

DIPLOM - GEOLOGE WERNER GRÖBLINGHOFF

Altlastenuntersuchung
Umweltmanagement
Baugrundgeologie
Hydrogeologie

Franziskus Kampik

Rennkamps Gasse 3

59590 Geseke

Baugrundgutachten

für den Bauvorentwurf

Windpark Meiste

2 Windenergieanlagen des Typs Enercon E 160 EP 5 E 3 mit 166m Nabenhohe

Datum: 18.09.2024

Projektnummer: 23 – 0104

Sonnenbornstraße 7
D-59609 Anröchte
Tel.: +49 (0) 29 47 – 568 403
Fax: +49 (0) 29 47 – 568 404
mobil: +49 (0) 171 - 748 35 08
info@groeblinghoff.eu

USt-ID Nr.: DE 243230343
St. Nr.: 330/5013/2062
Volksbank Hellweg
Konto: 71488001
BLZ: 41460116
IBAN: DE11414601160071488001
BIC: GENODEM1SOE

1. Vorbemerkungen	3
2. Grundlagen.....	3
2.1 Unterlagen	3
2.2 Untersuchungen.....	4
3. Örtliche Verhältnisse	4
3.1 Lage.....	4
3.2 Nutzung.....	4
3.3 Geologische Verhältnisse.....	5
3.3.1 Schematischer Untergrundaufbau	5
3.3.2 Ergebnisse der Untergrunderkundung	5
3.4 Hydrogeologische Verhältnisse	7
4. Bodenklassifizierung und Bodenkennwerte	8
4.1 Bodenklassifizierung	8
4.2 Bodenmechanische Kennwerte	8
5. Gründungstechnische Empfehlungen	10
5.1 Gründung.....	10
5.2 Wasserhaltung und Ausführung der Baugruben der Windenergieanlagen	12
5.3 Ausführung der Kranstellflächen	12
5.4 Beurteilung der Georisiken	12
6. Schlussbemerkungen.....	14

Anlagen:

Anlage 1: Lageplan

Anlage 2: Schichtenverzeichnisse

Anlage 3: Erdstatische Berechnung

Anlage 4: Fundamentdatenblatt

1. Vorbemerkungen

Das Büro Gröblichhoff wurde durch den Bauherrn mit der Erstellung des Baugrundgutachtens für vier Windenergieanlagen des Anlagentyps Enercon E 160 EP 5 E 3 mit 166m Nabenhöhe beauftragt.

Es ist geplant, die WEA flach mittels Kreisfundament zu gründen. Grundlage dieses Gutachtens sind das Fundamentdatenblatt E-160 EP5 E3-HT-166-FB-C-01 Flachgründung der Max Bögl GmbH vom 04.10.2021 sowie der PM-CW-SP002- Anforderungskatalog für Baugrundbeurteilungen der Enercon GmbH 2015.

2. Grundlagen

2.1 Unterlagen

Zur Projektbearbeitung lagen folgende Unterlagen vor:

- Übersichtsplan (U1)
- Lageplan (U2)
- Ergebnisse der Untergrunderkundung (U 3)
- Geologische Karte NRW (U 4)
- Grundbau Taschenbuch, Teil 1: Geotechnische Grundlagen, 6. Auflage, Ernst & Sohn, Januar 2001 (U5)
- Fundamentdatenblatt E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01 der Enercon GmbH vom 06.07.2021

Die Gutachtenerstellung basiert auf den zum Durchführungszeitpunkt der Gelände- arbeiten vorliegenden Planungsvorgaben.

2.2 Untersuchungen

Im Rahmen der Felduntersuchungen wurden durch das Büro Gröblichhoff folgende Leistungen erbracht:

- Abteufen von 6 Rammkernsondierungen bis zu einer maximalen Endteufe von 1,4 m unter Geländeoberkante (GOK)
- Ansprache und Beurteilung des Bodens aus geologischer und bodenmechanischer Sicht
- Entnahme von Bodenproben
- Vermarkung des Ansatzpunktes nach Lage
- Geophysikalische Tiefenerkundung mittels Geosonar

3. Örtliche Verhältnisse

3.1 Lage

Die Standorte der Windenergieanlagen befinden sich östlich der Ortschaft Meiste, zwischen Aschentalweg und zum Schemmergrund.

3.2 Nutzung

Die Gelände werden derzeit landwirtschaftlich genutzt. Eine anderweitige frühere Nutzung ist nicht bekannt.

3.3 Geologische Verhältnisse

3.3.1 Schematischer Untergundaufbau

Im Bereich des Untersuchungsgebietes stehen quartäre Ablagerungen (Hanglehm) an. Diese werden unterlagert vom Verwitterungshorizont der Oberkreide (Turon), gefolgt vom anstehenden Festgestein.

System/Serie/Stufe	Lithologie	Mächtigkeit (m)
Quartär, Pleistozän	Schluff, feinsandig, schwach tonig	<2,0
Kreide, Cenoman	Kalkmergelstein	>50m

Der Standort befindet sich nicht in einem Gebiet seismischer Aktivität. Weitere Maßnahmen sind nicht erforderlich.

3.3.2 Ergebnisse der Untergrunderkundung

Der im Bereich des geplanten Standortes vorgefundene Schichtenfolge wird nachfolgend beschrieben:

0,0 – 0,2 m u. G.O.K.	<u>Oberboden,</u> Schluff, feinsandig, humos, dunkelbraun
0,2 – 0,8/1,0 m u. G.O.K.	<u>Hanglehm</u> Schluff, schwach kiesig, tonig, braun
0,8/1,0 – 1,0/1,3 m u. G.O.K.	<u>Verwitterungshorizont</u> Fels verwittert, Kalkmergelstein, Bodenmechanisch: Kies, steinig, schwach schluffig, mitteldicht - dicht, grau
ab 1,0/1,3: m u. G.O.K.	<u>Fels, kompakt</u> Kalkmergelstein, fest, gebankt und geklüftet

Geruchlich oder visuell feststellbare Verunreinigungen wurden an den Standorten nicht ermittelt.

Ergebnisse der geophysikalischen Tiefenerkundung:

www.geosonar.de

Klaus -D. Stübs

GeoPHYSIKALISCHE MESSUNGEN

Untersuchungen von Baugrund - Altbergbau - Altlasten - Bergschäden

Messstrecke WEA 1 M1 (N-S)

Die Messstrecke M1 verläuft von der Nordseite des Fundamentbereiches in südliche Richtung.

Der Messpunktabstand betrug 1,00 m, die Laufzeit 120ms. Es wurde eine durchschnittliche Teufe von 13 m erreicht.

Die M1 lässt in der zweiten Hälfte der Messstrecke eine saiger stehende tektonische Störungsstruktur erkennen, mit einer tiefergehende Verkarstung.

Messstrecke WEA 1 M2 (E-W)

Die Messstrecke M2 verläuft vom östlichen Fundamentbereich in westliche Richtung.

Der Messpunktabstand betrug 1,00 m, die Laufzeit 120ms. Es wurde eine durchschnittliche Teufe von 17m erreicht.

Die M2 lässt ebenfalls in der Mitte der Messstrecke einen saiger stehenden tektonischen Störungsbereich erkennen.

Zusammenfassend läßt sich sagen, dass in der zweiten Hälfte der Messstrecke M1 und in der zweiten Hälfte der Messstrecke M2 Hinweise auf eine tiefreichende Verkarstung gefunden wurden. Hinweise auf einen Hohlraum wurden jedoch nicht vorgefunden.

GeoPHYSIKALISCHE MESSUNGEN

Untersuchungen von Baugrund - Altbergbau - Altlasten - Bergschäden

Messstrecke WEA 2 M1 (N-S)

Die Messstrecke M1 verläuft von der Nordseite des Fundamentbereiches in südliche Richtung.

Der Messpunktabstand betrug 1,00 m, die Laufzeit 120ms. Es wurde eine durchschnittliche Teufe von 17 m erreicht.

Die M1 lässt im Messstreckenverlauf an saiger stehendentektonischen Störungslinien schwache Verkarstungen erkennen.

Messstrecke WEA 2 M2 (E-W)

Die Messstrecke M2 verläuft vom östlichen Fundamentbereich in westliche Richtung.

Der Messpunktabstand betrug 1,00 m, die Laufzeit 120ms. Es wurde eine durchschnittliche Teufe von 20 m erreicht.

Die Messstrecke M2 lässt einen durchgehend gestört erscheinenden aber kompakten Untergrund erkennen, ohne das sich jedoch Hinweise auf eventuelle Karsthohlräume zeigen

Zusammenfassend lässt sich sagen, das durch den Fundamentbereich eine Störungszone streicht, die insbesondere auf der Messstrecke M2 für gestörte Untergrundstrukturen sorgt.

Das Vorhandensein von Hohlräumen wurde jedoch nicht vorgefunden.

3.4 Hydrogeologische Verhältnisse

Bei den im Untersuchungsbereich durchgeführten Arbeiten wurde keine Wasserführung bis in eine Tiefe von 1,3 m unter GOK nachgewiesen. Ein durchgängiger Grundwasserleiter wird erst in Tiefen von >20 m unter GOK erwartet.

Betonaggressivität:

Die anstehenden Lockersedimente und der Fels sind Kalk haltig. Etwaige Säuren werden neutralisiert. Das Material ist als nicht angreifend, XA 0, einzustufen.

4. Bodenklassifizierung und Bodenkennwerte

4.1 Bodenklassifizierung

Die im künftigen Gründungsbereich anzutreffenden Bodenarten lassen sich auf der Grundlage der Untergrunduntersuchung wie folgt einstufen:

Tabelle 1: Bodenarten

Bodenart/ Boden	Bezeichnung nach DIN 4022/23	Boden- / Felsgruppe nach DIN 18196 /DIN1054: 2003- 01	Boden- klasse nach DIN 18300	Bezeichnung nach DIN 18300
Mutterboden	Schluff, humos	OU	3	leicht lösbarer Boden
Hanglehm	Schluff, feinsandig, steinig	UM	3 - 4	Leicht bis mittelschwer lösbarer Boden
Kalkstein, verwittert	Kies, steinig	GW	5	Schwer lösbarer Boden
Fels	Kalkmergelstein	Z	6	Schwer lösbarer Boden

Das Bodenmaterial ist mittels schwerem Gerät und Felslöffel lösbar.

4.2 Bodenmechanische Kennwerte

Anhand vorliegender Aufschlüsse sowie aufgrund von Erfahrungs- und Schätzwerten lassen sich für die angetroffenen Böden die nachfolgend aufgeführten Kennwerte für erdstatische Berechnungen angeben. Diese kennzeichnen das mechanische Verhalten der anstehenden Böden in ungestörter Lagerung.

Tabelle 2: Abgeschätzte Bodenkennwerte für erdstatische Berechnungen

Kennwert	Dimension	Boden		
		Hanglehm (UM)	Kalkstein verwittert (GW)	Fels, Kalkmergelstein (Z)
Wichte des feuchten Bodens, cal γ	kN/m ³	19	19,0 - 20,0	20,0 – 21,0
Wichte des Bodens unter Auftrieb, cal γ'	kN/m ³	9	9,0 – 10,0	10,0 – 11,0
Reibungswinkel, cal ϕ'	Grad	22,0	35,0	35,0
Kohäsion, cal c'	kN/m ²	5	--	--
Schubmodul Gd	MN/m ²	20 - 50	40 - 60	300– 500
Querdehnzahl ν	[-]	0,35 - 0,45	0,35	0,33
Steifemodul, cal Es	MN/m ²	10	20 – 25	60
Bettungsmodul, cal ks	MN/m ³	-	20 - 25	50 - 80
Durchlässigkeits- beiwert, cal kf	m/s	$10^{-6} - 10^{-7}$	10^{-4}	10^{-7}

5. Gründungstechnische Empfehlungen

5.1 Gründung

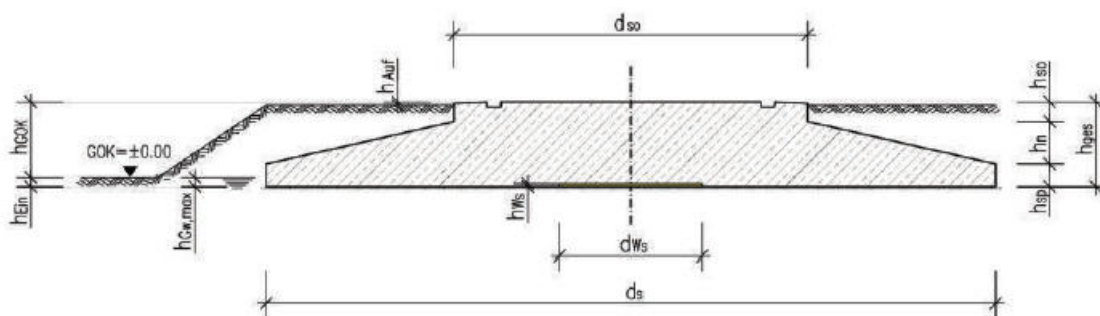
Das Fundamentdatenblatt weist folgende Gründung aus:

Verfasser / Author:			 MAX BÖGL <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>	Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5				Datum / Date: 04.10.2021
NH / HH: 166,6 m		Hybriddturm / Hybrid tower: E21		

2 Geometrie, Material und Massen / Geometry, material and dimensions

Die Geometrie, das Material und die Massen des Fundamententwurfes werden nachfolgend angegeben.

The geometry, material and dimensions are for the foundation draft are defined in this chapter.



Geometrie / Geometry

Betonkörper / Concrete body

Außendurchmesser / Outer diameter	d_s	=	24,00 m
Sockeldurchmesser / Base diameter	d_{so}	=	10,90 m
Weichschichtdurchmesser / Soft layer diameter	d_{ws}	=	4,40 m
Fundamenthöhe / Foundation height	h_{ges}	=	2,80 m
Spornhöhe / Outer height	h_{sp}	=	0,70 m
Spornneigungshöhe / Nose incline height	h_n	=	1,50 m
Sockelhöhe / Base height	h_{so}	=	0,60 m
Abstand Fundamentoberkante - Grundoberkante / Separation foundation top edge - ground level	h_{GOK}	=	2,299 m
Einbindetiefe / Embedment depth	h_{Ein}	=	0,501 m
Abstand Fundamentoberkante - Überschüttungoberkante / Separation foundation top edge - soil cover top edge	h_{Auf}	=	0,10 m
Weichschichtsdicke / Soft layer thickness	h_{ws}	=	0,05 m

Die maximal zulässige Schiefstellung (Setzungsdifferenz) darf nach den vorliegenden Unterlagen maximal 30 mm betragen. Die Mindestbodenpressung ($\sigma_{k, \text{ vorh}}$) für eine Flachgründung mit Auftriebswirkung beträgt 284 kN/m² für den Lastfall BS-A.

Wir empfehlen nach jetzigem Stand eine Flachgründung über einer Bodenverbesserung mittels Tragschicht:

Auskoffnung des anstehenden Oberbodens und des Hanglehms bis in eine Tiefe von 0,8 m (WEA 1) bzw. 1,0 m (WEA 2) unter GOK. Anschließend wird eine Tragschicht bis auf die Sollhöhe, lagenweise verdichtet, auf einem Geotextil (GRK 4) eingebaut. Es wird auf der Tragschicht ein Ev2 Wert von 120 MN/m² und ein Verhältniswert von Ev2/Ev1 von < 2,2 gefordert.

Der Überstand der Bodenaufkast hat 1,5 m, der Winkel 45° zu betragen.

Bei einer Flachgründung mittels Kreisfundament auf Höhe GOK auf dem Bodenaustausch kann gemäß DIN 1054:2003-01 Bild A1 ein zulässiger Sohldruck in Höhe von

$$\sigma_{\text{zul.}} \leq 350 \text{ kN/m}^2$$

angesetzt werden.

Erdstatische Berechnungen:

Auf Grundlage der abgeschätzten Bodenkennwerte, der dynamischen Bodenkennwerte (nach Bodenverbesserung) und der Geometrie des Fundamentes lässt sich gemäß folgender Beziehung

$$k_{\phi} = E \cdot r^3 \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{1-\nu-2\nu^2}{(1+\nu) \cdot (1-\nu)^2}$$

eine Drehfedersteifigkeit von

Schichten unter Fundament	Konsistenz / Lagerungsdichte	E stat (MN/m ²)	E dyn (MN/m ²)	Fundament-radius	K phi stat (MNm/rad)	K phi dyn (MNm/rad)
Bodenaustausch	dicht	50	150	12,00	74.000	221.000
Verwitterungsschicht	fest	60	180	12,00	92.000	262.000

nachweisen.

Die erdstatischen Berechnungen wurden mit dem Programm GGU – footing (Version 8.09, September 2013) durchgeführt.

Die Programmberechnung (GGU – footing) für den Lastfall BS-A ergab für die Gleitsicherheit, Kippsicherheit und Grundbruchsicherheit max. Ausnutzungsgrade von $< 0,2$. Setzungsdifferenzen für das Kreisringfundament mit einem Durchmesser von 22,50 m wurden mit maximal 0,8 cm (Lastfall BS-A) nachgewiesen.

5.2 Wasserhaltung und Ausführung der Baugruben der Windenergieanlagen

Während der Bauzeit ist eine Baugrubensicherung gemäß DIN 4124 vorzunehmen.

Die Baugrube zur Herstellung des Kreisfundamentblockes befindet sich nicht im Grundwasser-/ Schichtenwasserbereich. Weitere Maßnahmen sind nicht erforderlich.

5.3 Ausführung der Kranstellflächen

Die Kranstellflächen sind wie folgt auszuführen:

1. Der anstehende Boden ist nicht als Gründungswiderlager der Kranstellfläche geeignet und bis in eine Tiefe von 0,6 m unter GOK auszukoffern.
2. Der Aushub der Baugruben und der Einbau der lastenverteilenden Tragschichten ist im "Vor - Kopf - Verfahren" vorzunehmen.
3. Die Baugrubensohle ist mit einem filterstabilen Geovlies (GRK 4) abzudecken. Hierfür wird eine Stempeldurchdrückkraft $\geq 2,5$ kN und eine Masse pro Flächeneinheit von ≥ 250 g/m² gefordert.
4. Lagenweise (max. 0,3m) verdichteter Einbau einer ca. 0,6 m mächtigen Schicht (Mächtigkeit nach Verdichtung) von Bodenaustauschmaterial (Schotter) der Körnung 0/56.
5. Der Verdichtungsgrad auf der obersten Lage von EV2 ≥ 120 MN/m² ist nachzuweisen.

Die Zuwegungen sind analog zu erstellen, jedoch ist nur eine Stärke des Bodenaustausches von 0,5 m erforderlich. Die gutachterliche Begleitung der Arbeiten zur Erstellung der Tragschicht wird angeraten.

5.4 Beurteilung der Georisiken

Seismische Risiken (Erdbeben)

Der geplante Windpark liegt in einem Gebiet ohne seismische Aktivität. Maßnahmen zur Sicherung der Windenergieanlagen gegen Erdbeben sind nicht erforderlich.

Bodenbewegungen (Hanggleiten)

Das Gründungswiderlager der geplanten Windenergieanlage bildet der verdichtete Bodenaustausch. Der darunter anstehende Kalkstein ist nicht als potentielle Gleitfläche anzusehen, da er nicht Wasser führend ist und in festem Verband vorliegt. Die Gleitsicherheit wurde mit einem Ausnutzungsgrad von 0,082 mittels GGU – footing Programm nachgewiesen.

Hochwasserrisiko

Der Standort der Windenergieanlage liegt aufgrund der Topographie (Bergkuppe) nicht in Hochwasser gefährdeten Gebieten. Bei Starkregen Ereignissen läuft das anfallende Niederschlagswasser talwärts in nordwestliche Richtung und es kommt zu keinem Aufstau von Wasser im Bereich der Anlage.

Grundwasseraufstau

Ein durchgehender Grundwasserleiter wurde nicht vorgefunden. Aufgrund der topographischen, geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten ist ein Anstieg des Grundwassers bis in den Gründungsbereich auszuschließen. In dem Fundamentdatenblatt ist ein Anstieg des Grund-/Schichtenwassers bis zur Geländeoberkante berücksichtigt und gefährdet somit die Standsicherheit nicht.

Stürme:

Die Fundamentierung der Anlagen ist von den Anlagenherstellern auf der Grundlage gültiger Normen auf Sturmereignisse ausgelegt. Mit Blick auf den sehr tragfähigen Untergrund (Fels) und die mit Sicherheitszuschlägen dimensionierten Fundamente (von unabhängigen Prüfstatikern freigegeben) ist eine Gefährdung der Standsicherheit nicht gegeben.

6. Schlussbemerkungen

Aus haftungsrechtlichen Gründen bitten wir, zu einer erneuten Stellungnahme herangezogen zu werden, falls die Gründung in einer anderen als der oben beschriebenen Weise vorgenommen werden muss.

Gemäß DIN 4020:2003-09 ist die ausgehobene Baugrube durch einen geotechnischen Sachverständigen zu besichtigen.

Alle Daten der in diesem Gutachten protokollierten Messungen sind ausschließlich für die Baugrunduntersuchung zu verwenden und vor Baubeginn zu verifizieren.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die geforderten Bodenkennwerte für die Bodenpressung und Drehfedersteifigkeit eingehalten werden.



Dipl. – Geol. Werner Gröblichhoff

Anlage 1: Lageplan

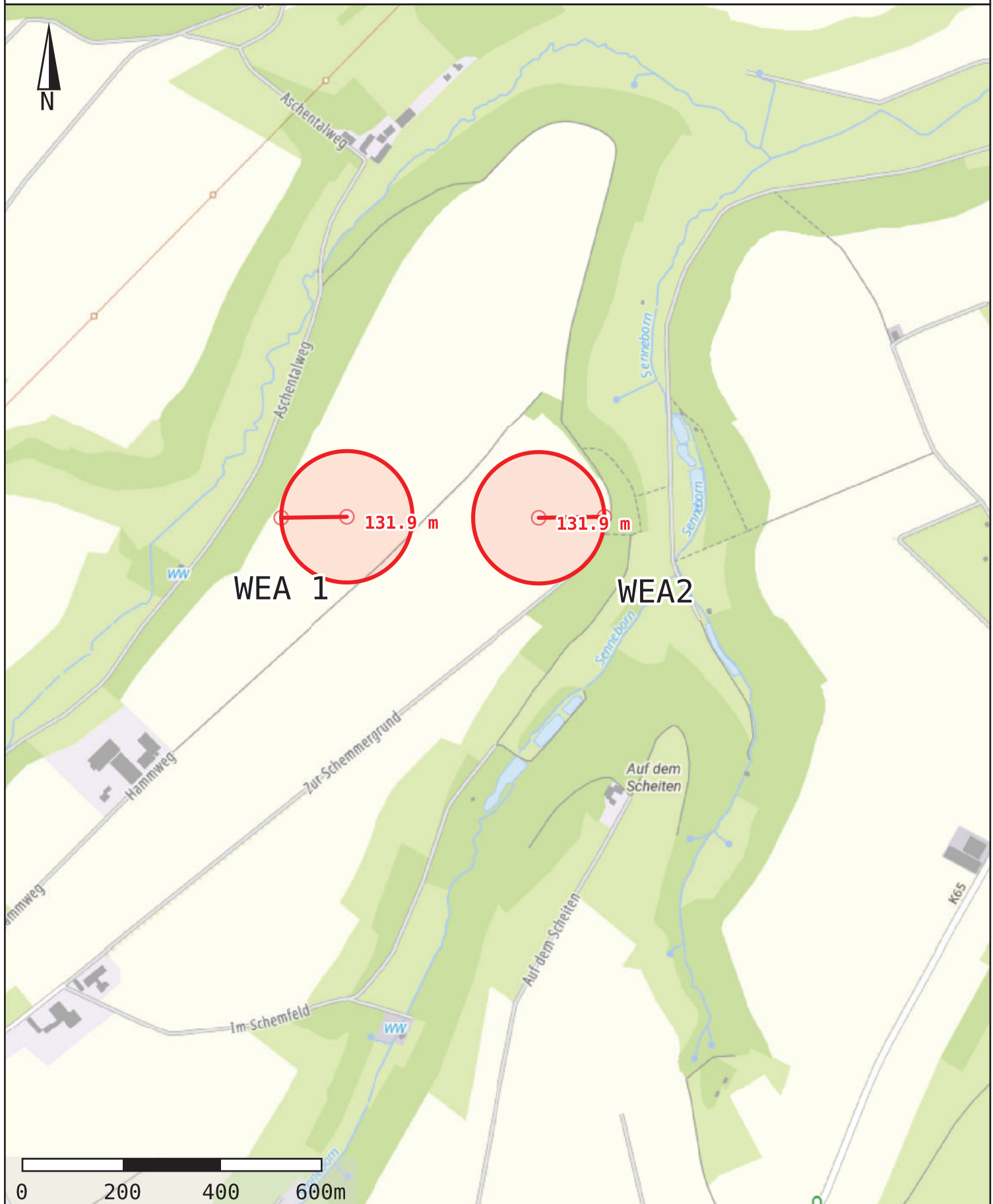


Dieser Ausdruck wurde mit TIM-online (www.tim-online.nrw.de) am 22.09.2023 um 10:07 Uhr erstellt.

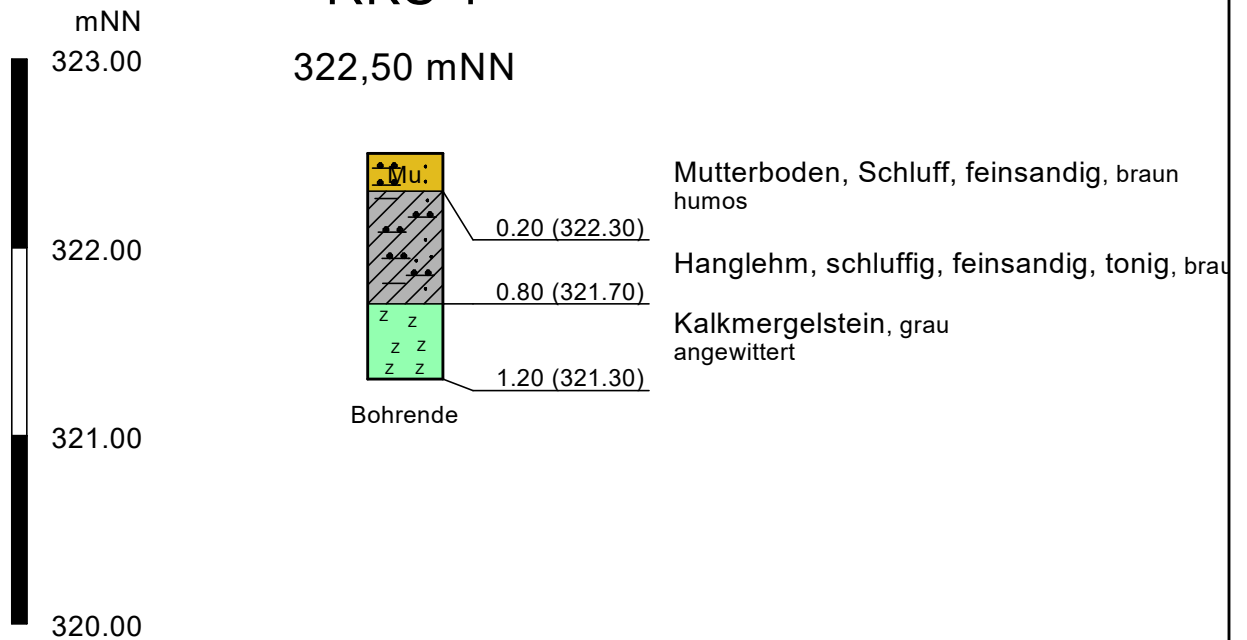


GEObasis.nrw

Land NRW 2023 - Keine amtliche Standardausgabe. Es gelten die auf den Folgeseiten angegebenen Nutzungs- und Lizenzbedingungen der dargestellten Geodatendienste.

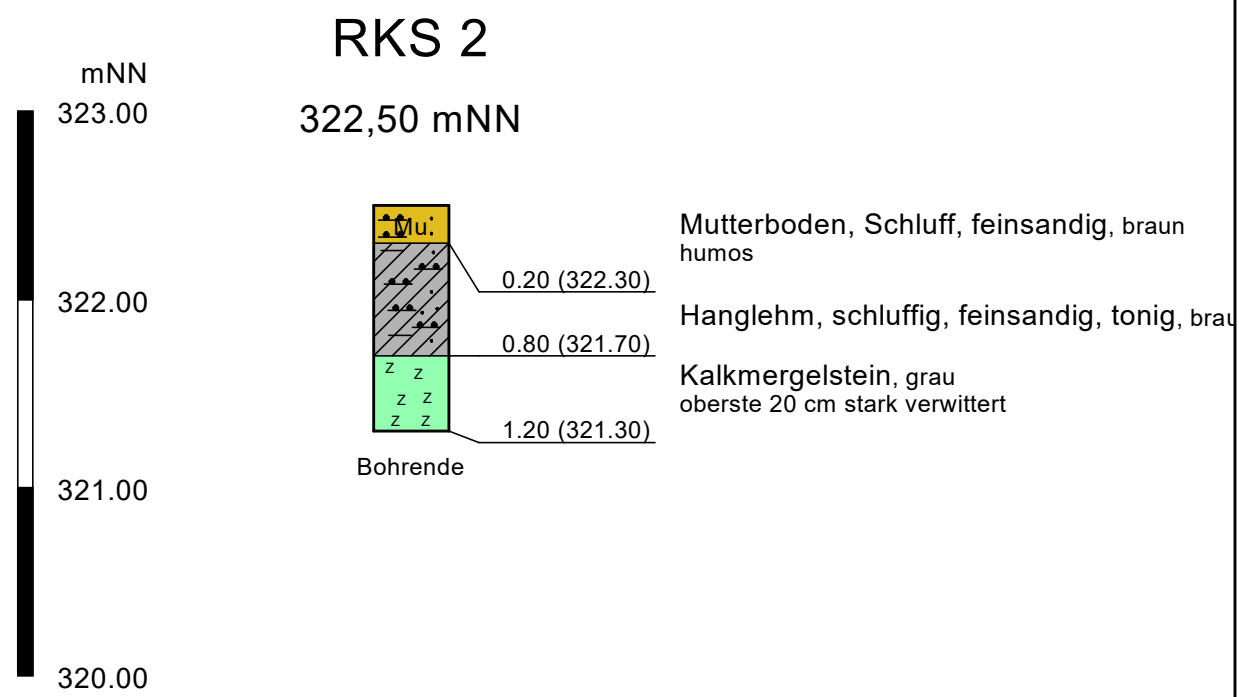


RKS 1



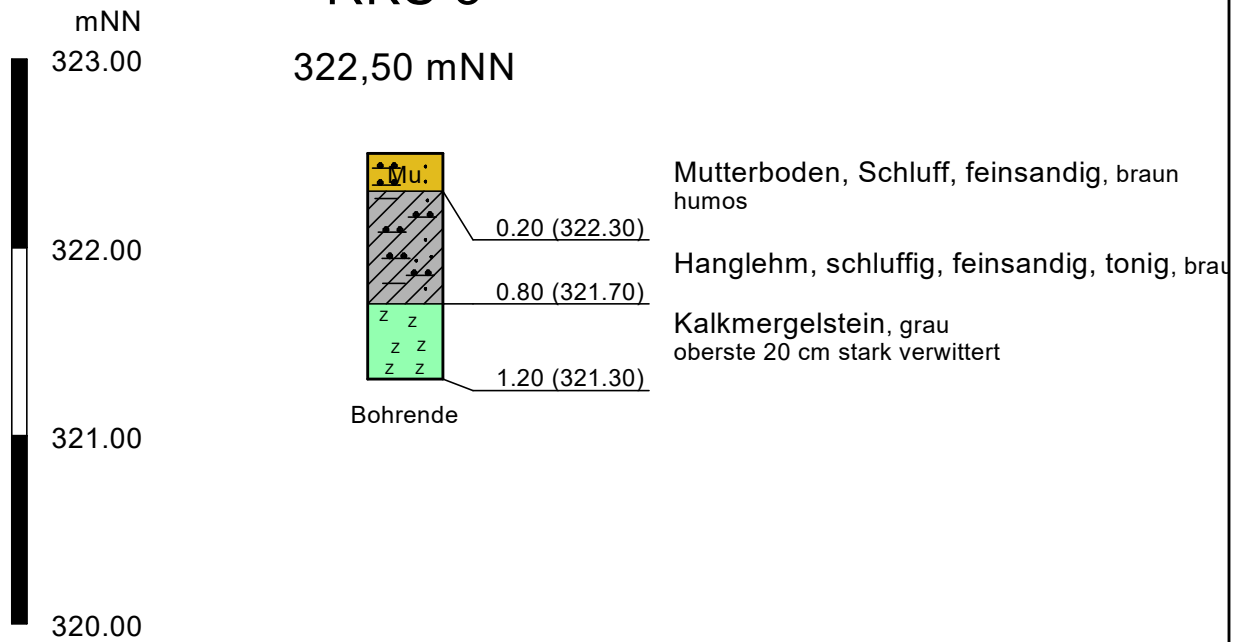
Maßstab d. H. 1: 50

Dipl. - Geol. W. Gröblichhoff	WP Meiste, Rüthen WEA 1	Datum: 02.07.2024
		Anlage Nr. 2



Maßstab d. H. 1: 50

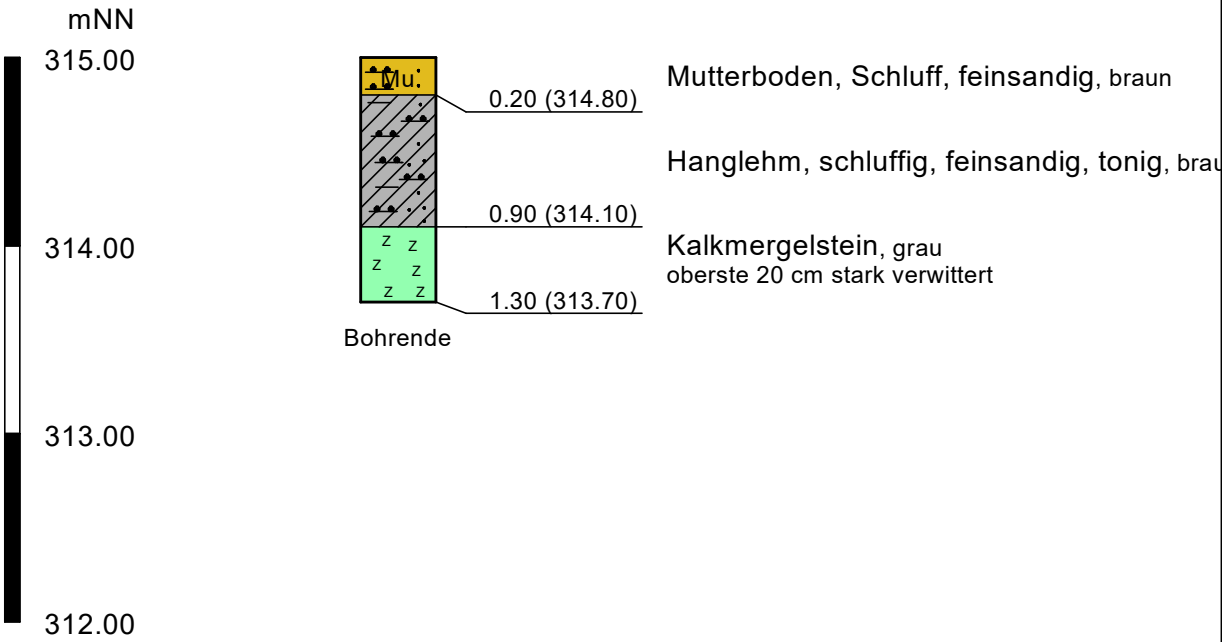
RKS 3



Maßstab d. H. 1: 50

RKS 1

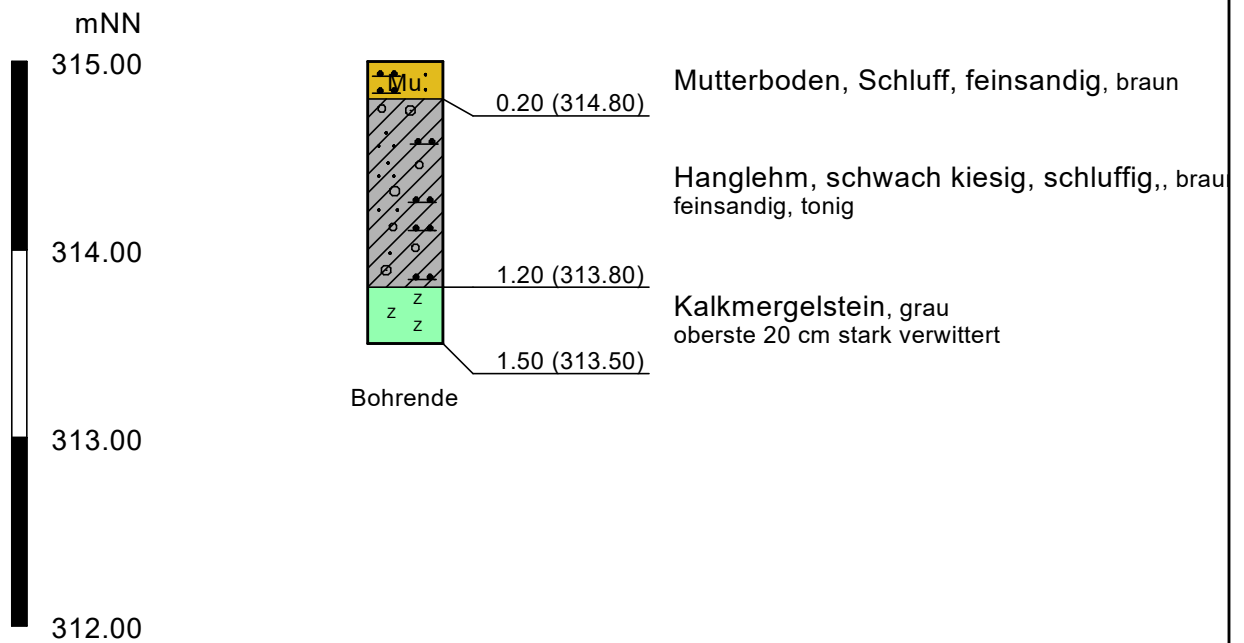
315.0 mNN



Dipl. - Geol. W. Gröblichhoff	WP Meiste, Rüthen WEA 2	Datum: 02.07.2024
		Anlage Nr. 2

RKS 2

315.0 mNN

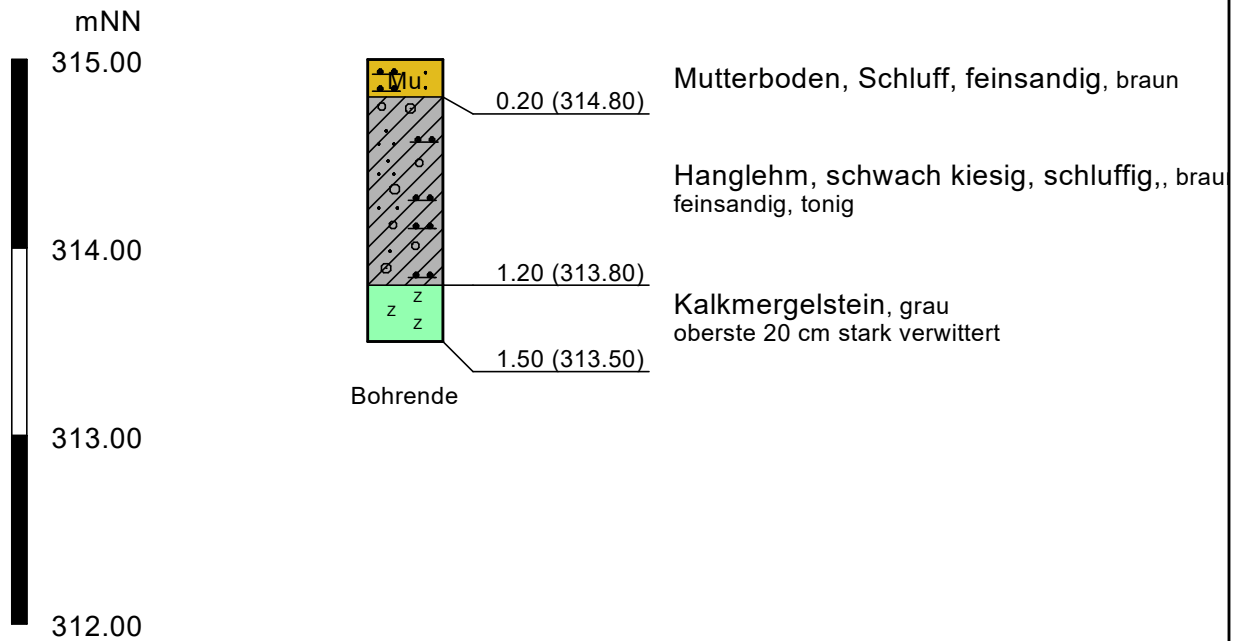


Maßstab d. H. 1: 50

Dipl. - Geol. W. Gröblichhoff	WP Meiste, Rüthen WEA 2	Datum: 02.07.2024
		Anlage Nr. 2

RKS 3

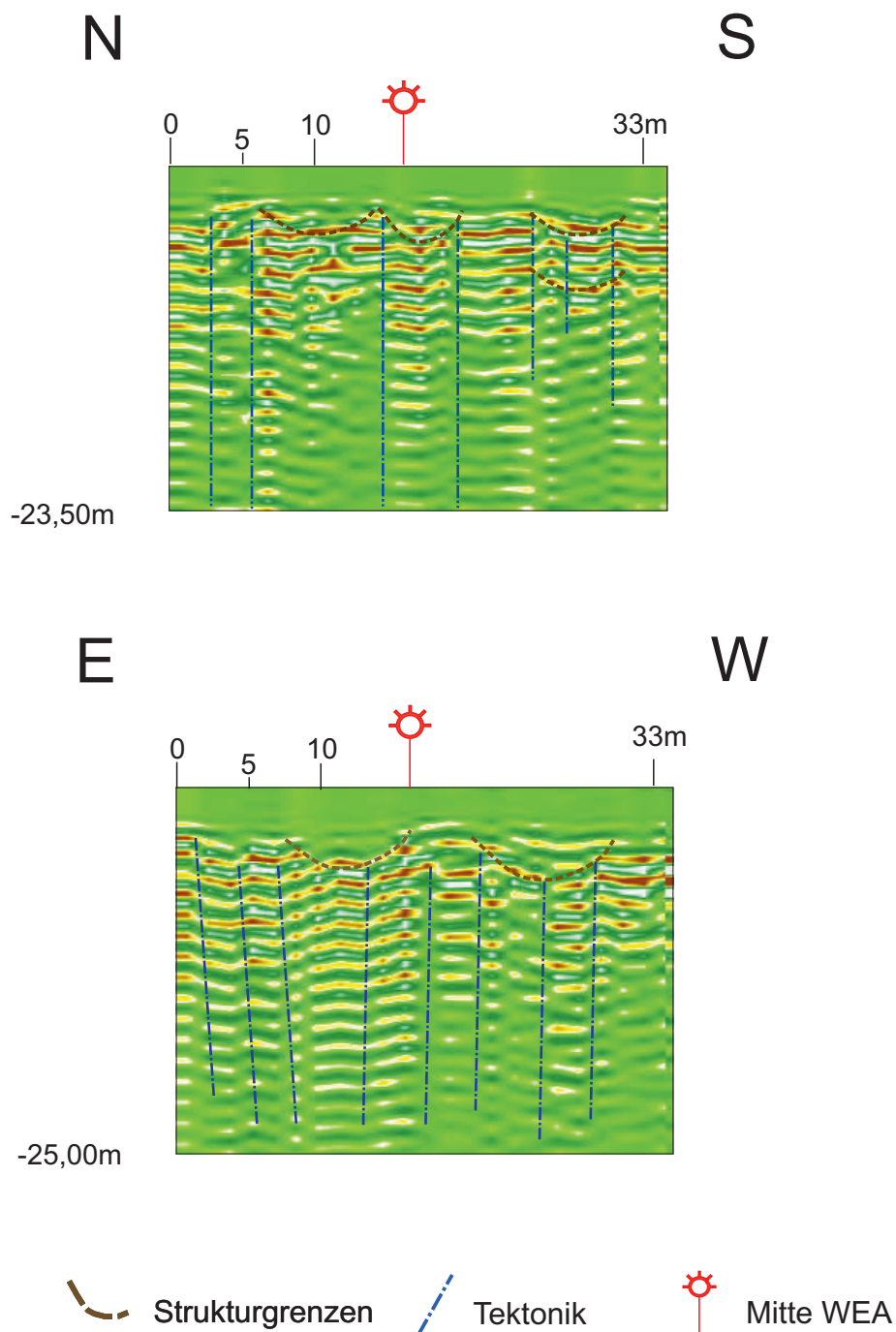
315.0 mNN



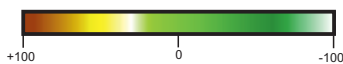
Maßstab d. H. 1: 50

GeoPHYSIKALISCHE MESSUNGEN

WEA 1 Meiste



Laufzeit: 120ms
Messpunktabstand: 1,50m



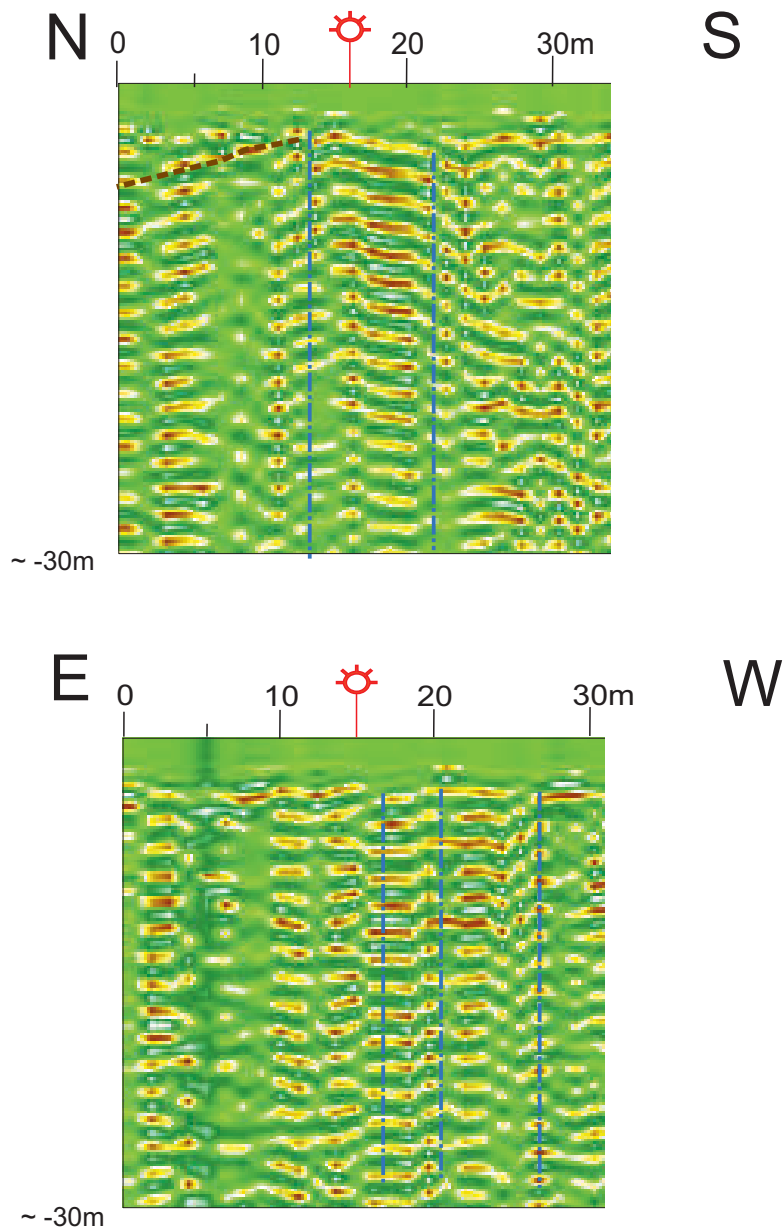
Amplitudenintensität

1:500

Anlage 2

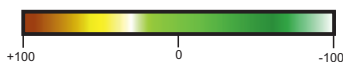
GeoPHYSIKALISCHE MESSUNGEN

WEA 2 Meiste



Strukturgrenzen Tektonik Mitte WEA

Laufzeit: 120ms
Messpunktabstand: 1,25m

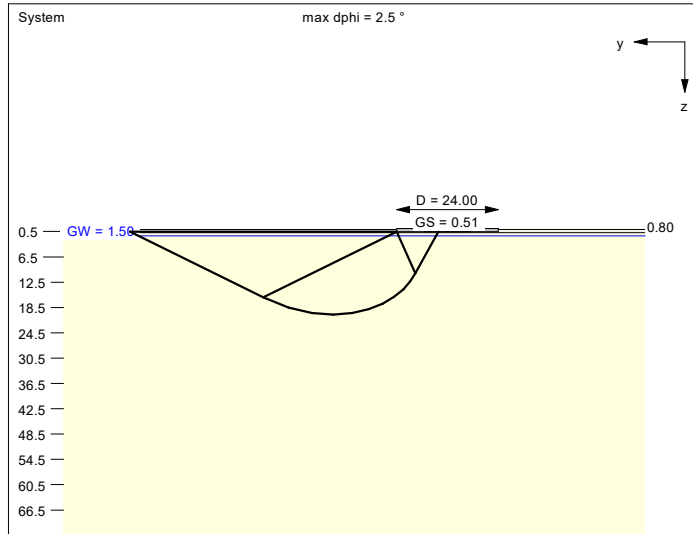


Amplitudenintensität

1:500

Anlage 2

Boden	γ [kN/m ³]	γ' [kN/m ³]	φ [°]	c [kN/m ²]	E _s [MN/m ²]	v [-]	Bezeichnung
	20.0	11.0	35.0	0.0	80.0	0.00	Tragschicht
	21.0	11.0	37.5	0.0	150.0	0.00	Kalkstein, fest



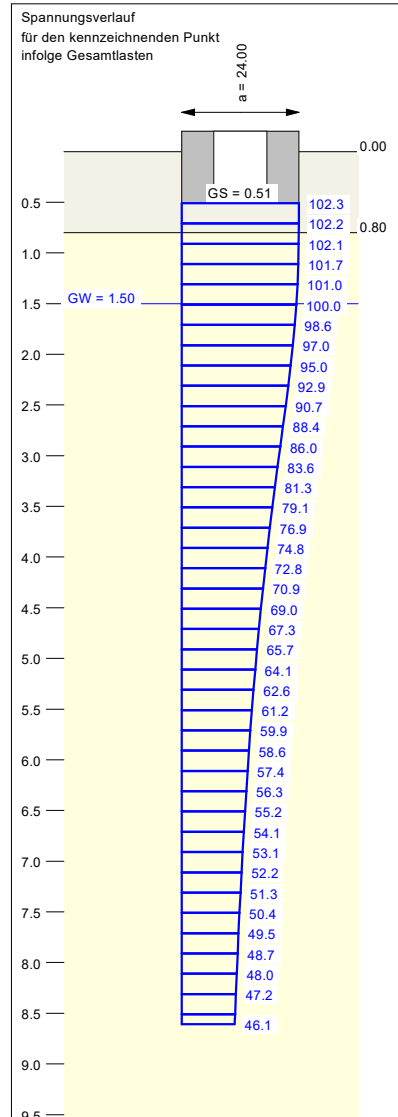
Ergebnisse Einzelfundament:
 Lasten = ständig / veränderlich
 Vertikallast $F_{v,k} = 36717.00 / 0.00$ kN
 Horizontalkraft $F_{h,k,k} = 1475.00 / 0.00$ kN
 Horizontalkraft $F_{h,y,k} = 1103.00 / 0.00$ kN
 Moment $M_{x,k} = 0.00 / 217140.00$ kN·m
 Moment $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$ kN·m
 Durchmesser D = 24.000 m
 Durchmesser (innen) d = 10.900 m
 Unter ständigen Lasten:
 Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
 Exzentrizität $e_y = 0.000$ m
 Resultierende im 1. Kern (= 3.619 m)
 $a' = 20.365$ m
 $b' = 20.365$ m
 Unter Gesamtlasten:
 Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
 Exzentrizität $e_y = -5.914$ m
 Resultierende im 2. Kern (= 7.467 m)
 $a' = 9.820$ m
 $b' = 16.848$ m

Grundbruch:
 Durchstanzen untersucht,
 aber nicht maßgebend.
 Teilsicherheit (Grundbruch) $\gamma_{R,v} = 1.40$
 $\sigma_{G,k} / \sigma_{0,d} = 3458.3 / 2470.20$ kN/m²
 $R_{n,k} = 572148.74$ kN
 $R_{n,d} = 408677.67$ kN
 $V_d = 1.35 \cdot 36717.00 + 1.50 \cdot 0.00$ kN
 $V_d = 49567.95$ kN
 μ (parallel zu y) = 0.121
 cal $\varphi = 37.5^\circ$
 cal c = 0.00 kN/m²
 cal $\gamma_2 = 11.76$ kN/m³

cal $\sigma_0 = 10.20$ kN/m²
 UK log. Spirale = 20.18 m u. GOK
 Länge log. Spirale = 86.54 m
 Fläche log. Spirale = 905.65 m²
 Tragfähigkeitsbeiwerte (y):
 $N_{c0} = 58.24$; $N_{d0} = 45.65$; $N_{b0} = 34.22$
 Formbeiwerte (y):
 $v_c = 1.363$; $v_d = 1.355$; $v_b = 0.825$
 Neigungsbeiwerte (y):
 $i_c = 0.926$; $i_d = 0.927$; $i_b = 0.881$

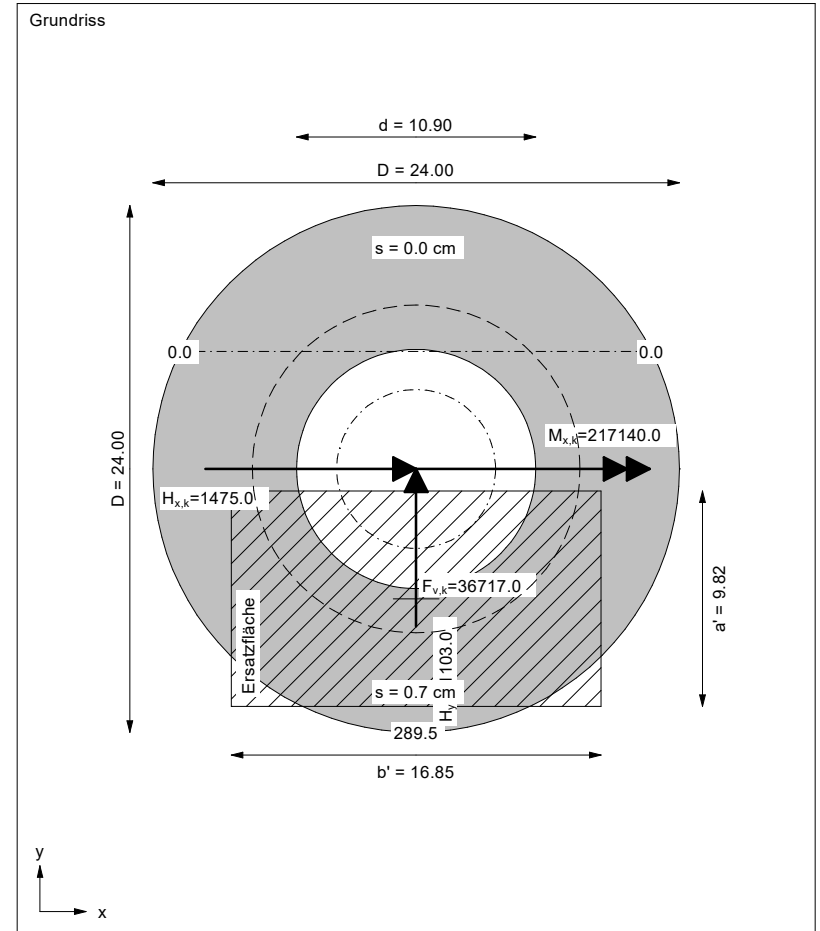
Gleitwiderstand:
 Teilsicherheit (Gleitwiderstand) $\gamma_{R,h} = 1.10$
 $N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 36717.00 \cdot \tan(35.00^\circ) / 1.10$
 $R_{t,d} = N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 23372.29$ kN
 $T_d = 2486.43$ kN
 $\mu = T_d / R_{t,d} = 0.106$

Setzung infolge Gesamtlasten:
 Grenztiefe $t_g = 8.61$ m u. GOK
 Vorbelastung = 54.0 kN/m²
 Setzung (Mittel aller KPs) = 0.38 cm
 Setzungen der KPs:
 oben = 0.00 cm
 unten = 0.75 cm
 Verdrehung(x) (KP) = 1 : 2720.1
 Drehfedersteifigkeit:
 $k_{\varphi,x} = 590646.2$ MN·m/rad
 Nachweis EQU:
 $M_{stb} = 36717.0 \cdot 24.00 \cdot 0.5 \cdot 0.90 = 396543.6$
 $M_{dst} = 217140.0 \cdot 1.50 = 325710.0$
 $\mu_{EQU} = 325710.0 / 396543.6 = 0.821$



Berechnungsgrundlagen:
 WP MEISTE
 Norm: EC 7
 Grundbruchformel nach DIN 4017:2006
 Teilsicherheitskonzept (EC 7)
 $\gamma_{R,v} = 1.40$
 $\gamma_G = 1.35$
 $\gamma_Q = 1.50$
 $\gamma_{R,h} = 1.10$

Grenzzustand EQU:
 $\gamma_{G,dst} = 1.10$
 $\gamma_{G,stb} = 0.90$
 $\gamma_{Q,dst} = 1.50$
 Gründungssohle = 0.51 m
 Grundwasser = 1.50 m
 Grenztiefe mit $p = 20.0\%$
 - - - - 1. Kernweite
 - - - - 2. Kernweite



Verfasser / Author:		 MAX BÖGL <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>	Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5			Datum / Date: 04.10.2021
NH / HH: 166,6 m		Hybridturm / Hybrid tower: E21	

TYPENPRÜFUNG Geltungsdauer

...5 Jahre/Wiedervorlage bis 12.10.2026

Fundamentdatenblatt / *Foundation datasheet*

Enercon DE 5.5MW E-160 166,6m RT2.0 E21

E-160 EP5 E3-HT-166-FB-C-01 Flachgründung **3443492-20**

Durch Vergleichsrechnung geprüft

In bautechnischer Hinsicht geprüft.

Siehe Prüfbericht vom 13.10.2021

Projektnummer /
Project number:

21683-E21

München

TÜV SÜD Industrie Service GmbH
Prüfamt für Standsicherheit
von Windenergieanlagen

Anlagenhersteller /
Turbine manufacturer:

Enercon GmbH
Dreekamp 5
DE-26605 Aurich

Der Bearbeiter:

C. Reuter

Der Leiter:

S. Meyer

Windenergieanlage /
Wind turbine:

Enercon E-160 EP5

Nabenhöhe /
Hub height:

166,6 m

Bauteil /
Component:

Fundament mit Teilauftrieb /
Foundation with partial
buoyancy

Verfasser / Author:

Max Bögl Wind AG
Max-Bögl-Str. 1
DE-92369 Sengenthal

Datum / Date:

04.10.2021

Revision / Revision:

a

Bauteil /
Component: Fundament / *Foundation*

Block /
Chapter:



Verfasser / Author:		 MAX BÖGL <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>	Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m		Datum / Date: 04.10.2021
		Hybriddturm / Hybrid tower: E21	

Änderungsverzeichnis / Table of revision

Revision / Revision	Datum / Date	Beschreibung / Description	Bearbeiter / Author
-	04.06.2021	Erstausgabe / First release	Plou
a	04.10.2021	Lastenheft 24.06.2021 angesetzt / Load report 24-06-2021 considered	Plou

Datum / Date: 04.10.2021

Aufgestellt /
Prepared by:



i.A. Pablo-Angel Plou Nogueira

Geprüft /
Checked by:


i.A. Christoph von Oesen

Geprüft und freigegeben /
Checked and approved by:



i.A. Thorsten Betz

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	Änderungsverzeichnis / Table of revision	

Verfasser / Author:		 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m		Datum / Date: 04.10.2021
Hybridturm / Hybrid tower: E21			

Inhaltsverzeichnis / Table of contents

Änderungsverzeichnis / Table of revision	2
Inhaltsverzeichnis / Table of contents.....	3
1 Allgemeines / General.....	4
2 Geometrie, Material und Massen / Geometry, material and dimensions	5
3 Belastung / Loading	7
3.1 Eigengewicht, Erdüberschüttung und Auftrieb / Own weight, soil cover and buoyancy.....	7
3.2 Turmlasten / Tower loads	8
3.2.1 BS-P, BS-T und BS-A / BS-P, BS-T and BS-A.....	8
3.2.2 GZT und GZG / ULS and SLS	9
4 Anforderungen an den Baugrund / Soil requirements	10

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	 Seite/ Page:
Block / Chapter:	Inhaltsverzeichnis / Table of contents	

Verfasser / Author:		 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m		Datum / Date: 04.10.2021
		Hybriddturm / Hybrid tower: E21	

1 Allgemeines / General

In diesem Dokument werden die Kennwerte des Fundamentes für die nachfolgend angegebene Windenergieanlage zusammengefasst.

This document summarizes the properties of the foundation for the following wind turbine.

Turm / Tower

Beschreibung / Description

Turmtyp / Tower type	Max Bögl hybrid tower E21
Hersteller / Manufacturer	Enercon
Land / Country	DE
Leistung / Power	5,50 MW
Rotor / Rotor	E-160
Nabenhöhe / Hub height	166,6 m
Turmsystem / Tower system	RT2.0

Die Turmgeometrie ist in der folgenden Zeichnung von Max Bögl angegeben:

The tower geometry is defined in the following Max Bögl drawing:

DE_E21_001_XX_X_Uebersicht_a.pdf

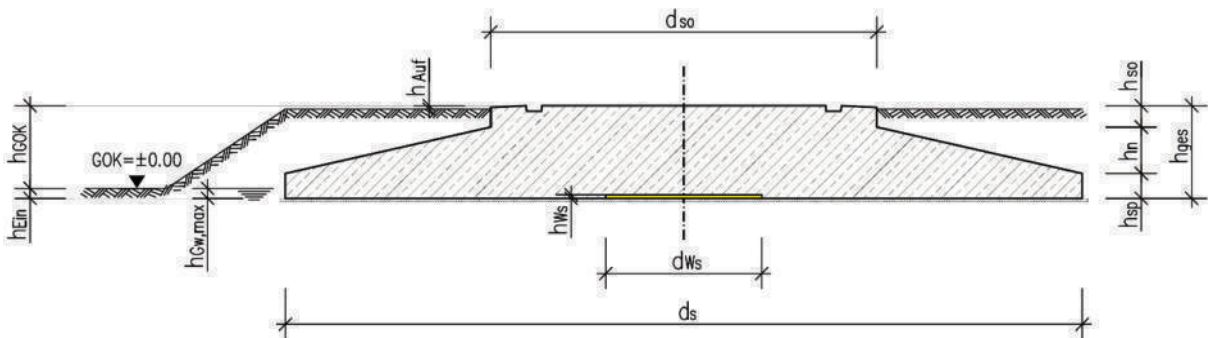
Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	 Seite/ Page:
Block / Chapter:	1 Allgemeines / General	

Verfasser / Author:		 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m		Datum / Date: 04.10.2021

2 Geometrie, Material und Massen / Geometry, material and dimensions

Die Geometrie, das Material und die Massen des Fundamententwurfes werden nachfolgend angegeben.


The geometry, material and dimensions are for the foundation draft are defined in this chapter.



Geometrie / Geometry

Betonkörper / Concrete body

Außendurchmesser / Outer diameter	d_s	=	24,00 m
Sockeldurchmesser / Base diameter	d_{so}	=	10,90 m
Weichschichtdurchmesser / Soft layer diameter	d_{ws}	=	4,40 m
Fundamenthöhe / Foundation height	h_{ges}	=	2,80 m
Spornhöhe / Outer height	h_{sp}	=	0,70 m
Spornneigungshöhe / Nose incline height	h_n	=	1,50 m
Sockelhöhe / Base height	h_{so}	=	0,60 m
Abstand Fundamentoberkante - Grundoberkante / Separation foundation top edge - ground level	h_{GOK}	=	2,299 m
Einbindetiefe / Embedment depth	h_{Ein}	=	0,501 m
Abstand Fundamentoberkante - Überschüttungsoberkante / Separation foundation top edge - soil cover top edge	h_{Auf}	=	0,10 m
Weichschichtsdicke / Soft layer thickness	h_{ws}	=	0,05 m

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	2 Geometrie, Material und Massen / Geometry, material and dimensions	

Verfasser / Author:		 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m		Datum / Date: 04.10.2021
		Hybridturm / Hybrid tower: E21	

Material und Massen / Material and dimensions

Beton / Concrete

Gesamtvolumen / Total volume $V_c = 747,5 \text{ m}^3$

Volumen Sockelbereich / Volumen base area $V_{BG1} = 56,0 \text{ m}^3$
 Betongüte Sockelbereich / Concrete strength base area C40/50


Volumen Plattenbereich / Volumen plate area $V_{BG2} = 691,5 \text{ m}^3$
 Betongüte Plattenbereich / Concrete strength plate area C30/37

Betonstahl / Reinforcement steel

Betonstahlgüte / Reinforcement strength B 500B

Bewehrungsgehalt / Reinforcement ratio 116,8 kg/m³

Bewehrungstonnage / Reinforcement weight 87,3 t

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	2 Geometrie, Material und Massen / Geometry, material and dimensions	

Verfasser / Author:		 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m		Datum / Date: 04.10.2021
		Hybridturm / Hybrid tower: E21	

3 Belastung / Loading

Die folgenden Lasten wurden in der Fundamentbemessung angesetzt.

The followings loads were applied in the foundation design.

Die Belastung aus der Windenergieanlage wurden gemäß der folgenden Lastrechnung angesetzt.

The loads from the wind turbine were applied according to the following load calculation.

Enercon GmbH:

Load report, Tower E-160 EP5 E3-HT-166-FB-C-01, Covering fatigue and ultimate loads for the tower E-160 EP5 E3-HT-166-FB-C-01 of the WEC E-160 EP5 E3 with the rotor blade LM783P_2P as per DIBt. Document-ID: D02406103-0.0. Rev. 0.0, 2021-06-24.

3.1 Eigengewicht, Erdüberschüttung und Auftrieb / Own weight, soil cover and buoyancy

Betonvolumen / Concrete weight

Betonwichte / Concrete specific weight	γ_c	=	25,0 kN/m ³
Betongewicht / Concrete weight	G_c	=	18 687 kN

Überschüttung / Backfill

Höhe Erdüberschüttung innen / Inner thickness backfill	$t_{\text{MaxÜs,inn}}$	=	0,500 m
Höhe Erdüberschüttung außen / Outer thickness backfill	$t_{\text{MaxÜs,aus}}$	=	2,000 m

Bodenwichte / Soil specific weight	$\gamma_{\text{Üs}}$	=	18,0 kN/m ³
Gewicht Erdüberschüttung / Soil cover weight	$G_{\text{MaxÜs}}$	=	8 686 kN

Auftrieb / Buoyancy

Höhe Wassersäule / Buoyancy height	$h_{\text{Gw,max}}$	=	0,501 m
Auftriebskraft / Buoyancy force	$G_{\text{Gw,max}}$	=	-2 266 kN

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	3 Belastung / Loading	

Verfasser / Author:		 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m		Datum / Date: 04.10.2021
		Hybridenturm / Hybrid tower: E21	

3.2 Turmlasten / Tower loads

3.2.1 BS-P, BS-T und BS-A / BS-P, BS-T and BS-A

Die folgenden Lasten wurden für die Ermittlung der maximalen Kantenpressungen angesetzt.

Es handelt sich um charakteristische Werte an der Unterkante der Gründung. Erdüberschüttung und Auftrieb sind in den angegebenen Werten nicht enthalten und müssen entsprechend auf die Normalkraft addiert werden.

The next loads were applied for the calculation of the maximum soil edge pressure.


Those are characteristic values at the foundation bottom. Soil cover and buoyancy are not included in these values and must be added accordingly.

LF / LC	BS-P	BS-T	BS-A
V_k [kN]	36 717	36 717	36 717
H_k [kN]	1 611	822	1 475
$M_{b,k}$ [kNm]	164 311	115 980	217 140

Lasten an Fundamentunterkante ohne Erdüberschüttung und ohne Auftrieb / Loads at the foundation bottom without soil cover and without buoyancy

Legende / Legend:

- V_k : Normalkraft (vertikal) / Normal force (vertical)
- H_k : Querkraft (horizontal) / Shear force (horizontal)
- $M_{b,k}$: Biegemoment / Bending moment

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	3 Belastung / Loading	

Verfasser / Author:		 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m		Datum / Date: 04.10.2021
		Hybridturm / Hybrid tower: E21	

3.2.2 GZT und GZG / ULS and SLS

Die folgenden Turmlasten werden für die Berechnung der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit des Fundaments benutzt.

Es handelt sich um Designlasten inkl. des angegebenen Teilsicherheitsbeiwert an der Oberkante der Gründung. Fundamenteigenwicht, Turmvorspannung, Erdüberschüttung, Auftrieb und etwaige Anbauteilen sind nicht in diesen Lasten enthalten.

The next loads are considered for the calculation of the resistance and serviceability of the foundation.


These are design loads at the foundation top. Foundation own weight, tower prestressing, soil cover, buoyancy and possible mounting parts are not included in these loads.

LF / LC	GZT / ULS	D.3
V_{Ed} [kN]	19 833	18 030
H_{Ed} [kN]	1 623	958
$M_{b,Ed}$ [kNm]	235 774	125 810
$M_{t,Ed}$ [kNm]	49	3 799
γ_E	1,10	1,00

Lasten an Fundamentoberkante / Loads at the foundation top

Legende / Legend:

- V_{Ed} : Normalkraft (vertikal) / Normal force (vertical)
- H_{Ed} : Querkraft (horizontal) / Shear force (horizontal)
- $M_{b,Ed}$: Biegemoment / Bending moment
- $M_{t,Ed}$: Torsionsmoment / Torsional moment
- γ_E : Sicherheitsfaktor / Safety factor

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	3 Belastung / Loading	

Verfasser / Author:			Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m		Datum / Date: 04.10.2021
		Hybridturm / Hybrid tower: E21	

4 Anforderungen an den Baugrund / Soil requirements

Der Baugrund am geplanten Standort muss mindestens die nachfolgenden Anforderungen erfüllen. Die Eignung des geplanten Standorts ist durch den Bodengutachter nachzuweisen.

The soil at the planned site has to comply with the following requirements. The suitability of the planned site must be proven by the soil expert.

Drehfedersteifigkeit / Rotation spring stiffness

Mindestwert / Minimal value

Statische Drehfeder / Static rotational spring	$k_{\phi, \text{stat}}$	=	40 000	MNm/rad
Dynamische Drehfeder / Dynamic rotational spring	$k_{\phi, \text{dyn}}$	=	200 000	MNm/rad

Zulässige Schiefstellung / Allowed out-of-vertical deviation

Maximal zulässige Schiefstellung / Maximal allowed out-of-vertical inclination	Δs_{max}	=	3	mm/m
--	-------------------------	---	---	------

Bodenpressung / Soil bearing pressure


Erforderliche widerstand / Required resistance

Maximal zulässige Bodenpressung im BS-P / Maximal allowed soil pressure in BS-P	$\sigma_{\text{max, BS-P}}$	=	211	kN/m ²
---	-----------------------------	---	-----	-------------------

Maximal zulässige Bodenpressung im BS-A / Maximal allowed soil pressure in BS-A	$\sigma_{\text{max, BS-A}}$	=	284	kN/m ²
---	-----------------------------	---	-----	-------------------

Maximal zulässige Bodenpressung im BS-T / Maximal allowed soil pressure in BS-T	$\sigma_{\text{max, BS-T}}$	=	171	kN/m ²
---	-----------------------------	---	-----	-------------------

Diese Werte sind vom Bodengutachter zu bestätigen.
/ These values must be confirmed by the geotechnical expert.

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	4 Anforderungen an den Baugrund / Soil requirements	