

Briloner Hochfläche Wind GmbH&Co.KG

Wülfter Str.7

59929 Brilon-Wülfte

Baugrundgutachten

für den Bauvorentwurf

Windpark Wülfte

1 Windenergieanlage E-175 EP5 HT-162-ES-C-01

Datum: 18.09.2025

Projektnummer: 25-097

1.	Vorbemerkungen	4
2.	Grundlagen	4
2.1	Unterlagen.....	4
2.2	Untersuchungen	5
3.	Örtliche Verhältnisse	5
3.1	Lage	5
3.2	Nutzung.....	5
3.3	Geologische Verhältnisse	5
3.3.1	Schematischer Untergrundaufbau.....	5
3.3.2	Ergebnisse der Untergrunderkundung	6
3.4	Hydrogeologische Verhältnisse	7
4.	Bodenklassifizierung und Bodenkennwerte.....	7
4.1	Bodenklassifizierung	7
4.2	Bodenmechanische Kennwerte	8
5.	Gründungstechnische Empfehlungen	9
5.1	Gründung	9
5.2	Ausführung der Baugrube der Windenergieanlagen	10
5.3	Zulässiger Sohldruck für den Bauvorentwurf	10
5.4	Erdstatische Berechnungen	11
5.5	Ausführung der Kranstellflächen.....	11
5.6	Maßnahmen gegen Grundwasser	11
6.	Schlussbemerkungen	12

Anlagen:

Anlage 1: Lageplan

Anlage 2: Schichtenverzeichnisse

Anlage 3: Fundamentdatenblatt

Anlage 4: Erdstatische Berechnungen

1. Vorbemerkungen

Das Büro Gröblinghoff wurde durch den Bauherrn mit der Baugrunduntersuchung für den geplanten Neubau von einer Windenergieanlage (WEA) des Typs Enercon E-175 EP5 HT-162-ES-C-01 beauftragt.

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

Es ist geplant, die WEA flach mittels Kreisringfundament zu gründen. Grundlage dieses Gutachtens ist das Fundamentdatenblatt der Firma Max Bögl sowie der PM-CW-SP002- Anforderungskatalog für Baugrundbeurteilungen der Enercon GmbH vom 07.07.2015.

2. Grundlagen

2.1 Unterlagen

Zur Projektbearbeitung lagen folgende Unterlagen vor:

- Lageplan
- Geologische Karte
- Ergebnisse der Geländeerkundung
- Fundamentdatenblatt E-175 EP5 HT-162-ES-C-01, Max Bögl vom 13.07.2023
- Geologische Karte NRW (U 4)
- Grundbau Taschenbuch, Teil 1: Geotechnische Grundlagen, 6. Auflage, Ernst & Sohn, Januar 2001 (U5)

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

2.2 Untersuchungen

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

- Ansprache und Beurteilung des Bodens aus geologischer und bodenmechanischer Sicht an bauseits erstellten Baggerschürfen
- Vermarkung der Ansatzpunkte nach Lage

3. Örtliche Verhältnisse

3.1 Lage

Der Standort der Windenergieanlage befinden sich Nördlich der Ortschaft Brilon - Wülfte.

Koordinaten (UTM):

32472146

5698850

3.2 Nutzung

Das Gelände wird derzeit landwirtschaftlich genutzt. Eine anderweitige frühere Nutzung ist nicht bekannt. Bergbau Aktivitäten sind im Raum Wülfte nicht bekannt.

3.3 Geologische Verhältnisse

3.3.1 Schematischer Untergrundaufbau

Die anstehenden Gesteine des Deckgebirges (Devon, Givet) sind als dunkelgraue Kalksteine (Massenkalk) ausgebildet.

Im Bereich des Untersuchungsgebietes wird das Deckgebirge von geringmächtigen Hanglehmen überdeckt. Darunter folgt das devonische Festgestein.

System/Serie/Stufe	Lithologie	Mächtigkeit (m)
Quartär	Hanglehm feinsandig schwach kiesig	<1,0
Devon, Givet	Kalkstein, dolomitisiert	>50m

Das Gebiet liegt laut Geoforschungszentrum Potsdam in keiner Erdbebenzone.

Weitere Maßnahmen sind somit nicht erforderlich.

3.3.2 Ergebnisse der Untergrunderkundung

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

0,0 – 0,1 m u. G.O.K.	<u>Mutterboden</u> , Lehm, humos, dunkelbraun
0,1 – 1,0/1,1 m u. G.O.K.	<u>Hanglehm</u> Schluff, feinsandig, schwach kiesig
Ab 1,0/1,1 m u. G.O.K.	<u>Fels</u> Massenkalk

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

Der Massenkalk der Briloner Hochfläche ist Verkarstungsfähig. Durch das Büro Stübs wurden daher geophysikalische Tiefenerkundungen an dem Standort durchgeführt (s. Anlage). Hierbei wurden an zwei Punkten Hinweise auf mögliche

Verkarstungen (Hohlräume) detektiert. Daraufhin wurden diese Auffälligkeiten mittels Bohrungen durch die Firma Stuckmann, Beckum, aufgeschlossen. Die Bohrungen wurden mittels Bohrlochbefahrung überprüft. Hohlräume (Offen oder verfüllt) wurden nicht angetroffen. Weitere Maßnahmen sind nicht erforderlich.

3.4 Hydrogeologische Verhältnisse

Bei den im Untersuchungsbereich durchgeführten Arbeiten wurde keine Wasserführung bis zu einer Tiefe von 5,0 m unter GOK angetroffen.

Dem Lockersediment ist aufgrund der Kornzusammensetzung eine geringe Durchlässigkeit zuzuordnen.

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	Feinsand, mittelsandig, humos	OU	3	leicht lösbarer Boden
Verwitterungs- lehm	Schluff, feinsandig, schwach kiesig	UI	4	Mittelschwer lösbarer Boden
Fels	Kalkstein	Z	6-7	Mittelschwer lösbarer Fels

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
		Fels (Z)
Wichte des feuchten Bodens, cal γ	kN/m ³	20,0 - 21,0
Wichte des Bodens unter Auftrieb, cal γ'	kN/m ³	10,0 – 11,0
Reibungswinkel, cal φ'	Grad	35,0
Kohäsion, cal c'	kN/m ²	--
Schubmodul Gd	MN/m ²	500
Querdehnzahl ν	[-]	0,30
Steifemodul, cal Es	MN/m ²	120
Bettungsmodul, cal ks	MN/m ³	100
Durchlässigkeits-beiwert, cal kf	m/s	10 ⁻⁴

Auf der Grundlage der abgeschätzten Bodenkennwerte in Tabelle 2 lässt sich gemäß folgender Beziehung (s. Datenblatt)

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

eine statische Drehfedersteifigkeit von

$k_{\varphi, \text{stat}} > 75.000 \text{ MNm/rad}$ (gefordert 40.000 MNm/rad)

und eine dynamische Drehfedersteifigkeit von

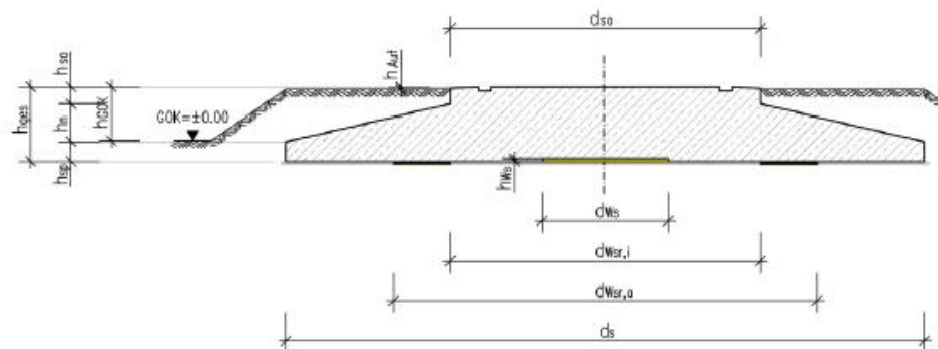
$k_{\varphi, \text{dyn}} > 344.000 \text{ MNm/rad}$ (gefordert 200.000 MNm/rad)

für den im Gründungsbereich einzubauende Tragschicht nachweisen.

5. Gründungstechnische Empfehlungen

5.1 Gründung

Das Fundamentdatenblatt weist folgende Gründung aus:



Geometrie / Geometry

Betonkörper / Concrete body

Außendurchmesser / Outer diameter	d_s	=	25,50 m
Sockeldurchmesser / Base diameter	d_{so}	=	11,88 m
Äußere Weichschichtsringdurchmesser / Soft layer ring outer diameter	$d_{wsr,a}$	=	15,88 m
Weichschichtdurchmesser / Soft layer diameter	d_{ws}	=	4,40 m
Fundamenthöhe / Foundation height	h_{ges}	=	2,90 m
Spornhöhe / Outer height	h_{sp}	=	0,70 m
Spornneigungshöhe / Nose incline height	h_n	=	1,60 m
Sockelhöhe / Base height	h_{so}	=	0,60 m
Abstand Fundamentoberkante - Grundoberkante / Separation foundation top edge - ground level	h_{GOK}	=	2,179 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

Das Fundamentdatenblatt weist eine Fundamenteinbindung in den Untergrund von 0,73 m und einen Fundamentdurchmesser von 25,50 m aus.

An dem Standort ist der Verwitterungslehm in der gesamten Baugrube bis auf den Fels auszukoffern und anschließend eine Tragschicht aus Schotter lagenweise verdichtet bis auf die Sollhöhe einzubauen.

Die ordnungsgemäße und ausreichende Verdichtung der Tragschicht ist mittels Verdichtungsüberprüfung vor Gründung zu kontrollieren (Forderung für das Gründungsplanum aus Mineralgemisch: $E_{v2} > 120 \text{ MN/m}^2$).

5.2 Ausführung der Baugrube der Windenergieanlage

Während der Bauzeit ist eine Baugrubensicherung gemäß DIN 4124 vorzunehmen.

- Während der Bauzeit ist eine offene Wasserhaltung lediglich vorzuhalten um etwaige anfallende Wässer wie Tageswässer abzuführen.
- Der Böschungswinkel darf in den bindigen Böden nicht mehr als 45° betragen.

5.3 Zulässiger Sohldruck für den Bauvorentwurf

Bei einer Flachgründung mittels Kreisfundament auf der Tragschicht über dem Fels kann gemäß DIN 1054:2003-01 Bild A1 ein zulässiger Sohldruck in Höhe von

$$\sigma_{\text{zul.}} \leq 800 \text{ kN/m}^2 \text{ (gefordert } 291 \text{ kN/m}^2\text{)}$$

angesetzt werden.

5.4 Erdstatische Berechnungen

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

Die Programmberechnung für die Lastfälle BS-A ergab für die Gleitsicherheit, Kippsicherheit und Grundbruchsicherheit max. Ausnutzungsgrade von 0,2. Setzungsdifferenzen für das Kreisringfundament wurden mit $< 1,0$ cm (BSA) nachgewiesen.

5.5 Ausführung der Kranstellfläche

Die Kranstellfläche ist 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 Tragschicht ist im "Vor - Kopf - Verfahren" vorzunehmen.
3. Die Baugrubensohle ist mit einem kombinierten Geotextils/Gitters der Klasse 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.

5.6 Maßnahmen gegen Grundwasser

Grundwasser wurde nicht bis in eine Tiefe von 15,0 m unter GOK angetroffen.

Im Fundamentdatenblatt ist ein Grundwasserstand bis GOK ausgewiesen. Weitere Maßnahmen sind nicht erforderlich.

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.

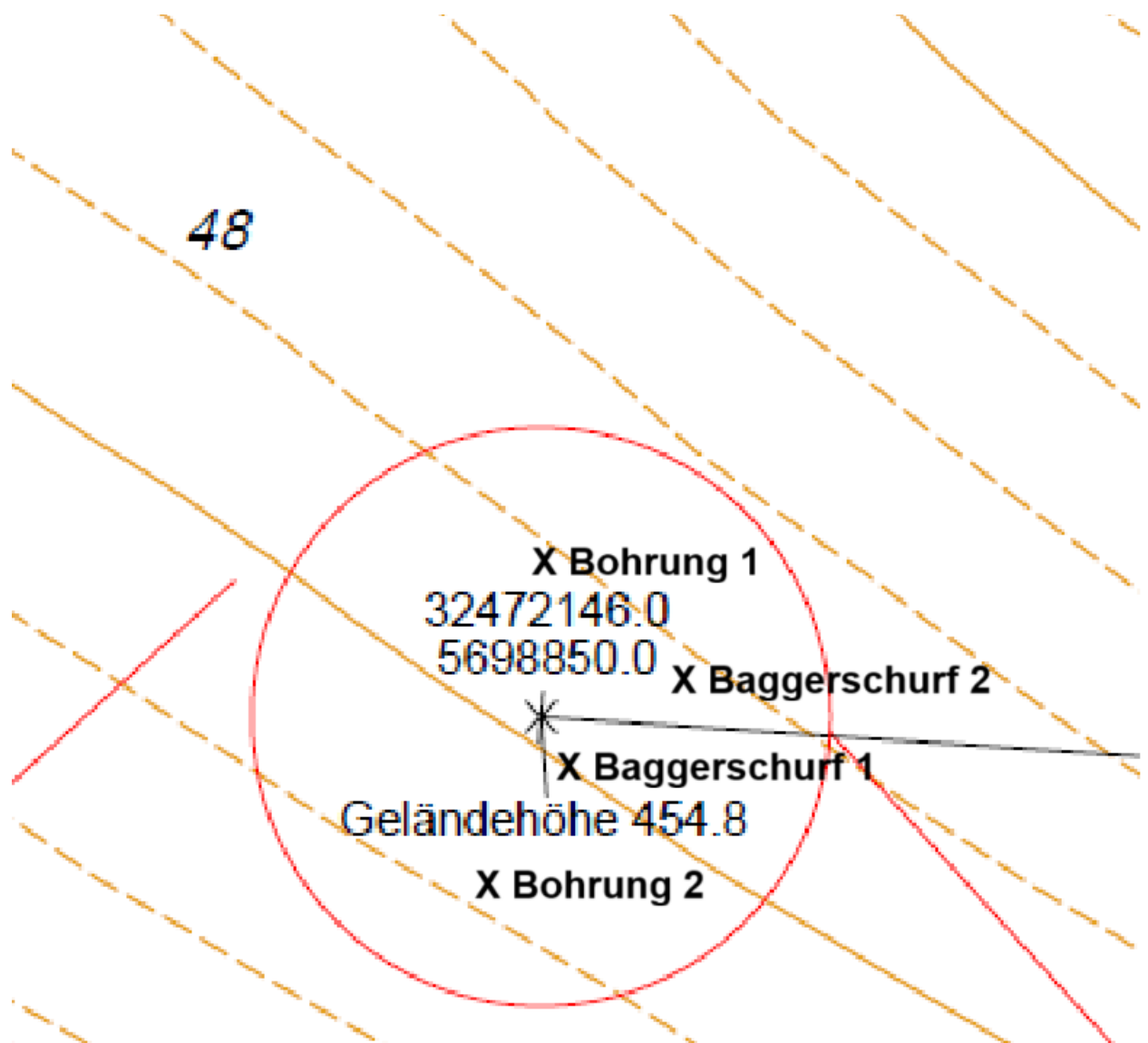
Zusammenfassend ist festzustellen, dass die gemäß Fundamentdatenblatt geforderten Bodenkennwerte (Bodenpressung und Drehfedersteifigkeit) eingehalten werden.

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

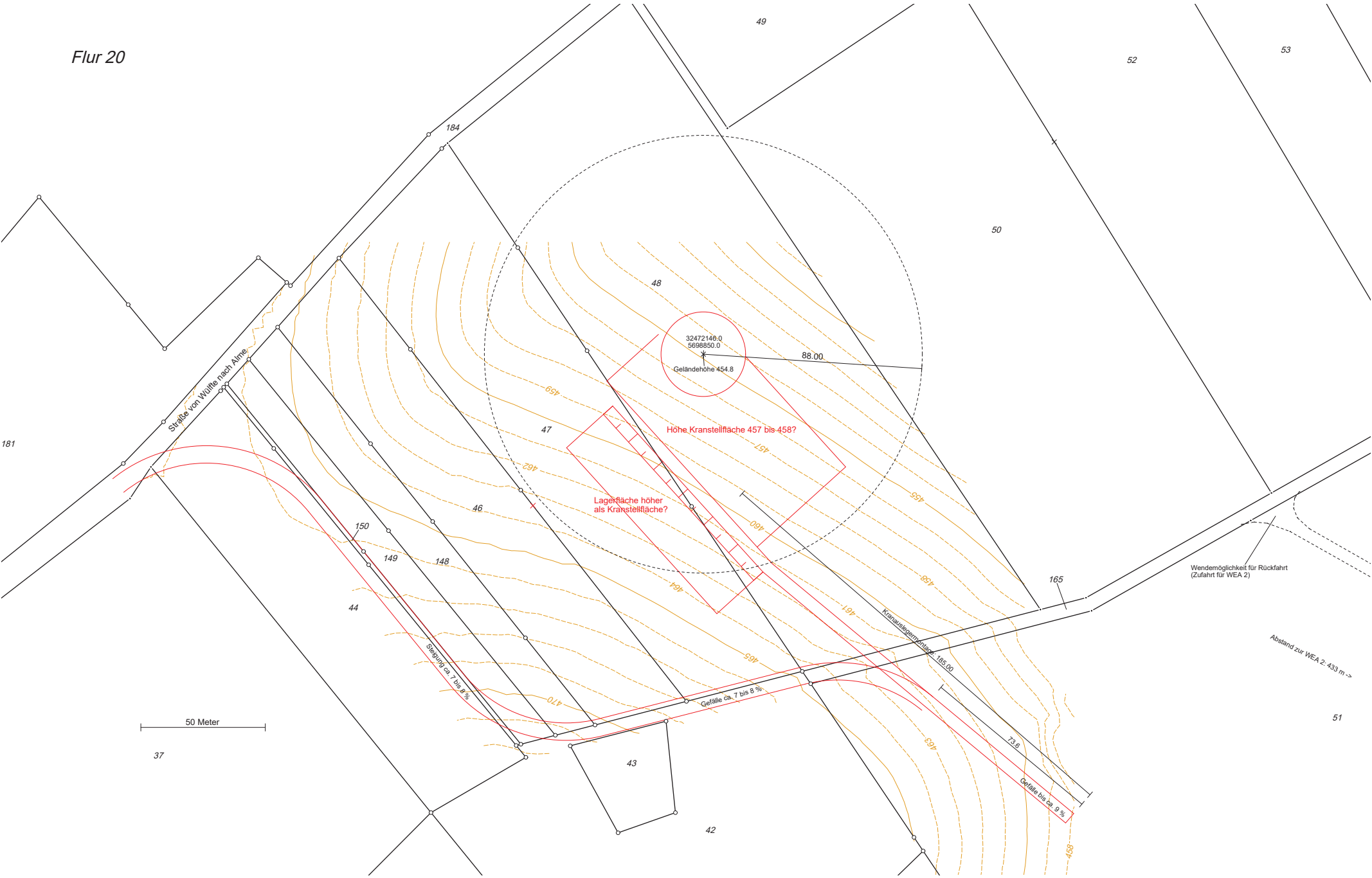


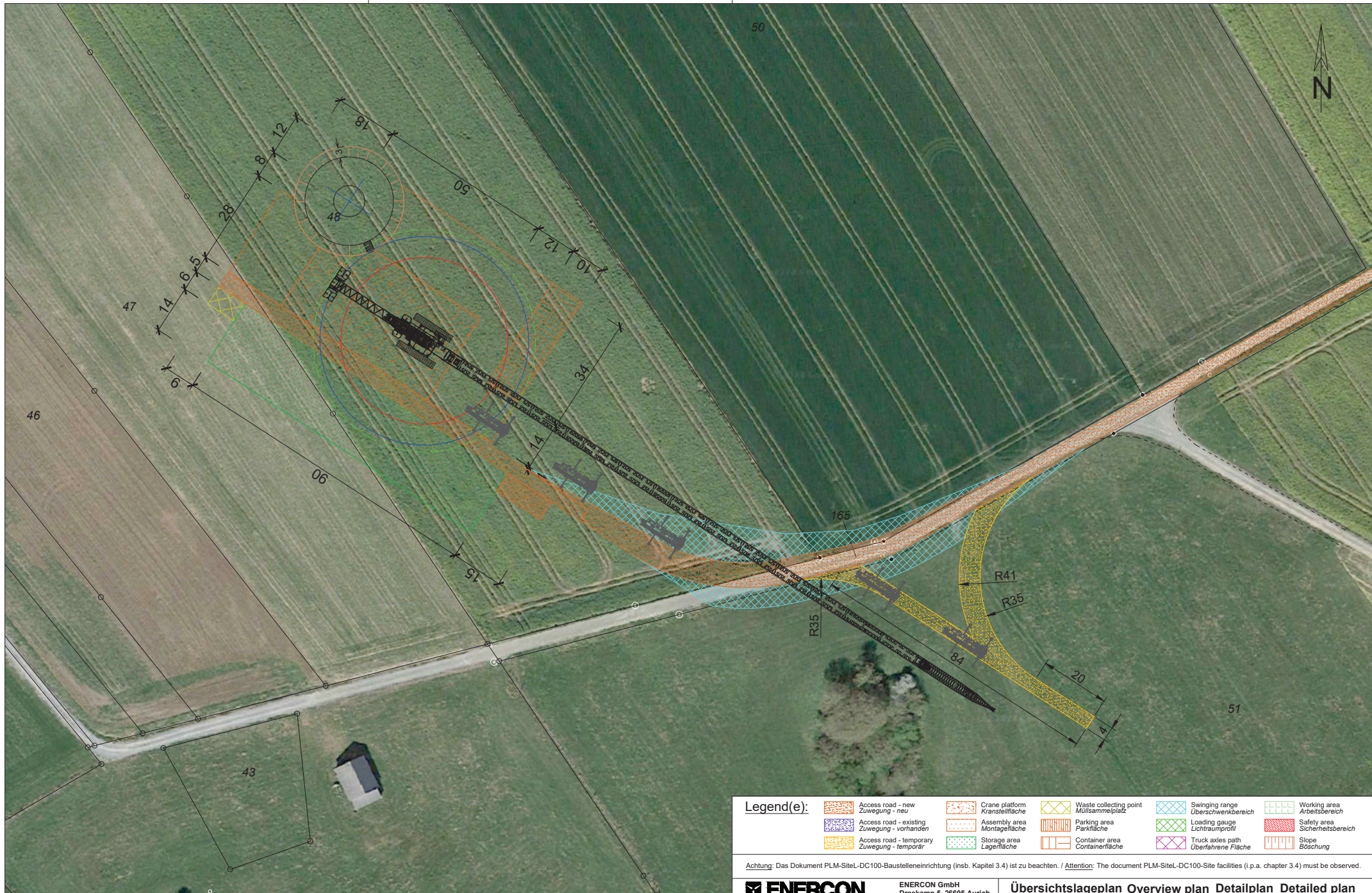
Dipl. – Geol. Werner Gröblichhoff

Anlage 1: Lageplan der Untersuchungspunkte



Flur 20





Legend(e):		Access road - new Zuwegung - neu	Crane platform Kranstellfläche	Waste collecting point Müllsammelplatz	Swinging range Überschwenkbereich	Working area Arbeitsbereich
Access road - existing Zuwegung - vorhanden	Assembly area Montagelfläche	Parking area Parkfläche	Storage area Lagerfläche	Container area Containerfläche	Loading gauge Lichttraumprofil	Safety area Sicherheitsbereich
Access road - temporary Zuwegung - temporär					Truck axes path Überfahrene Fläche	Slope Böschung

Achtung: Das Dokument PLM-Sitel-DC100-Baustelleneinrichtung (insb. Kapitel 3.4) ist zu beachten. / Attention: The document PLM-Sitel-DC100-Site facilities (i.p.a. chapter 3.4) must be observed.

ENERCON ENERGIE FÜR DIE WELT		Übersichtslageplan Overview plan Detailplan Detailed plan	
Customer: X Standort: Brilon		Project: E-175EP5 @ 162m HT	
Bauherr: Brilon		Remark: DOS WEC / Aufbauplan	
drafted: Tim Janssen		Project number: O-18438	Date: 16.10.2024
gezeichnet: Tim Janssen		Scale: 1:1000	Rev: 003

										outer radius + 2m		
WEC type	Hub height in m	Crane type	Support base	Configuration	Boom length / variant	Ballast + optional central ballast	Max. load / Working radius	min. range in m	SL-Radius in m	SL-Radius (set-up) in m	Others	
E-175EP5 E1	162	LR-11000	Crawler	SL100FB2	168+12 & 169+18(10°)	210+90t	140t at 24m	24 / 26	20	30	For Blade mounting 30° must be extended to 168 + 18m ☐	
E-175EP5 E1	162	LR-11000	Crawler	SL100FB2	162+15 & 162+24(10°)	210+90t	144t at 30m	26 / 30	20	30	Version only for sites with negative mast installation (mountain locations) generator weight can be critical For Blade mounting 30° must be extended to 162 + 24m	

Dipl. - Geol. W. Gröblichhoff	WP Wülfe	Datum: 14.08.2025
		Anlage Nr. 2

Bohrung 1

454,00 mNN



Mu

0.30 (453.70)

Mutterboden, braun

Hanglehm, schwach feinsandig,, braun
schwach kiesig

1.20 (452.80)

Dolomit, grau

15.00 (439.00)

Bohrende

Maßstab d. H. 1: 50

Bohrung 2

454,00 mNN



0.30 (453.70)

1.00 (453.00)

15.00 (439.00)

Mutterboden, braun

Hanglehm, schwach feinsandig,, braun
schwach kiesig

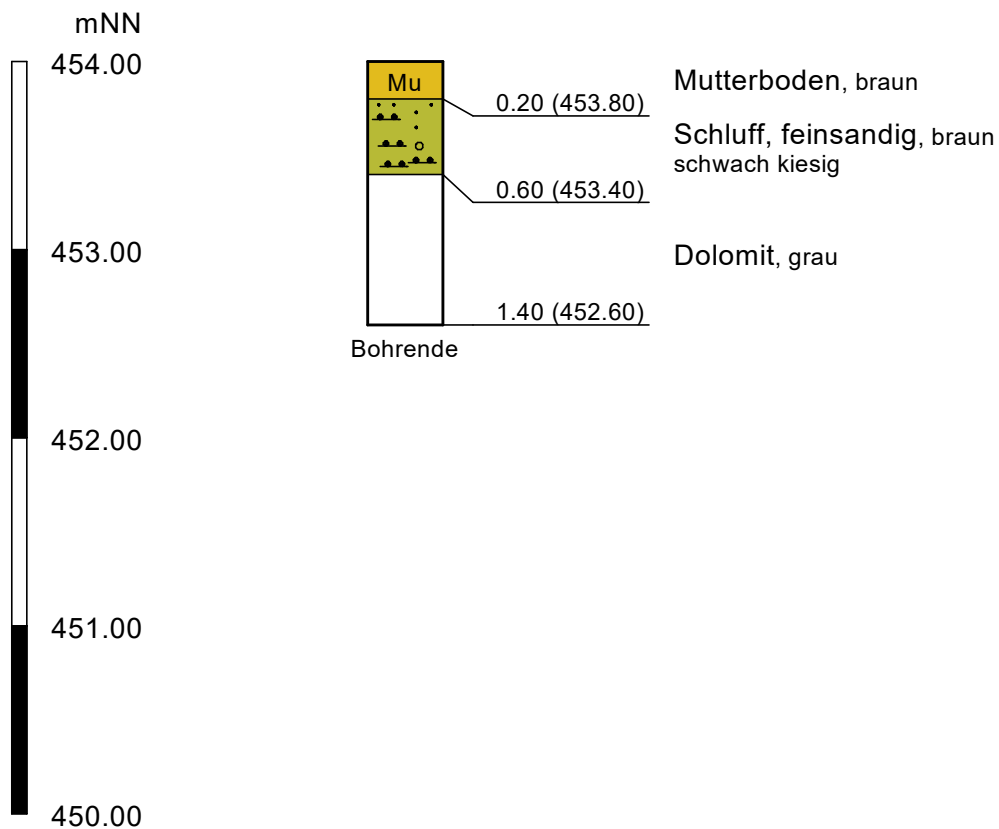
Dolomit, grau

Bohrende

Maßstab d. H. 1: 50

Schurf 1

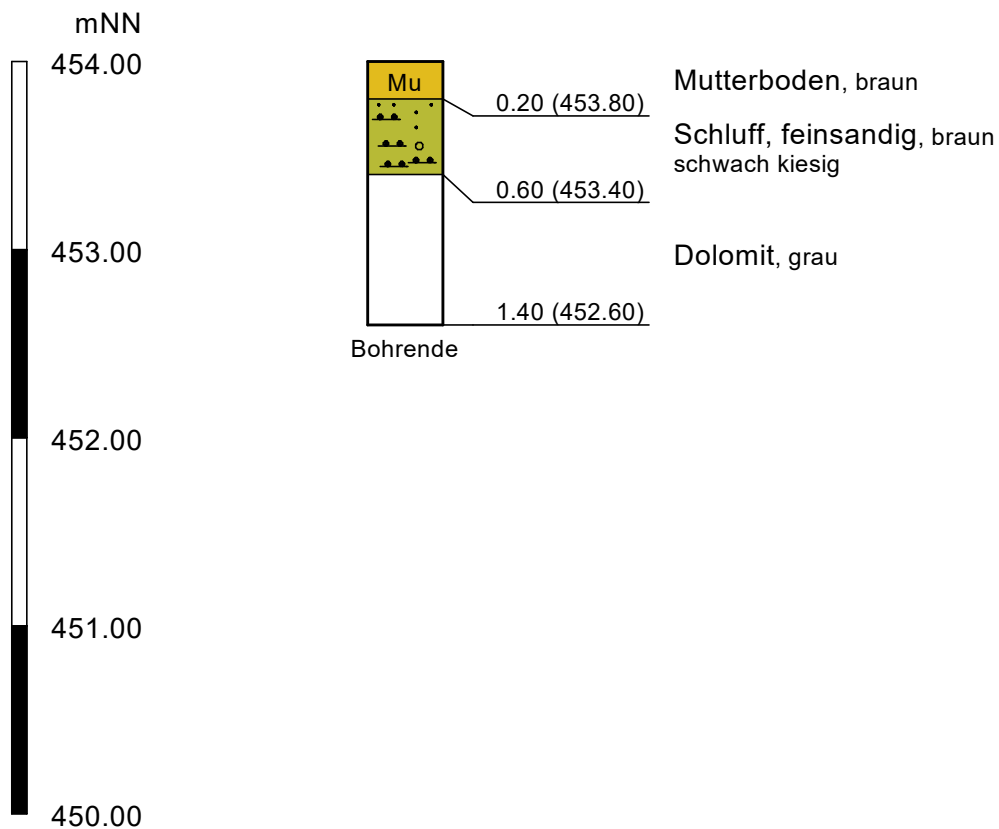
454,00 mNN



Maßstab d. H. 1: 50

Schurf 2

454,00 mNN



Maßstab d. H. 1: 50

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-E23
WEA / WT: Enercon E-175 EP5			Datum / Date: 13.07.2023
NH / HH: 162 m		Hybridturm / Tower: DE-E23	

Fundamentdatenblatt / *Foundation datasheet*

Max Bögl Hybridturm DE-E23

E-175 EP5 HT-162-ES-C-01 Flachgründung

Projektnummer /
Project number: 21683-E23

Documentnummer /
Document number D00346347

Anlagenhersteller /
Turbine manufacturer: ENERCON GmbH
 Dreekamp 5
 DE-26605 Aurich

Windenergieanlage /
Wind turbine: Enercon E-175 EP5

Nabenhöhe /
Hub height: 162 m

Bauteil /
Component: Flachgründung mit Auftrieb
Flat foundation with buoyancy

Verfasser / *Author:* Max Bögl Wind AG
 Max-Bögl-Str. 1
 DE-92369 Sengenthal

Datum / *Date:* 13.07.2023

Enercon Dokumentennr. /
 Enercon Document no.: D02784458-2

Bauteil / <i>Component:</i>	Fundament / <i>Foundation</i>	
Block / <i>Chapter:</i>		

Änderungsverzeichnis / *Table of revision*

Revision / <i>Revision</i>	Datum / <i>Date</i>	Beschreibung / <i>Description</i>	Bearbeiter / <i>Author</i>
00	23.12.2022	Erstausgabe / <i>First release</i>	J. Goycoolea
01	31.03.2023	Lasten 2023-02-13 hinzugefügt / <i>Loads from 2023-02-13 added</i>	J. Goycoolea
02	13.07.2023	Benennung der Windenergieanlage im Titel korrigiert / <i>Name of the wind turbine in the title corrected</i>	R. Braun

Datum / *Date*: 13.07.2023

Aufgestellt:



i.A. Joaquin Goycoolea Castillo

Aufgestellt /
Prepared by:



i.A. Roman Braun

Geprüft und freigegeben /
Checked and approved by:



i.A. Thorsten Betz

Bauteil /
Component: Fundament / *Foundation*

Block /
Chapter: Änderungsverzeichnis / *Table of revision*

Seite/
Page: 2

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.....	6
3.1 Eigengewicht, Erdüberschüttung und Auftrieb / Own weight, soil cover and buoyancy.....	6
3.2 Turmlasten / Tower loads	7
3.2.1 BS-P, BS-T und BS-A / BS-P, BS-T and BS-A.....	7
3.2.2 GZT und GZG / ULS and SLS	8
4 Anforderungen an den Baugrund / Soil requirements	9

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	Seite/ Page:	3
Block / Chapter:	Inhaltsverzeichnis / Table of contents		

1 Allgemeines / General

In diesem Dokument werden die sich aus der Vorbemessung ergebende Kennwerte des Fundamentes für die nachfolgend angegebene Windenergieanlage zusammengefasst.

This document summarizes the properties of the foundation for the following wind turbine, which result of the preliminary design.

Turm / Tower

Beschreibung / Description

Turmtyp / Tower type	Max Bögl hybrid tower E23
Turbinenhersteller / Manufacturer	Enercon
Land / Country	DE
Leistung / Power	6.XX MW
WEA / Wind turbine	E-175 EP5 E1
Nabenhöhe / Hub height	162 m
System / System	RT 2.0

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

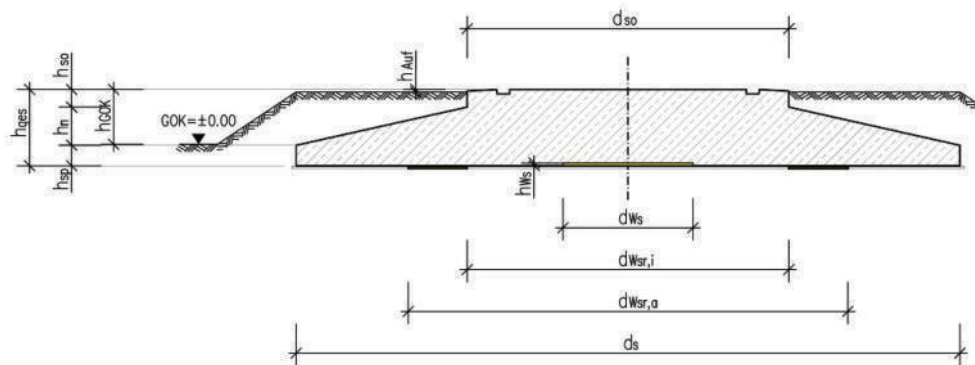
The tower geometry is defined in the following Max Bögl pre-design drawing:

Enercon_DE_X,XXMW_E-175_162,0m_RT2,0_a

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	=	25,50 m
Sockeldurchmesser / Base diameter	d_{so}	=	11,88 m
Äußere Weichschichtsringdurchmesser / Soft layer ring outer diameter	$d_{wsr,a}$	=	15,88 m
Weichschichtdurchmesser / Soft layer diameter	d_{ws}	=	4,40 m
Fundamenthöhe / Foundation height	h_{ges}	=	2,90 m
Spornhöhe / Outer height	h_{sp}	=	0,70 m
Spornneigungshöhe / Nose incline height	h_n	=	1,60 m
Sockelhöhe / Base height	h_{so}	=	0,60 m
Abstand Fundamentoberkante - Grundoberkante / Separation foundation top edge - ground level	h_{GOK}	=	2,179 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

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	Seite/ Page:	5
Block / Chapter:	2 Geometrie, Material und Massen / Geometry, material and dimensions		

3 Belastung / Loading

Die folgenden Lasten wurden in der Fundamentvorbemessung angesetzt.

Die Belastung aus der Windenergieanlage wurden gemäß der E-175 EP5 Lastrechnung D02775088_1.0_en_Berechnung_E-175 EP5+_E1-HT-162-ES-C-01_LL03_WCII_TCA_7.8_2.0; Fatigue_and_Ultimate_Loads_Tower und D02833236_0.0_de-en_Calculation_E-175_EP5_-HT-162-ES-C-01; LL03 SC_WCII_TCA_7.8_2.0; fatigue and ultimate loads; tower.zip angesetzt.

The followings loads were applied in the foundation pre-design.

The loads from the wind turbine were applied according to E-175 EP5 load calculation D02775088_1.0_en_Berechnung_E-175 EP5+_E1-HT-162-ES-C-01_LL03_WCII_TCA_7.8_2.0; Fatigue_and_Ultimate_Loads_Tower and D02833236_0.0_de-en_Calculation_E-175_EP5_-HT-162-ES-C-01; LL03 SC_WCII_TCA_7.8_2.0; fatigue and ultimate loads; tower.zip.

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	=	22 041 kN

Überschüttung / Backfill

Höhe Erdüberschüttung innen / Inner thickness backfill	$t_{\text{MaxÜs,inn}}$	=	0,500 m
Höhe Erdüberschüttung außen / Outer thickness backfill	$t_{\text{MaxÜs,aus}}$	=	2,100 m
Bodenwichte / Soil specific weight	$\gamma_{\text{Üs}}$	=	18,0 kN/m ³
Gewicht Erdüberschüttung / Soil cover weight	$G_{\text{MaxÜs}}$	=	10 056 kN

Auftrieb / Buoyancy

Höhe Wassersäule / Buoyancy height	$h_{\text{Gw,max}}$	=	0,721 m
Auftriebskraft / Buoyancy force	$G_{\text{Gw,max}}$	=	-3 682 kN

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	Seite/ Page:	6
Block / Chapter:	3 Belastung / Loading		

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]	41 477	41 395	41 034
H_k [kN]	1 424	1 428	1 761
$M_{b,k}$ [kNm]	219 556	188 499	242 010

Lasten an Fundamentunterkante / *Loads at the foundation bottom*

Legende / *Legend:*

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

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 Teilsicherheitsbeiwerts an der Oberkante der Gründung. Fundamenteigengewicht, Turmvorspannung, Erdüberschüttung, Auftrieb und etwaige Anbauteile sind nicht in diesen Lasten enthalten.

Die Schnittgrößen beinhalten bereits den Einfluss nach Theorie II. Ordnung mit linear elastischem Tragverhalten einschließlich elastischer dynamischer Einspannung in den Baugrund.

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.

The internal forces consider already the influence of the II. order theory with linear elastic behaviour including elastic dynamic loading in the foundation soil

LF / LC	GZT / ULS	D.3
V_{Ed} [kN]	25 640	19 436
H_{Ed} [kN]	1 922	1 133
$M_{b,Ed}$ [kNm]	284 893	160 284
$M_{t,Ed}$ [kNm]	2 243	3 813
γ_E	1,35	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*

Seite/
Page: 8

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.

Wegen Anforderungen der Eigenfrequenzen musste die Bodendrehsteifigkeit erhöht werden.

Due to eigenfrequency requirements the soil rotational stiffness had to be increased.

Drehfedersteifigkeit / Rotation spring stiffness

Mindestwert / *Minimal value*

Statische Drehfeder / *Static rotational spring*

$$k_{\phi, \text{stat}} = 40\,000 \text{ MNm/rad}$$

Dynamische Drehfeder / *Dynamic rotational spring*

$$k_{\phi, \text{dyn}} = 200\,000 \text{ MNm/rad}$$

Zulässige Schiefstellung / Allowed out-of-vertical deviation

Maximal zulässige Schiefstellung in 25 Jahren / *Maximal allowed out-of-vertical inclination in 25 years*

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

Bodenpressung / Soil bearing pressure

Erforderlicher Widerstand / *Required resistance*

Maximale Randdruckspannung im BS-P / *Maximal edge soil pressure in BS-P*

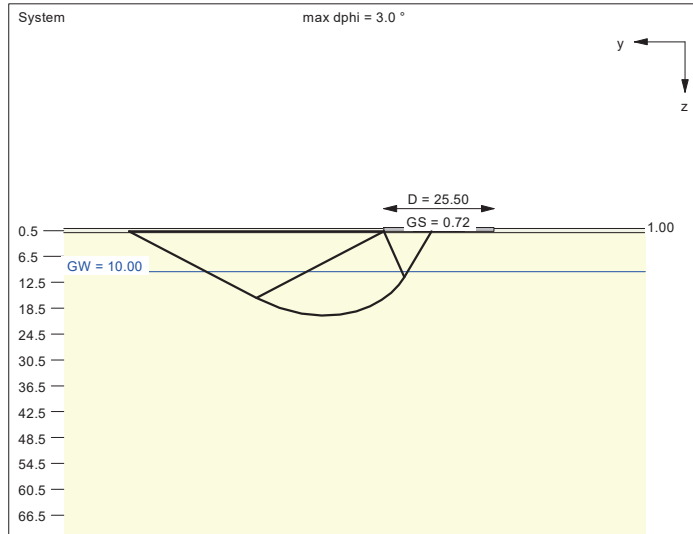
$$\sigma_{\text{max, BS-P}} = 262 \text{ kN/m}^2$$

Maximale Randdruckspannung im BS-A / *Maximal edge soil pressure in BS-A*

$$\sigma_{\text{max, BS-A}} = 292 \text{ kN/m}^2$$

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

Boden	γ [kN/m ³]	γ' [kN/m ³]	φ [°]	c [kN/m ²]	E _s [MN/m ²]	v [-]	Bezeichnung
	21.0	11.0	32.0	0.0	75.0	0.00	Tragschicht
	21.0	12.0	35.0	0.0	200.0	0.00	Kalkstein



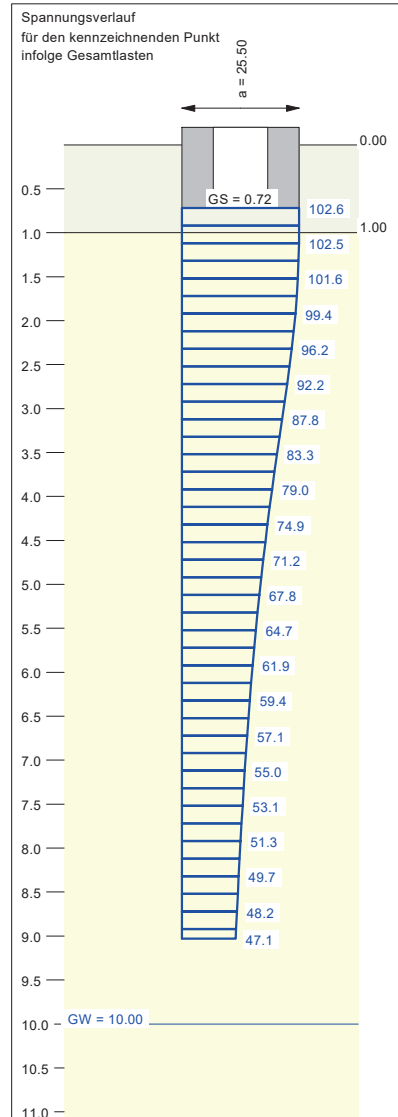
Ergebnisse Einzelfundament:
 Lasten = ständig / veränderlich
 Vertikallast $F_{v,k} = 41034.00 / 0.00$ kN
 Horizontalkraft $F_{h,x,k} = 1761.00 / 0.00$ kN
 Horizontalkraft $F_{h,y,k} = 1761.00 / 0.00$ kN
 Moment $M_{x,k} = 0.00 / 242010.00$ kN·m
 Moment $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$ kN·m
 Durchmesser D = 25.500 m
 Durchmesser (innen) d = 11.880 m
 Unter ständigen Lasten:
 Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
 Exzentrizität $e_y = 0.000$ m
 Resultierende im 1. Kern (= 3.879 m)
 $a' = 21.534$ m
 $b' = 21.534$ m
 Unter Gesamtlasten:
 Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
 Exzentrizität $e_y = -5.898$ m
 Resultierende im 2. Kern (= 7.962 m)
 $a' = 11.030$ m
 $b' = 18.195$ m

Grundbruch:
 Durchstanzen untersucht,
 aber nicht maßgebend.
 Teilsicherheit (Grundbruch) $\gamma_{R,v} = 1.40$
 $\sigma_{G,k} / \sigma_{G,d} = 3683.3 / 2630.90$ kN/m²
 $R_{n,k} = 739175.48$ kN
 $R_{n,d} = 527982.49$ kN
 $V_d = 1.35 \cdot 41034.00 + 1.50 \cdot 0.00$ kN
 $V_d = 55395.90$ kN
 μ (parallel zu y) = 0.105
 cal $\varphi = 35.0^\circ$
 cal c = 0.00 kN/m²
 cal $\gamma_2 = 17.68$ kN/m³

cal $\sigma_0 = 15.12$ kN/m²
 UK log. Spirale = 20.22 m u. GOK
 Länge log. Spirale = 83.53 m
 Fläche log. Spirale = 860.25 m²
 Tragfähigkeitsbeiwerte (y):
 $N_{d0} = 45.99$; $N_{d0} = 33.16$; $N_{b0} = 22.49$
 Formbeiwerte (y):
 $v_c = 1.358$; $v_d = 1.347$; $v_b = 0.818$
 Neigungsbeiwerte (y):
 $i_c = 0.908$; $i_d = 0.910$; $i_b = 0.855$

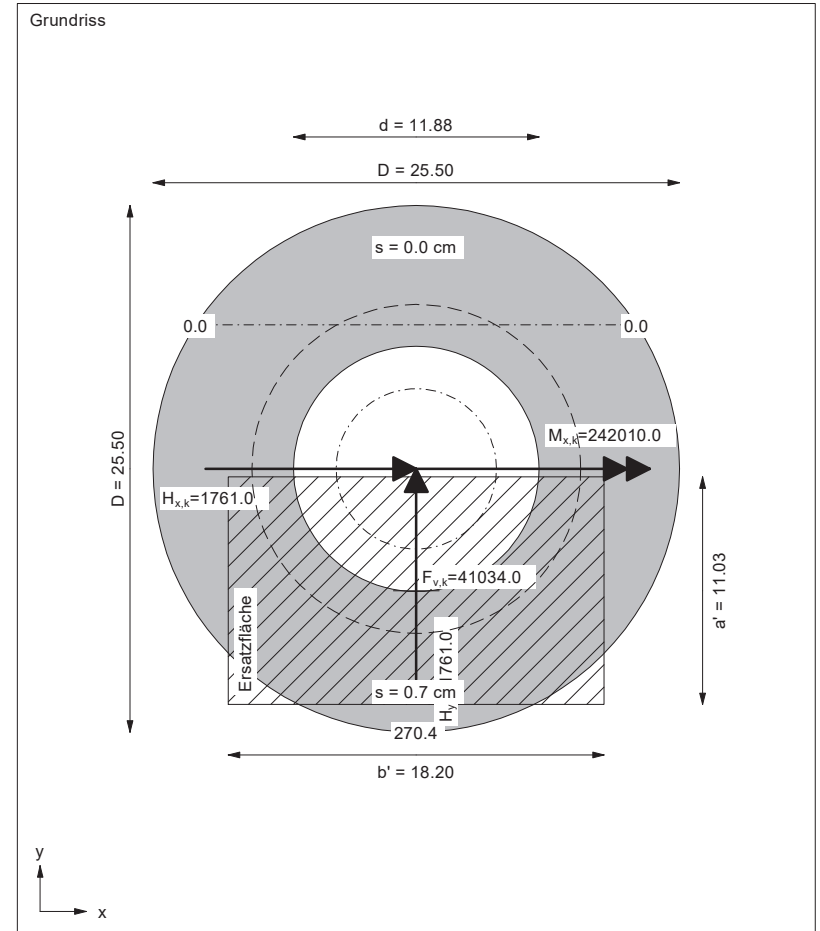
Gleitwiderstand:
 Teilsicherheit (Gleitwiderstand) $\gamma_{R,h} = 1.10$
 $N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 41034.00 \cdot \tan(32.00^\circ) / 1.10$
 $R_{t,d} = N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 23309.90$ kN
 $T_d = 3362.08$ kN
 $\mu = T_d / R_{t,d} = 0.144$

Setzung infolge Gesamtlasten:
 Grenztiefe $t_g = 9.03$ m u. GOK
 Vorbelastung = 20.0 kN/m²
 Setzung (Mittel aller KPs) = 0.34 cm
 Setzungen der KPs:
 oben = 0.01 cm
 unten = 0.67 cm
 Verdrehung(x) (KP) = 1 : 3241.8
 Drehfedersteifigkeit:
 $k_{\varphi,x} = 784556.6$ MN·m/rad
 Nachweis EQU:
 $M_{stb} = 41034.0 \cdot 25.50 \cdot 0.5 \cdot 0.90 = 470865.2$
 $M_{dst} = 242010.0 \cdot 1.50 = 363015.0$
 $\mu_{EQU} = 363015.0 / 470865.2 = 0.771$



Berechnungsgrundlagen:
 WP Wülfe E 175
 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 = 0.72 m
 Grundwasser = 10.00 m
 Grenztiefe mit p = 20.0 %
 - - - - 1. Kernweite
 - - - - 2. Kernweite



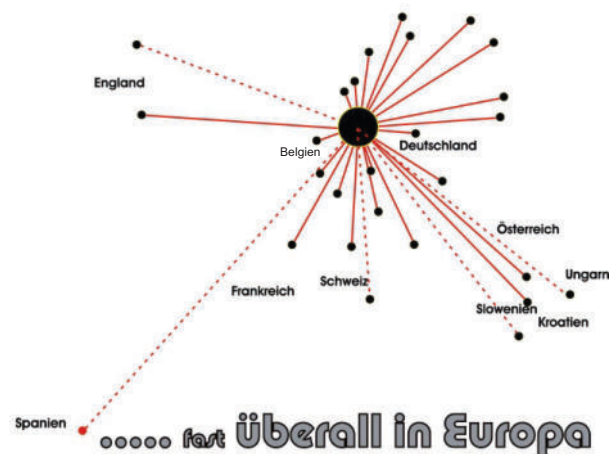
Geophysikalische Messungen

zur Erkundung der Untergrundsituation
im Bereich der geplanten Windkraftanlage
bei Wülfe

Im Auftrag der

Briloner Hochfläche Wind GmbH & Co. KG

GeoSONAR....



Der Bericht umfasst 24 Seiten Text und 5 Seiten Anlagen

GeoPHYSIKALISCHE MESSUNGEN

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1.0 Aufgabenstellung	2
2.0 Unterlagen	3
3.0 Untersuchungsprogramm und -methodik	4
3.1 Das GeoSONAR-Verfahren	6
3.2 Technische Spezifikation des GeoSONAR-Verfahrens	12
3.3 Ablauf der Messungen	13
3.4 Ortung von Störungen mit dem GeoSONAR- Verfahren	14
4.0 Durchführung und Ergebnisse	
4.1 Lage des Untersuchungsgebietes	16
4.2 Festlegung der Messstrecken	17
4.3 Durchführung der GeoSONAR-Messungen	18
4.4 Auswertung der GeoSONAR-Messungen	19
4.5 Messergebnisse und Zusammenfassung	22
5.0 Anlagen	23

1.0 Aufgabenstellung

Am 14.02.2025 wurde das Büro Stübs-GeoPHYSIKALISCHE MESSUNGEN in Hemer mit einer orientierenden Untersuchung zur Erkundung für den Standort der WEA Wülfte zwischen Wülfte und Alme für die Briloner Hochfläche Wind GmbH&Co.KG beauftragt.

Auftraggeber im Namen der Bauherrn ist Dipl. Geol. W. Gröbblinghoff in 59609 Anröchte, Sonnenbornstrasse 7.

Die Untersuchungen wurden in der 8. KW 2025 durchgeführt.

GeoPHYSIKALISCHE MESSUNGEN

2.0 Unterlagen

- [1] Amtlicher Lageplan des Standortes
- [2] Geologische Karte von Preussen Lieferung 341 Nr. 2585
(Neu 4517) Blatt Alme 1936

3.0 Untersuchungsprogramm und Methodik

*Das **GeoSONAR**-Verfahren ist eine anerkannte^{1,2} Spezialisierung der häufig angewandten seismischen Reflexionsmessung durch Hammerschlag mit stationärer Geophonkette und variierenden Schusspunkten.*

Durch die Spezialisierung ist es möglich

- ▶ *eine individuelle Anpassung an die Örtlichkeiten vorzunehmen*
- ▶ *nahe an eine Zero-Offset-Messung heranzukommen*
- ▶ *trotz Störeinflüssen ein aussagekräftiges Ergebnis zu erzielen*

Beim GeoSONAR-Verfahren kommen ein Impulsgeber und ein Geophon zum Einsatz.

Der Impulsgeber (elektrisch gesteuerter Hammer) wird in einem den Bodenverhältnissen angepasstem minimalisierten Abstand (constant offset) zum Geophon immer um den gleichen zuvor festgelegten Messpunkt Abstand auf einer Linie versetzt (walk on-line). Im Idealfall wird so an jedem Punkt separat eine Zero-Offset-Messung durchgeführt. Dabei werden pro Messpunkt zur Verringerung statistischer Fehler bis zu 300 Einzelmessungen durchgeführt.

Das Stübs-GeoSONAR®-Verfahren arbeitet mit Stoßwellenimpulsen (P-Wellen-Anregung), wobei 80% des Impulses einen Frequenzbereich von 10 bis 500 bzw. 1000 Hz abdecken.

^{1,2} siehe Seite 11

GeoPHYSIKALISCHE MESSUNGEN

Aus den aufgenommen Spuren wird am Messrechner ein für seismische Messungen typisches Reflexiogramm (seismic reflection profile) erstellt.

Die in den Reflexiogrammen angerissenen Strukturen, hier speziell die gestörten Sediment- und Deckgebirgsschichten, stellen die gemittelte Lage innerhalb des Toleranzbereiches dar, welcher aus den gegebenen Unsicherheiten für die vertikale und horizontale Auflösung resultieren.

Die Bearbeitung der Datensätze erfolgt nach den üblichen mathematischen Routinen; die Interpretation wird durch Fachkräfte mit über 45-jähriger Erfahrung durchgeführt.

GeoPHYSIKALISCHE MESSUNGEN

3.1 Das GeoSONAR-Verfahren

Einleitung

In der sonst allgemein üblichen seismischen Praxis wird in der Regel versucht, mit extrem energiereicher Anregung die Nutzsignale klar über den Störpegel zu heben. Die Erforderlichkeit einer hochfrequenten Anregung beim Stübs-GeoSONAR®-Verfahren erfordert die Erzeugung eines kontrollierten, reproduzierbaren Impulses, der notwendigerweise nicht sehr energiereich sein muss.

Es wird bei den klassischen seismischen Verfahren oft dazu geneigt die Wirksamkeit eines schwachen seismischen Impulses zu unterschätzen. Tatsächlich beträgt die nachweisliche Tiefenreichweite des Einzelschlages bei fester Ankoppelung an einen homogenen Untergrund aus einem Material mit 4000 m/s Schallgeschwindigkeit über 130 m. Real erlangt das GeoSONAR-Verfahren Tiefenreichweiten um 40 m bei einer Materialgeschwindigkeit von 800 m/s.

GeoPHYSIKALISCHE MESSUNGEN

Problemstellung

Zur Sondierung der geologischen Verhältnisse im Untergrund haben sich neben direkten Bohrloch-Messverfahren im wesentlichen drei indirekte Methoden der angewandten Geophysik durchsetzen können: die Messung der elektrischen Widerstandswerte des Untergrundes sowie die Messung des Ausbreitungsverhaltens von seismischen Wellen (angewandte Seismik) und elektromagnetischen Wellen (Georadar).

Für die Sondierung großräumiger Strukturen treten die geologischen Verfahren gegenüber der Seismik in den Hintergrund, während bei der Untersuchung von vergleichsweise kleinen Bereichen die geoelektrischen Verfahren deutlich bevorzugt werden.

Allgemein werden die seismischen Verfahren oft unterschätzt und eine Bevorzugung der elektrischen Verfahren ist nicht unbedingt zu erklären, da diese aus prinzipiellen Gründen keine direkten Abbildungen der Untergrundverhältnisse liefern können, während es physikalisch möglich ist, mit Hilfe der Seismik, zu solchen Bildern zu gelangen, da für die Ausbreitung der Schallwellen die Gesetze der Wellenoptik analog zu denen der Lichtausbreitung gelten.²

² siehe Seite 11

GeoPHYSIKALISCHE MESSUNGEN

Aus diesen Gesetzen ergeben sich die Anforderungen an ein hochauflösendes Verfahren zum Nachweis von Feinstrukturen.

1. Es müssen Objekte mit Schallgeschwindigkeiten größer oder kleiner als im umgebenden Gestein erfassbar sein. Damit kommt nur ein Verfahren in Frage, dass nach dem "Echolotprinzip" reflektierte Wellen gleichmäßig nach Laufzeit, Intensität und Phasenlage erfaßt, also ein reflexionsseismisches Verfahren.
2. Objekte mit Abmessungen über 1 m müssen erfassbar sein.
3. Aus der Tiefe reflektierte Wellen müssen von den direkt laufenden Oberflächenwellen unterscheidbar sein. Also müssen entweder die Oberflächenwellen vor Eintreffen der Reflexionswellen bereits abgeklungen sein oder sie müssen später am Empfänger eintreffen (was technisch kaum realisierbar ist), oder aber separat erfassbar sein, um sie beim Auswerteprozess aus dem Gesamtsignal zu eliminieren.
4. Eine Tiefenreichweite von 100 m ist ausreichend, aber auch wünschenswert.
5. Störungen durch Luftschall müssen unterdrückt werden oder zumindest als solche identifizierbar sein.
6. Der Feldaufwand muss auf ein Minimum eingeschränkt werden.

GeoPHYSIKALISCHE MESSUNGEN

Lösung

Entsprechend diesen Anforderungen wurde das Stübs-GeoSONAR®-Verfahren entwickelt.

Einschränkungen ergeben sich für das GeoSONAR

- a) bei morastigen Böden und lockeren Aufschüttungen (zu starke Dämpfung des Signal), wenn nicht eine nachträgliche Verdichtung vorgenommen wird
- b) bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt (Beeinträchtigung der Elektronik und damit mögliche Verfälschung des Messsignales)
- c) durch permanente Erschütterungsstörungen von Fahrzeugen mit Fahrketten und/oder großen Motoren sowie stationären Maschinen.

Das Stübs-GeoSONAR® kann im günstigen Fall Toleranzen von $\pm 0,30$ m liefern^{3,4}, sie können jedoch im ungünstigen Fall für Untergrundstrukturen bei $\pm 1,50$ m liegen. Für die x-Achse ergibt sich eine Genauigkeit von maximal $0,25$ m.⁵

Eine höhere Präzision ist mit der verwendeten Ingenieurseismik bei Messungen über Feinstrukturen prinzipiell nicht erreichbar, da hier immer im Größenordnungsbereich der generierten Wellenfelder gearbeitet wird.

³⁻⁵ siehe Seite 11

GeoPHYSIKALISCHE MESSUNGEN

Zusammenfassung

Reflexionsseismische Messungen beruhen auf der Aufnahme und Auswertung der an seismischen Grenzflächen reflektierten Wellen. Die Aufzeichnung der Wellen wird im Laufzeitdiagramm, auch Reflexiogramm, wiedergegeben. Dies ist das Zeitintervall, das zwischen der Anregung und Aufnahme liegt, nachdem die Welle den Untergrund durchlaufen hat. Beim GeoSONAR-Verfahren wird die Laufzeit in Millisekunden (ms) erfasst. Die äußere Form der Laufzeitdiagramme kann unterschiedlich sein. Bei dem hier angewandten Verfahren wird eine reine Flächenschrift benutzt. Die Amplituden geben den Verlauf von Schichtflächen bzw. Grenzflächen gut wieder. Diese Schichtverläufe ergeben das Strukturbild (Muster) senkrecht unter der Messlinie.

Diffractionshyperbeln entstehen an örtlich begrenzten Unregelmäßigkeiten der Gesteinsparameter, wie Verwerfungen und "punktförmigen" Reflektoren (z.B. Hohlräumen, Inhomogenitäten, Dichteunterschieden).

In den nachfolgenden Darstellungen sind durch das Auswerteprogramm die Diffractionshyperbeln rot, die Strukturgrenzen braun und die Störungen blau dargestellt worden.

Zudem ist es möglich an den Diffractionshyperbeln Tiefenlagen zu ermitteln.

Die bei der Messung erhaltenen Datensätze werden von einem Spezialprogramm ausgewertet. Als Ergebnis erhält man eine Zero-Offset-Seismogrammsektion (sog. Reflexiogramm > Seismic reflection profile) auf dem laufzeitabhängige Strukturgrenzen und Diffractionshyperbeln dargestellt werden. Diese erhaltenen Datensätze werden nachfolgend durch ein entsprechendes Grafikprogramm entweder als farbig unterstütztes Reflektiogramm (mit oder ohne Hintergrund) oder als farbig angelegtes Vollbild ausgedruckt.

GeoPHYSIKALISCHE MESSUNGEN

Referenzen

- ¹ Anerkennung durch: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung - A.Z.: N3.3 -1899/85 - *Gei/Lag* - Hannover, 13.06.1985
Landgericht Köln - A.Z.: 24 O 171/14 - Köln, 24.11.2016 - bestätigt durch das Oberlandesgericht Köln - A.Z.: 9 U 196/16 - am 24.04.2017
- ² Prof. Dr. Renner *Beschreibung des GeoSONAR-Verfahrens der Firma Stübs GeoPHYSIKALISCHE MESSUNGEN* - Fakultät für Geowissenschaften, Experimentelle Geophysik, Ruhr-Universität-Bochum 25.07.2016
- ³ u.a. im Rahmen des Forschungsprojektes Rohstoffsicherung BRD mit der BGR Hannover
Lagerstättenkundliche Untersuchungen zur Erschließung nicht in Abbau stehender Schwerspat-Lagerstätten in der Bundesrepublik Deutschland (RG 8105) - Archiv-Nr.: 97880, Tb-Nr.: 10 707/85.
- ⁴ Dr. D. Stoppel *Zur Messung auf der Grube Wolkenhügel/Bad Lauterberg* - Schreiben der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hannover) vom 21.12.1989 und 08.04.1993
- ⁵ Bjarne Rafaelsen Seismic resolution (and frequency filtering); University of Tromsø

3.2 Technische Spezifikation des GeoSONAR-Verfahrens

Das GeoSONAR-Verfahren, ein forensisch anerkanntes Verfahren zur Erkundung von Schichtgrenzen, Auflockerungen und Hohlräumen, ist eine feinseismische Spezialisierung der häufig angewandten seismischen Reflexionsmessung mit stationärer Geophonkette und variierenden Schusspunkten.

Durch die Spezialisierung ist es möglich

- ▶ eine individuelle Anpassung an die Örtlichkeiten vorzunehmen
- ▶ nahe an eine Zero-Offset-Messung heranzukommen
- ▶ trotz Störeinflüssen (Erschütterungen, Elektrosmog etc.) ein aussagekräftiges Ergebnis zu erzielen

Zum Einsatz kommen beim GeoSONAR-Verfahren:

1. Messcomputer (GS-MR v3.5) mit zugehöriger Software (GeoSONAR-S v3.0.5) [aus eigenem Hause]
2. **Ein** Impulsgeber, ein von der Firma Stübs entwickelter, elektronisch gesteuerter Hammer zur äquivalenten Impulsabgabe von P-Wellen.
(Zur Wahl stehen zwei Impulsgeber
GS-eH P05 - Hauptfrequenzspektrum 10 Hz bis 500 Hz und
GS-eH P10 - Hauptfrequenzspektrum 10 Hz bis 1000 Hz)
3. **Ein** Geophon vom Typ SM-4 10 Hz 375 Ohm der Firma Sensor

3.3 Ablauf der Messung

Der Impulsgeber wird in einem den Bodenverhältnissen angepassten, minimierten Abstand immer um den gleichen, zuvor festgelegten Messpunktabstand auf einer Linie versetzt. Im Idealfall wird so an jedem Punkt separat eine ZeroOffset-Messung durchgeführt. Dabei werden pro Messpunkt zur Verringerung statistischer Fehler bis zu 300 Einzelmessungen durchgeführt.

Aus den aufgenommen Spuren wird am Messrechner ein für seismische Messungen typisches Reflexiogramm erstellt. Die laterale Auflösung liegt bei $1/256$ der erreichten Tiefe; die zu erwartende vertikale Auflösung beträgt je nach Bodenbeschaffenheit 0,3 m - 1,5 m, dies entspricht $\lambda/4$. Die horizontale Auflösung entspricht dem Messpunktabstand⁶.

Bei dem verwendeten Auswerteprogramm handelt es sich um eine im eigenen Hause speziell für die Ansprüche der GeoSONAR-Messungen geschriebenen Software. Sie beinhaltet in erster Linie für die einzelnen mathematisch erforderlichen Prozesse feste etablierte Standardroutinen. Das Datenprozessing entspricht der allgemein üblichen Vorgehensweise.

Die schließlich in den Reflexiogrammen angerissenen Strukturen stellen die gemittelte Lage innerhalb des Toleranzbereiches dar, welcher aus den gegebenen Unsicherheiten für die vertikale und horizontale Auflösung resultieren.

⁶ s. Fussnote Nr. 5 Seite 11

GeoPHYSIKALISCHE MESSUNGEN

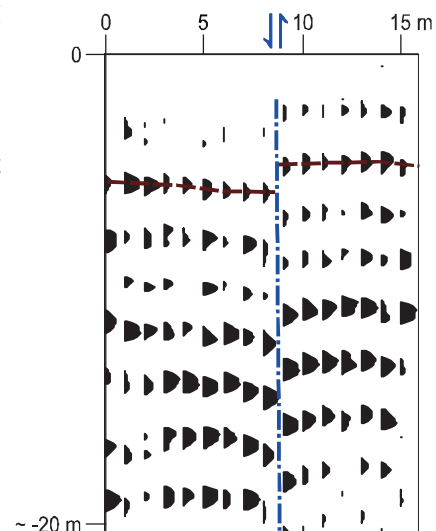
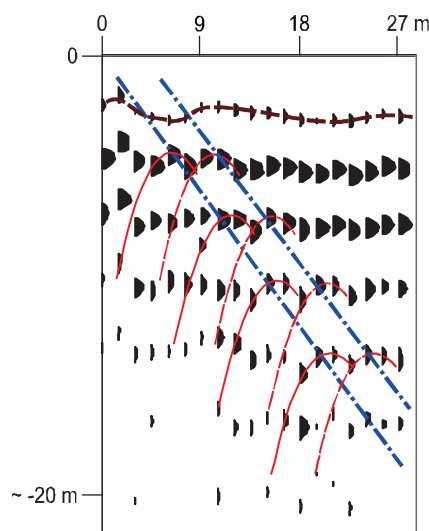
3.4 Ortung von Störungen mit dem GeoSONAR-Verfahren

Störungen, also disjunktive Dislokationen, können auf verschiedene Weisen indirekt oder auch direkt nachgewiesen werden.

Übersteigt das Einfallen einer Störung einen bestimmten Winkel, so kann diese nicht mehr direkt als reflektierende Grenzfläche ausgemacht werden, sondern nur indirekt durch Betrachtung der umliegenden geologischen Strukturen.

Ähnlich der Vorgehensweise bei der Kartierung an geologischen Aufschlüssen lässt sich die Lage einer Störung über den Versatz ehemals durchgehender Schichten bzw. Diskontinuität im Verlauf der Schichten ermitteln. (Abb.1)

Abb. 1 Beispiel eines Versatzes



Bei stärkeren Impedanzkontrasten in den Schichten treten entlang der Störung vermehrt Diffraktionshyperbeln auf, die den Verlauf klar kennzeichnen. Im Idealfall kann hierüber sogar die Mächtigkeit der Störungszone ermittelt werden. (Abb.2)

Abb. 2 Diffraktionen entlang einer Störung

GeoPHYSIKALISCHE MESSUNGEN

Da bei der Messung Impulsgeber und Empfänger nicht exakt an der selben Stelle stehen, sondern dicht nebeneinander, gibt es zudem den Fall, dass sich der Impulsgeber auf der einen, der Empfänger auf der anderen Seite der Störung befindet. Hierbei ist der Einfallswinkel des Impulses auf die Störungsfläche so steil, dass der Impuls vollständig reflektiert wird. Es werden dann lediglich Luftschall und Oberflächenwelle detektiert. (Abb.3)

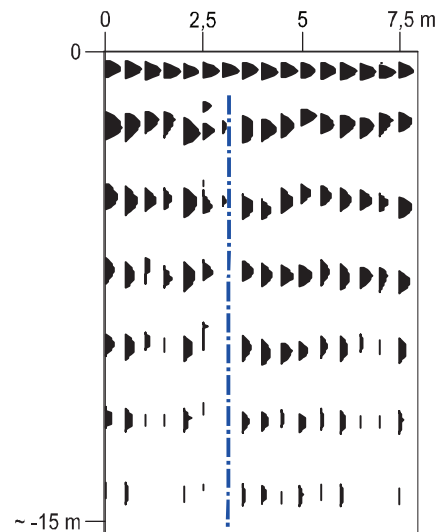


Abb. 3 Ausbleibende Reflexion

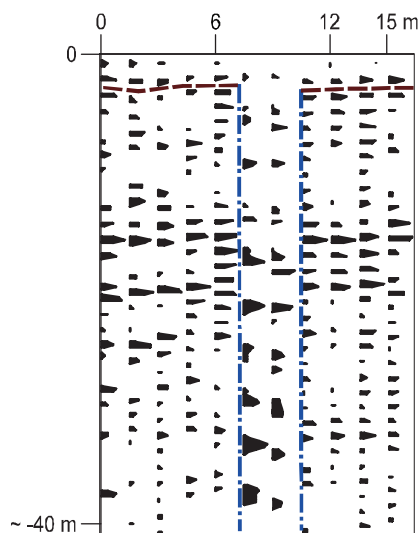


Abb. 4 Beispiel einer breiten Störung

Bei besonders mächtigen Störungszonen ist auch wieder ein direkter Nachweis möglich, wenn mindestens ein Messpunkt innerhalb der Störungszone liegt und somit ein direktes Abbild liefert, bei dem sich die Messkurve von den umliegenden Punkten unterscheidet. (Abb.4)

4.0 Durchführung und Ergebnisse

4.1 Lage des Untersuchungsgebietes

Der Standort der WEA-Anlage befindet sich östlich der Ortschaft Wülfte und westlich des Ortes Alme (*Abb.5*).

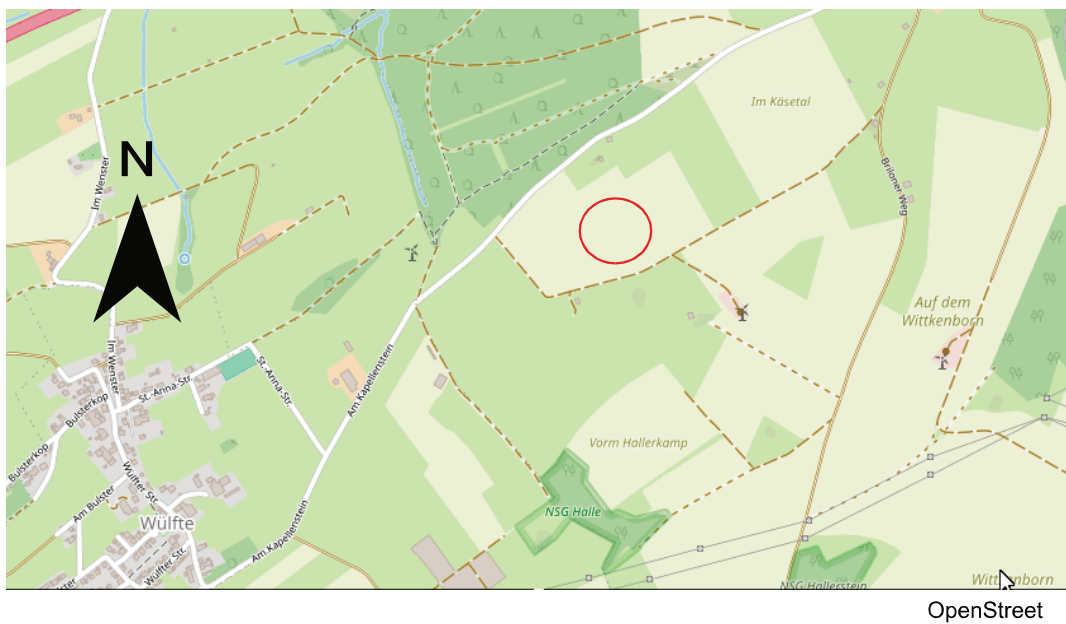


Abb. 5 Lage des Untersuchungsgebietes

Den Untergrund bilden Massenkalk des Devon.

4.2 Festlegung der Messstrecken

Bei der Festlegung der Messstrecken sind folgende Kriterien berücksichtigt worden:

1. Der gesamte Verlauf einer Messstrecke sollte überwiegend auf dem gleichen Untergrund erfolgen, da in Bereichen mit Wechseln in der Oberflächenbeschaffenheit nur bedingt Aussagen gemacht werden können. Auf einen homogenen oberflächennahen Untergrund wurde ebenfalls geachtet.
2. Die Lage der Profile wurde so gewählt, dass die in dieser Gegend des nördlichen Sauerlandes vorherrschenden Nordnordwest zu Südsüdost streichenden tektonischen Störungen, an denen bevorzugt Erosionsvorgänge stattfanden, gequert wurden (Ost-Westprofil) und zum anderen daraus resultierende Inhomogenitätsbereiche mit einem Nord-Südprofil verifiziert werden konnten, um eine möglichst präzise Aussage aus diesen Messungen zu erhalten.

Zu Beginn wurden mit beiden Impulsgebern Testdurchläufe gemacht.

Die Ankoppelung des Geophons fand über einen Erdspieß aus Messing statt.

4.3 Durchführung der Messungen

Durch die Testdurchläufe fiel die Wahl des Impulsgebers auf den GS-eH P05 (*siehe Seite 11*), da sich der Untergrund als kompakt gelagert und noch durchgefroren erwies.

Die Messprofile wurden mit einem Messpunktabstand von 1,50m aufgenommen. Die Laufzeit betrug 120ms.

Im Folgenden sind die Messstrecke und die gefundenen Unregelmäßigkeiten näher beschrieben.

4.4 Auswertung der GeoSONAR-Messungen

Zur Auswertung der einzelnen Messaufnahmen wurden diese einem Datenprozessing unterzogen.

Dieses beinhaltet u.a. Bereinigung von Luftschall und Oberflächenwelle, Herausrechnen systematischer Fehler und Entfernen von Multiplen die durch Mehrfachreflexionen in den Sedimenten entstanden sein können.

Eine Angleichung der zur Tiefe hin schwächer werdenden Signale wurde soweit wie möglich durchgeführt.

Für die Tiefenlage der einzelnen Diffraktionshyperbeln ergeben sich durch Diffusion des Messimpulses und Digitalisierung des Messsignals Ungenauigkeiten im Mittel von $\pm 0,75$ m.

Die daraus resultierenden maximal erreichten Tiefen (Tiefenreichweite) auf den einzelnen Messstrecken, sind daher nur gemittelte Werte und können im angegebenen Rahmen der Messungenauigkeit schwanken.

Es sei auch darauf hingewiesen, dass der Teufenverlauf in den Reflexiogrammen nicht linear ist.

GeoPHYSIKALISCHE MESSUNGEN

Messstrecke Nord/Süd

Die Laufzeit betrug 120ms, der Messpunktabstand lag bei 1,50m. Die Messstrecke verlief über den ausgepflögten Mittelpunkt des Fundamentes. Es wurde eine Teufe von 23m erreicht.

Zu Beginn des Reflexiogrammes von Messmeter 0 bis 10,00 ist der Bereich einer Störung zu erkennen, an der nördlichen Bereich eine tiefer gehende Verkarstung zu sehen ist..

Das Reflexiogramm läßt insbesondere zwischen Messmeter 19,00 und 27,00 eine ausgeprägte muldenförmige Einsenkung der Deckschichten an einer durchstreichenden, saigerstehenden Tektonik erkennen, die in einer Teufe von ca.7m Diffraktionen aufweist.

GeoPHYSIKALISCHE MESSUNGEN

Messstrecke Ost/West

Die Laufzeit betrug 120ms, der Messpunktabstand lag bei 1,50m. Die Messstrecke verlief über den ausgepfligten Mittelpunkt des Fundamentes. Die erreichte teufe bei der Messung lag bei 23m.

Eine erste tektonische Struktur wurde am Anfang der Messung gequert.

Ab Messmeter 17 ist ein tiefgründig verkarsteter Untergrund zu erkennen.

Unterhalb Messmeter 28,50 ist bis in größere Teufen mit einem stark inhomogenen Untergrund zu rechnen.

GeoPHYSIKALISCHE MESSUNGEN

4.5 Messergebnis und Zusammenfassung

Die feinseismischen Messungen nach dem Stübs GeoSONAR®-Verfahren lassen auf diesem Standort einen inhomogenen Untergrund erkennen, der von Bruch- (Tektonik-) strukturen gequert wird.

Laut geologischer Karte befinden sich in der Nähe des geplanten Standortes Dolinen, wobei die nächste ca. 100m südlich des untersuchten Bereiches liegt.

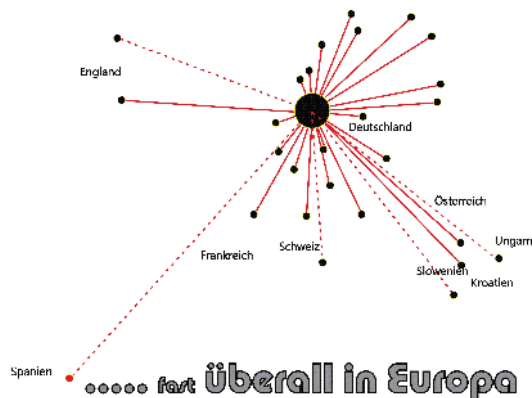
Es ist auch nicht ganz auszuschließen, das unter der westlichen Hälfte des geplanten Fundamentes, sowie im nördlichen Bereich des geplanten Fundamentes durch tiefgehende Verwitterung mit zum Teil offenen Partien gerechnet werden kann.

Hemer, den 25.02.2025

Klaus - D. Stübs

Stübs & Stübs GeoPHYSIKALISCHE MESSUNGEN- 58675 Hemer © 2008

GeoSONAR....



GeoPHYSIKALISCHE MESSUNGEN

5.0 Anlagen

- Literatur
- Lageplan
- Reflexiogramme WEA Wülfte

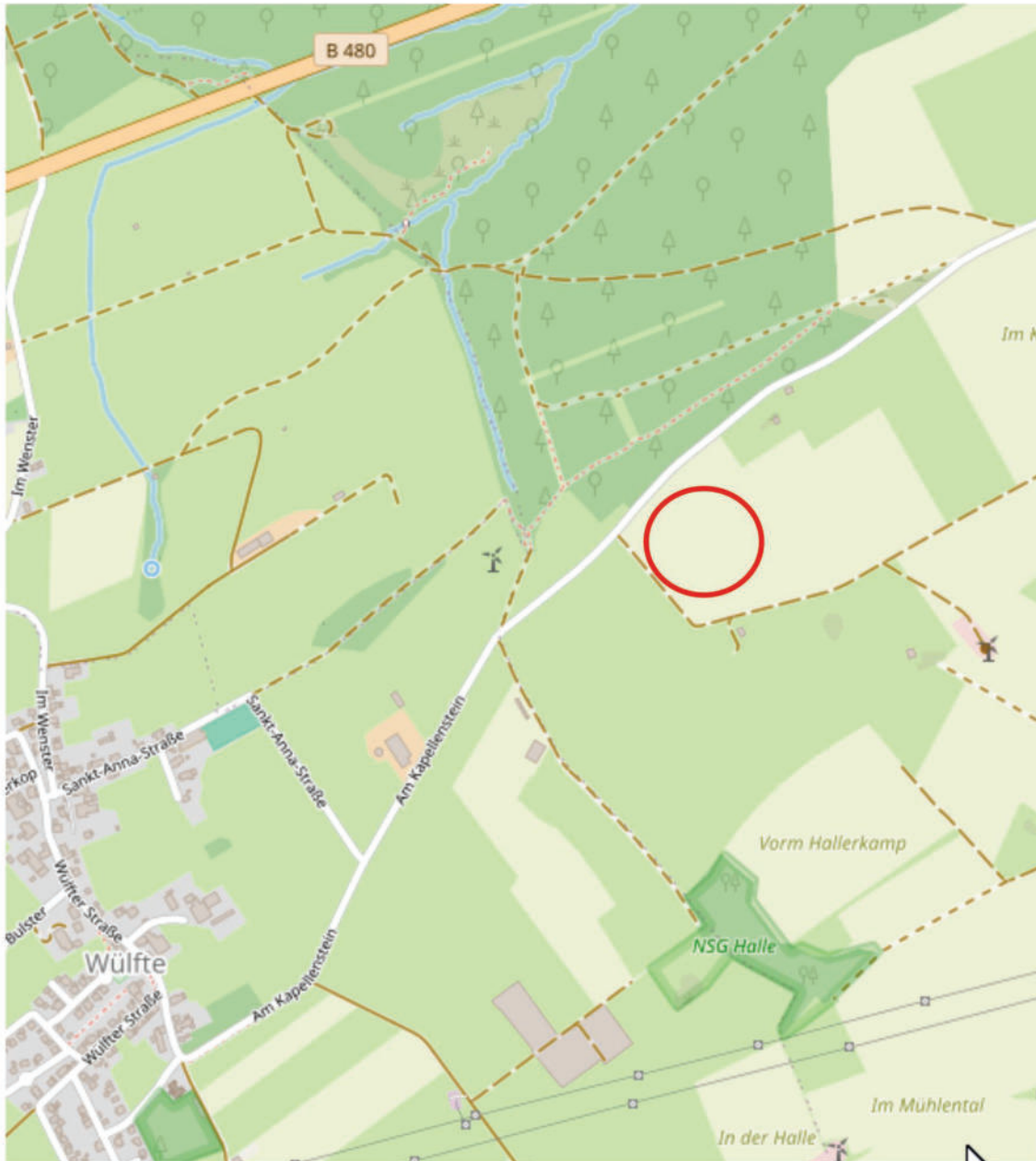
GeoPHYSIKALISCHE MESSUNGEN

Literatur

- Militzer, H.; et all.:** Angewandte Geophysik im Ingenieur- und Bergbau; Enke Verlag Stuttgart 1986
- Meissner, R.; Stegena L.:** Praxis der seismischen Feldmessung und Auswertung, Heft 1; Gebr. Bornträger, Berlin - Stuttgart 1977
- Gurwitsch, I. I.:** Seismische Erkundung; Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig, Leipzig 1970
- Stübs, K.-D.:** Über den Einsatz des GeoSONAR-Verfahrens zur Untersuchung von Ganglagerstätten; Vortrag **GDMB Hauptversammlung 1983, Warstein**
- Stübs, K.-D.:** Altbergbauerkundung mit dem GeoSONAR-Verfahren; **4. Altbergbau Kolloquium, Leoben/Österreich 2004**
- B.Sc.-Arbeit Marten Stübs** Georadarmessungen zur Erkundung von Störkörpern im Untergrund; **Bochum 2008**
- Stübs, K.-D.; Stübs, M.:** Zu den physikalischen Randbedingungen verschiedener geophysikalischer Verfahren und ihrer Einsatzmöglichkeiten in der Praxis zur Erkundung von Altbergbaustrukturen; **10. Altbergbau-Kolloquium, Freiberg 2010**
- Prof. Dr. Jörg Renner** Stellungnahme zum GeoSONAR-Verfahren; Ruhruniversität Bochum; 2016
- Bjarne Rafaelsen** Seismic resolution (and frequency filtering); University of Tromsø

GeoPHYSIKALISCHE MESSUNGEN

WEA Wülfte



OpenStreet Map

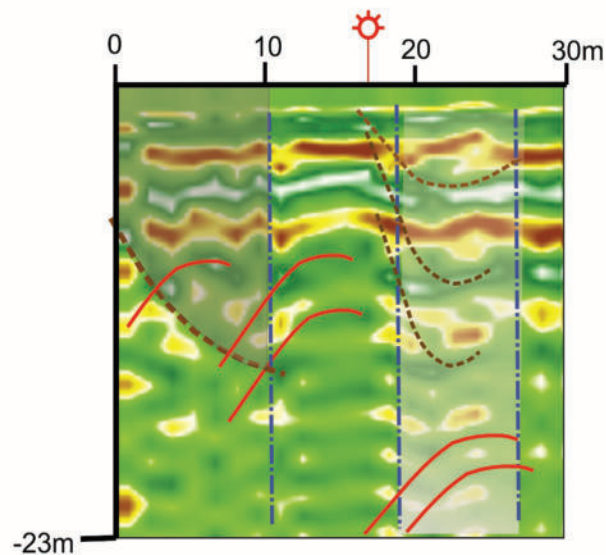
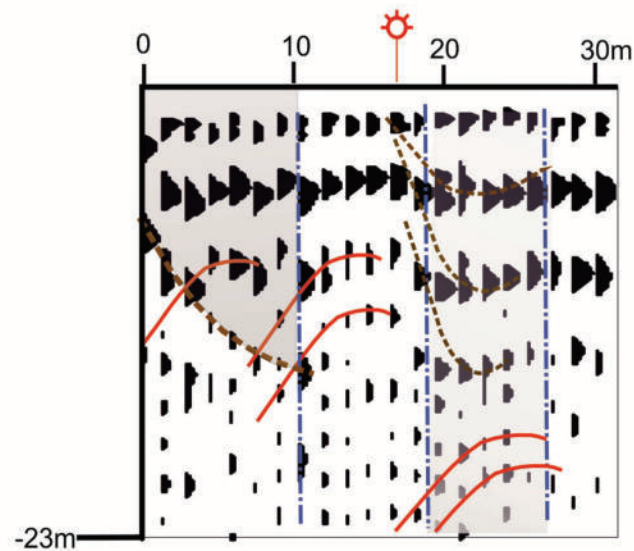
Lage des Untersuchungsgebietes

GeoPHYSIKALISCHE MESSUNGEN

WEA Wülfte

N

S



Laufzeit: 120ms
Messpunktabstand: 1,50m
horiz. Maßstab 1:500
Tiefenmaßstab 1:400

I



Strukturgrenzen



Diffraktion



Setzungsstrukturen



Schlottenbereich



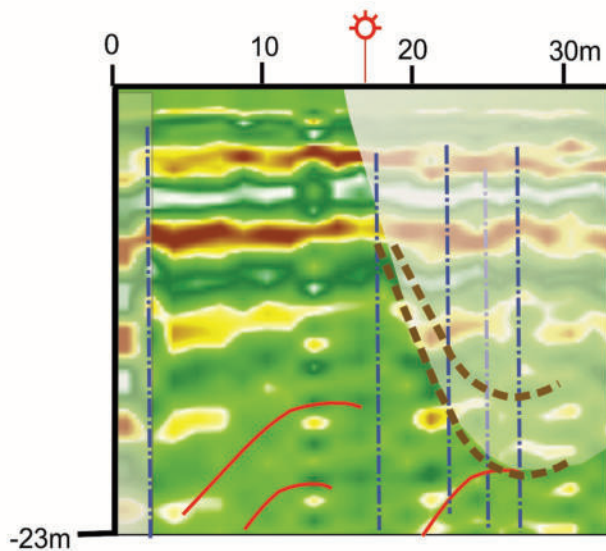
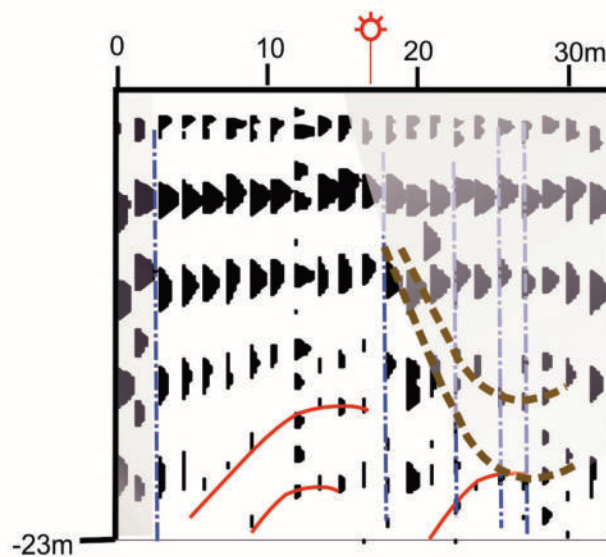
Mittelpunkt des Fundamentes

GeoPHYSIKALISCHE MESSUNGEN

WEA Wülfte

E

W



Laufzeit: 120ms
Messpunktabstand: 1,50m
horiz. Maßstab 1:500
Tiefenmaßstab 1:400



Strukturgrenzen



Diffraktion



Setzungsstrukturen



Mittelpunkt des Fundamentes

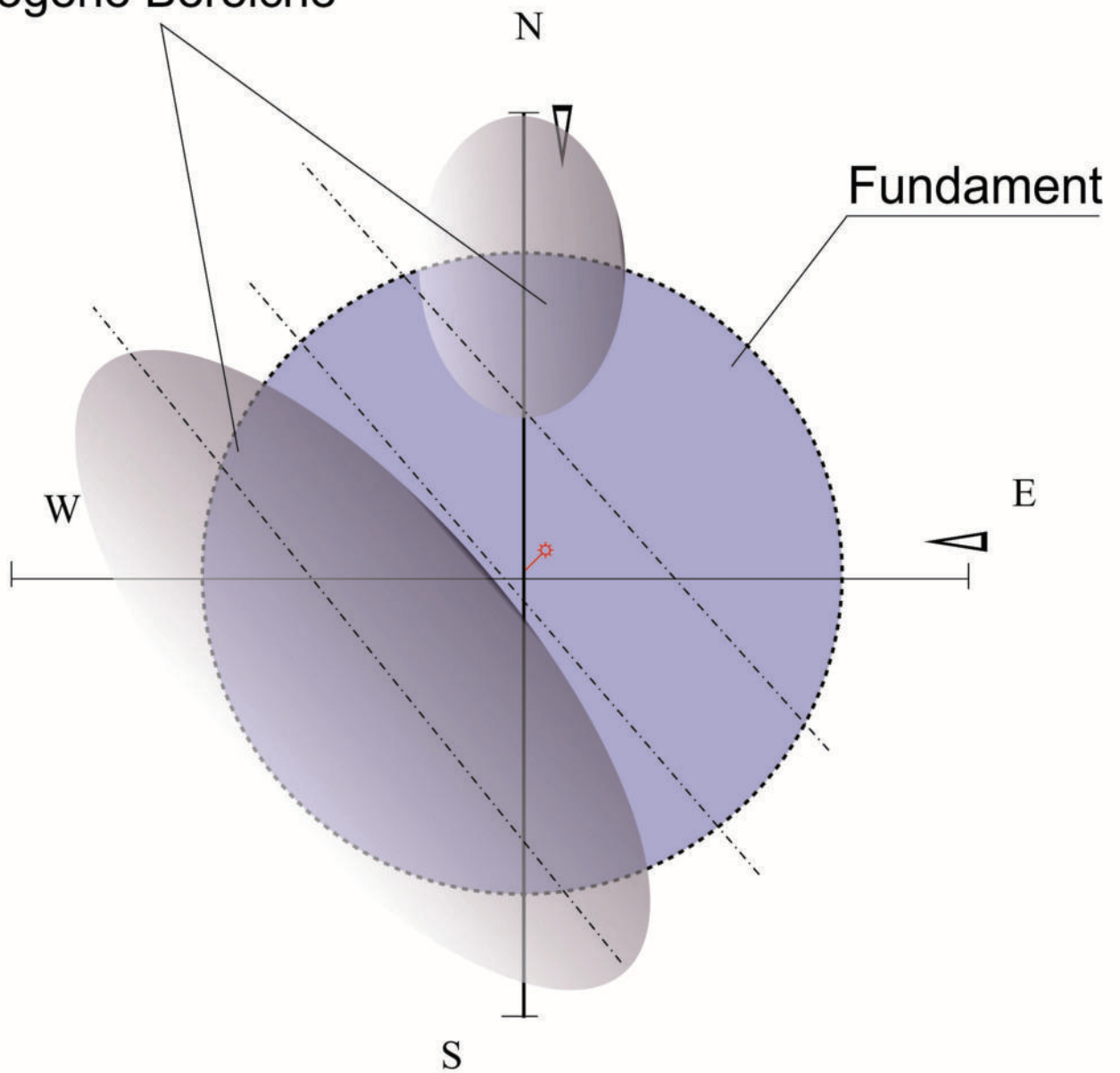


Schlottenbereich

GeoPHYSIKALISCHE MESSUNGEN

WEA Wülfte

inhomogene Bereiche



1:250