

Windpark Schwalmtal I GmbH & Co.KG

Kirchstraße 10

50389 Wesseling

## **Baugrundgutachten**

**für den Bauvorentwurf**

**Windpark Schwalmtal - Dilkraht**

- 1 Windenergieanlage des Typs ENERCON E-160 EP5 E3 mit 166,6m Nabenhöhe  
WEA 8  
2. Überarbeitung**

Datum: 22.01.2022

Projektnummer: 20 - 059

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 .....	6
4. Bodenklassifizierung und Bodenkennwerte.....	7
4.1 Bodenklassifizierung .....	7
4.2 Bodenmechanische Kennwerte .....	7
5. Gründungstechnische Empfehlungen .....	9
5.1 Gründung .....	9
5.2 Wasserhaltung und Ausführung der Baugruben der Windenergieanlagen.....	12
5.3 Ausführung der Kranstellflächen.....	12
6. Schlussbemerkungen .....	12

Anlagen:

Anlage 1: Lageplan

Anlage 2: Schichtenverzeichnis

Anlage 3: CPT Protokolle

Anlage 4: Fundamentdatenblatt

## 1. Vorbemerkungen

Das Büro Gröbblinghoff wurde durch die Windpark Schwalmtal GmbH & Co.KG mit der Überarbeitung des Baugrundgutachtens am Standort WEA 8 auf den Anlagentyp ENERCON E-160 EP 5 E3 mit 166,6 m 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 Wind AG 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)
- Lagepläne (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-160 EP 5 E3-HAT-166-FB-C-01 vom 04.10.2021

Die Gutachtenerstellung basiert auf den zum Durchführungszeitpunkt der Geländearbeiten vorliegenden Planungsvorgaben.

## 2.2 Untersuchungen

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

- Abteufen von 1 Rammkernsondierungen bis zu einer maximalen Endteufe von 10,0 m unter Geländeoberkante (GOK)
- Abteufen von 3 CPT Drucksondierungen bis zu einer maximalen Tiefe von 20,0 m unter GOK
- Ansprache und Beurteilung des Bodens aus geologischer und bodenmechanischer Sicht
- Entnahme von Bodenproben
- Vermarkung des Ansatzpunktes nach Lage

## 3. Örtliche Verhältnisse

### 3.1 Lage

Der Standort der Windenergieanlage befindet sich westlich der Ortschaft Schwalmtal - Dilkrath auf einer Höhe von 54,04mNN.

### 3.2 Nutzung

Das Gelände wird derzeit landwirtschaftlich genutzt. Eine anderweitige frühere Nutzung ist nicht bekannt.

### 3.3 Geologische Verhältnisse

#### 3.3.1 Schematischer Untergrundaufbau

Im Bereich des Untersuchungsgebietes stehen quartäre Sande über quartären Tonen, gefolgt von tertiären Ablagerungen an.

System/Serie/Stufe	Lithologie	Mächtigkeit (m)
Quartär, Pleistozän	Sand, mit gering-mächtigen schluffigen Tonlagen	>20,0
Tertiär	Sand	>50m

Das Gebiet liegt laut online Abfrage beim Geoforschungszentrum Potsdam in folgender Erdbebenzone:

**Abfrage zur Zuordnung von Orten zu Erdbebenzonen der DIN 4149 (Fassung 2005) unter Zugrundelegung der Koordinaten der jeweiligen Ortsmitten**

Schwalmtal (PLZ: 41366) in Nordrhein-Westfalen gehört, bezogen auf die Koordinaten der Ortsmitte, zur Erdbebenzone 1 sowie zur Untergrundklasse S.

#### 3.3.2 Ergebnisse der Untergrunderkundung

Die im Bereich der geplanten Standorte vorgefundene Schichtenfolge wird nachfolgend beschrieben:

##### WEA 8:

0,0 – 0,5 m u. G.O.K.

Mutterboden,

Feinsand, stark schluffig, schwach tonig, humos, dunkelbraun

0,5 – 2,5 m u. G.O.K.

schluffiger Feinsand

Mittelsandig, schluffig, mitteldicht - dicht, gelbbraun

2,5 – 3,0 m u. G.O.K.

Ton

Ton, schluffig, schwach sandig, steif bis halbfest, graubraun

3,0 - 12,5 m u. G.O.K.

Feinsand

Mittelsandig, dicht, gelbbraun

12,5 – 20,0 m u. G.O.K.

Ton

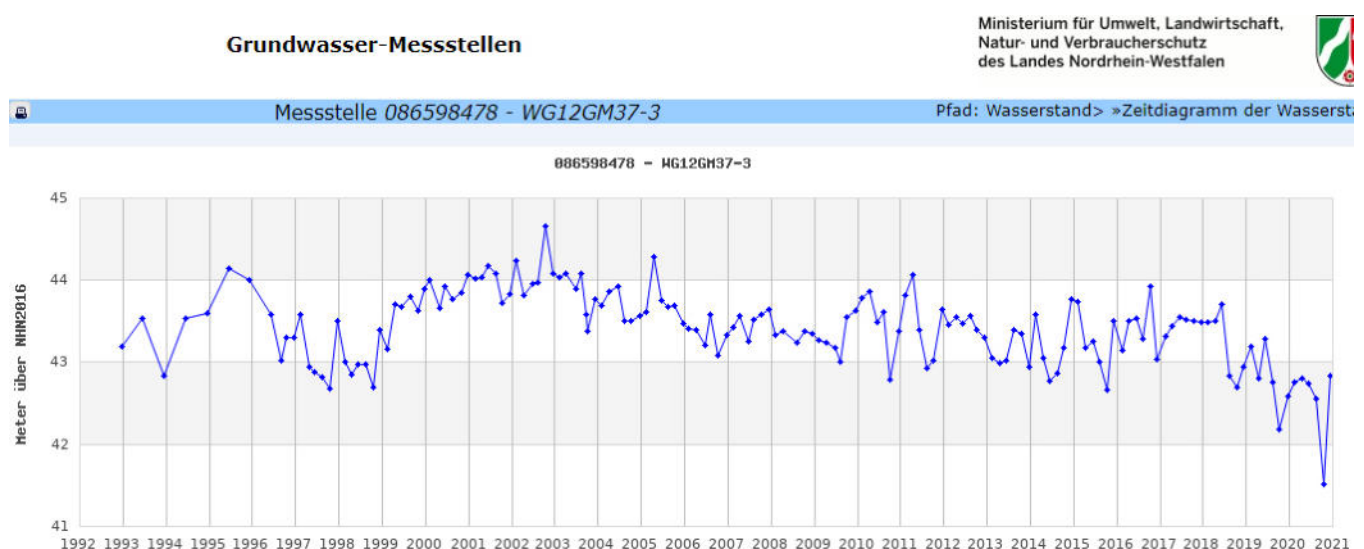
Ton, schluffig, halbfest ( $C_u > 200 \text{ kN/m}^2$ ), grau

Geruchlich oder visuell feststellbare Verunreinigungen wurden an dem Standort nicht ermittelt.

### 3.4 Hydrogeologische Verhältnisse

Bei den im Untersuchungsbereich durchgeführten Arbeiten wurde keine Wasserführung in festgestellt.

Durch eine online Abfrage (Elwas.nrw) wurde bei einer benachbarten Messstelle folgender Grundwasserstand ermittelt:



Höchster GW Stand: ca. 44,5 mNN

Höhe Standorte: ca. 55 mNN = Flurabstand ca. 10 m

Der Grundwasserstand ist von den Absenkungen des Braunkohlentagebaus beeinflusst.

#### 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	Ton, stark schluffig, humos	OU	3	leicht lösbarer Boden
Sande	Fein – bis Mittelsande	SE	4-5	Mittelschwer bis schwer lösbarer Boden
Ton	Ton, schluffig	UL	4-5	Mittelschwer bis schwer lösbarer Boden

##### 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.

##### Sande:

Die Spitzenwiderstände bei den Drucksondierungen steigen mit Erreichen der Sande ab einer Tiefe von 1,0 – 1,3m u. GOK auf Werte von 10,0 bis 30,0 MPa (= 10,0-30,0 MN/m<sup>2</sup>) an. Nach PRINZ (2011) kann den Sanden hier daher eine Steifeziffer von ca. 100,0 MN/m<sup>2</sup> (mitteldichte bis dichte Lagerungsdichte) zugeordnet werden.

Bodenkennwerte Sande:

Raumgewicht (erdfeucht) 19,0 - 20,0 kN/m<sup>3</sup>

Raumgewicht (unter Auftrieb)	11,0	-	12,0	kN/m <sup>3</sup>
Kohäsion	2,5	-	0,0	kN/m <sup>2</sup>
Reibungswinkel	32,5	-	35,0	°
Steifeziffer	100,0			MN/m <sup>2</sup>

### **Schluffiger Ton:**

Nach den Ergebnissen der Rammkernsondierungen weisen die Tone halbfeste Konsistenzen auf. Nach Auswertung der durchgeführten Drucksondierungen (CPT) liegt der Spitzenwiderstand  $q_c$  durchschnittlich bei ungefähr 4,0 MPa (= 4,0 MN/ m<sup>2</sup>). Bei Spitzenwiderständen von > 1,5 MPa können nach den Angaben im Grundbautaschenbuch, Teil 1 (2001) steife bis halbfeste Konsistenzen angenommen werden.

Für die Ermittlung der Steifeziffer  $E_s$  kann nach PRINZ (2011) folgende Beziehung verwendet werden:

$$E_s = \beta \cdot q_c$$

( $\beta$  = Faktor, für bindige Böden 2 bis 4; für nichtbindige Böden 1 bis 3)

Bodenkennwerte Geschiebelehm:

Raumgewicht (erdfeucht)	19,0	-	20,0	kN/m <sup>3</sup>
Kohäsion, $c_u$	12,5	-	7,5	kN/m <sup>2</sup>
Reibungswinkel	25,0	-	27,5	°
Steifeziffer	16,0 – 20,0			MN/m <sup>2</sup>

**Bohrbarkeitsklassen:**

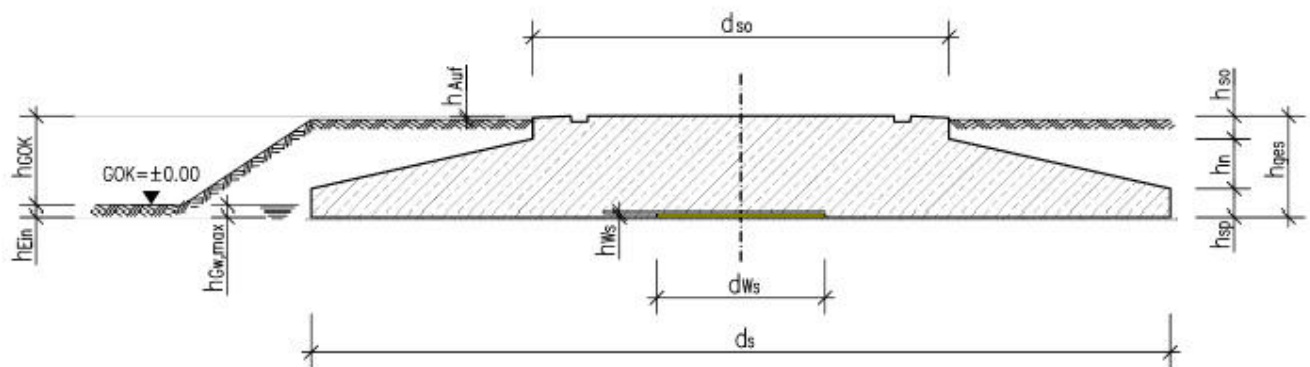
Bodenschicht	Bohrbarkeitsklassen nach DIN 18 301	Zusatzklassen/Klassen nach DIN 18 301
Mutterboden	BO 1	
Schluffiger Ton	BB 2-3 BN 2	BS 1-4
Sande	BN 1-2 ggf. BB 2-4 <sup>1)</sup>	BS 1-4

Anmerkungen: 1) Übergang in BB 1 bei Durchnässen

**5. Gründungstechnische Empfehlungen****5.1 Gründung**

Das Fundamentdatenblatt weist folgende Gründung aus:

Das Fundamentdatenblatt weist folgende Gründung aus:



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/m betragen. Die Mindestbodenpressung ( $\sigma_{k, vorh}$ ) für eine Flachgründung mit Auftriebswirkung beträgt 284 kN/m<sup>2</sup> für den Lastfall BS-A.

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

**WEA 8:**

Aufgrund der vorgefundenen Lage aus bindigen Bodenmaterial in einer Tiefe zwischen 2,0 und 2,8m unter derzeitiger GOK ist hier der Boden bis in eine Tiefe von 2,8m unter GOK auszukoffern. Der Aushub ist mit einem Kalk – Zementgemisch (ca. 20kg/m<sup>2</sup>) aufzubereiten und auf einem Geotextil (s. o.) bis 1,0 m unter GOK einzubauen. 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/m<sup>2</sup> 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 der Bodenverbesserung kann gemäß DIN 1054:2003-01 Bild A1 ein zulässiger Sohldruck in Höhe von

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

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/m²)	E dyn (MN/m²)	Fundament-radius	K phi stat (MNm/rad)	K phi dyn (MNm/rad)
Bodenaustausch	dicht	50	150	12,00	<b>77.487,24</b>	<b>309.948,98</b>
Feinsand	dicht	100	150	12,00	<b>154.974,49</b>	<b>232.461,73</b>

Nachweisen.

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

Die Programmberechnung (GGU – footing) für den N/A/T ergab für die Gleitsicherheit, Kippsicherheit und Grundbruchsicherheit max. Ausnutzungsgrade von < 0,2. Setzungsdifferenzen für das Kreisringfundament mit einem Durchmesser von 24,00 m wurden mit maximal 0,8mm/m (Lastfall BS - A) nachgewiesen.

Die Resultierende liegt bei der Nachweisführung für den Lastfall BS-A im 2. Kern. In der Sohle ist eine „klaffende Fuge“ zu berücksichtigen.

Das Auftreten einer klaffenden Fuge wird durch konstruktive Maßnahmen im Bereich des Fundamentkerns verhindert.

## 5.2 Wasserhaltung und Ausführung der Baugruben der Windenergieanlagen

Während der Bauzeit ist eine Baugrubensicherung gemäß DIN 4124 vorzunehmen.

Die Baugruben zur Herstellung der Kreisfundamentblöcke befinden 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 0,7 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  $\geq 250$  g/m<sup>2</sup> gefordert.
4. Lagenweise (max. 0,3m) verdichteter Einbau einer ca. 0,7 m mächtigen Schicht (Mächtigkeit nach Verdichtung) von Bodenaustauschmaterial (Schotter) der Körnung 0/56.
5. Der Verdichtungsgrad auf der obersten Lage von EV2  $\geq 120$  MN/m<sup>2</sup> 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.

## 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.

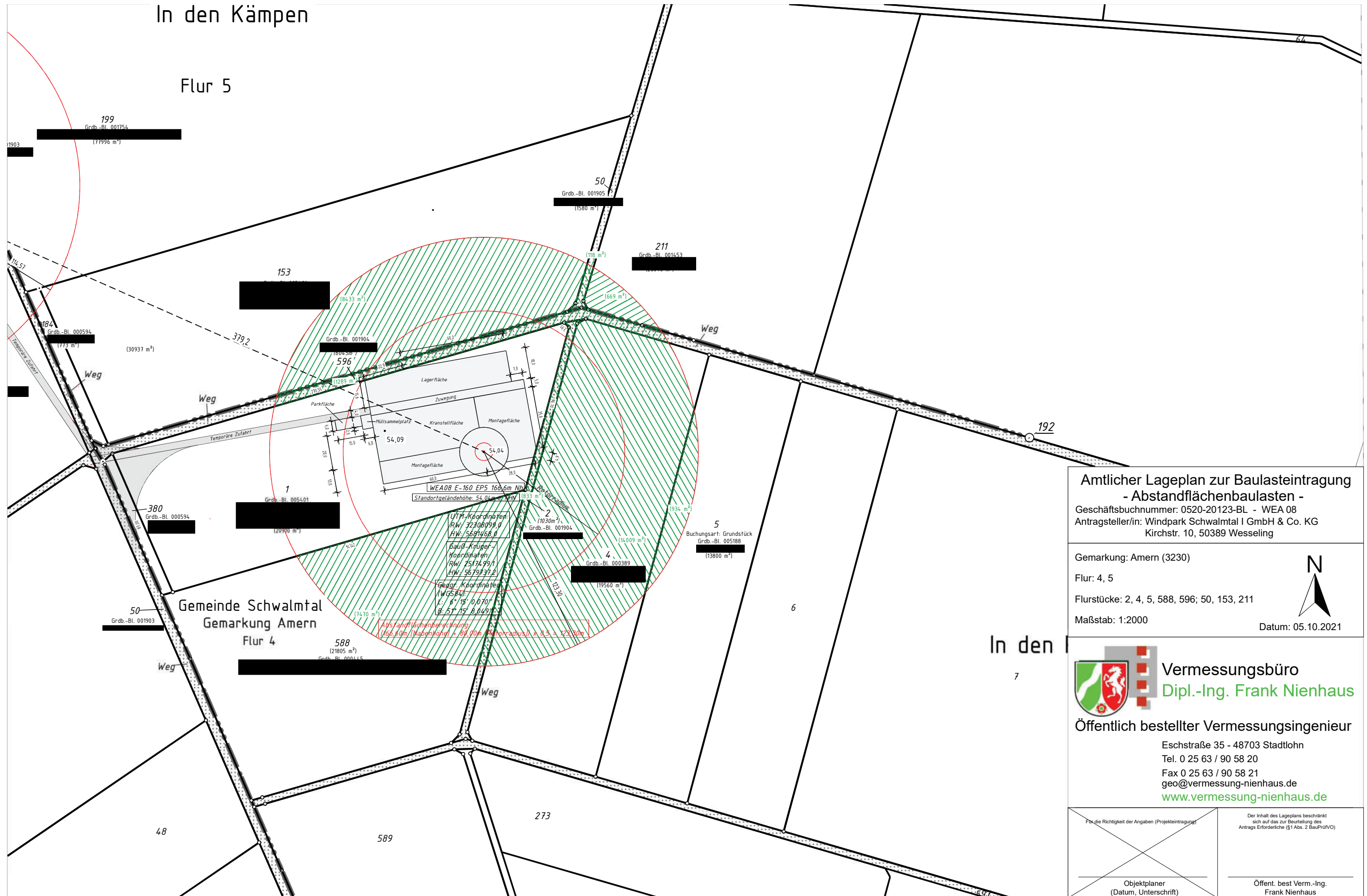


---

Dipl. – Geol. Werner Gröblichhoff

In den Kämpen

Flur 5



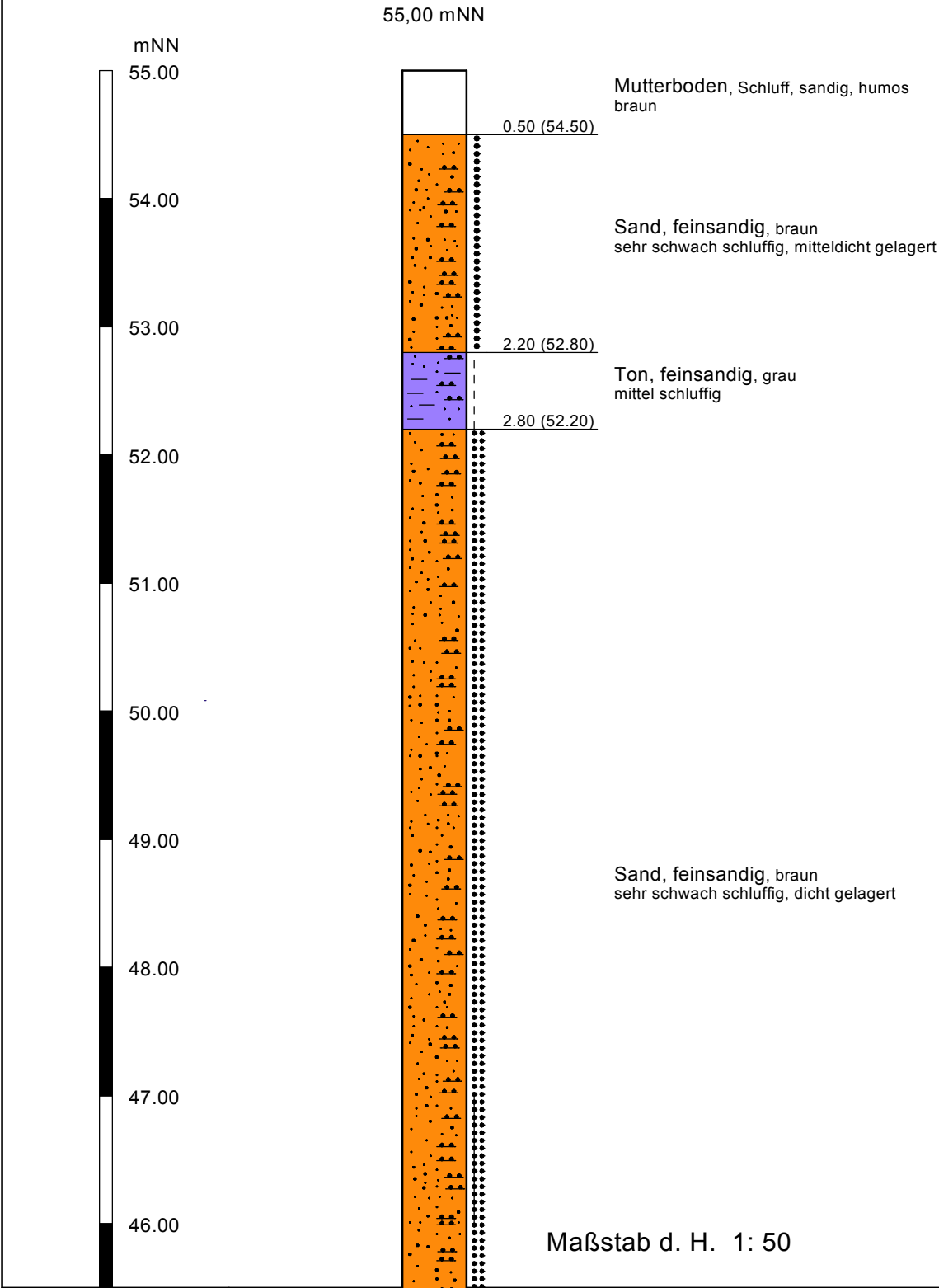
**Amtlicher Lageplan zur Baulasteintragung  
- Abstandflächenbaulasten -**  
Geschäftsbuchnummer: 0520-20123-BL - WEA 08  
Antragsteller/in: Windpark Schwalmtal I GmbH & Co. KG  
Kirchstr. 10, 50389 Wesseling

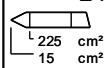
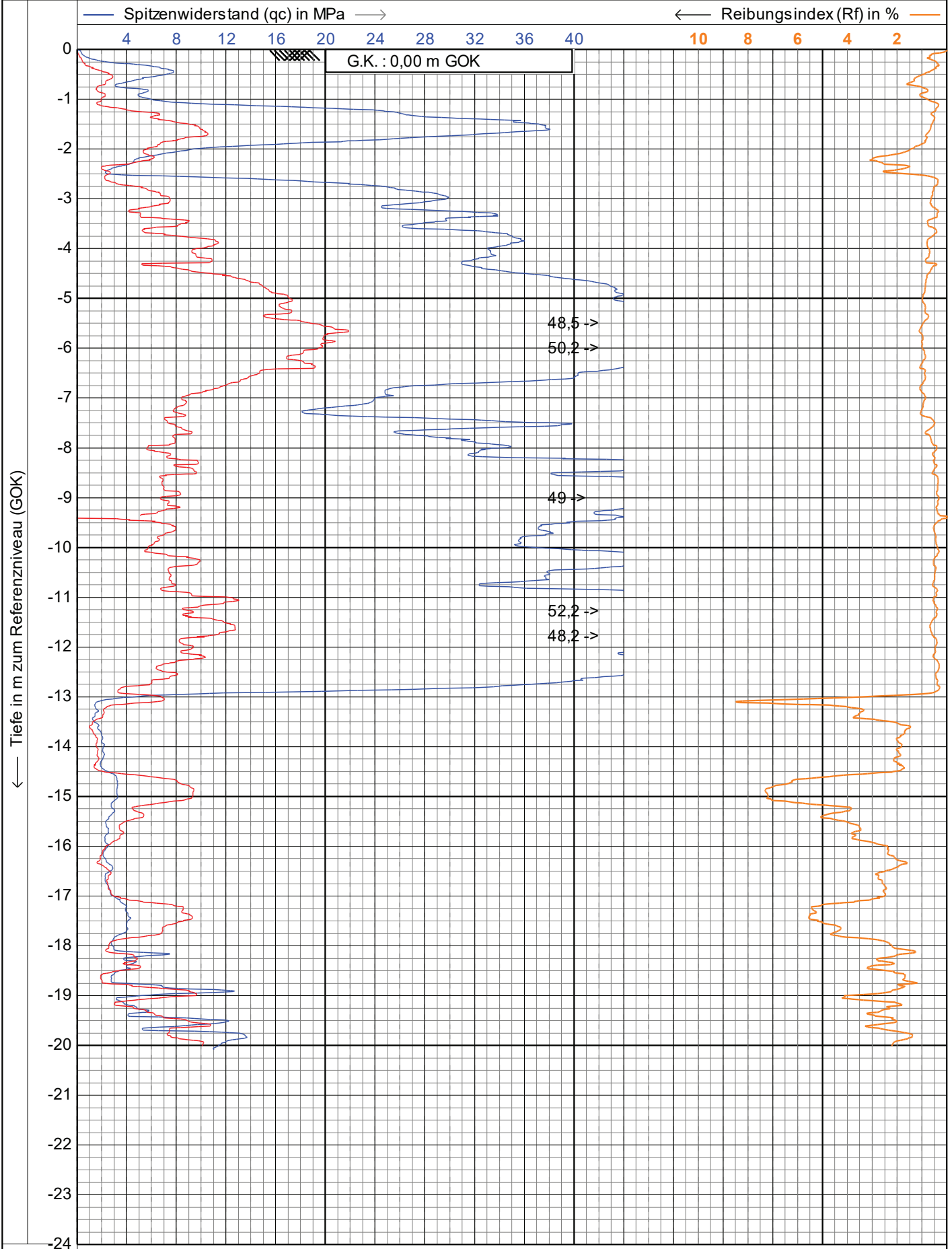
Gemarkung: Amern (3230)  
Flur: 4, 5  
Flurstücke: 2, 4, 5, 588, 596; 50, 153, 211  
Maßstab: 1:2000  
Datum: 05.10.2021

**Vermessungsbüro  
Dipl.-Ing. Frank Nienhaus**  
Öffentlich bestellter Vermessungsingenieur  
Eschstraße 35 - 48703 Stadthorn  
Tel. 0 25 63 / 90 58 20  
Fax 0 25 63 / 90 58 21  
geo@vermessung-nienhaus.de  
[www.vermessung-nienhaus.de](http://www.vermessung-nienhaus.de)

Objektplaner (Datum, Unterschrift)	Öffent. best Verm.-Ing. Frank Nienhaus
---------------------------------------	---

Dipl. - Geol. W. Gröblichhoff	WP Schwalmthal - Dilkraht WEA 8	
	Anlage Nr. 2	





**GTC**

Elektronische Messung gemäß DIN EN ISO 22476-1

Projekt : **WP Schwalmtal**

Ort : **Dilkrath**

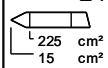
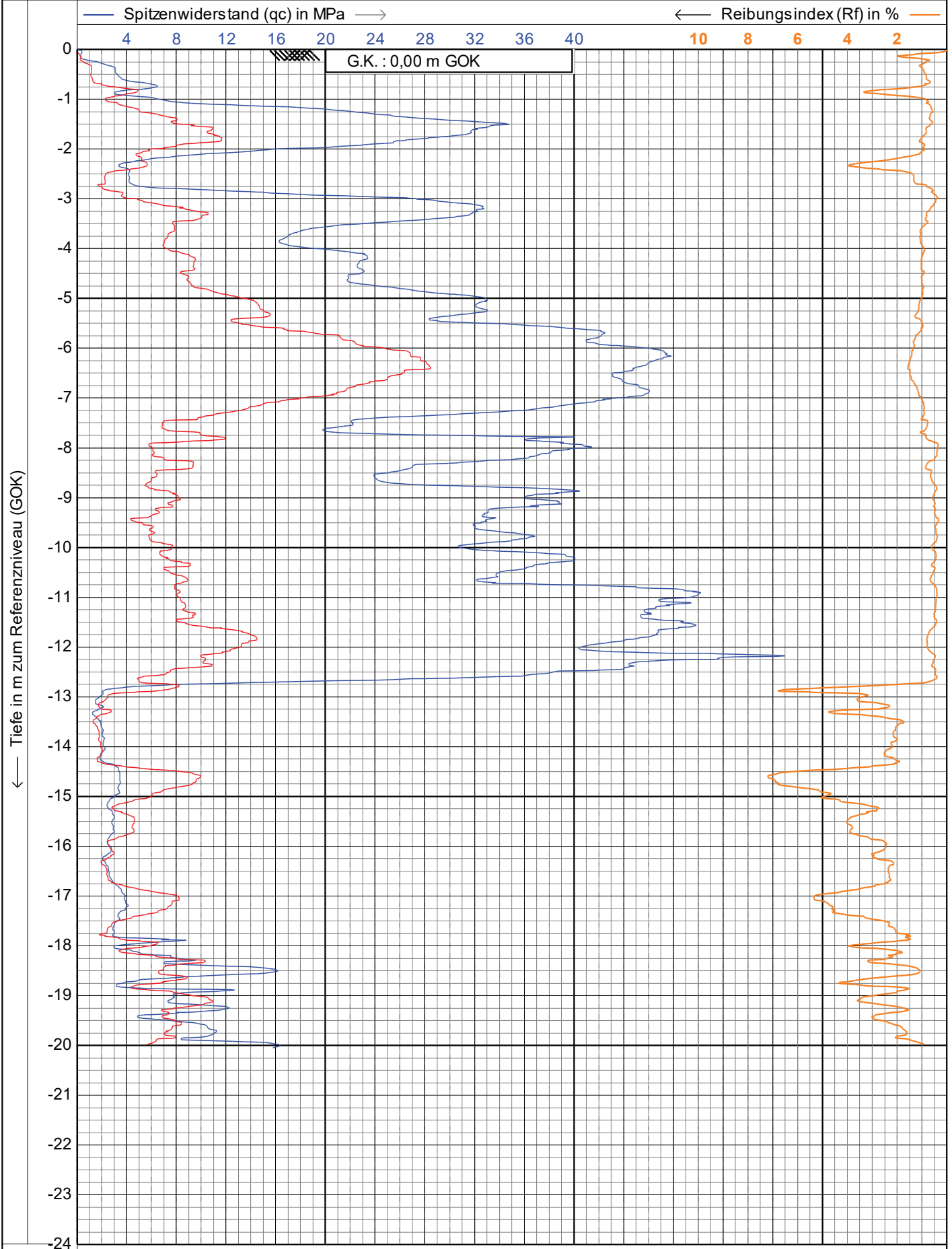
Datum : **27-4-2020**

Konus Nr. : **S15CFILS19519**

Projekt Nr. : **320-107**

CPT Nr. : **WEA8.1**

1/1



**GTC**

Elektronische Messung gemäß DIN EN ISO 22476-1

Projekt : **WP Schwalmtal**

Ort : **Dilkrath**

Datum : **27-4-2020**

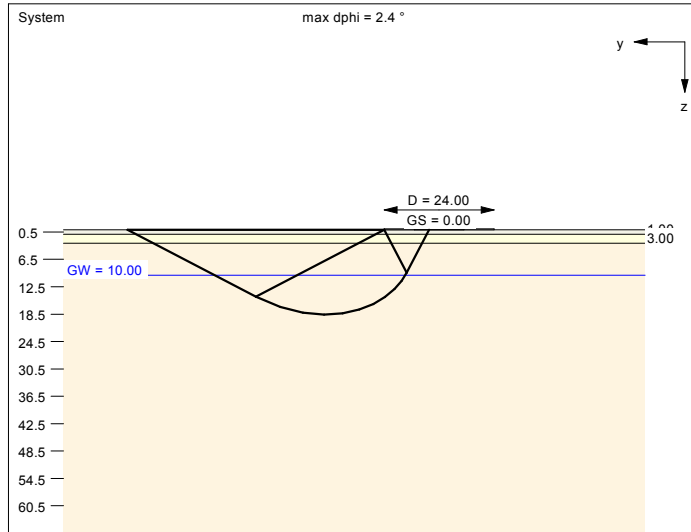
Konus Nr. : **S15CFILS19519**

Projekt Nr. : **320-107**

CPT Nr. : **WEA8.2**

1/1

Boden	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi$ [°]	c [kN/m <sup>2</sup> ]	E <sub>s</sub> [MN/m <sup>2</sup> ]	v [-]	Bezeichnung
	20.0	10.0	35.0	0.0	80.0	0.00	Tragschicht
	21.0	11.0	32.5	0.0	80.0	0.00	Bodenverbesserung
	21.0	11.0	35.0	0.0	100.0	0.00	Sand



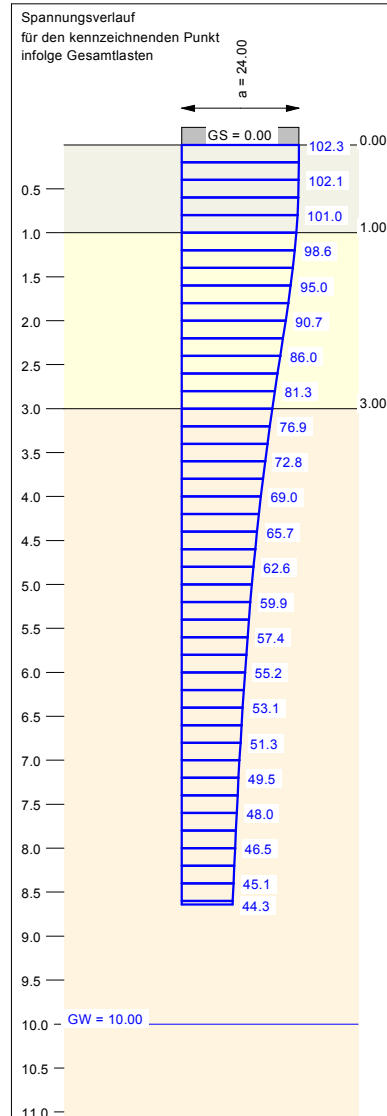
Ergebnisse Einzelfundament:  
 Lasten = ständig / veränderlich  
 Vertikalkraft  $F_{v,k} = 36717.00 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,k} = 1475.00 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,y,k} = 0.00 / 0.00$  kN  
 Moment  $M_{x,k} = 217140.00 / 0.00$  kN·m  
 Moment  $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$  kN·m  
 Durchmesser D = 24.000 m  
 Durchmesser (innen) d = 10.900 m  
 Unter ständigen Lasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -5.914$  m  
**Resultierende im 2. Kern (= 7.467 m)**  
 $a' = 9.820$  m  
 $b' = 16.848$  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)  $\gamma_{R,v} = 1.40$   
 $\sigma_{G,k} / \sigma_{0,d} = 2869.6 / 2049.73$  kN/m<sup>2</sup>  
 $R_{n,k} = 474759.50$  kN  
 $R_{n,d} = 339113.93$  kN  
 $V_d = 1.35 \cdot 36717.00 + 1.50 \cdot 0.00$  kN  
 $V_d = 49567.95$  kN  
 $\mu$  (parallel zu y) = 0.146  
 cal  $\varphi = 34.8^\circ$   
 cal c = 0.00 kN/m<sup>2</sup>  
 cal  $\gamma_2 = 17.84$  kN/m<sup>3</sup>

cal  $\sigma_0 = 0.00$  kN/m<sup>2</sup>  
 UK log. Spirale = 18.62 m u. GOK  
 Länge log. Spirale = 79.23 m  
 Fläche log. Spirale = 778.19 m<sup>2</sup>  
 Tragfähigkeitsbeiwerte (y):  
 $N_{c0} = 45.29$ ;  $N_{d0} = 32.47$ ;  $N_{b0} = 21.87$   
 Formbeiwerte (y):  
 $v_c = 1.343$ ;  $v_d = 1.333$ ;  $v_b = 0.825$   
 Neigungsbeiwerte (y):  
 $i_c = 0.944$ ;  $i_d = 0.945$ ;  $i_b = 0.907$

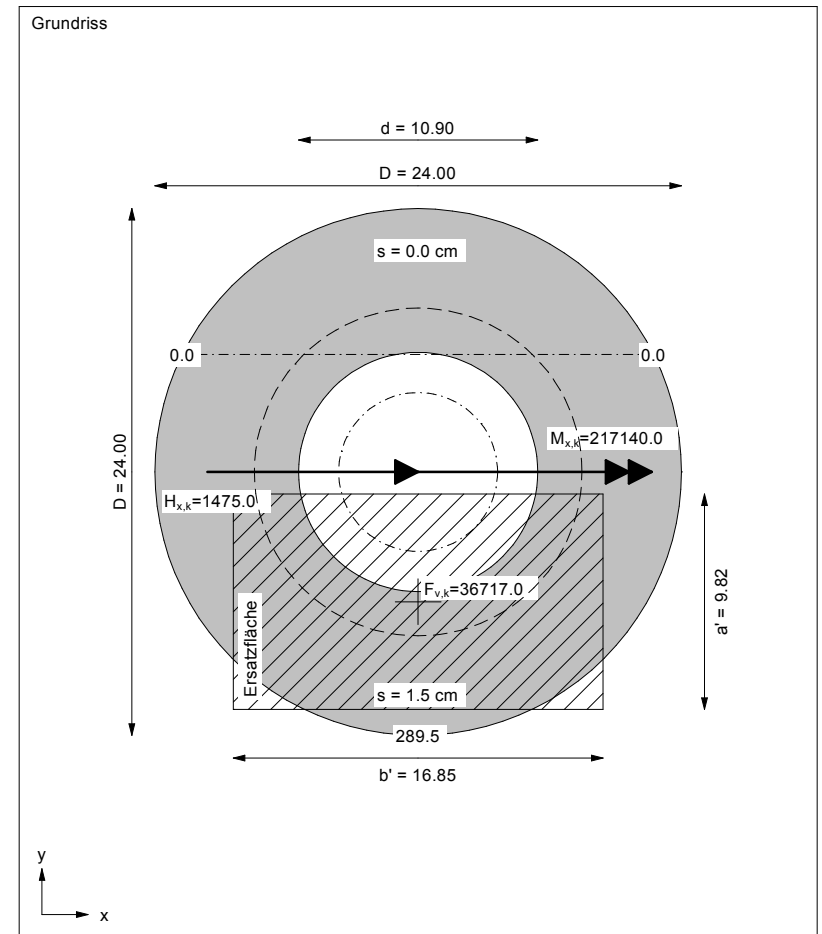
Gleitwiderstand:  
 Teilsicherheit (Gleitwiderstand)  $\gamma_{R,h} = 1.10$   
 $N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 36717.00 \cdot \tan(35.00^\circ) / 1.10$   
 $R_{t,d} = N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 23372.29$  kN  
 $T_d = 1991.25$  kN  
 $\mu = T_d / R_{t,d} = 0.085$

Setzung infolge Gesamtlasten:  
 Grenztiefe  $t_g = 8.64$  m u. GOK  
 Vorbelastung = 19.0 kN/m<sup>2</sup>  
 Setzung (Mittel aller KPs) = 0.74 cm  
 Setzungen der KPs:  
 oben = 0.01 cm  
 unten = 1.48 cm  
 Verdrehung(x) (KP) = 1 : 1385.2  
 Drehfedersteifigkeit:  
 $k_{\varphi,x} = 300772.2$  MN·m/rad  
 Nachweis EQU:  
 $M_{stb} = 36717.0 \cdot 24.00 \cdot 0.5 \cdot 0.90 = 396543.6$   
 $M_{dst} = 217140.0 \cdot 1.10 = 238854.0$   
 $\mu_{EQU} = 238854.0 / 396543.6 = 0.602$



Berechnungsgrundlagen:  
 WP Dilkath WEA 8  
 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 = 0.00 m  
 Grundwasser = 10.00 m  
 Grenztiefe mit p = 20.0 %  
 - - - - 1. Kernweite  
 - - - - 2. Kernweite



Verfasser / Author:		 <b>MAX BÖGL</b> Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
			Datum / Date: 04.10.2021
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	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:

Der Leiter:

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:

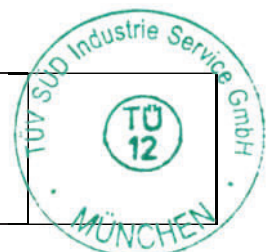
04.10.2021

Revision / Revision:

a

Bauteil /  
Component: Fundament / Foundation

Block /  
Chapter:



Verfasser / Author:		 <b>MAX BÖGL</b> <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
		Hybridenturm / 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:

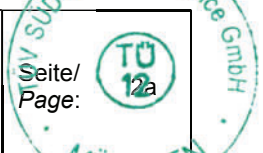
  
i.A. Pablo-Angel Plou Nogueira

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:		 <b>MAX BÖGL</b> <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
		Hybridturm / Hybrid tower: E21	

## Inhaltsverzeichnis / Table of contents

<b>Änderungsverzeichnis / Table of revision .....</b>	<b>2</b>
<b>Inhaltsverzeichnis / Table of contents.....</b>	<b>3</b>
<b>1 Allgemeines / General.....</b>	<b>4</b>
<b>2 Geometrie, Material und Massen / Geometry, material and dimensions .....</b>	<b>5</b>
<b>3 Belastung / Loading .....</b>	<b>7</b>
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
<b>4 Anforderungen an den Baugrund / Soil requirements .....</b>	<b>10</b>

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

Seite/  
Page:

TÜV  
12a

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

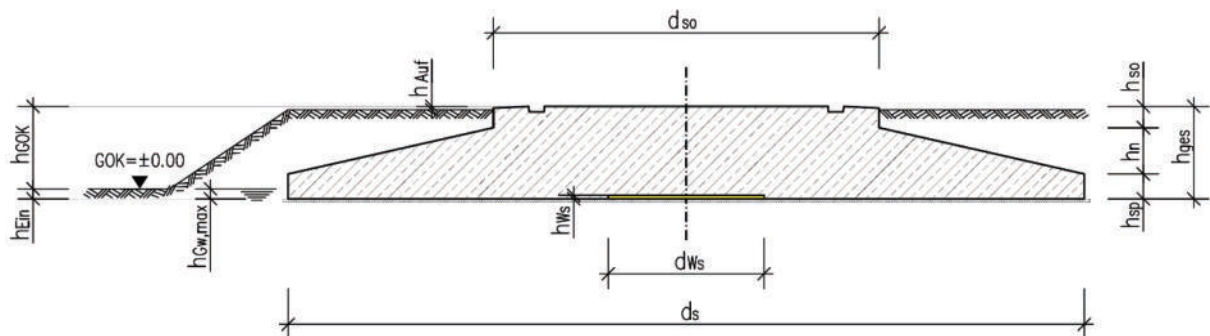
Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	1 Allgemeines / General	

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
		Hybridturm / Hybrid tower: E21	

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

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

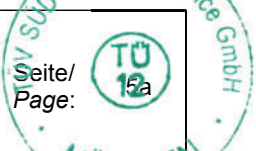
The geometry, material and dimensions are for the foundation draft are defined in this chapter.



### 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 - Überschüttungsoberkante / Separation foundation top edge - soil layer 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:				Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
				Datum / Date: 04.10.2021
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m	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

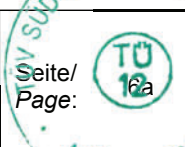
Volumen Plattenbereich / Volumen plate area  $V_{BG2} = 691,5 \text{ m}^3$   
 Betongüte Plattenbereich / Concrete strength plate area C30/37

### Betonstahl / Reinforcement steel

Betonstahlgüte / Reinforcement strength B 500B

Bewehrungsgehalt / Reinforcement ratio 116,8 kg/m<sup>3</sup>

Bewehrungstonnage / Reinforcement weight 87,3 t

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

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

### 3 Belastung / Loading

Die folgenden Lasten wurden in der Fundamentbemessung angesetzt.

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

The followings loads were applied in the foundation design.

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	$\gamma_c$	=	25,0 kN/m <sup>3</sup>
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 <sup>3</sup>
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	 Seite/ Page:
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
$\gamma_E$	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*
- $\gamma_E$ : Sicherheitsfaktor / *Safety factor*

Bauteil / Component:	Fundament / <i>Foundation</i>	 Seite/ Page:
Block / Chapter:	3 Belastung / <i>Loading</i>	

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	

## 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	$\Delta s_{\text{max}}$	=	3	mm/m
--	-------------------------	---	---	------

### Bodenpressung / Soil bearing pressure

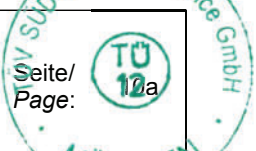
Erforderliche widerstand / Required resistance

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

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

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

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	