einem Verhältniswert } E_{v2}/E_{v1} \leq 2,3$$

Die beim Aushub oberflächennah gewonnene stark kiesige, steinige, teils organische Schluffschicht in halbfester bis fester Konsistenz ist ohne Verbesserungsmaßnahmen für eine qualifizierte Bauwerkshinterfüllung nicht geeignet und sollte daher -bis auf die Masse zur Geländeabdeckung- beseitigt werden.

Mit dem Wiedereinbau des geologisch originären Tonsteinmaterials wird der Zulauf von Oberflächenwasser in die „geologische Störungszone“, die mit dem Baugrubenaushub entstanden ist, reduziert und es werden die Dränwassermengen deutlich verringert, siehe auch Kapitel 6.1.

6.3 Bodenkundliche Bewertung

Nach dem Ergebnis einer bodenkundlichen Bewertung aus dem Jahre 2016, siehe hierzu unser Gutachten zur Abfallwirtschaftlichen und Bodenkundlichen Bewertung zur UVP vom 30.06.2016, steht an den Anlagenstandorten unter einer dünnen Humus-/ Waldbodenüberdeckung Braunerde, z.T. Ranker-Braunerde oder Podsol-Braunerde an, wobei die Mächtigkeit aufgrund des vorwiegend hoch anstehenden Festgesteins (Gebirge) gering ist.

Nach der Bodenkarte NRW ist am Anlagenstandort WEA9 die Bodeneinheit L4813_B31d als Braunerde ohne Grundwasser und ohne Staunässe ausgewiesen.

Die unter der Humus-/Waldbodenaufgabe erkundete Schluffschicht mit stark kiesigen, steinigen Nebenanteilen in halbfester bis fester Konsistenz weist unter Berücksichtigung der geringen Schichtmächtigkeit von 1,0 m eine geringe Verdichtungsempfindlichkeit sowie geringe Erosionsempfindlichkeit auf. Der erkundete Boden weicht damit von der bodenkundlichen Kartierung in der Form ab, dass er einen hohen bis sehr hohen Kies-/Steinanteil aufweist und der Sand-/Tonanteil fehlt. Weiter ist der Boden nicht tiefgründig vorhanden. Aufgrund des Kies-/Steinanteils ist das Wasseraufnahmevermögen bzw. die Speicherung von Bodenwasser sehr stark eingeschränkt und zusammenfassend liegt daher aus geotechnischer Sicht kein Biotopotenzial (auch nicht für Extremstandorte) vor. Dies gilt auch unter Berücksichtigung der Hangneigung von ca. 5 °. Weiter liegen benachbart an umgestürzten Bäumen die Wurzelteller frei und dabei zeigt sich, dass der Wurzelteller unmittelbar mit dem Tonschieferhorizont verbunden war/ist.

Zusammenfassend ergibt sich damit die Bewertung, dass am Anlagenstandort der WEA 9 -abweichend von der Bodenkarte- bei der geotechnischen Erkundung keine schutzwürdigen Böden festgestellt wurden.

Altlasten:

Hinweise auf Altlasten wurden bei den geotechnischen Untersuchungen nicht festgestellt.

Ableitung von Niederschlagswasser:

Die Ableitung von Niederschlagswasser während der Bauzeit -aus den Baugrubenbereichen- erfolgt mit der Anlage von Entwässerungsmulden/-gräben und einer großflächigen Versickerung -mit Biotopcharakter- in den angrenzenden Waldflächen.

6.4 Homogenbereiche - Boden- und Felskenngrößen (Charakteristische Werte)

Zur Bemessung der Bauteile -dem geotechnischen Design- sowie zum Lösen, Fördern, Laden, Verdichten und Wiedereinbauen werden die Böden und der Fels in die nachfolgenden Homogenbereiche unterteilt.

Homogenbereich B1

Schluff, stark kiesig, (schwach) steinig, halbfest - fest

Korngrößenverteilung	[DIN 18123]	Kornkennziffern 1/2 - 6/4 - 1/0 - 2/3 - 0/1
m_x Massenanteil an Steinen ($D > 63$ mm):	[DIN EN ISO 14688-1]	< 20 %
m_B Blöcken ($D > 200$ mm):		0 %
Dichte ρ :	[DIN EN ISO 17892-2/ DIN 18125-2]	1,95 t/m ³
Feuchtwichte γ :		19,5 kN/m ³
Wichte unter Auftrieb γ' :		10,0 kN/m ³
Kohäsion c'_k :	[DIN 18137-T1 bis T3]	5,0 kPa
Undrainede Scherfestigkeit c_u :	[DIN 18136/DIN 18137-2]	75 – 150 kPa
drainede Scherfestigkeit φ'_k :	[DIN 18136/DIN 18137-2]	25,0 °
Reibungswinkel φ'_k		
Steifemodul $E_{s1,k}$:	[DIN 18135]	30 - 50 MN/m ²
Sensitivität:	[DIN 4094-4]	1-2 (1)
Wassergehalt:	[DIN EN ISO 17892-1]	15 – 25 %
Konsistenzgrenzen:	[DIN 18122-1]	halbfest - fest
Konsistenzzahl:	[DIN 18122-1]	> 1,0
Plastizität:	[DIN 18122-1]	leicht- bis mittelplastisch
Lagerungsdichte (bezogene Lagerungsdichte):	[DIN EN ISO 14688-2/ DIN 18126]	n.d.
Organischer Anteil:	[DIN 18128]	< 5 %
Bodengruppe:	[DIN 18196]	UL-UM
Frostempfindlichkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	F3
Verdichtbarkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	V3 (weniger gut/schlecht verdichtbar) +)
Ortsübliche Bezeichnung:		Hangschutt

+) Wichtiger Hinweis:

Die Angaben zu den Verdichtbarkeitsklassen setzen optimale erdbauliche Bedingungen (Lösen, Laden, Witterungsschutz, Zwischenlagerung u.a.) voraus.

Für einen Wiedereinbau in Verbindung mit einer Bodenverbesserung mit Bindemittelzugabe ist eine Eignungsprüfung nach TP BF-StB Teil B 11.1 oder das verwendete Bindemittel und der Bindemittelgehalt aufgrund von Erfahrungswerten festzulegen.

Homogenbereich X1

Tonstein, vollständig/stark/mäßig verwittert, plattig/schiefrig, schlechte/mäßige Kornbindung

Benennung	[DIN EN ISO 14689-1]	Tonstein
Dichte ρ : Feuchtwichte γ : Wichte unter Auftrieb γ' :	[DIN EN ISO 17892-2/DIN 18125-2]	2,20 t/m ³ 22,0 kN/m ³ 12,0 kN/m ³
Verwitterung	[DIN EN ISO 14689-1]	vollständig/stark/mäßig verwittert, schlechte - mäßige Kornbindung
Veränderlichkeit	[DIN EN ISO 14689-1]	wasserempfindlich, mittlere/geringe Quellfähigkeit
Druckfestigkeit q_u	[DIN 18141/DGGT Empfehlung Nr. 1]	5 - 20 N/mm ²
Abrasivität CAI	[NF P94-430-1]	0 – 1,5
Trennflächenrichtung α, β	[DIN EN ISO 14689-1]	unregelmäßig (360 °)
Fallrichtung α	[DIN EN ISO 14689-1]	0 - 75 ° (gefaltet)
Gesteinskörperform	[DIN EN ISO 14689-1]	schiefrig / plattig geschichtet
Trennflächenabstand	[DIN EN ISO 14689-1]	< 1,0 m
Öffnungsweite der Trennflächen	[DIN EN ISO 14689-1]	0 – 15 mm
Kluftfüllung:	[DIN EN ISO 14689-1]	keine
Kohäsion c'_k :	[DIN 18137-T1 bis T3]	20,0 kPa
Undrainede Scherfestigkeit c_u :	[DIN 4094-4/DIN 18136/DIN 18137-2]	-
drainede Scherfestigkeit ϕ'_k : Reibungswinkel ϕ'_k	[DIN 4094-4/DIN 18136/DIN 18137-2]	25,0 °
Steifemodul $E_{s1,k}$:	[DIN 18135]	80 - 100 MN/m ²
Frostempfindlichkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	F2 - F3
Verdichtbarkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	V2 (weniger gut – gut verdichtbar) *)
Ortsübliche Bezeichnung:		Styliolinenschiefer- und sandstein-Folge 1

Homogenbereich X2

Tonstein, frisch/schwach verwittert, plattig/bankig, gute/gute-sehr gute Kornbindung, mit Quarzbändern

Benennung	[DIN EN ISO 14689-1]	Tonstein
Dichte ρ : Feuchtwichte γ : Wichte unter Auftrieb γ' :	[DIN EN ISO 17892-2/DIN 18125-2]	2,40 t/m ³ 24,0 kN/m ³ 14,0 kN/m ³
Verwitterung	[DIN EN ISO 14689-1]	mäßig/schwach verwittert, gute – sehr gute Kornbindung
Veränderlichkeit	[DIN EN ISO 14689-1]	wasserempfindlich, geringe Quellfähigkeit
Druckfestigkeit q_u	[DIN 18141/DGGT Empfehlung Nr. 1]	20 - 100 N/mm ²
Abrasivität CAI	[NF P94-430-1]	1,5 – 2,0
Trennflächenrichtung α, β	[DIN EN ISO 14689-1]	unregelmäßig (360 °)
Fallrichtung α	[DIN EN ISO 14689-1]	0 - 75 ° (gefaltet)
Gesteinskörperform	[DIN EN ISO 14689-1]	quaderig, würfelig, Blöcke $V < 0,1 \text{ m}^3$ längste Seite a / kurze Seite $c \approx 1 - 5^+$)
Trennflächenabstand	[DIN EN ISO 14689-1]	< / > 1,0 m
Öffnungsweite der Trennflächen	[DIN EN ISO 14689-1]	0 – 15 mm
Klufffüllung:	[DIN EN ISO 14689-1]	keine
Kohäsion c'_k :	[DIN 18137-T1 bis T3]	50,0 kPa
Undrained Scherfestigkeit c_u :	[DIN 4094-4/DIN 18136/DIN 18137-2]	-
drained Scherfestigkeit φ'_k : Reibungswinkel φ'_k	[DIN 4094-4/DIN 18136/DIN 18137-2]	25,0 °
Steifemodul $E_{s1,k}$:	[DIN 18135]	120 MN/m ²
Frostempfindlichkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	F2 - F3
Verdichtbarkeitsklasse	[ZTVE-StB 09]	V2 (weniger gut – gut verdichtbar) *)
Ortsübliche Bezeichnung:		Styliolinenschiefer- und sandstein-Folge 2

+) Kantenmaße a, b, c der ausgebrochenen Felspartien

*) Zum Lösen (insbesondere bei kleinräumigen Baugruben) ist der Einsatz eines Felsmeißels und/oder einer Felsfräse vorzusehen.

6.5 Übersicht zu den Homogenbereichen

Homogenbereiche Boden/Fels	Homogenbereiche nach DIN 18300
Oberboden/Waldboden	Homogenbereich O
Homogenbereich B1 Schluff , stark kiesig, (schwach) steinig, halbfest-fest	Homogenbereich B1
Homogenbereich X1 Tonstein , vollständig/stark/vollständig verwittert, plattig/schiefrig, schlechte/mäßige Kornbindung	Homogenbereich X1
Homogenbereich X2 Tonstein , frisch/schwach verwittert, plattig/bankig, gute/gute-sehr gute Kornbindung, mit Quarzbändern	Homogenbereich X2

Anmerkungen und Hinweise:

Eine genaue Zuordnung kann erst im Rahmen einer boden- und felsmechanischen Klassifizierung (Festlegung der Homogenbereiche) vor Ort erfolgen. Bestehen zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer unterschiedliche Auffassungen zur Einordnung der vorgenannten Homogenbereiche, so kann eine genaue Einordnung im Rahmen einer Klassifizierung und damit Festlegung der Homogenbereiche vor Ort erfolgen.

Im Einvernehmen mit dem Auftraggeber sollen wegen des Zeit- und Kostenaufwandes nicht alle Parameter der Homogenbereiche versuchstechnisch ermittelt werden. Damit basieren die für die Homogenbereiche angegebenen Eigenschaften/Kennwerte -die nicht versuchstechnisch ermittelt wurden- auf gesicherten Korrelationsbeziehungen für Labor- und Feldversuche.

7 Zusammenfassung und Schlussbemerkungen

Im Rahmen der geotechnischen Untersuchungen wurde der Baugrund im Sinne der DIN 4020 mit direkten und indirekten Aufschlüssen nach DIN EN ISO 22475-1 und DIN EN ISO 22476-2 erkundet.

Die geotechnischen Untersuchungen zeigen, dass unter dem Wald-/Oberboden (stark) kiesige, (schwach) steinige Schluffe in halbfester bis fester Konsistenz und darunter ab 1,0 m Tonstein, vollständig verwittert, mit schlechter Kornbindung ansteht. Anschließend folgen ab einer Tiefe von ca. 2,1 m stark verwitterte Tonsteine, schiefrig, plattig, mit mäßiger Kornbindung, die den Grenzhorizont der Sondierungen bilden. Nachfolgend wurden ab 3,15 m mäßig verwitterte, ab 6,1 m schwach verwitterte und ab 7,8 m frische Tonsteine, schiefrig, plattig, mit guter bis sehr guter Kornbindung und im unteren Bereich einer Quarzbänderung bis zum Ende der Bohrung bei 12,0 m erbohrt.

Die Styliolinenschiefer- und sandstein-Folge stellt in den Zonen mit höheren Sondierwiderständen einen ausreichend tragfähigen Baugrund für die Gründung der Windkraftanlage und am bzw. unterhalb dem Grenzhorizont der Sondierungen einen gut tragfähigen Baugrund für die Gründung der Windkraftanlage dar. Der Grenzhorizont der Sondierungen weist aufgrund der Hanglage eine Höhendifferenz von ca. 3,4 m innerhalb der Fundamentfläche auf.

Ein Grund-/Schichtenwasser wurde im Bohrloch der Bohrung BK WEA 9 -im Zeitraum der Grundwasserbeobachtung- nicht festgestellt.

Auf den Ergebnissen der geotechnischen Untersuchungen basierend werden Gründungsempfehlungen zum vorgegebenen Gründungssystem Kreisfundament für die Windenergieanlage gegeben.

Der Bemessungswert des Sohlwiderstandes wird mit den Bodenkenngößen angegeben und mit den Anforderungswerten der Herstellerangaben verglichen. Dieser Vergleich ergab, dass die Sicherheitsanforderungen mit einem hohen Sicherheitsabstand erfüllt werden.

Zum Lösen und Fördern des Bodens sind die Homogenbereiche nach DIN 18 300 benannt.

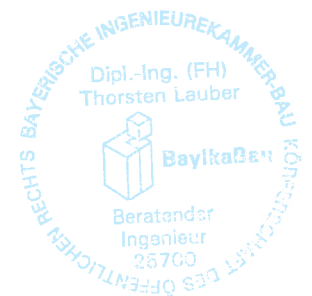
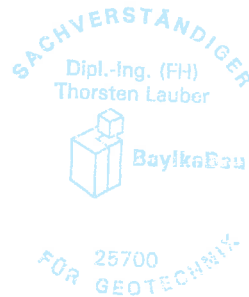
Treten im Rahmen der Bauausführung Abweichungen von den erkundeten Verhältnissen auf, so bitten wir um eine umgehende Benachrichtigung.

Wir empfehlen -zur Qualitätssicherung- die Abnahme der Gründungssohlen und damit verbunden die Umsetzung unserer gutachterlichen Empfehlungen im Sinne einer Qualitätssicherung.

Wir stehen den am Bau Beteiligten zu weiteren geotechnischen Fragen im Rahmen der Ausführungsplanung und der Bauausführung jederzeit gerne zur Verfügung.

(i.A. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Richard A. Herrmann)
GEOTECHNIK GmbH

(Dipl.-Ing. (FH) Thorsten Lauber)
Sachverständiger für Geotechnik



Anlage 1

Die Hellersche Hude



09

162-6.0 MW

Legende:

- Bohrung BK
- Sondierung DPH

GEOTECHNIK GmbH
 Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner
 Lammelbach 5 91567 Herrieden
 Tel.: 09825/93413 Fax.: 09825/93415

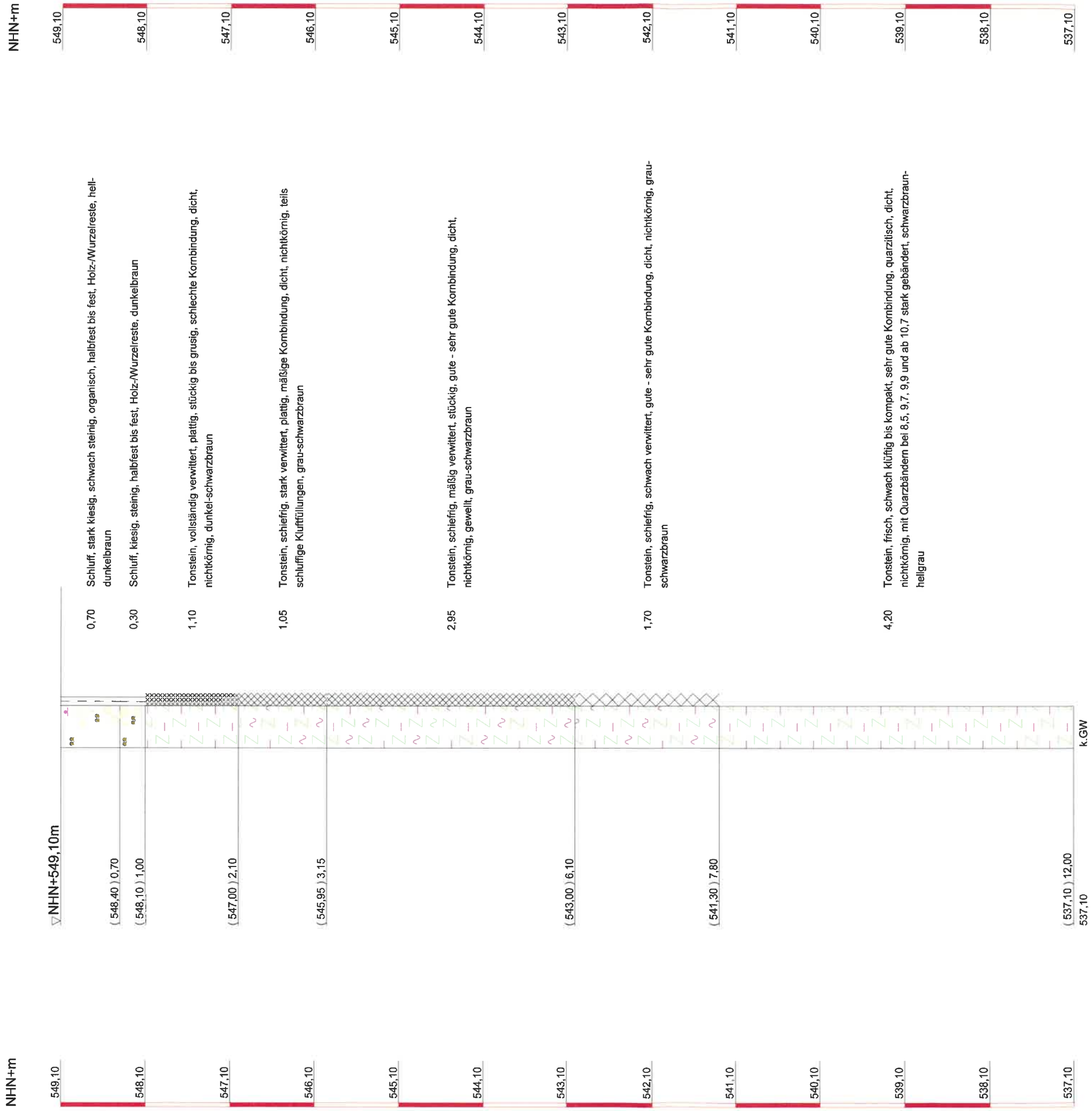
Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg
 WEA 9

Name	Datum	Maßstab
gezeichnet: Lauber	27.10.2021	1 : 1000
		Projekt Nr. GEO-210118
Auftraggeber: Krug Energie GmbH & Co. KG Dorfstraße 53 35117 Münchhausen-Wollmar		Lageplan
Bauort: Windpark Ohrenbach - WEA 9		Anlage 1

546

Anlagengruppe 2

BK WEA 9
(Stöiben GmbH)
21.-22.07.2021
M.: 1:50



GEOTECHNIK GmbH
Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner
Lammelbach 5
91567 Herrrieden
Tel.: 09825/93413
Fax: 09825/93415

Bauvorhaben:
Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg
- WEA 9
Planbezeichnung:
BK WEA 9

Plan-Nr: 2.1
Projekt-Nr: GEO-210118/8
Datum: 27.10.2021
Maßstab: 1 : 50
Bearbeiter: T.Lauber



Bild 1 Übersichtsaufnahme Standort WEA 9 (neuer Standort)



Bild 2 Aufnahme Bohrkern BK WEA 9, Tiefe 0 - 12 m

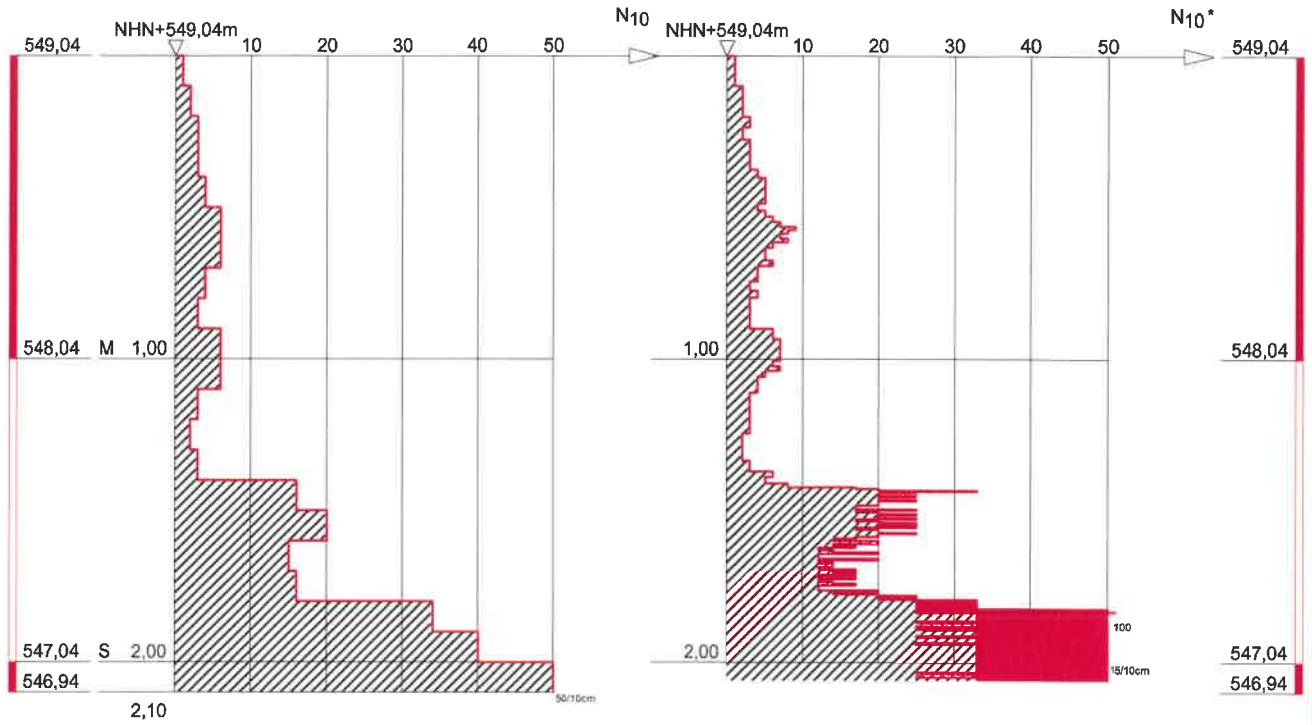
Anlagengruppe 3

WEA9 - DPH-1
(24.06.2021)

WEA9 - DPH-1*
(24.06.2021)

NHN+m

NHN+m



GEOTECHNIK GmbH
Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner
Lammelbach 5
91567 Herrieden
Tel.: 09825/93413
Fax: 09825/93415

Bauvorhaben:
Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg
- WEA 9
Planbezeichnung:
WEA9 - DPH-1

Plan-Nr: 3.1
Projekt-Nr: GEO-210118/8
Datum: 27.10.2021
Maßstab: 1 : 25
Bearbeiter: T.Lauber



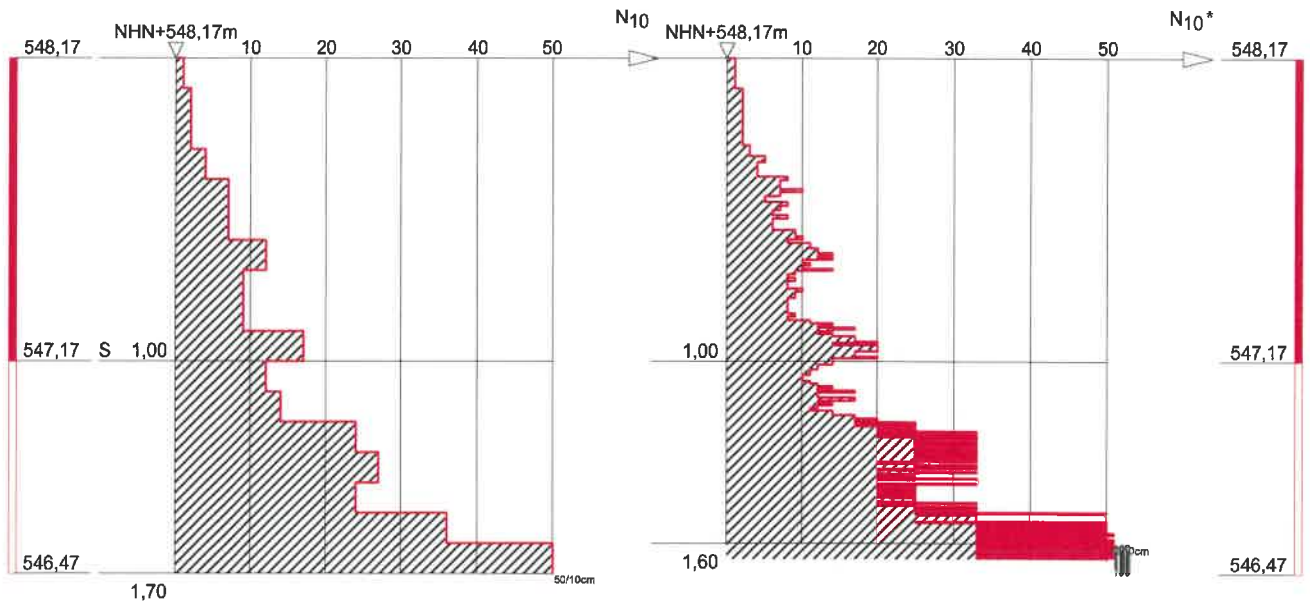
Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2									
Geräteleiter: T. Lauber									
Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 9									
Sondierungsnummer: WEA9-DPH-1				Datum: 24.06.2021			Sondierart: DPH		
Ansatzpunkt [m]:					Ansatzpunkt auf NHN [m]: 549,04				
Grundwassersp.[m u. ASP]:									
Bemerkung:									
Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	1	3,10		6,10		9,10		12,10	
0,20	2	3,20		6,20		9,20		12,20	
0,30	3	3,30		6,30		9,30		12,30	
0,40	3	3,40		6,40		9,40		12,40	
0,50	4	3,50		6,50		9,50		12,50	
0,60	6	3,60		6,60		9,60		12,60	
0,70	6	3,70		6,70		9,70		12,70	
0,80	4	3,80		6,80		9,80		12,80	
0,90	3	3,90		6,90		9,90		12,90	
1,00	6	4,00		7,00		10,00		13,00	
*)	mittel	*)		*)		*)		*)	
1,10	6	4,10		7,10		10,10		13,10	
1,20	3	4,20		7,20		10,20		13,20	
1,30	2	4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40	3	4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50	16	4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60	20	4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70	15	4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80	16	4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90	34	4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00	40	5,00		8,00		11,00		14,00	
*)	schwer	*)		*)		*)		*)	
2,10	50	5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20		5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30		5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40		5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50		5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60		5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70		5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80		5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90		5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00		6,00		9,00		12,00		15,00	
*)		*)		*)		*)		*)	
*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]									
Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefen pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm- datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.									

WEA9 - DPH-2
(24.06.2021)

WEA9 - DPH-2*
(24.06.2021)

NHN+m

NHN+m



<p>GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lammelbach 5 91567 Herrieden Tel.: 09825/93413 Fax: 09825/93415</p>	<p>Bauvorhaben: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg - WEA 9</p> <p>Planbezeichnung: WEA9 - DPH-2</p>	Plan-Nr: 3.3
		Projekt-Nr: GEO-210118/8
		Datum: 27.10.2021
		Maßstab: 1 : 25
		Bearbeiter: T.Lauber



Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2

Geräteleiter: T. Lauber

Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 9

Sondierungsnummer: WEA9-DPH-2

Datum: 24.06.2021

Sondierart: DPH

Ansatzpunkt [m]:

Ansatzpunkt auf NHN [m]: 548,17

Grundwassersp.[m u. ASP]:

Bemerkung:

Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	1	3,10		6,10		9,10		12,10	
0,20	2	3,20		6,20		9,20		12,20	
0,30	2	3,30		6,30		9,30		12,30	
0,40	4	3,40		6,40		9,40		12,40	
0,50	7	3,50		6,50		9,50		12,50	
0,60	7	3,60		6,60		9,60		12,60	
0,70	12	3,70		6,70		9,70		12,70	
0,80	9	3,80		6,80		9,80		12,80	
0,90	9	3,90		6,90		9,90		12,90	
1,00	17	4,00		7,00		10,00		13,00	
*)	schwer	*)		*)		*)		*)	
1,10	12	4,10		7,10		10,10		13,10	
1,20	14	4,20		7,20		10,20		13,20	
1,30	24	4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40	27	4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50	24	4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60	36	4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70	50	4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80		4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90		4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00		5,00		8,00		11,00		14,00	
*)		*)		*)		*)		*)	
2,10		5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20		5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30		5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40		5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50		5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60		5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70		5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80		5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90		5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00		6,00		9,00		12,00		15,00	
*)		*)		*)		*)		*)	

*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]

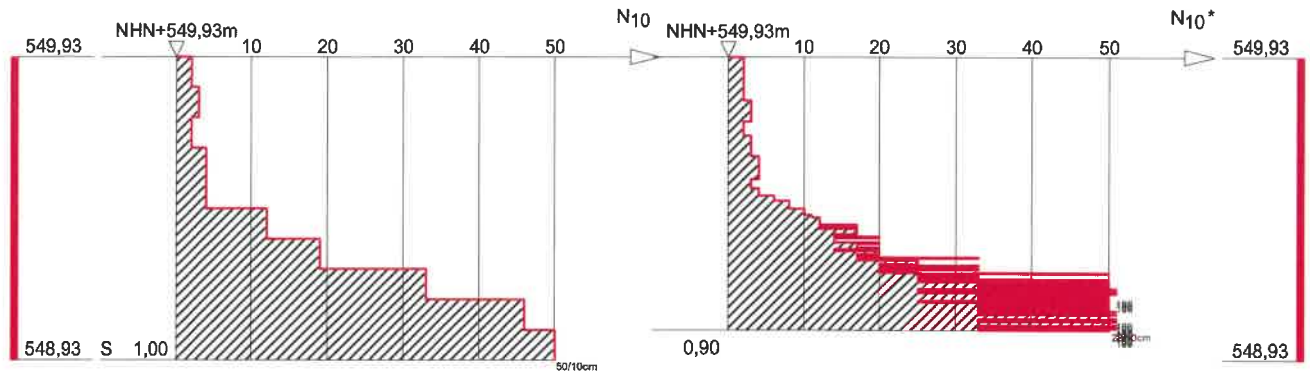
Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefen pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm- datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.

WEA9 - DPH-3
(24.06.2021)

WEA9 - DPH-3*
(24.06.2021)

NHN+m

NHN+m



<p>GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lammelbach 5 91567 Herrieden Tel.: 09825/93413 Fax: 09825/93415</p>	<p>Bauvorhaben: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg - WEA 9</p> <p>Planbezeichnung: WEA9 - DPH-3</p>	Plan-Nr: 3.5
		Projekt-Nr: GEO-210118/8
		Datum: 27.10.2021
		Maßstab: 1 : 25
		Bearbeiter: T.Lauber



Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2

Geräteleiter: T. Lauber

Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 9

Sondierungsnummer: WEA9-DPH-3

Datum: 24.06.2021

Sondierart: DPH

Ansatzpunkt [m]:

Ansatzpunkt auf NHN [m]: 549,93

Grundwassersp.[m u. ASP]:

Bemerkung:

Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	2	3,10		6,10		9,10		12,10	
0,20	3	3,20		6,20		9,20		12,20	
0,30	2	3,30		6,30		9,30		12,30	
0,40	4	3,40		6,40		9,40		12,40	
0,50	4	3,50		6,50		9,50		12,50	
0,60	12	3,60		6,60		9,60		12,60	
0,70	19	3,70		6,70		9,70		12,70	
0,80	33	3,80		6,80		9,80		12,80	
0,90	46	3,90		6,90		9,90		12,90	
1,00	50	4,00		7,00		10,00		13,00	
*)	schwer	*)		*)		*)		*)	
1,10		4,10		7,10		10,10		13,10	
1,20		4,20		7,20		10,20		13,20	
1,30		4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40		4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50		4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60		4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70		4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80		4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90		4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00		5,00		8,00		11,00		14,00	
*)		*)		*)		*)		*)	
2,10		5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20		5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30		5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40		5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50		5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60		5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70		5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80		5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90		5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00		6,00		9,00		12,00		15,00	
*)		*)		*)		*)		*)	

*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]

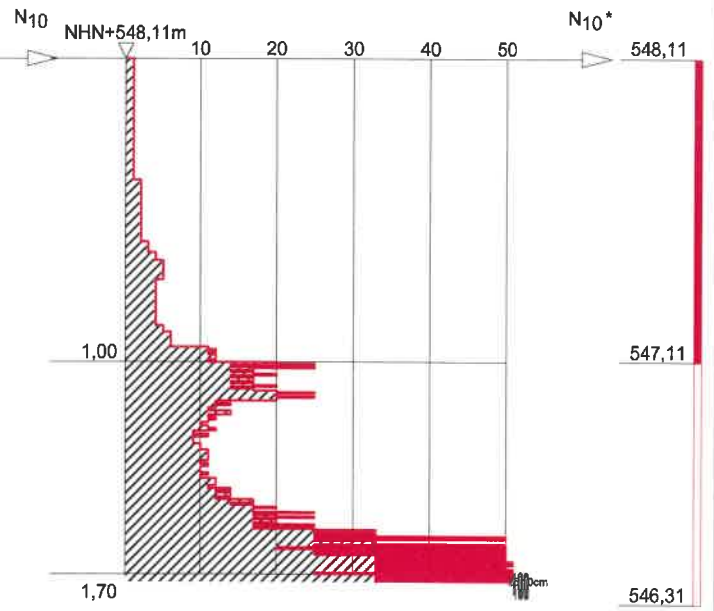
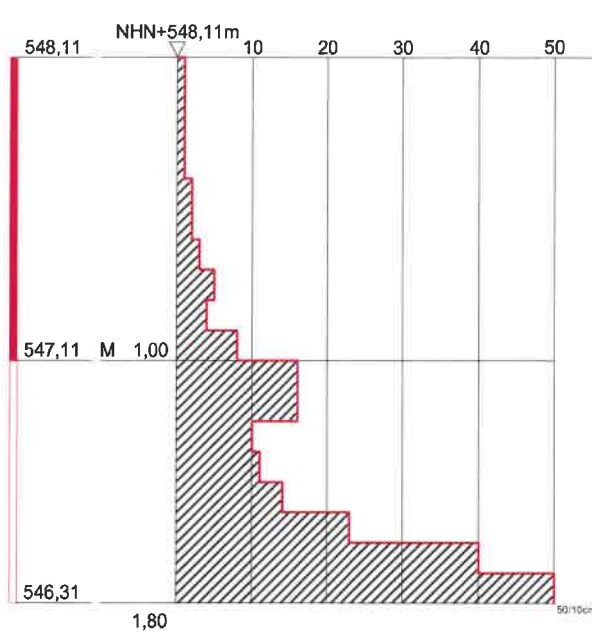
Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefen pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm-datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.

WEA9 - DPH-4
(24.06.2021)

WEA9 - DPH-4*
(24.06.2021)

NHN+m

NHN+m



<p>GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lammelbach 5 91567 Herrieden Tel.: 09825/93413 Fax: 09825/93415</p>	<p>Bauvorhaben: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg - WEA 9</p> <p>Planbezeichnung: WEA9 - DPH-4</p>	Plan-Nr: 3.7
		Projekt-Nr: GEO-210118/8
		Datum: 27.10.2021
		Maßstab: 1 : 25
		Bearbeiter: T.Lauber



Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2									
Geräteleiter: T. Lauber									
Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 9									
Sondierungsnummer: WEA9-DPH-4				Datum: 24.06.2021			Sondierart: DPH		
Ansatzpunkt [m]:						Ansatzpunkt auf NHN [m]: 548,11			
Grundwassersp.[m u. ASP]:									
Bemerkung:									
Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	1	3,10		6,10		9,10		12,10	
0,20	1	3,20		6,20		9,20		12,20	
0,30	1	3,30		6,30		9,30		12,30	
0,40	1	3,40		6,40		9,40		12,40	
0,50	2	3,50		6,50		9,50		12,50	
0,60	2	3,60		6,60		9,60		12,60	
0,70	3	3,70		6,70		9,70		12,70	
0,80	5	3,80		6,80		9,80		12,80	
0,90	4	3,90		6,90		9,90		12,90	
1,00	8	4,00		7,00		10,00		13,00	
*)	mittel	*)		*)		*)		*)	
1,10	16	4,10		7,10		10,10		13,10	
1,20	16	4,20		7,20		10,20		13,20	
1,30	10	4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40	11	4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50	14	4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60	23	4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70	40	4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80	50	4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90		4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00		5,00		8,00		11,00		14,00	
*)		*)		*)		*)		*)	
2,10		5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20		5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30		5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40		5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50		5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60		5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70		5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80		5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90		5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00		6,00		9,00		12,00		15,00	
*)		*)		*)		*)		*)	

*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]

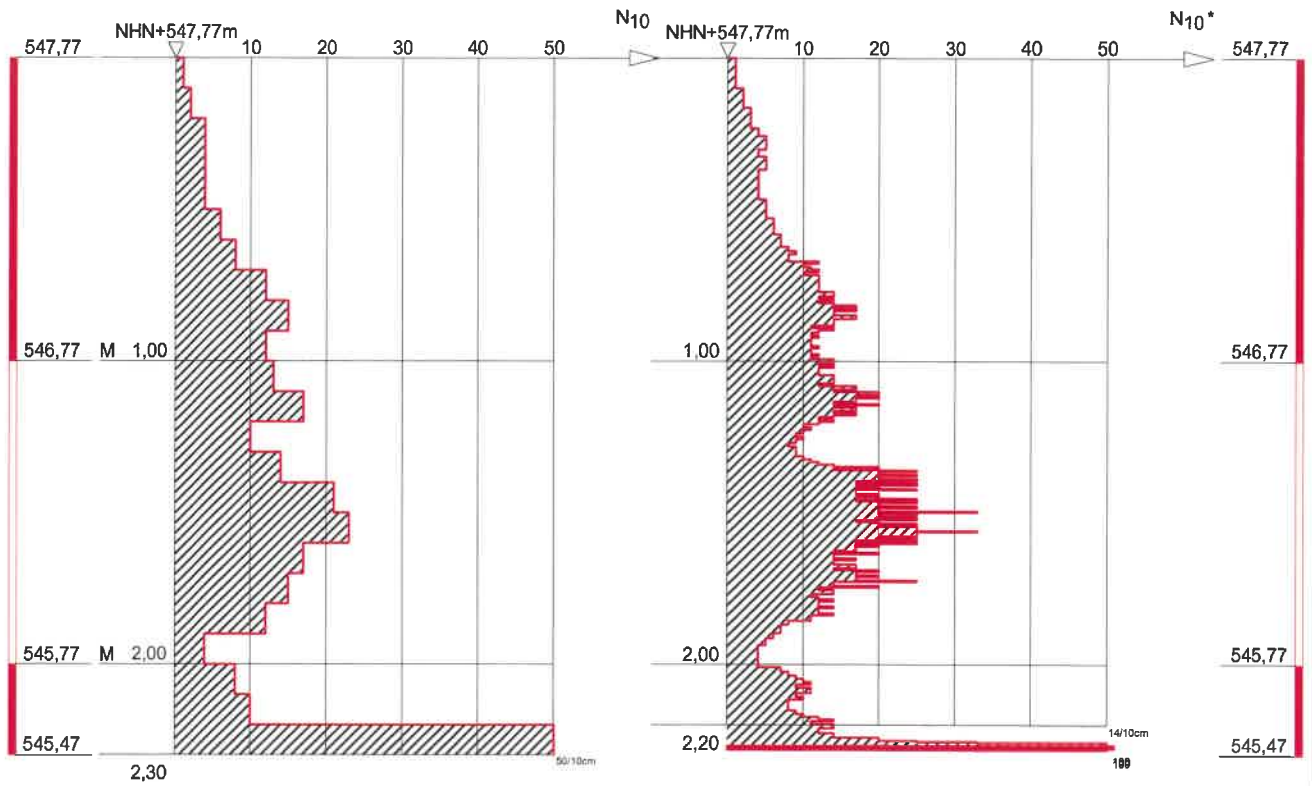
Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefen pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm- datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.

WEA9 - DPH-5
(24.06.2021)

WEA9 - DPH-5*
(24.06.2021)

NHN+m

NHN+m



GEOTECHNIK GmbH
Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner
Lammelbach 5
91567 Herrieden
Tel.: 09825/93413
Fax: 09825/93415

Bauvorhaben:
Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg
- WEA 9
Planbezeichnung:
WEA9 - DPH-5

Plan-Nr:	3.9
Projekt-Nr:	GEO-210118/8
Datum:	27.10.2021
Maßstab:	1 : 25
Bearbeiter:	T.Lauber



Messprotokoll für die Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2

Geräteleiter: T. Lauber

Projekt: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg, WEA 9

Sondierungsnummer: WEA9-DPH-5

Datum: 24.06.2021

Sondierart: DPH

Ansatzpunkt [m]:

Ansatzpunkt auf NHN [m]: 547,77

Grundwassersp.[m u. ASP]:

Bemerkung:

Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10	Tiefe:	N10
0,10	1	3,10		6,10		9,10		12,10	
0,20	2	3,20		6,20		9,20		12,20	
0,30	4	3,30		6,30		9,30		12,30	
0,40	4	3,40		6,40		9,40		12,40	
0,50	4	3,50		6,50		9,50		12,50	
0,60	6	3,60		6,60		9,60		12,60	
0,70	8	3,70		6,70		9,70		12,70	
0,80	12	3,80		6,80		9,80		12,80	
0,90	15	3,90		6,90		9,90		12,90	
1,00	12	4,00		7,00		10,00		13,00	
*)	mittel	*)		*)		*)		*)	
1,10	13	4,10		7,10		10,10		13,10	
1,20	17	4,20		7,20		10,20		13,20	
1,30	10	4,30		7,30		10,30		13,30	
1,40	14	4,40		7,40		10,40		13,40	
1,50	21	4,50		7,50		10,50		13,50	
1,60	23	4,60		7,60		10,60		13,60	
1,70	17	4,70		7,70		10,70		13,70	
1,80	15	4,80		7,80		10,80		13,80	
1,90	12	4,90		7,90		10,90		13,90	
2,00	4	5,00		8,00		11,00		14,00	
*)	mittel	*)		*)		*)		*)	
2,10	8	5,10		8,10		11,10		14,10	
2,20	10	5,20		8,20		11,20		14,20	
2,30	50	5,30		8,30		11,30		14,30	
2,40		5,40		8,40		11,40		14,40	
2,50		5,50		8,50		11,50		14,50	
2,60		5,60		8,60		11,60		14,60	
2,70		5,70		8,70		11,70		14,70	
2,80		5,80		8,80		11,80		14,80	
2,90		5,90		8,90		11,90		14,90	
3,00		6,00		9,00		12,00		15,00	
*)		*)		*)		*)		*)	

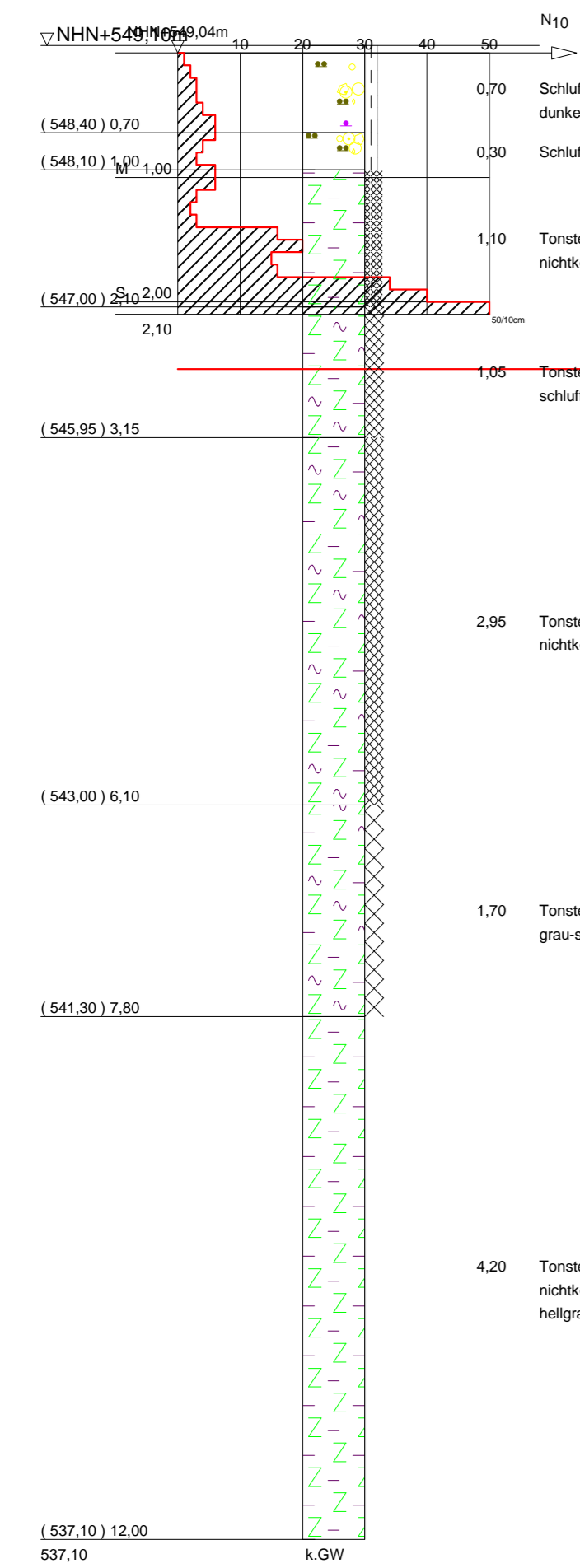
*) Drehbarkeit des Gestänges: L=leicht, M=mittel, S=schwer, N=nicht drehbar oder Messung mit Drehmomentenschlüssel in [Nm]

Die Ergebnisse der Tabelle (N10-Werte) wurden aus den gemessenen Eindringtiefen pro Einzelschlag berechnet, die mit dem Ramm-datenerfassungssystem EDAS der Firma Geotool aufgenommen wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind diese -protokollierten Geomessdaten- im vorliegenden Versuchsprotokoll nicht enthalten.

Anlage 4

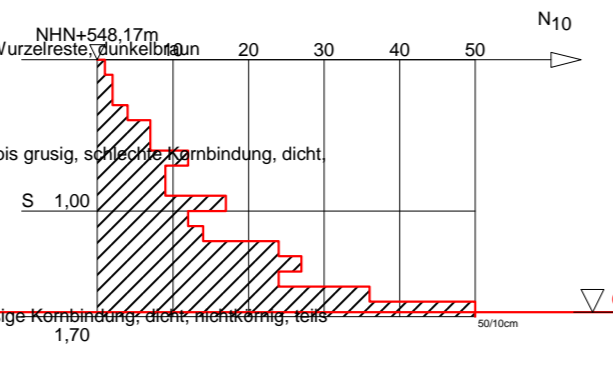
NHN+m
550,00
549,00
548,00
547,00
546,00
545,00
544,00
543,00
542,00
541,00
540,00
539,00
538,00
537,00

BK WEA 9
(Stöiben GmbH)
WEA9 - DPH-1
M: 1:50
(24.06.2021)



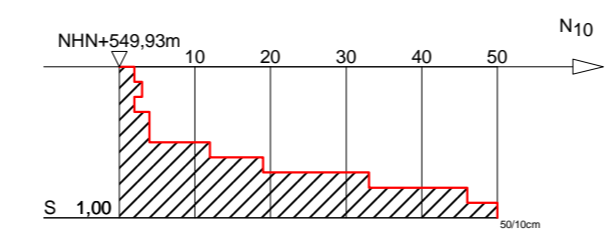
- 0,70 Schluff, stark kiesig, schwach steinig, organisch, halbfest bis fest, Holz-/Wurzelreste, hell-dunkelbraun
- 0,30 Schluff, kiesig, steinig, halbfest bis fest, Holz-/Wurzelreste, dunkelbraun
- 1,10 Tonstein, vollständig verwittert, plattig, stückig bis grusig, schlechte Kombination, dicht, nichtkörnig, dunkel-schwarzbraun
- 1,05 Tonstein, schiefrig, stark verwittert, plattig, mäßige Kombination, dicht, nichtkörnig, schluffige Kluffüllungen, grau-schwarzbraun
- 1,70 Tonstein, schiefrig, mäßig verwittert, stückig, gute - sehr gute Kombination, dicht, nichtkörnig, gewellt, grau-schwarzbraun
- 1,70 Tonstein, schiefrig, schwach verwittert, gute - sehr gute Kombination, dicht, nichtkörnig, grau-schwarzbraun
- 4,20 Tonstein, frisch, schwach klüftig bis kompakt, sehr gute Kombination, quarzitisches, dicht, nichtkörnig, mit Quarzbändern bei 8,5, 9,7, 9,9 und ab 10,7 stark gebändert, schwarzbraun-hellgrau

WEA9 - DPH-2
(24.06.2021)

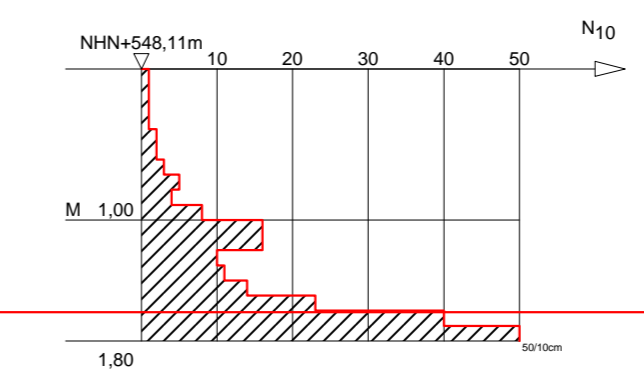


empfohlene Gründungskote = 546,5 mNHN

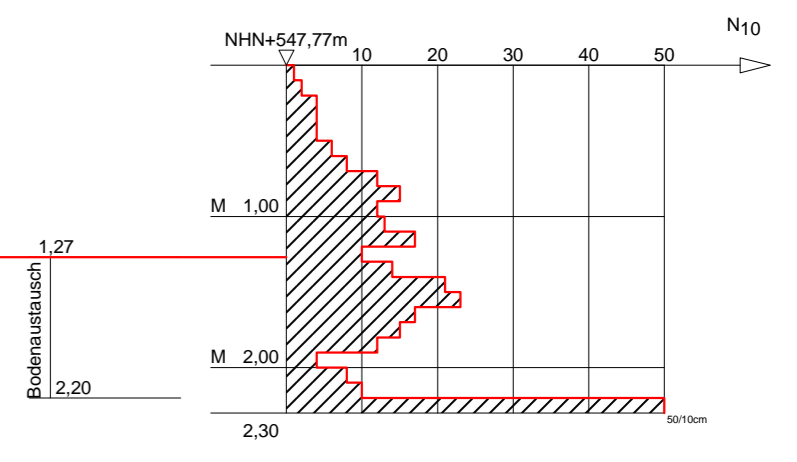
WEA9 - DPH-3
(24.06.2021)



WEA9 - DPH-4
(24.06.2021)



WEA9 - DPH-5
(24.06.2021)



NHN+m
550,00
549,00
548,00
547,00
546,00
545,00
544,00
543,00
542,00
541,00
540,00
539,00
538,00
537,00

GEOTECHNIK GmbH Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner Lammelbach 5 91567 Herrieden Tel.: 09825/93413 Fax: 09825/93415	Bauvorhaben: Windpark Ohrenbach in 57319 Bad Berleburg - WEA 9 Planbezeichnung: WEA9 - Abwicklung	Plan-Nr: 4
		Projekt-Nr: GEO-210118/8
		Datum: 27.10.2021
		Maßstab: 1:100/50
		Bearbeiter: T.Lauber

Anlagengruppe 5

Zusammenstellung der geomechanischen Versuchsergebnisse (Fels)

Entnahmedaten			Weiten-Nr.:	WEA	WEA	WEA	WEA	WEA	WEA		
Proben-Nr.				09	09	09	09	09	09		
Entnahmestelle											
Zusätzliche Angaben											
Entnahmetiefe		von bis		m m	2,00 2,10	2,10 2,30	2,30 2,50	2,50 2,70	2,70 2,90	2,90 3,00	
Entnahmeart			ungestört	ungestört	ungestört	ungestört	ungestört	ungestört			
Probenbeschreibung			Tst	Tst	Tst	Tst	Tst	Tst			
Stratigraphie											
Dichte- bestimmung	Korndichte	ρ_s	t/m ³	31							
	Feuchtdichte	ρ	t/m ³	32							
	Wassergehalt	w	%	33							
	Trockendichte	ρ_d	t/m ³	34							
Einaxialer Druckversuch	Einax. Druckfestigkeit	σ_u	MN/m ²								
	Belastungsmodul	B	MN/m ²	35							
	Wiederbelastungsmodul	V									
	Entlastungsmodul	E									
Poisson- zahlen	für Belastung, Wiederbelastung und Entlastung	ν_B ν_V ν_E	-	36							
	Vers. Typ/Probendurchm.	- / cm		37							
	Anzahl der Zyklen	-									
Dreiaxialer Druckversuch	Reibungswinkel	φ	°	38							
	technische Kohäsion	c	MN/m ²								
Punktlastindex	diametral axial	$I_{S(50)}$	MN/m ²	39	7,832 (s)	0,878 (s)	1,021 (s)	2,680 (s)	0,213 (p)	8,562 (s)	8,923 (s)
Spaltzugversuch	\perp \parallel	σ_z	MN/m ²	40							
Reibungsversuch	Probenfläche	A	cm ²	41							
	Anzahl der Laststufen	-									
	Trennflächentyp	-									
	Trennflächengeometrie	-		42							
	Reibungswinkel	φ	°								
technische Kohäsion	c	MN/m ²									
Quellversuche	Quellspannung	σ_q	MN/m ²	43							
	Versuchsdauer	d		44							
	Quelldehnung	$\epsilon_{q,0}$	%	45							
	Versuchsdauer	d		46							
	Quellversuch nach Huder und Amberg	K σ_0	% MN/m ²	47							
	Versuchsdauer	d		48							
DIN 52103	Wasseraufnahme		%	49							
	Absplitterung		%								
	Kennziffer der Absplitt.	-		50							
Veränderlich. in Wasser DIN 4022	-		51								
Cerchar	CAI	-	53								
Abrasivitätsindex	Klassifizierung	-	54								
Frostversuch nach DIN 52104 / 4226	Absplitt. Kennzi.	% -	55 56								
Einaxialer Kriechversuch	% von einax. Druckfestigkeit Kriechrate am 10. Tag (LS 1)	%		57							
	% von einax. Druckfestigkeit Kriechrate am 10. Tag (LS 2)	%									
	% von einax. Druckfestigkeit Kriechrate am 10. Tag (LS 3)	%									
	% von einax. Druckfestigkeit Kriechrate am 10. Tag (LS 3)	%									
Slake Durability Test	I_{d1}	%		58							
	I_{d2}	%									

zu Zeile 51: w- / w' / w / w* = nicht veränderlich / mäßig veränderlich / veränderlich / stark veränderlich

zu Zeile 54 u. 56: Kennziffer der Absplitter.

Bemerkungen:

Zusammenstellung der geomechanischen Versuchsergebnisse (Fels)

Entnahmedaten	Proben-Nr.		Zeilen-Nr.:	WEA	WEA	WEA	WEA	WEA	WEA			
	Entnahmestelle			09	09	09	09	09	09			
	Zusätzliche Angaben											
	Entnahmetiefe	von m bis m		3,00 3,20	3,20 3,40	3,40 3,60	3,60 3,70	3,70 3,90	3,90 4,00			
	Entnahmeart			ungestört	ungestört	ungestört	ungestört	ungestört	ungestört			
Probenbeschreibung				Tst	Tst	Tst	Tst	Tst	Tst			
Stratigraphie												
Dichte- bestimmung	Korndichte	ρ_s t/m ³	31									
	Feuchtdichte	ρ t/m ³	32									
	Wassergehalt	w %	33									
	Trockendichte	ρ_d t/m ³	34									
Einaxialer Druckversuch	Einax. Druckfestigkeit	σ_u MN/m ²	35									
	Belastungsmodul	B										
	Wiederbelastungsmodul	V										
	Entlastungsmodul	E										
Poisson- zahlen	für Belastung, Wiederbelastung und Entlastung	ν_B ν_V ν_E	-	36								
	Vers. Typ/Probendurchm.			- / cm	37							
	Anzahl der Zyklen			-								
Dreiaxialer Druckversuch	Reibungswinkel		φ °	38								
	technische Kohäsion		c MN/m ²									
Punktlastindex			diametral axial	$I_{S(50)}$ MN/m ²	39	6,305 (s)	6,493 (s)	4,331 (s)	1,907 (s)	0,996 (p)	8,343 (s)	8,757 (s)
Spaltzugversuch			σ_z	MN/m ²	40							
Reibungsversuch	Probenfläche		A cm ²	41								
	Anzahl der Laststufen		-									
	Trennflächentyp		-									
	Trennflächengeometrie		-	42								
	Reibungswinkel		φ °									
technische Kohäsion			c MN/m ²									
Quellversuche	Quellspannung		σ_q MN/m ²	43								
	Versuchsdauer		d	44								
	Quelldehnung		ϵ_{q0} %	45								
	Versuchsdauer		d	46								
	Quellversuch nach Huder und Amberg		σ_0 MN/m ²	47								
	Versuchsdauer		d	48								
DIN 52103	Wasseraufnahme		%	49								
	Absplitterung		-									
	Kennziffer der Absplitt.		-	50								
Veränderlichk. in Wasser DIN 4022			-	51								
Cerchar			CAI	-	53							
Abrasivitätsindex			Klassifizierung	-	54							
Frostversuch nach DIN 52104 / 4226			Absplitt. Kennzi.	% -	55 56							
Einaxialer Kriechversuch	% von einax. Druckfestigkeit		%	57								
	Kriechrate am 10. Tag (LS 1)		%									
	% von einax. Druckfestigkeit		%									
	Kriechrate am 10. Tag (LS 2)		%									
Slake Durability Test	% von einax. Druckfestigkeit		%	58								
	Kriechrate am 10. Tag (LS 3)		%									
Slake Durability Test			I_{d1} I_{d2}	% %								

zu Zeile 51: w- / w' / w / w* = nicht veränderlich / mäßig veränderlich / veränderlich / stark veränderlich

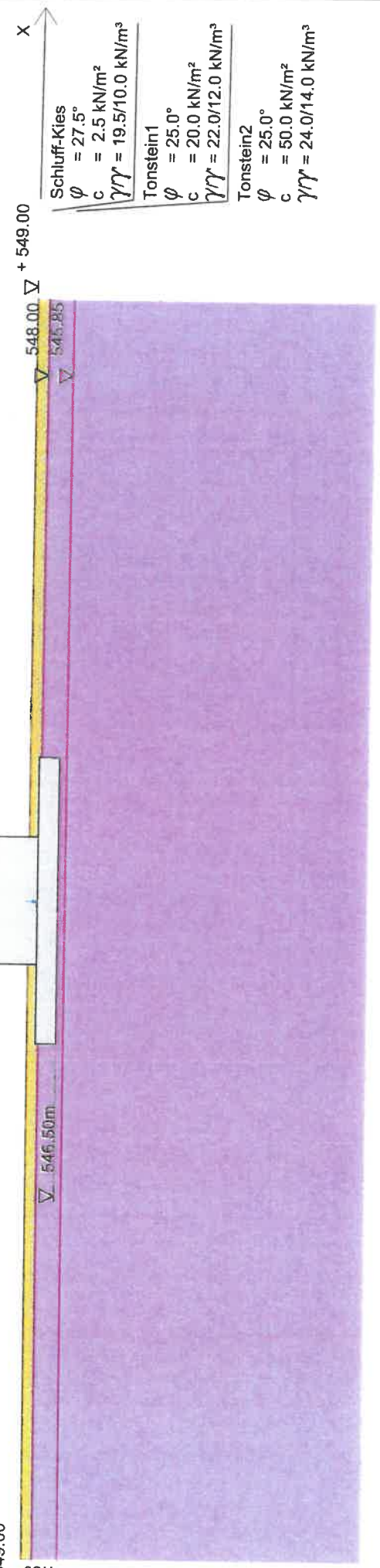
zu Zeile 54 u. 56: Kennziffer der Absplitter.

Bemerkungen:

Anlagengruppe 6

Li-Name	x	y	z	Hx	Hy	Vz	Mx	My	Typ
1	0.00	0.00	-0.81	1375.00	0.00	18150.00	214800.00	0.00	S

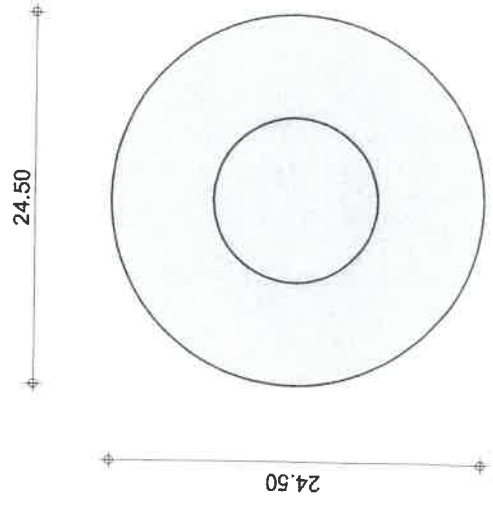
Aushub 1
549.00

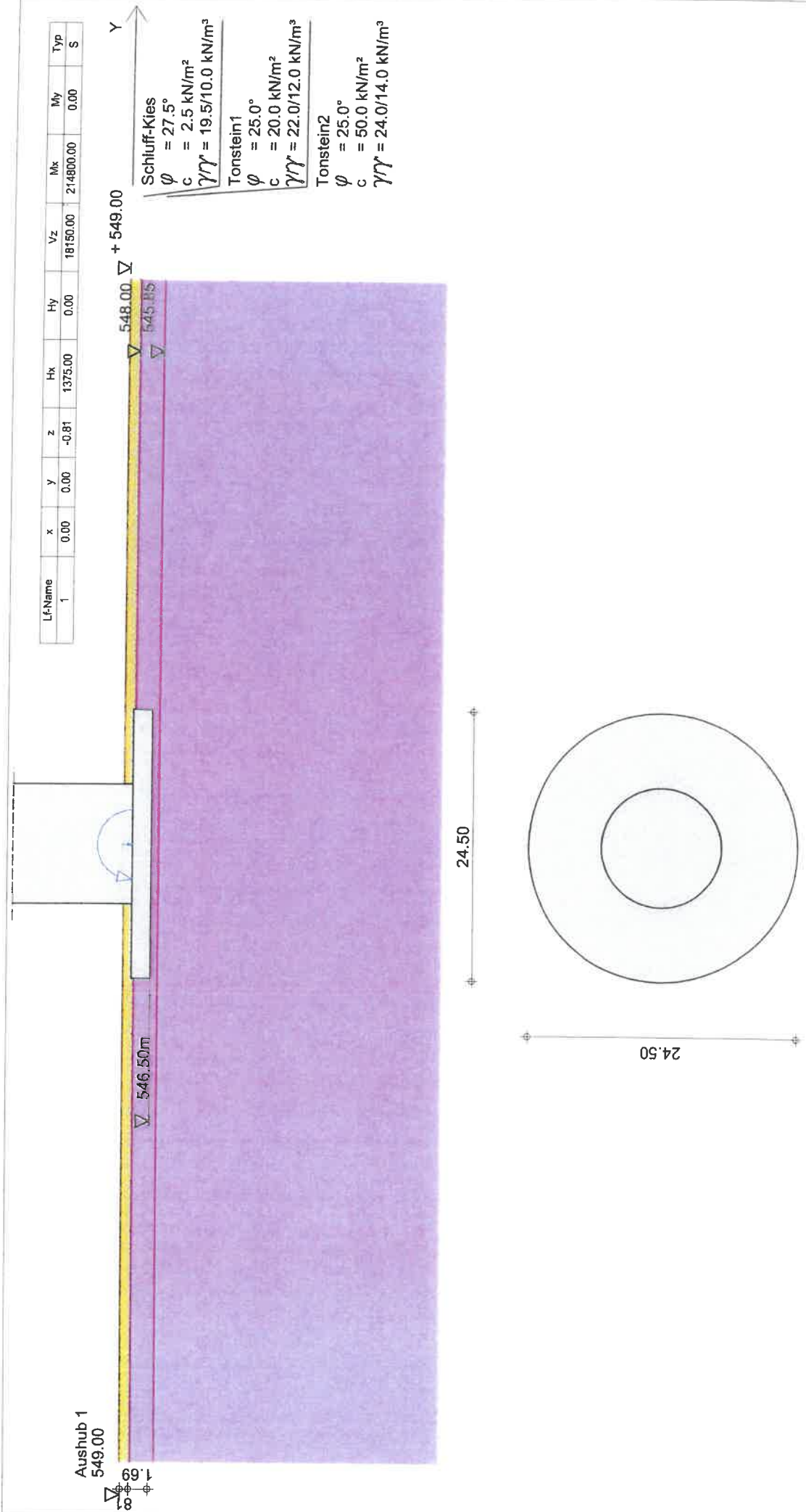


Schluff-Kies
 $\varphi = 27.5^\circ$
 $c = 2.5 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma\gamma = 19.5/10.0 \text{ kN/m}^3$

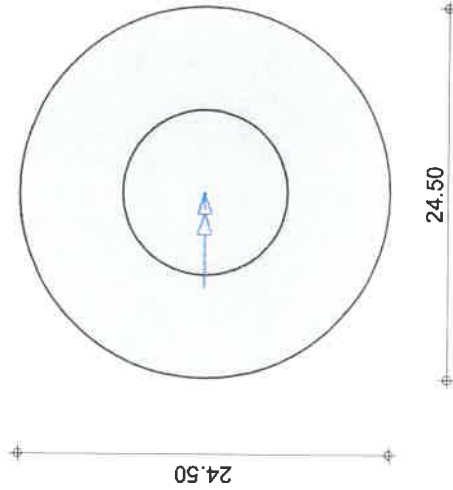
Tonstein1
 $\varphi = 25.0^\circ$
 $c = 20.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma\gamma = 22.0/12.0 \text{ kN/m}^3$

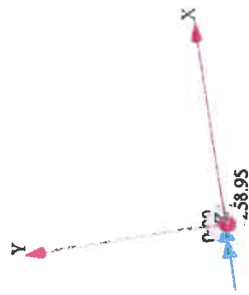
Tonstein2
 $\varphi = 25.0^\circ$
 $c = 50.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma\gamma = 24.0/14.0 \text{ kN/m}^3$





Lf-Name	x	y	z	Hx	Hy	Vz	Mx	My	Typ
1	0.00	0.00	-0.81	1375.00	0.00	18150.00	214800.00	0.00	S





Programm DC-Fundament - Copyright 2006-2021: DC-Software Doster & Christmann GmbH, D-81245 München

Eingabedatei: C:\ProgramData\DC-Grundbaustatik\Daten\WEA2\WEA9.dbf

Fundament-Berechnung nach DIN EN 1997-1 (Eurocode 7) und DIN 1054:2010

Erddruck nach DIN 4085:2017

Berechnung mit Nachweisverfahren 2

Kombination mit Teilsicherheitsbeiwerten der Gruppen A1 + M1 + R2

Fundamenttyp: Einzelfundament, kreisförmig

Fundamentabmessungen

Durchmesser d : 24.50 m
 Unterkante : 546.50 mNN
 Höhe h : 1.69 m
 Wichte γ : 25.00 kN/m³
 Geländeoberkante auf 549.00 mNN

Schichtdaten

		Schluff-Kies	Tonstein1	Tonstein2
Schichthöhe Δh	[m]	1.00	2.15	96.85
Innere Reibung $\text{cal } \varphi'$	[°]	27.50	25.00	25.00
Kohäsion c	[kN/m ²]	2.50	20.00	50.00
Wichte Boden γ	[kN/m ³]	19.50	22.00	24.00
Wichte unter Auftrieb γ'	[kN/m ³]	10.00	12.00	14.00
Steifemodul E_s	[MN/m ²]	40.00	80.00	120.00
zul. Bodenpressung	[kN/m ²]		475.00	475.00

Lastfall BS
 1 P

Einzellasten

Lastfall	Kat.	V [kN]	H _x [kN]	H _y [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	x [m]	y [m]	z [m]	γ Grundbau	γ Bemess.	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Eigengew.	G	19953.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	-2.50	1.35	1.35			
1	G	18150.0	1375.0	0.0	214800.0	0.0	0.00	0.00	-0.81	1.35	1.35			

Teilsicherheitsbeiwerte für statisches Gleichgewicht (EQU):

γ -	G, stb	G, dst	Q, dst
BS-P	0.90	1.10	1.50
BS-T	0.90	1.05	1.25
BS-A	0.95	1.00	1.00
BS-T/A	0.93	1.03	1.13

Teilsicherheitsbeiwerte (STR, GEO) für Nachweisverfahren 2

γ -	G	Q	R,v	R,h	γ	φ	c	cu	Ea	E0g	Ep
BS-P	1.35	1.50	1.40	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.35	1.20	1.40
BS-T	1.20	1.30	1.30	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.10	1.30
BS-A	1.10	1.10	1.20	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.10	1.00	1.20
BS-T/A	1.15	1.20	1.25	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.15	1.05	1.25

- γ - Teilsicherheitsbeiwert für ...
- G ständige Lasten
- Q veränderliche Lasten
- R,v Grundbruchwiderstand
- R,h Gleitwiderstand
- γ Wichte
- φ Reibungsbeiwert $\tan \varphi$
- c Kohäsion c
- cu Kohäsion undränirt cu
- Ea Aktiver Erddruck
- E0g Ruhedruck
- Ep Passiver Erddruck
- G, stb günstige ständige Lasten
- G, dst ungünstige ständige Lasten
- Q, dst ungünstige veränderliche Lasten

Lastfall-Kombinationen für Grundbaunachweise:

Komb.Nr.	Bem.sit.	Eigengew.	1
1	BS-P	1.00	1.00
2	BS-P	1.00	1.35
3	BS-P	1.35	1.00
4	BS-P	1.35	1.35

Lastfall-Kombinationen für Bemessung:

Komb.Nr.	Eigengew.	1
1	1.00	1.00
2	1.00	1.35
3	1.35	1.00
4	1.35	1.35

Ergebnisse:

Komb.Nr.	Sohl-normalsp. [kN/m ²]	max.Boden- pressung [kN/m ²]	Gleiten T _d /R _d	Grundbr. N _d /R _d	max. Setzung [mm]	e/d ständig	e/d gesamt	EQU: E _{d,dst} /E _{d,stab}
1	185.3	259.0	0.07	0.08	18.8	0.385	0.145	0.002
2	185.3	259.0	0.09	0.09	18.8	0.385	0.145	0.002
3	185.3	259.0	0.07	0.09	18.8	0.385	0.145	0.002
4	185.3	259.0	0.09	0.10	18.8	0.385	0.145	0.002

Maßgebend:

Komb.Nr.	Sohl-normalsp. [kN/m ²]	max.Boden- pressung [kN/m ²]	Gleiten T _d /R _d	Grundbr. N _d /R _d	max. Setzung [mm]	e/d ständig	e/d gesamt	EQU: E _{d,dst} /E _{d,stab}
	185.3	259.0	0.09	0.10	18.8	0.385	0.145	0.002

Nachweis der Lagesicherheit im GZ EQU

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 1, maßgebende Richtung: -y

Lage der Kippkante: (-12.25 m; -2.50 m)

E_{d,dst} = 501.13 kNm ≤ E_{d,stab} = 315223.15 kNm

*** Nachweis erfüllt ***

Nachweis der max. Bodenpressung

Schnittgrößen in der Sohlfuge

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 4

Belastung aus Eigengewicht: V = 19953.5 kN

Belastung aus Erdauflast: V = 7977.4 kN, M_y = 0.0 kNm, M_x = 0.0 kNm

Gesamtlast:

N = 46080.9 kN, Q_x = 1375.0 kN, M_y = 2327.9 kNm, Q_y = 0.0 kN, M_x = 214800.0 kNm

σ_{1(-x)} = 259.0 kN/m², σ_{2(+x)} = 0.0 kN/m²

Ersatzbreiten: b' = 15.18 m, a' = 16.38 m

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 4

(char. Sohlnormalspannung σ_{or,k} = 185.3 kN/m²)

Nachweis mit Bemessungswerten:

σ_{or,d} = 250.2 kN/m² < Bemessungswert Sohlwiderstand σ_{Rd} = 475.0 kN/m²

*** Nachweis erfüllt ***

Nachweis der Gleitsicherheit im Nachweisverfahren 2

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 2, maßgebende Richtung: +x

	Charakteristisch	Bemessungswerte
Belastung T	= 1375.0 kN	1856.3 kN
Erdwiderstand E _{ph} (δ _p = 0)	= 1375.0 kN	982.1 kN
Belastung V	= 46080.9 kN	
Reibungswinkel Sohle δ	= 25.00 °	
Gleitwiderstand R _t	= 21487.9 kN	19534.4 kN
Nachweis: T_d / (R_{t,d} + E_{p,d})	= 0.09 < 1.0	

*** Nachweis erfüllt ***

Nachweis der Grundbruchsicherheit im Nachweisverfahren 2

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 4, maßgebende Richtung: +x

Belastung		Charakteristisch	Bemessungswerte
Auflast P	=	26127.41 kN	35272.01 kN
Eigengewicht G	=	19953.50 kN	26937.22 kN
Gesamtlast V	=	46080.91 kN	62209.23 kN
Horizontallast H	=	1375.00 kN	1856.25 kN
Moment M_y	=	2327.88 kNm	3142.63 kNm
Moment M_x	=	214800.00 kNm	289980.00 kNm
Neigung der Resultierenden $\tan(\delta_s) = H/V$	=	0.03	
Lastrichtung zur Querrichtung ω	=	90.00 °	

Abmessungen

Einbindetiefe d	=	2.50 m
Ersatzbreite b'	=	15.18 m
Ersatzbreite quer a'	=	17.30 m

Ergebnisse

Breite der Grundbruchfigur	=	61.98 m
Tiefe der Grundbruchfigur	=	19.30 m
Maßgebende Bodenkennwerte: γ oberhalb Gründungssohle	=	21.00 kN/m ³
γ unterhalb Gründungssohle	=	23.89 kN/m ³
Reibungswinkel φ	=	25.00 °
Kohäsion c	=	49.20 kN/m ²
Tragfähigkeitsbeiwerte N_c, N_q, N_γ	=	20.72 10.66 4.51
Lastneigungsbeiwerte i_c, i_q, i_γ	=	0.95 0.95 0.93
Formbeiwerte s_c, s_q, s_γ	=	1.47 1.42 0.70

Grundbruchspannung p_d	=	2313.82 kN/m ²
Bemessungswert Grundbruchwiderstand R_d	=	607471.29 kN
Bemessungswert Beanspruchung N_d	=	62209.23 kN

Nachweis: $N_d / R_d = 0.10 < 1.0$

*** Nachweis erfüllt ***

Setzungsberechnung (GZG)

bezogen auf die Bodenpressungen an den kennzeichnenden Punkten:

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 1

Setzung am Randpunkt (-r; 0):	8.0 mm
Setzung am Randpunkt (+r; 0):	8.3 mm
Setzung am Randpunkt (0;-r):	18.8 mm
Setzung am Randpunkt (0;+r):	-2.5 mm (Hebung)

Maximale Setzung:	18.8 mm
Angesetzte Grenztiefe:	14.15 m

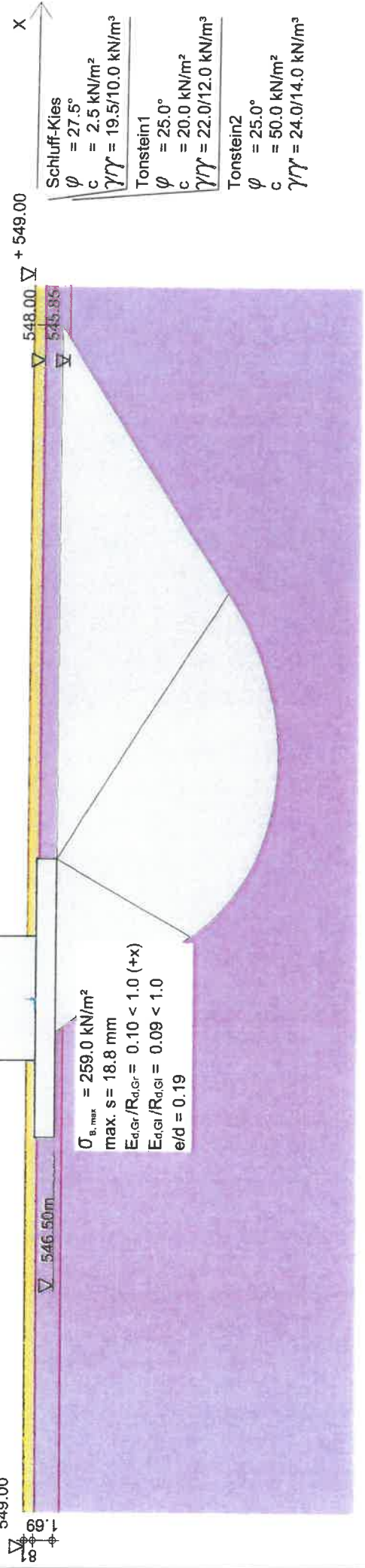
Setzung nur aus Normalkraft:

Setzung am Randpunkt (-r; 0):	5.2 mm
Setzung am Randpunkt (+r; 0):	5.3 mm
Setzung am Randpunkt (0;-r):	5.2 mm
Setzung am Randpunkt (0;+r):	5.2 mm

Maximale Setzung:	5.3 mm
Angesetzte Grenztiefe:	9.15 m

Lf-Name	x	y	z	Hx	Hy	Vz	Mx	My	Typ
1	0.00	0.00	-0.81	1375.00	0.00	18150.00	214800.00	0.00	S

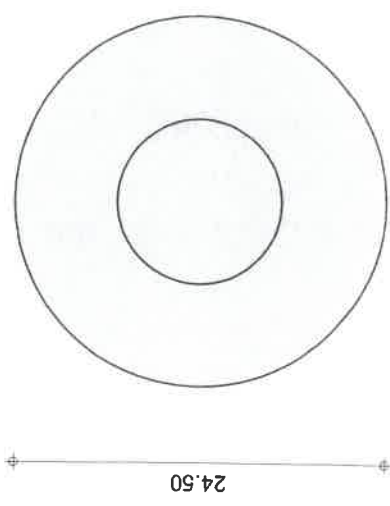
Aushub 1
549.00



$\sigma_{B, \max} = 259.0 \text{ kN/m}^2$
 $\max. s = 18.8 \text{ mm}$
 $E_{d,G1}/R_{d,G1} = 0.10 < 1.0 (+x)$
 $E_{d,G1}/R_{d,G1} = 0.09 < 1.0$
 $e/d = 0.19$

Soil Layer	φ	c	γ/γ'
Schluff-Kies	$= 27.5^\circ$	$= 2.5 \text{ kN/m}^2$	$= 19.5/10.0 \text{ kN/m}^3$
Tonstein1	$= 25.0^\circ$	$= 20.0 \text{ kN/m}^2$	$= 22.0/12.0 \text{ kN/m}^3$
Tonstein2	$= 25.0^\circ$	$= 50.0 \text{ kN/m}^2$	$= 24.0/14.0 \text{ kN/m}^3$

24.50



24.50

LFName	x	y	z	Hx	Hy	Vz	Mx	My	Typ
1	0.00	0.00	-0.81	1375.00	0.00	18150.00	214800.00	0.00	S

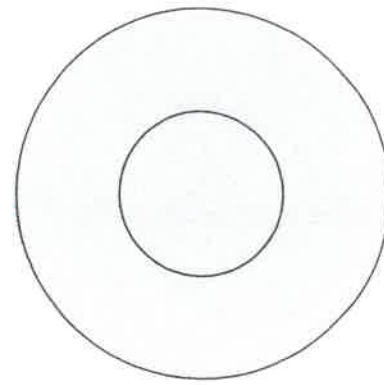
Aushub 1
549.00



$\sigma_{B, \max} = 259.0 \text{ kN/m}^2$
 $\max. s = 18.8 \text{ mm}$
 $E_{d,Gr}/R_{d,Gr} = 0.10 < 1.0 (+x)$
 $E_{d,Gl}/R_{d,Gl} = 0.09 < 1.0$
 $e/d = 0.19$

Schluff-Kies
 $\varphi = 27.5^\circ$
 $c = 2.5 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma\gamma = 19.5/10.0 \text{ kN/m}^3$
Tonstein1
 $\varphi = 25.0^\circ$
 $c = 20.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma\gamma = 22.0/12.0 \text{ kN/m}^3$
Tonstein2
 $\varphi = 25.0^\circ$
 $c = 50.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma\gamma = 24.0/14.0 \text{ kN/m}^3$

24.50



24.50