

# **Geotechnisches Büro Dr. Koppelberg & Gerdes GmbH**

Fritz - Peters - Straße 22  
**D - 47447 Moers**

Tel.: 02841/ 967 33 – 3  
Fax.: 02841/ 967 33 – 5  
eMail: post@baugrund-moers.de

Dr. Koppelberg & Gerdes GmbH Fritz-Peters-Str. 22 47447 Moers

Weidbusch GmbH & Co. KG

Kunibertstraße 9

59457 Werl

- Erd- und Grundbau
- Ingenieurgeologie
- Hydrogeologie
- Baugrunduntersuchung
- Erdbaulabor

Moers, 08.08.2024

Unser Zeichen: LK - Ge

## **Baugrundgutachten**

**Projekt:** Neubau von 5 WEA  
Typ Nordex N163 6.X MW NH 164 m  
Windpark Lattenberg  
59823 Arnsberg

### **INHALT:**

**Auftraggeber:** Ruhrtal NaturEnergie GmbH & Co. KG  
Kunibertstraße 9  
59457 Werl

**Gutachten:** 24026-01

**Bearbeiter:** MSc.-Geosc. L. Kanter / Dipl.-Geol. Ch. Gerdes

**INHALT:**

1	Projekt .....	4
2	Untersuchungsumfang .....	4
3	Baugrund .....	5
3.1	Geologischer Überblick .....	5
3.2	Erbohrte Schichtenfolge .....	5
3.2.1	Oberboden (Schichten Nr. 1.1...1.2) .....	5
3.2.2	Verwitterungsschichten (Schichten Nr. 2.1...2.3) .....	5
3.2.3	Fels, verwittert (Schicht Nr. 3) .....	6
4	Wasserverhältnisse .....	7
4.1	Wasserstände .....	7
4.2	Durchlässigkeiten .....	7
4.3	Bodenanalysen nach DIN 4030/EN 206 .....	7
5	Erdbebenzone .....	7
6	Bodenklassen, Bodengruppen, Frostempfindlichkeit .....	8
7	Bodenmechanische Kennwerte .....	8
8	Gründungsvorschläge .....	9
8.1	Allgemeines .....	9
8.2	Gründungsvorschläge .....	10
9	Hinweise zur Bauausführung .....	11
10	Trockenhaltung der Fundamente .....	13
11	Nachweis der geforderten Bodenkennwerte .....	14
11.1	Drehfedersteifigkeit .....	14
11.2	Zulässige Sohlnormalspannung .....	14
11.3	Grundwasserhöchststand .....	15
11.4	Berechnung der setzungsbedingten Schiefstellung .....	16
11.5	Bodenüberdeckung .....	16
12	Elektrotechnische Erdung .....	16
13	Hinweise zum Wege- und Kranstellflächenbau .....	17
13.1	Allgemeines .....	17
13.2	Oberbau unter Beachtung der RStO-12 .....	17
13.3	Wassereinfluss .....	18
13.4	Tragfähigkeit der Kranstellflächen (Grundbruchsicherheit) .....	18
14	Hinweise für das weitere Vorgehen .....	20

**ANLAGEN:****Dokumentation:**

- Anlage 0.1: Schichtenverzeichnis  
Anlage 0.2: Ergebnisse der Wassergehaltsbestimmung nach DIN 18.121  
Anlage 0.3: Ergebnisse der Bodenanalysen nach DIN 4030/EN206

**Berechnungen:**

- Anlage 1.1: Berechnung der Drehfedersteifigkeiten  
Anlage 1.2: Grundbruch- und Setzungsberechnung, WEA  
Anlage 1.3: Grundbruch- und Setzungsberechnung, Kran

**Lagepläne:**

- Anlage 2: Übersichtsplan mit Anlagenstandorten, ohne Maßstab  
Lageplan mit Anlagenstandorten, Maßstab 1:2000  
Säulenprofile der Bohrungen für die Kranstellflächen

**Darstellung der Bohr- und Sondierergebnisse:**

- Anlage 3.1...3.5: Fundamentaufsicht mit Bohr- und Sondierpunkten  
Schemaschnitt durch das Fundament, ohne Maßstab  
Interpolierte Schichtenprofile, Maßstab 1:-/100  
Ergebnisse der Drucksondierungen

# 1 Projekt

Die Ruhrtal NaturEnergie GmbH & Co. KG plant im Arnsberger Wald nördlich bzw. nordöstlich von Oventrop und westlich von Lattenberg den Neubau von fünf Windenergieanlagen der Firma Nordex.

Die Fundamentmittelpunkte weisen folgende Koordinaten auf:

Anlagen-standort	Anlagentyp	Ostwert UTM ETRS 89	Nordwert UTM ETRS 89	Geländeoberkante am Fundamentmittelpunkt (MP) [mNHN]
WEA 1	N163/6.X TCS164B-03	32 441 015,8	56 96 332,2	406,2
WEA 2	N163/6.X TCS164B-03	32 441 655,0	56 96 214,0	395,2
WEA 3	N163/6.X TCS164B-03	32 442 122,6	56 96 006,6	395,6
WEA 4	N163/6.X TCS164B-03	32 442 338,7	56 95 597,7	406,6
WEA 5	N163/6.X TCS164B-03	32 442 747,0	56 95 480,0	420,4

Tab.: 1.1

# 2 Untersuchungsumfang

Für die Baugrunduntersuchungen der Standorte WEA 1...5 wurden am 27. und 28.02.2024 folgende Prüfungen durchgeführt:

Anzahl je WEA	Art der Untersuchung
3	Kleinrammbohrungen, $\varnothing$ 80/36 mm im Fundamentbereich, mit einer Tiefe von max. 4 m unter Geländeoberkante, bis zur Auslastungsgrenze des schweren Rammgerätes
2	Kleinrammbohrungen, $\varnothing$ 80/36 mm im Bereich der Kranstellfläche, mit einer Tiefe von max. 3 m unter Geländeoberkante, bis zur Auslastungsgrenze des schweren Rammgerätes
1	Nivellement der Bohrpunkte im Fundamentbereich mit Bezug auf die Geländeoberkante im Bereich des Fundamentmittelpunktes (MP = $\pm 0,00$ m)
1	Messung des spezifischen elektrischen Erdwiderstands nach VDE 0413
1	Auswertung der geologischen Karte Maßstab 1:200.000, Blatt CC 4710 Münster
1	Entnahme und Analyse einer Bodenprobe nach DIN 4030/EN 206 auf Betonaggressivität
1	Entnahme je einer Bodenprobe zur Bestimmung des Wassergehaltes nach DIN 18.121

Tab. 2.1

Die WEA-Standorte sind in der Anlage 2 verzeichnet. Die Lage der Bohrpunkte im Bereich der Fundamentstandorte sind den Fundamentskizzen (Anl. 3.1...3.5) zu entnehmen. Die Ergebnisse der Bohrungen liegen als Schichtenverzeichnis bei und sind als interpolierte Schichtenprofile zeichnerisch dargestellt.



## 3 Baugrund

### 3.1 Geologischer Überblick

Im Bereich der geplanten Windenergieanlage besteht der Untergrund nach der geologischen Übersichtskarte, Blatt CC 4710 Münster, aus Gesteinsbildungen des Oberkarbon, der sog. Arnsberger Schichten. Die Gesteine werden in den geologischen Karten als geschieferte Ton- und Schluffsteine mit Einschaltungen von z.T. quarzitischem bzw. konglomeratischem Sandstein und Grauwacke beschrieben. Durch Verwitterung hat sich an der Gesteinsoberfläche Gesteinsschutt und steiniger Verwitterungslehm gebildet. An der Geländeoberfläche hat sich darüber durch Bodenbildungsprozesse ein Oberbodenhorizont (Mutterboden) entwickelt.

### 3.2 Erbohrte Schichtenfolge

Dementsprechend wurde in den Bohrungen für die WEA-Fundamente der folgende generelle Schichtenaufbau festgestellt:

- Oberboden
- Verwitterungsschichten
- Fels, verwittert

Die erbohrten Bodenschichten sind durchnummeriert. Hierauf wird im Folgenden Bezug genommen. Die Legende in den Anlagen 3.1...3.5 enthält zudem eine Kurzbeschreibung der einzelnen Bodenschichten.

#### 3.2.1 Oberboden (Schichten Nr. 1.1...1.2)

Das Schichtenprofil beginnt in den Bohrungen mit **Mutterboden** (Schicht Nr. 1.1) in Stärken von ca. 0,1 m...0,2 m.

Der Mutterboden geht in **schwach steinigen bis steinigen Verwitterungslehm und -ton mit humosen Spuren** (Schicht Nr. 1.2) über. Die Unterkante liegt bei 0,3...0,5 m unter Geländeoberkante.

#### 3.2.2 Verwitterungsschichten (Schichten Nr. 2.1...2.3)

Unterhalb des Bodenbildungshorizonts wurde in den Bohrungen an den Anlagenstandorten WEA 1...WEA 4 steifer bis halbfester, **schwach steiniger bis steiniger Verwitterungslehm** (Schicht Nr. 2.1) angetroffen. Am Anlagenstandort WEA 5 wird diese Schicht durch **schwach steinig ausgeprägten Verwitterungston** (Schicht Nr. 2.2) mit steifer Konsistenz vertreten. Am Anlagenstandort WEA 3 wurde ebenfalls eine Linse aus Verwitterungston erbohrt.

Die Untergrenze des Verwitterungslehms/-tons wurde an den Fundamentstandorten in folgenden Tiefen festgestellt (zwischen den Bohr- und Sondierpunkten kann es naturgemäß zu Höhenabweichungen kommen):

Anlagenstandort	UK Verwitterungslehm/-ton [m u. GOK]	UK Verwitterungslehm/-ton [m MP]
WEA 1	0,6...1,9	0,3...-2,1
WEA 2	0,7...0,8	-0,2...-1,8
WEA 3	0,9...2,2	-0,6...-3,0
WEA 4	0,6...0,9	0,6...-1,6
WEA 5	0,8...0,9	-0,5...-1,0

Tab. 3.1

Im Übergangsbereich zum Fels (s.u.) folgt in allen Bohrungen **lehmiger, lagenweise stark oder schwach lehmiger Gesteinsschutt** (Schicht Nr. 2.3) mit dichter Lagerung. In den stark lehmigen Partien hat der Gesteinsschutt eine steif bis halbfeste Konsistenz. Die Untergrenze der Verwitterungsschichten wurde in folgenden Tiefen angetroffen:

Anlagenstandort	UK_Gesteinsschutt, lehmig [m u. GOK]	UK_Gesteinsschutt, lehmig [m MP]
WEA 1	1,0...2,0	-0,1...-3,2
WEA 2	1,4...2,0	-0,9...-3,0
WEA 3	1,6...3,0	-0,1...-4,5
WEA 4	1,3...1,8	-1,6...-2,3
WEA 5	1,6...1,8	-1,4...-2,0

Tab.: 3.1

Aus den tiefen Bohrungen im Fundamentbereich wurde je eine Bodenprobe entnommen und im Labor der natürliche Wassergehalt nach DIN 18.121 mit ca. 9,9...25,6 % bestimmt (s. Anlage 0.2...0.4). Nach ergiebigen Niederschlägen ist mit einem deutlichen Anstieg des natürlichen Wassergehalts und einer Abnahme der Konsistenz zu rechnen.

### 3.2.3 Fels, verwittert (Schicht Nr. 3)

Der tiefe Untergrund besteht in allen Bohrungen aus Ton-, Schluff-, und Sandstein (Schicht Nr. 3). In der Bohrung B 2.3 wurde unter dem Gesteinsschutt noch eine Lage aus tonigem Schluff mit Ton- und Sandsteinlagen erbohrt. Derartige tiefreichende Verwitterungen können im gesamten Untersuchungsgebiet angetroffen werden. Das erbohrte Material weist lagenweise eine starke Verwitterung auf. Unter harten Gesteinsbänken sind erfahrungsgemäß vor allem im höheren Niveau lokal mürbe Gesteinslagen vorhanden. Es handelt sich um die Gesteinsbildungen des Oberkarbon. Diese reichen bis weit unter die Einflusstiefe der Fundamente hinab.

## 4 Wasserverhältnisse

### 4.1 Wasserstände

In den Bohrungen zur Baugrunderkundung wurde kein Grund- oder Kluftwasser angetroffen. In den Verwitterungsschichten und dem Fels ist aber vor allem nach ergiebigen Niederschlägen zeitweilig mit einem lokalen Schichtenwasseranfall zu rechnen.

### 4.2 Durchlässigkeiten

Die bindigen Deckschichten (Verwitterungslehm und stärker verlehmteter Gesteinsschutt) sind z.T. wasserstauend und bilden für die vertikale Sickerpassage von Wasser eine Sperrschicht. Die Wasserwegsamkeiten beschränken sich vor allem auf stärker geklüftete Gesteinsbänke im tieferen Untergrund unterhalb der geplanten Gründungsebenen.

### 4.3 Bodenanalysen nach DIN 4030/EN 206

Aus den tiefen Bohrungen wurde jeweils eine Bodenprobe entnommen und im chemischen Labor auf betonangreifende Inhaltsstoffe nach DIN 4030/EN 206 untersucht. Die maßgeblichen Werte zur Einstufung der Bodenproben sind der Sulfatgehalt und der Säuregrad nach Baumann-Gully. Die Obergrenze von nicht betonangreifendem Boden liegt bei einem Sulfatgehalt von < 2000 mg/kg und einem Säuregrad von < 200 ml/kg.

Die Ergebnisse der chemischen Analyse liegen als Laborbericht des SGS Institutes Fresenius (Anlage 0.5) bei. Demnach ist der analysierte Boden wie folgt einzustufen:

WEA/Bohrung	Entnahmetiefe [m]	Betonangriff [nach DIN 4030/EN206]	Expositionsklasse [nach Zement-Merkblatt Beton- technik B 9/1.2010]
WEA 1/B 1.1	0,4...2,0	schwach betonangreifend	XA 1
WEA 2/B 2.1	0,4...2,0	schwach betonangreifend	XA 1
WEA 3/B 3.1	0,4...2,0	schwach betonangreifend	XA 1
WEA 4/ B 4.1	0,5...2,0	schwach betonangreifend	XA 1
WEA 5/B 5.1	0,4...2,0	schwach betonangreifend	XA 1

Tab. 4.1

## 5 Erdbebenzone

Gemäß DIN EN 1998-01: 2010-12 „Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten“ und des nationalen Anhangs DIN EN 1998-01/NA: 2011-01 sowie der ergänzenden Karte des Geologischen Dienstes NRW liegt das Gelände **außerhalb einer Erdbebenzone**.

## 6 Bodenklassen, Bodengruppen, Frostempfindlichkeit

Bodenart	Schicht/ Homogen- bereich Nr.	Bodenklasse DIN 18.300	Bodengruppe DIN 18.196	Frostempfindlich- keitsklasse ZTVE-StB 09
Mutterboden	1.1	1	OU	F3
Verwitterungslehm und -ton, schwach steinig bis steinig, mit humosen Spuren	1.2	4	UL	F3
Verwitterungslehm, schwach steinig bis steinig, steif bis halbfest	2.1	4	UL/UM	F3
Verwitterungston, schwach steinig, steif	2.2	4	TL/TM	F3
Gesteinsschutt, lehmig, dicht	2.3	3	GI	F2
Fels (Ton-, Schluff- und Sandstein, stark verwittert, übergehend in schwach verwittert)	3	6	–	–

Tab.: 6.1

## 7 Bodenmechanische Kennwerte

Bodenart	Schicht Nr.	Reibungs- winkel	Kohäsion	stat. Steife- modul	dyn. Steife- modul	Wichte	Quer- dehnungs- zahl
		$\varphi'_k$	$c'_k$	$E_{s \text{ stat.}, k}$	$E_{s \text{ dyn.}, k}$	$\gamma$	$\nu$
		[°]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[MN/m <sup>2</sup> ]	[MN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]
Verwitterungslehm, schwach steinig bis steinig, steif bis halbfest	2.1	27,5	12,5...15	12,5...20	100	19	0,42... 0,44
Verwitterungston, schwach steinig, steif	2.2	27,5	15...20	10...15	100	19	0,42... 0,44
Gesteinsschutt, lehmig, dicht	2.3	32,5...37,5	2,5...5	50...120	150... 250	20	0,33... 0,35
Fels (Ton-, Schluff- und Sandstein, stark ver- wittert, übergehend in schwach verwittert)	3	37,5...40	0...10	$\geq 100$	300... 500	22	0,30... 0,33
Schottertragschicht (ge- forderte Mindestwerte)	0.1	37,5	0	100	300	20	0,30

Tab.: 7.1

Bei den o.a. Bodenkennwerten handelt es sich nach den örtlichen Kenntnissen um konservativ angesetzte Rechenwerte. Der Verwitterungslehm und -ton (Schichten Nr. 2.1 und 2.2) weisen nur bei statischer Belastung eine normale, der schwach lehmige Gesteinsschutt (Schicht Nr. 2.3) und der verwitterte Fels (Schicht Nr. 3) dagegen eine gute Scherfestigkeit und Tragfähigkeit auf. Die bodenmechanischen Kennwerte im Gestein sind aufgrund des Trennflächensystems richtungsabhängig.

Die bindige Deckschicht (Schicht Nr. 2.1 und 2.2) nimmt leicht eine weiche bis breiige Konsistenz an, wenn sie dynamisch beansprucht wird.

## 8 Gründungsvorschläge

### 8.1 Allgemeines

Es ist der Neubau von fünf Windenergieanlagen der Fa. Nordex vom Typ N163/6.X TCS164B-03 geplant. Aufgrund der ermittelten Boden- und Wasserverhältnisse wird im vorliegenden Fall die Gründung auf einem Standardfundament „Flachgründung mit Auftrieb“ notwendig, wenn die Standardgründungstiefe eingehalten werden muss und keine Möglichkeit einer Dränierung besteht.

Nach den vorliegenden Unterlagen weist das Standardfundament **mit zulässigem Auftrieb** folgende Abmessungen und Anforderungen an den Baugrund auf:

<b>Anlagenstandort</b>		WEA 1...5
<b>Anlagenhersteller</b>		Nordex
<b>Typenbezeichnung</b>		N163/6.X TCS164B-03
<b>Fundamenttyp</b>		Kreisfundament mit Auftrieb für Hybridturm
<b>Datengrundlagen</b>		Max Bögl 03.08.2021: Schalplan DE N23 005 XX X; TÜV Süd 16.12.2022: Prüfvermerk 3451400-130-d-7 Rev.1
<b>Fundamentdaten</b>	<b>Einheit</b>	<b>Wert</b>
Bezugshöhe: GOK am Fundamentmittelpunkt, MP	m	±0,00
Außendurchmesser	m	25,50
Sockeldurchmesser	m	10,90
Außendurchmesser Weichschicht	m	14,90
Fundamenthöhe	m	2,80
OK-Erdanschüttung über Fundament	m	1,808
Unterkante Fundament	m	-0,892
Unterkante Sauberkeitsschicht	m	-0,992
erforderliche dyn. Drehfedersteifigkeit $k_{\varphi \text{dyn.}}$	MNm/rad	300.000
erforderliche stat. Drehfedersteifigkeit $k_{\varphi \text{stat.}}$	MNm/rad	60.000
Sohldruck $\sigma_{Rk}$	kN/m <sup>2</sup>	256,9
Moment in der Gründungssohle $M_k \text{ max.}$	kNm	218.891
Vertikallast $V_k \text{ max.}$	kN	47.534 (37.582+9.952)
Wichte der Erdüberschüttung $\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	18
Grundwasserhöchststand	m	±0,00
zul. Schiefstellung $\Delta s$	mm/m	3

Tab. 8.1

Unter Berücksichtigung der o.g. Werte ergeben sich die im folgenden Kapitel beschriebenen Gründungsempfehlungen. Diese sind als Mindestanforderungen für eine möglichst wirtschaftliche und ausreichend sichere Bauweise zu verstehen. Bei der Baugrubenabnahme können sich im ungünstigsten Fall Zusatzmaßnahmen, wie z.B. lokale Verstärkungen des Bodenaustausches, ergeben. Diese Maßnahmen können dann auf das absolut notwendige Maß begrenzt werden.

## 8.2 Gründungsvorschläge

Der Verwitterungslehm und -ton und stärker lehmiger Gesteinsschutt ist störungsempfindlich und sollte daher unter den Fundamenten entfernt werden.

Im ungestörten Zustand hat dicht gelagerter, schwach lehmiger Gesteinsschutt für die Gründung der Anlagen eine ausreichend gute Tragfähigkeit. Der schwach lehmige Gesteinsschutt (Schicht Nr. 2.3) reicht an den Standorten WEA 1 und WEA 2 nach den Bohrergebnissen nur wenige Dezimeter und bei WEA 3 (B 3.2) bis max. ca. 1,5 m bzw. bei WEA 4 (B 4.2) bis max. ca. 1,6...1,7 m unter die Sauberkeitsschicht. Ergibt die Baugrubenabnahme durch den Baugrundgutachter eine ausreichend gute Tragfähigkeit des Gesteinsschutts, kann der untere Teil der Schicht Nr. 2.2 ggf. verbleiben. Dort sollte dann aber eine mindestens 0,5 m starke Schottertragschicht vorgesehen werden.

Es wird empfohlen, die Baugrube einerseits bis **mindestens  $\geq 0,15$  m** unter die Unterkante der Sauberkeitsschicht bis **in den verwitterten Fels (Schicht Nr. 3)** und andererseits im Bereich der tieferen Verwitterung zunächst nur bis mindestens 0,5 m unter die UK-Sauberkeitsschicht in den dicht gelagerten schwach lehmigen Gesteinsschutt (Schicht Nr. 2.3) auszuschachten. Danach erfolgt die Baugrubenabnahme durch den Baugrundgutachter.

Werden lokal tiefere Verlehungen festgestellt, so werden diese im Rahmen der Baugrubenabnahme zusätzlich in Form flacher Mulden ausgehoben und der Schotterbodenaustausch (s.u.) entsprechend verstärkt. Bei unerwartet hohen Lehmanteilen im Gesteinsschutt wird die Baugrube während der Baugrubenabnahme bis in den verwitterten Fels (Schicht Nr. 3) tiefer ausgeschachtet. Bei der Ausschachtung im Fels können einzelne größere Steine aus der Sohle ausbrechen.

Die Sohle wird abschließend mit einer Grabenräumschaufel mit glatter Schneide möglichst sauber abgezogen. Die Vertiefungen der Baugruben bis zum Fels sollten sicherheitshalber als Kalkulationsgrundlage dienen.

Nach den Ergebnissen der Baugrunderkundung ist wegen der Hangsituation mit der entsprechend abfallenden Schichtoberkante des verwitterten Fels mit folgenden Aushubtiefen zu rechnen:

Anlagenstandort	Mindestaushubtiefe [m ü. MP]
WEA 1	-1,15...-2,1
WEA 2	-1,15...-1,8
WEA 3	-1,15...-3,0
WEA 4	-1,5...-1,6
WEA 5	-1,4...-1,5

Tab. 8.4

Die Schottertragschicht muss zur Abtragung der seitlichen Druckausstrahlung des Fundamentes (45°) entsprechend seiner Stärke über die Fundamentaußenkanten überstehen. Das erfordert eine entsprechende Aufweitung der Grube zur Hangunterseite, so dass dort mit einem weiteren Abfall der Aushubsohle zu rechnen ist.

Unmittelbar nach der Baugrubenabnahme und evtl. lokalen Nachschachtungen wird die Tragschicht aus kornabgestuftem Gesteinsschotter (Körnung vergleichbar mit einer Schottertragschicht 0/45 mm od. 0/56 mm nach TL SoB-StB) lagenweise aufgebracht und über die gesamte Höhe auf  $\geq 98\%$  der einfachen Proctordichte verdichtet.

Vor dem Betonieren der Sauberkeitsschicht erfolgt die Verdichtungskontrolle mit statischen Plattendruckversuchen nach DIN 18.134. Dafür bitten wir um Terminabstimmung. Bei Schotterstärken von  $\geq 0,5$  m sollten Verformungsmoduli von  $E_{v2} \geq 85 \text{ MN/m}^2$  und Verhältniswerte  $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,5$  zum Nachweis der ordnungsgemäßen Verdichtung erreicht werden.

## 9 Hinweise zur Bauausführung

Beim Aushub der Baugrube ist im tieferen Teil an der Hangoberseite mit Fels der Klasse BK 6, lokal ggf. auch BK 7 zu rechnen. Die Ausschachtung erfolgt daher zweckmäßigerweise mit einem schweren Bagger mit Tieflöffelausrüstung und Reißzahnbestückung. Als Bedarfsposition sollten auch Meißelarbeiten mit ausgeschrieben werden. Ein gewisser Mehrausbruch ist nicht vollständig zu vermeiden. Die Ausschachtung erfolgt zur Hangunterseite hin durch den Verwitterungslehm hindurch bis zur Oberkante des schwach lehmigen bis lehmigen Gesteinsschutts (Schicht Nr. 2.3).

Die Baugrube kann nach DIN 4124 in geböschter Form in rein bindigen Böden mit einem Böschungswinkel von  $\beta \leq 60^\circ$  angelegt werden. Bei ungünstigen Witterungsverhältnissen

empfiehlt es sich zur Vermeidung von Auswaschungen in der Baugrubenböschung, diese mit Kunststofffolien abzuhängen. Kommt es bei der Ausschachtung zu Ausbrüchen, so sollte die Baugrubenböschung abgeflacht und durch die Auflage einer Filtervliesbahn und Schotter stabilisiert werden. Im Fels ist auf Trennflächen zu achten, die flach in die Baugrube geneigt sind. Im ungünstigsten Fall ist die Böschung entsprechend abzuflachen. Bei günstigen Einfallrichtungen der Trennflächen sind im Fels Böschungsneigungen von max. 80° möglich.

Beim Aushub ist mit Ausbrüchen aus der Sohle zu rechnen. Diese sollten möglichst gering gehalten werden. Die **Baugrubensohle** sollten über Felsrippen bis **mindestens 0,15 m** unter die Unterkante Sauberkeitsschicht ausgehoben und vor dem Aufbringen der Polsterschicht (s.u.) **durch den Baugrundgutachter abgenommen** werden. Dabei können tieferreichende Verwitterungen und evtl. zusätzliche Maßnahmen für eine ordnungsgemäße Gründung vorgeschlagen werden. Über dem dicht gelagerten Gesteinsschutt an der Hangunterseite sollte die Schottertragschicht eine Stärke von  $\geq 0,5$  m erhalten. Im Übergangsbereich zwischen Fels und Gesteinsschutt wird die Aushubsohle unter ca. 35° abgetrept.

Empfohlen wird, stärkere Auflockerungen in der Baugrubensohle zu entfernen. Dafür ist es i.d.R. zweckmäßig, die Sohle mit einer Baggerschaufel (Grabenräumschaufel) mit glatter Schneide nachzuarbeiten und verbleibende, restliche Auflockerungen mit einem schweren Flächenrüttler in 3...4 Übergängen nachzuverdichten.

Unter den Fundamenten wird ein Graben für Leerrohre ausgehoben. Gelockerte Steine werden aus dem Graben entfernt. Auf die **Grabensohle** wird eine dünne Schotterlage als **Polsterschicht** und zum Höhenausgleich eingebaut. Die **Leerrohre** sollten vollständig **mit Beton ummantelt** werden, so dass eine kraftschlüssige Verfüllung des Grabens erfolgt. Empfohlen wird, zwischen dem Beton des Rohrgrabens und der Sauberkeitsschicht des Fundaments eine  **$\geq 0,15$  m starke Schotterlage als Polsterschicht** zur gleichmäßigen Fundamentbettung vorzusehen. Zusätzlich sind hierbei die ortsspezifischen Angaben zur Leerrohr- bzw. Kabelführung des Windenergieanlagenherstellers zu beachten.

Vor dem Fundamentbau sollte die Oberfläche des Schotterpolsters abschließend durch Plattendruckversuche nach DIN 18.134 geprüft werden. Dafür bitten wir um Terminabstimmung.

Zur Hangunterseite werden die Böschungen der Fundamentabdeckung z.T. weit in das Gelände reichen. Im gesamten Bereich mit Bodenanfüllungen sollte der Oberboden zuvor abgezogen und die Aushubsohle abgetrept werden. Bei größeren Böschungshöhen und zur seitlichen Stützung der Schottertragschicht sollte hier vorzugsweise schwach lehmiger



Gesteinsschutt verwendet werden. Dieser ist mit schwerem Gerät ausreichend verdichtungsfähig und weist Reibungswinkel von  $\varphi' > 34^\circ$  auf. In diesem Fall können zur Hangunterseite Böschungsneigungen von 1:1,5 erstellt werden. Ferner sollte sichergestellt werden, dass im Niveau der Gründungssohle der Abstand zwischen der Fundamentaußenkante und der Böschungsaußenkante zur Hangunterseite mindestens 5 m beträgt.

## 10 Trockenhaltung der Fundamente

Die Einbindetiefe der Fundamente ist an der Hangseite größer als der zulässige Wasseranstau. Bei ggf. zeitweilig starkem Hangwasserandrang sollte das Wasser sicher um die Fundamente abgeleitet werden, ohne dass sich einseitig eine Auftriebswirkung einstellt.

Zur Hangoberseite sollte die dauerhafte Böschung bis dicht vor die Fundamentaußenkante angelegt werden. An dieser Böschungsunterkante wird ein flacher Abflussgraben angelegt, um Oberflächenwasser um das Fundament abzuleiten (vgl. Anlage 4).

Im unteren Teil, d.h. im Niveau der Sauberkeitsschicht wird sicherheitshalber in der Splittschüttung zusätzlich ein **Dränagerohr** eingelegt und mit leichtem Gefälle zur Hangunterseite abgeleitet. Die Ausführung sollte unter Beachtung der DIN 4095 und der beiliegenden Prinzipzeichnung (Anlage 4) ausgeführt werden. Evtl. zeitweilig an der Hangoberseite anfallendes Stau- bzw. Schichtenwasser muss sicher aus der Arbeitsraumverfüllung mit freiem Gefälle abgeleitet werden. Es handelt sich bei den örtlichen Gegebenheiten nur um zeitweilig auftretende, verhältnismäßig geringe Wassermengen, die dauerhaft rückstaufrei zur Hangunterseite abgeleitet werden müssen.

Die Auslaufstelle wird i.d.R. als Quellgrube ausgebildet und muss in Abstimmung mit dem Grundstückseigentümer rechtlich und technisch so gesichert werden, dass die anfallenden geringen Wassermengen während der gesamten Betriebszeit der Anlage auslaufen können. Dort erfolgt eine flächenhafte Versickerung über die belebte Bodenzone.

Bei der in der Anlage 4 dargestellten Form ist, abgesehen von zeitweiligen Wasseransammlungen, kaum eine Beeinträchtigung der land-/forstwirtschaftlichen Nutzung zu erwarten.

Der obere Teil des Arbeitsraumes sollte außerhalb der Kranstellfläche mit gut verdichtetem, stärker lehmhaltigem Boden angefüllt werden. Das Gelände an der Hangoberseite sollte außerdem so modelliert werden, dass Oberflächenwasser um den Fundamentbereich herum abgeleitet wird. Dadurch wird die Zusickerung von Niederschlags- und Oberflächenwasser reduziert.

## 11 Nachweis der geforderten Bodenkennwerte

Nach den vorliegenden Unterlagen werden an die Fundamentgründung der geplanten Windenergieanlage folgende Anforderungen gestellt:

Kenngröße	Einheit	WEA 1...5 N163/6.X TCS164B-03
Dyn. Drehfedersteifigkeit $k_{\varphi, \text{dyn.}}$	MNm/rad	300.000
Stat. Drehfedersteifigkeit $k_{\varphi, \text{stat.}}$	MNm/rad	60.000
Zulässige Sohlnormalspannung/Bodenpressung $\sigma$	kN/m <sup>2</sup>	256,9
Grundwasserhöchststand (Fundament ohne Auftrieb)	m	±0,00
setzungsbedingte Schiefstellung des Fundaments	mm/m	3
Bodenüberdeckung $\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	18

Tab. 11.1

### 11.1 Drehfedersteifigkeit

Maßgebliche Kenngrößen für die Standsicherheit von Windkraftanlagen sind die statische und die dynamische Drehfedersteifigkeit in der Gründungssohle. Die Drehfedersteifigkeit ist eine Funktion von Steifemodul  $E_s$ , Querdehnungszahl des Bodens  $\nu$  und Fundamentgröße. Bei der beschriebenen Gründung kann nach den Berechnungen (s. Anlage 1.1) mit folgenden minimalen Drehfedersteifigkeiten gerechnet werden:

Anlagenstand- orte	statische Drehfedersteifigkeit $K_{\varphi, \text{stat}}$ [MNm/rad]	dynamische Drehfedersteifigkeit $K_{\varphi, \text{dyn}}$ [MNm/rad]
WEA 1...5	107.203	321.610

Tab. 11.2

Die so erreichbaren Drehfedersteifigkeiten des Untergrundes im Zusammenwirken mit den Fundamenten liegen über den geforderten Werten und somit auf der sicheren Seite.

### 11.2 Zulässige Sohlnormalspannung

Für die geplante Anlage ist in der Typenstatik eine Bodenpressung  $\sigma_{E,k}$  (s. charakteristische Sohlnormalspannung in der u.a. Tabelle) angegeben, die bei dem maximalen Moment und ausmittiger Belastung auftritt.

Der sog. aufnehmbare Sohldruck ist durch eine Grundbruchberechnung nachzuweisen. Die Grundbruchsicherheit für flach gegründete Fundamente im Grenzzustand GEO-2 ist nach DIN 1054 gewährleistet, wenn der Bemessungswert des Grundbruchwiderstandes  $\sigma_{R,d}$  größer als der Bemessungswert der Beanspruchung  $\sigma_{E,d}$  senkrecht zur Fundamentsohle ist ( $\sigma_{E,d} \leq \sigma_{R,d}$ ).

Bei dem gewählten Fundamenttyp handelt es sich um ein Standardfundament, bei dem der Grundbruchnachweis für Böden mit konservativ angenommenen Mindestkennwerten geführt wurde. Diese Mindestkennwerte werden bei der empfohlenen Gründung erreicht bzw. überschritten, so dass dadurch bereits der Grundbruchnachweis erbracht ist. Zur Sicherheit werden bei diesem Verfahren vom Baugrundgutachter Kontrollrechnungen für den konkreten Fall durchgeführt. Die Ermittlung der Grundbruchsicherheit erfolgt nach DIN 1054. Das Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Grundbruchspannung ist in der DIN 4017 geregelt.

Der Bemessungswert des Grundbruchwiderstands  $\sigma_{R,d}$  für die Bemessungssituation BS-P (permanent) ergibt sich aus der berechneten Grundbruchspannung  $\sigma_{R,k}$  unter Berücksichtigung des Teilsicherheitsbeiwertes  $\gamma_{R,v} = 1,40$ . Der Bemessungswert der Beanspruchung  $\sigma_{E,d}$  errechnet sich aus der im Fundamentdatenblatt angegebenen Kantenpressung  $\sigma_{E,k}$  multipliziert mit dem Teilsicherheitsbeiwert 1,40.

Bei dem Fundament handelt es sich um ein Kreisringfundament, bei dem die Länge/Breite einer rechteckigen Ersatzfläche  $L'/B'$  zugeordnet werden kann. Die wesentlichen Berechnungsergebnisse aus der Grundbruchberechnung (s. Anlage 1.2) und den o.g. Randbedingungen werden in der folgenden Tabelle wiedergegeben:

Anlagenstandort	Mindesteinbindetiefe UK-Sauberkeitsschicht	Ersatzfläche		Sohlnormalspannung $\sigma_{E,k}$	Grundbruchspannung $\sigma_{R,k}$	Bemessungswert	
		L'	B'			Beanspruchung $\sigma_{E,d}$	Grundbruchwiderstand $\sigma_{R,d}$
		[m]	[m]			[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
WEA 1...5	-0,992	17,9	12,3	256,9	4587,1	359,7	3276,5

Tab. 11.3

Die vorgenannten Berechnungen zur Vorbemessung ergeben, dass die Grundbruchsicherheit im Grenzzustand GEO-2 die Bedingung  $\sigma_{E,d} \leq \sigma_{R,d}$  erfüllt. Die angegebenen Bodenpressungen (aufnehmbarer Sohldruck) sind hinsichtlich des Grundbruchkriteriums bei der empfohlenen Flachgründung vorbehaltlich der bei den Gründungsempfehlungen empfohlenen abschließenden Berechnungen zulässig.

### 11.3 Grundwasserhöchststand

Bei den oben beschriebenen Wasserverhältnissen ist durch die Hangsituation und das geplante Schotterpolster mit einer Ringdrainage der Anstieg des Wasserspiegels (Schichtenwasser) bis über das zulässige Maß über die Gründungssohle der Fundamente nicht zu erwarten.

## 11.4 Berechnung der setzungsbedingten Schiefstellung

Bei Zugrundelegung der zu erwartenden Vertikallasten ist bei der Anlage eine Winkelverdrehung von  $\Delta s \leq 3 \text{ mm/m}$ , d.h. max. 77 mm über den gesamten Fundamentdurchmesser ausschließlich für setzungsbedingte Schiefstellungen zugelassen.

Die Gesamtsetzungen der Anlage wurden überschlägig nach einem statischen Verfahren nach DIN 4019 berechnet (s. Anl. 1.2). Bei Zugrundelegung der zu erwartenden setzungsrelevanten Vertikallasten und bei den anzunehmenden maximalen Bodenpressungen sind Gesamtsetzungen in der Größenordnung von  $\leq 2,5 \text{ cm}$  zu erwarten.

Die Gesamtsetzungen liegen damit niedriger als die Werte, die sich bei der zulässigen Schiefstellung einstellen würden. Die Setzungen und rechnerischen Schiefstellungen der Fundamente liegen somit auf der sicheren Seite.

## 11.5 Bodenüberdeckung

Die Überdeckung der Fundamentplatte sollte aus humusfreiem, lehmigem Gesteinsschutt bzw. steinigem Verwitterungslehm und die oberen ca. 0,2 m aus Mutterboden hergestellt werden. Der Boden muss auf  $\geq 98 \%$  der einfachen Proctordichte verdichtet werden. Die Überschüttung der Fundamentplatte mit einer Bodenverdichtung auf  $\gamma \geq 18 \text{ kN/m}^3$  ist Teil des statischen Systems.

## 12 Elektrotechnische Erdung

Der spezifische Erdwiderstand wurde im Bereich der Fundamentaufstandsfläche gemäß VDE 0413 gemessen. Dazu wurde ein Erdungsmessgerät vom Typ Gossen-Metrawatt Geohm 5 mit einer Wenner-Auslage und einem Abstand Erder-Hilfserder von 21 m verwendet.

Messort	Anordnung	Abstand Erder - Hilfserder [m]	spez. Erdwiderstand [ $\Omega\text{m}$ ]
WEA 1	Wenner	21	564
WEA 2	Wenner	21	361
WEA 3	Wenner	21	65,2
WEA 4	Wenner	21	76,0
WEA 5	Wenner	21	306

Tab. 12.1

## 13 Hinweise zum Wege- und Kranstellflächenbau

### 13.1 Allgemeines

Für die Kranstellflächen sollte ein Höhen-/Massenausgleich vorgesehen werden. Die an dem Standort im Mittel ca. 0,2 m starke Mutterbodenschicht wird gesondert abgetragen und verwertet. Im Bereich des Hanganschnitts sollte an der Böschungsunterkante sicherheits- halber ein Abfanggraben oder eine Dränage für zulaufendes Schichtenwasser eingeplant werden.

Die neuen Wege, Abbiegeflächen und Kranstellflächen sollten unter Berücksichtigung der folgenden Hinweise befestigt werden.

### 13.2 Oberbau unter Beachtung der RStO-12

Empfohlen wird, den Mutterboden mit Humusanteilen vollständig abzutragen. In dieser Tiefe sind noch Reste des Verwitterungslehms /-tons vorhanden. Die Mindeststärke der Schotterwege/-flächen für die schweren Baufahrzeuge sollte bei weniger empfindlichen Böden in Anlehnung an die RStO-12 (Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen) bei  $\geq 0,5$  m liegen. Auf dem Planum (Unterseite Tragschicht) müssen dann Verformungsmoduli von  $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$  erreicht werden.

Diese Mindestfestigkeit ist in steifem Verwitterungslehm /-ton i.d.R. nicht nachzuweisen, so dass in derartigen Bereichen eine Bodenverbesserung durchgeführt oder eine verstärkte Tragschicht eingebaut werden sollte. Die Verstärkung kann entweder durch eine Bodenvermörtelung oder durch groben Schotter mit Geotextil erreicht werden. Im Falle einer Bodenvermörtelung bindet der Boden ab und das Bindemittel ist weitgehend immobil.

Wegen des **Geländegefälles** ist es vermutlich zweckmäßig, den Verwitterungslehm an der Hangoberseite bis zum Gesteinsschutt abzutragen, diesen mit Bindemittel (Kalk/Zementgemisch) zu stabilisieren und an der Hangunterseite zum Höhenausgleich verdichtet einzubauen. In Plattendruckversuchen nach DIN 18.134 sollten auf dem verfestigten Boden und auf dem Gesteinsschutt Verformungsmoduli von  $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$  nachgewiesen werden.

Unter den Kranstellflächen sollte die Stabilisierung mit Mischbinder in einer Stärke von  $\geq 0,4$  m vorgesehen werden. Darüber wird eine **Schottertragschicht** (Tragschichtschotter 0/45 mm nach TL-SoB-StB) in einer Stärke von ca. 0,5 m aufgebracht und verdichtet. Werden auf dem oben beschriebenen Planum in Plattendruckversuchen nach DIN 18.134 Werte von  $E_{v2} \geq 60 \text{ MN/m}^2$  nachgewiesen, so kann die Schottertragschicht auf 0,25...0,30

m reduziert werden. Über annähernd lehmfreiem Gesteinsschutt und Fels mit  $E_{v2}$ -Werten von  $\geq 100 \text{ MN/m}^2$  kann unmittelbar die Verschleißschicht (s.u.) aufgebracht werden.

Die obere Lage von ca. 0,10...0,15 m sollte als Verschleißschicht und (falls gewünscht) zur Schonung der Reifen ggf. aus feinerem Schotter (z.B. 0/32 mm) hergestellt werden. Auf der Tragschicht werden vom Anlagenhersteller Verformungsmoduli von  $E_{v2} \geq 100 \text{ MN/m}^2$  gefordert. Diese sollten nachgewiesen werden.

Die o.g. Bemessung der Tragschicht erfolgt i.d.R. in Anlehnung an die RStO-12 für Verformungen im Millimeterbereich. Da die Wege keine feste Oberfläche erhalten, werden diese zwangsläufig durch den Baustellenbetrieb, zumindest teilweise, oberflächennah wieder aufgelockert, so dass u.a. mit Spurbildungen zu rechnen ist.

### 13.3 Wassereinfluss

In der Tragschicht besteht die Möglichkeit von Schichtenwasserbildungen. Daher ist es i.d.R. zu empfehlen, die Wege so weit wie möglich über das umgebende Gelände anzuheben. In kritischen, d.h. besonders beanspruchten Wegabschnitten und im Bereich der Kranstellflächen ist es zweckmäßig, einige Querdränagen im unteren Teil der Tragschicht einzubauen und anfallendes Wasser zur Seite abzuleiten.

Außerdem sollte ein evtl. Wasserzulauf aus der Kranstellfläche in die Fundamentgruben durch geeignete **Dränagen/Quergräben** verhindert werden. Am Rand der Kranstellfläche können für die Bauphase Gruben ausgehoben und darin ein provisorischer Pumpensumpf eingebaut werden. Dort enden die Dränleitungen, um das Wasser zu fassen. Während der Bauphase kann evtl. verstärkt anfallendes Dränwasser abgepumpt werden, was die Kranstellfläche beim Aufbau der Anlage deutlich sicherer macht.

Während des Betriebs werden die Kranstellflächen kaum beansprucht. Eine dauerhafte Dränage ist dann nicht erforderlich.

### 13.4 Tragfähigkeit der Kranstellflächen (Grundbruchsicherheit)

Für die Beurteilung der Tragfähigkeit der Kranstellflächen und zur Gewährleistung der Sohl-normalspannungen unter den Hilfskränen und dem Hauptkran wurden Grundbruchberechnungen nach DIN 4017 durchgeführt. Dabei wurden die ungünstigsten Bodenkennwerte im unterlagernden, stark bindigen Boden bei den geringen Lasteinwirkungsbreiten stärker gewichtet.

Die jeweiligen Bemessungswerte des Sohldruckwiderstandes wurden aufgrund der anstehenden Böden im Hinblick auf die Minimierung der Setzungen und Setzungsdifferenzen angegeben. Sie stellen insofern nicht die maximal möglichen Werte dar. Es wurde hier zunächst von verträglichen **Setzungen** in einer Größe von **s ~ 2 bis 3 cm** ausgegangen.

Aus den Grundbruchberechnungen ergeben sich in Abhängigkeit von der Breite der Aufstellfläche (Breite der Baggermatratzen) folgende Bemessungswerte des Sohldruckwiderstandes:

Breite der Aufstandsfläche	zulässige Sohlormalspannung $\sigma_{R,d}$
1,0 m	200 kN/m <sup>2</sup>
2,0 m	360 kN/m <sup>2</sup>
3,0 m	490 kN/m <sup>2</sup>
4,0 und mehr	610 kN/m <sup>2</sup>

Tab. 12.1: Bemessungswerte des Sohldruckwiderstandes für die Kräne

Die vorgenannten Bemessungswerte des Sohldruckwiderstandes  $\sigma_{R,d}$  gelten für lotrecht belastete Fundamente. Für schräg belastete Fundamente sind gesonderte Nachweise der DIN 4017 zu führen. Die vorgenannten Werte beinhalten bereits die im Rahmen des Nachweises des Grenzzustandes der Tragfähigkeit (GEO-2) geforderten Teilsicherheitsbeiwerte für den Grundbruchwiderstand  $\gamma_{R,v}$  nach DIN EN 1997-1:2014-03 bzw. DIN 1054:2021-04. Bei den Berechnungen wurden ein Grundwasserstand in Höhe Geländeoberfläche berücksichtigt.

Empfohlen wird, aus Sicherheitsgründen die Baggermatratzen aus Holz und Stahl so breit zu wählen, dass die in der o.g. Tabelle angegebenen zulässigen Sohlormalspannungen nicht überschritten werden.

Bei einer stärkeren Durchbiegung der Matratzen kann sich eine geringere wirksame Breite ergeben. Berechnungen zeigen, dass sich biegeweichere Bongossimatratzen um mehrere Zentimeter verformen müssen, bevor nennenswerte Lasten bis zum Rand abgeleitet werden können. Unter der Mitte dieser Matratzen ergeben sich dadurch erheblich höhere Spannungen als bei steiferen Matratzen. Für den Hauptkran ist voraussichtlich eine Unterlage aus gut ausgesteiften Stahl-Baggermatratzen sinnvoll, um die Kranlasten sicher und gleichmäßig zu verteilen.

Erfahrungen haben gezeigt, dass es beim Aufrichten des Auslegers häufig zu übermäßigen Setzungen unter den vorderen Stützrollen kommen kann. Auch für diesen Lastfall sollte auf

eine entsprechende Lastverteilung geachtet werden. Wird der Kran z.B. bei der Turmmon-  
tage oft verfahren, können stärker bindige Böden im Untergrund durch die dynamische  
Beanspruchung eine ungünstigere Konsistenz annehmen, was sich ebenfalls auf das Set-  
zungsverhalten auswirken kann. Die Kranverfahrenungen sollten daher auf das unbedingt not-  
wendige Maß begrenzt werden und nur auf Baggermatratzen erfolgen.

## 14 Hinweise für das weitere Vorgehen

Das vorliegende Gutachten stellt den derzeitigen Bearbeitungsstand dar. Das Gutachten ist  
im Zuge der weiteren Planung, insbesondere auf Basis der endgültigen Planunterlagen für  
die jeweiligen WEA, zu prüfen und ggf. zu modifizieren.

Für Rückfragen und weitere Abstimmung steht das geotechnische Büro Dr. Koppelberg &  
Gerdes zur Verfügung.

gez. MSc.-Geosc. L. Kanter



Ch. Gerdes



## Schichtenverzeichnis

Bezugshöhe ist Geländeoberkante im Bereich des jeweiligen Fundamentmittelpunktes  
MP = ±0,00 m

### WEA 1

<b>B 1.1</b>		0,15 m (Ansatzhöhe)
0,0	... 0,2	m Mutterboden
0,2	... 0,4	m Verwitterungslehm, schwach steinig, mit humosen Spuren
0,4	... 1,9	m Verwitterungston, lagenweise schwach steinig, steif- bis halbfest
1,9	... 4,0	m Tonstein (Schiefer), Einfallwinkel ca. 80°, stark verwittert, übergehend in schwach verwittert

Rückstellprobe 2 x 0,4...2,0 m

<b>B 1.2</b>		-1,19 m (Ansatzhöhe)
0,0	... 0,2	m Mutterboden
0,2	... 0,5	m Verwitterungslehm, schwach steinig, mit humosen Spuren
0,5	... 0,9	m Verwitterungslehm, schwach steinig, steif
0,9	... 2,0	m Gesteinsschutt, stark lehmig, übergehend in schwach lehmig, dicht
2,0	... 3,0	m Schluffstein, übergehend in Tonstein, stark verwittert, übergehend in schwach verwittert

<b>B 1.3</b>		0,94 m (Ansatzhöhe)
0,0	... 0,2	m Mutterboden
0,2	... 0,4	m Verwitterungslehm, steinig, mit humosen Spuren
0,4	... 0,6	m Verwitterungslehm, steinig, steif
0,6	... 1,0	m Gesteinsschutt, lehmig, dicht
1,0	... 3,0	m Schluffstein, übergehend in Tonstein, lagenweise Sandstein, stark verwittert, übergehend in schwach verwittert

<b>B 1.4</b>		GOK (Ansatzhöhe)
0,0	... 0,2	m Mutterboden
0,2	... 0,4	m Verwitterungslehm, steinig, mit humosen Spuren
0,4	... 0,7	m Verwitterungslehm, steinig, steif- bis halbfest
0,7	... 1,2	m Gesteinsschutt, lehmig, dicht
1,2	... 3,0	m Schluffstein, lagenweise Sandstein, stark verwittert, übergehend in schwach verwittert

<b>B 1.5</b>		<b>GOK (Ansatzhöhe)</b>	
0,0	... 0,1	m	Mutterboden
0,1	... 0,5	m	Verwitterungslehm, schwach steinig, mit humosen Spuren
0,5	... 0,8	m	Verwitterungslehm, steinig
0,8	... 1,1	m	Gesteinsschutt, lehmig, dicht
1,1	... 3,0	m	Schluffstein, übergehend in Sandstein / Tonstein, stark verwittert, übergehend in schwach verwittert

**WEA 2**

<b>B 2.1</b>		<b>0,53 m (Ansatzhöhe)</b>	
0,0	... 0,2	m	Mutterboden
0,2	... 0,4	m	Verwitterungslehm, schwach steinig, mit humosen Spuren
0,4	... 0,7	m	Verwitterungslehm, steinig, steif- bis halbfest
0,7	... 1,4	m	Gesteinsschutt, lehmig, dicht
1,4	... 2,1	m	Tonstein in Wechsellagerung mit Schluffstein stark verwittert, übergehend in schwach verwittert
2,1	... 3,0	m	Schluffstein, schwach verwittert

Rückstellprobe 0,4...2,0 m

<b>B 2.2</b>		<b>-1,00 m (Ansatzhöhe)</b>	
0,0	... 0,2	m	Mutterboden
0,2	... 0,4	m	Verwitterungslehm, schwach steinig, mit humosen Spuren
0,4	... 0,8	m	Verwitterungslehm, steinig, steif- bis halbfest
0,8	... 2,0	m	Gesteinsschutt, lehmig, dicht
2,0	... 3,0	m	Tonstein in Wechsellagerung mit Schluffstein, lagenweise Sandstein, stark verwittert, übergehend in schwach verwittert

<b>B 2.3</b>		<b>-0,05 m (Ansatzhöhe)</b>	
0,0	... 0,2	m	Mutterboden
0,2	... 0,5	m	Verwitterungslehm, steinig, mit humosen Spuren
0,5	... 0,7	m	Verwitterungslehm, steinig, steif
0,7	... 1,8	m	Gesteinsschutt, schwach lehmig, dicht
1,8	... 3,0	m	Schluffstein, tonig, lagenweise Tonstein, Sandstein, stark verwittert, übergehend in schwach verwittert

<b>B 2.4</b>		<b>GOK (Ansatzhöhe)</b>	
0,0	... 0,2	m	Mutterboden
0,2	... 0,3	m	Verwitterungslehm, steinig, mit humosen Spuren
0,3	... 0,7	m	Verwitterungslehm, steinig, steif- bis halbfest
0,7	... 1,3	m	Gesteinsschutt, lehmig, dicht
1,3	... 2,0	m	Schluffstein, lagenweise Sandstein, stark verwittert, übergehend in schwach verwittert

<b>B 2.5</b>		<b>GOK (Ansatzhöhe)</b>	
0,0	... 0,2	m	Mutterboden
0,2	... 0,4	m	Verwitterungslehm, steinig, mit humosen Spuren
0,4	... 0,6	m	Verwitterungslehm, steinig, steif- bis halbfest
0,6	... 1,4	m	Gesteinsschutt, schwach lehmig, dicht
1,4	... 2,0	m	Schluffstein in Wechsellagerung mit Sandstein, stark verwittert, übergehend in schwach verwittert

**WEA 3**

<b>B 3.1</b>		<b>1,14 m (Ansatzhöhe)</b>	
0,0	... 0,2	m	Mutterboden
0,2	... 0,4	m	Verwitterungslehm, steinig, mit humosen Spuren
0,4	... 1,8	m	Gesteinsschutt, lehmig bis stark lehmig, mitteldicht, lagenweise steif, nass
1,8	... 2,2	m	Verwitterungston, schwach steinig bis steinig, steif- bis halbfest
2,2	... 3,0	m	Tonstein in Wechsellagerung mit Schluffstein, stark verwittert, übergehend in schwach verwittert

Rückstellprobe 2 x 0,4...2,0 m

<b>B 3.2</b>		<b>1,52 m (Ansatzhöhe)</b>	
0,0	... 0,3	m	Mutterboden
0,3	... 0,5	m	Verwitterungslehm, steinig, mit humosen Spuren
0,5	... 0,9	m	Verwitterungslehm, steinig, steif
0,9	... 1,6	m	Gesteinsschutt, lehmig, dicht
1,6	... 3,0	m	Schluffstein in Wechsellagerung mit Tonstein, lagenweise Sandstein, stark verwittert, übergehend in schwach verwittert

<b>B 3.3</b>		<b>-1,47 m (Ansatzhöhe)</b>	
0,0	... 0,1	m	Mutterboden
0,1	... 0,3	m	Verwitterungslehm, schwach steinig, mit humosen Spuren
0,3	... 1,5	m	Verwitterungslehm, tonig, lagenweise schwach steinig, steif
1,5	... 3,0	m	Gesteinsschutt, lehmig bis stark lehmig, dicht lagenweise halbfest
3,0	... 4,0	m	Schluffstein in Wechsellagerung mit Tonstein, stark verwittert, übergehend in schwach verwittert

<b>B 3.4</b>		<b>GOK (Ansatzhöhe)</b>	
0,0	... 0,2	m	Mutterboden
0,2	... 0,5	m	Verwitterungslehm, steinig, mit humosen Spuren
0,5	... 1,1	m	Verwitterungslehm, steinig, steif- bis halbfest
1,1	... 1,6	m	Gesteinsschutt, schwach lehmig bis lehmig, dicht
1,6	... 2,0	m	Schluffstein bis Tonstein, lagenweise Sandstein, stark verwittert, übergehend in schwach verwittert

<b>B 3.5</b>		<b>GOK (Ansatzhöhe)</b>	
0,0	... 0,3	m	Mutterboden
0,3	... 0,6	m	Verwitterungslehm, steinig, mit humosen Spuren
0,6	... 1,0	m	Verwitterungslehm, steinig, steif
1,0	... 1,5	m	Gesteinsschutt, schwach lehmig, dicht
1,5	... 2,0	m	Schluffstein, lagenweise Sandstein, stark verwittert, übergehend in schwach verwittert

**WEA 4**

<b>B 4.1</b>		<b>0,20 m (Ansatzhöhe)</b>	
0,0	... 0,2	m	Mutterboden
0,2	... 0,5	m	Verwitterungslehm, steinig, mit humosen Spuren
0,5	... 0,8	m	Verwitterungslehm, steinig bis stark steinig, steif
0,8	... 1,8	m	Gesteinsschutt, lehmig, dicht
1,8	... 3,0	m	Schluffstein in Wechsellagerung mit Tonstein, lagenweise Sandstein, stark verwittert übergehend in schwach verwittert, Einfallwinkel ca. 80°

Rückstellprobe 2 x 0,5...2,0 m

<b>B 4.2</b>		<b>-0,99 m (Ansatzhöhe)</b>	
0,0	... 0,2	m	Mutterboden
0,2	... 0,4	m	Verwitterungslehm, steinig, mit humosen Spuren
0,4	... 0,6	m	Verwitterungslehm, steinig, steif
0,6	... 1,3	m	Gesteinsschutt, lehmig, dicht
1,3	... 3,0	m	Schluffstein in Wechsellagerung mit Sandstein, stark verwittert, übergehend in schwach verwittert

<b>B 4.3</b>		0,15 m (Ansatzhöhe)
0,0	... 0,1	m Mutterboden
0,1	... 0,4	m Verwitterungslehm, steinig, mit humosen Spuren
0,4	... 0,9	m Verwitterungslehm, stark steinig, steif
0,9	... 1,8	m Gesteinsschutt, schwach lehmig, dicht
1,8	... 2,0	m Sandstein, stark verwittert, übergehend in schwach verwittert

<b>B 4.4</b>		GOK (Ansatzhöhe)
0,0	... 0,1	m Mutterboden
0,1	... 0,3	m Verwitterungslehm, schwach steinig, mit humosen Spuren
0,3	... 0,7	m Verwitterungslehm, schwach steinig, steif- bis halbfest
0,7	... 1,8	m Gesteinsschutt, lehmig, dicht
1,8	... 3,0	m Schluffstein in Wechsellagerung mit Tonstein, lagenweise Sandstein, stark verwittert, übergehend in schwach verwittert

<b>B 4.5</b>		GOK (Ansatzhöhe)
0,0	... 0,2	m Mutterboden
0,2	... 0,4	m Verwitterungslehm, schwach steinig, mit humosen Spuren
0,4	... 0,8	m Verwitterungslehm, steinig, steif- bis halbfest
0,8	... 1,5	m Gesteinsschutt, lehmig, übergehend in schwach lehmig, dicht
1,5	... 3,0	m Schluffstein in Wechsellagerung mit Tonstein und Sandstein, stark verwittert, übergehend in schwach verwittert

**WEA 5**

<b>B 5.1</b>		-0,22 m (Ansatzhöhe)
0,0	... 0,2	m Mutterboden
0,2	... 0,4	m Verwitterungston, schwach steinig, mit humosen Spuren
0,4	... 0,8	m Verwitterungston, steif
0,8	... 1,8	m Gesteinsschutt, stark lehmig, übergehend in lehmig, steif- bis halbfest, übergehend in dicht
1,8	... 3,0	m Tonstein (Schiefer)

Rückstellprobe 2 x 0,4...2,0 m

<b>B 5.2</b>		0,41 m (Ansatzhöhe)
0,0	... 0,2	m Mutterboden
0,2	... 0,5	m Verwitterungslehm, steinig, mit humosen Spuren
0,5	... 0,9	m Verwitterungston, schwach steinig
0,9	... 1,8	m Gesteinsschutt, stark lehmig, fest und Tonstein, stark verwittert
1,8	... 3,0	m Tonstein, stark verwittert, übergehend in schwach verwittert, Einfallwinkel ca. 90°

**B 5.3** -0,09 m (Ansatzhöhe)

0,0	... 0,2	m	Mutterboden
0,2	... 0,4	m	Verwitterungston, schwach steinig, mit humosen Spuren
0,4	... 0,9	m	Verwitterungston, schwach steinig, steif
0,9	... 1,6	m	Gesteinsschutt, stark lehmig, übergehend in schwach lehmig, halbfest, übergehend in dicht
1,6	... 2,0	m	Tonstein in Wechsellagerung mit Schluffstein, stark verwittert, übergehend in schwach verwittert

**B 5.4** GOK (Ansatzhöhe)

0,0	... 0,2	m	Mutterboden
0,2	... 0,4	m	Verwitterungston, mit humosen Spuren
0,4	... 0,8	m	Verwitterungston, lagenweise schwach steinig, steif
0,8	... 1,8	m	Gesteinsschutt, stark lehmig, übergehend in lehmig, steif- bis halbfest
1,8	... 3,0	m	Tonstein, stark verwittert, übergehend in schwach verwittert

**B 5.5** GOK (Ansatzhöhe)

0,0	... 0,2	m	Mutterboden
0,2	... 0,3	m	Verwitterungston, mit humosen Spuren
0,3	... 0,9	m	Verwitterungston, lagenweise schwach steinig, steif
0,9	... 1,6	m	Gesteinsschutt, stark lehmig, übergehend in schwach lehmig, ???, steif- bis halbfest
1,6	... 2,0	m	Tonstein, sehr stark verwittert
2,0	... 3,0	m	Tonstein, stark verwittert, übergehend in schwach verwittert

<b>Probe Nr.:</b>	B 1.1 0,4...2,0m
Entnahme am:	26. März 2024
Untersuchung am:	28. März 2024
Entnahmeort:	Arnsberg WEA1
Bodenart:	

		Mittel	SV 1	SV 2	SV 3	SV 4
Feuchte Probe + Behälter	m+m <sub>B</sub> [g]	260,4	261,3	262,3	258,4	259,7
Trockene Probe + Behälter	m <sub>d</sub> +m <sub>B</sub> [g]	239,9	241,7	239,7	239,0	239,2
Behälter	m <sub>B</sub> [g]	159,6	159,5	159,6	159,6	159,5
Porenwasser	m <sub>w</sub> [g]	20,5	19,6	22,6	19,4	20,5
Trockene Probe	m <sub>d</sub> [g]	80,4	82,2	80,1	79,4	79,7
<b>Wassergehalt</b>	w [-]	25,6 %	23,8 %	28,2 %	24,4 %	25,7 %

<b>Probe Nr.:</b>	B 2.1 0,4...2,0m
Entnahme am:	26. März 2024
Untersuchung am:	28. März 2024
Entnahmeort:	Arnsberg WEA2
Bodenart:	

		Mittel	SV 1	SV 2	SV 3	SV 4
Feuchte Probe + Behälter	m+m <sub>B</sub> [g]	252,4	259,6	262,4	257,2	230,2
Trockene Probe + Behälter	m <sub>d</sub> +m <sub>B</sub> [g]	240,9	246,5	250,2	244,7	222,0
Behälter	m <sub>B</sub> [g]	159,6	159,7	159,4	159,5	159,6
Porenwasser	m <sub>w</sub> [g]	11,5	13,1	12,2	12,5	8,2
Trockene Probe	m <sub>d</sub> [g]	81,3	86,8	90,8	85,2	62,4
<b>Wassergehalt</b>	w [-]	14,1 %	15,1 %	13,4 %	14,7 %	13,1 %

<b>Probe Nr.:</b>	B 3.1 0,4...2,0m
Entnahme am:	26. März 2024
Untersuchung am:	28. März 2024
Entnahmeort:	Arnsberg WEA3
Bodenart:	

		Mittel	SV 1	SV 2	SV 3	SV 4
Feuchte Probe + Behälter	$m+m_B$ [g]	266,5	264,4	266,6	266,9	268,0
Trockene Probe + Behälter	$m_d+m_B$ [g]	250,4	248,6	249,8	251,2	251,8
Behälter	$m_B$ [g]	159,6	159,7	159,6	159,5	159,7
Porenwasser	$m_w$ [g]	16,1	15,8	16,8	15,7	16,2
Trockene Probe	$m_d$ [g]	90,7	88,9	90,2	91,7	92,1
<b>Wassergehalt</b>	$w$ [-]	17,8 %	17,8 %	18,6 %	17,1 %	17,6 %

<b>Probe Nr.:</b>	B 4.1 0,5...2,0m
Entnahme am:	26. März 2024
Untersuchung am:	28. März 2024
Entnahmeort:	Arnsberg WEA4
Bodenart:	

		Mittel	SV 1	SV 2	SV 3	SV 4
Feuchte Probe + Behälter	$m+m_B$ [g]	263,7	264,7	261,6	264,2	264,2
Trockene Probe + Behälter	$m_d+m_B$ [g]	253,9	254,6	252,5	253,6	254,8
Behälter	$m_B$ [g]	154,4	154,4	154,5	154,5	154,3
Porenwasser	$m_w$ [g]	9,8	10,1	9,1	10,6	9,4
Trockene Probe	$m_d$ [g]	99,5	100,2	98,0	99,1	100,5
<b>Wassergehalt</b>	$w$ [-]	9,9 %	10,1 %	9,3 %	10,7 %	9,4 %



<b>Probe Nr.:</b>	B 5.1 0,4...2,0m
Entnahme am:	26. März 2024
Untersuchung am:	28. März 2024
Entnahmeort:	Arnsberg WEA5
Bodenart:	

		Mittel	SV 1	SV 2	SV 3	SV 4
Feuchte Probe + Behälter	$m+m_B$ [g]	255,4	257,1	252,9	255,5	256,0
Trockene Probe + Behälter	$m_d+m_B$ [g]	238,1	241,6	233,2	235,9	241,5
Behälter	$m_B$ [g]	154,4	154,2	154,3	154,5	154,4
Porenwasser	$m_w$ [g]	17,3	15,5	19,7	19,6	14,5
Trockene Probe	$m_d$ [g]	83,7	87,4	78,9	81,4	87,1
<b>Wassergehalt</b>	<b>w [-]</b>	20,9 %	17,7 %	25,0 %	24,1 %	16,6 %

INSTITUT FRESENIUS GmbH · Am Technologiepark 10 · 45699 Herten

Geotechnisches Büro  
Dr. Koppelberg und Gerdes GmbH  
Fritz-Peters-Str. 22  
47447 Moers

**Prüfbericht 6836740**  
**Auftrags Nr. 6959573**  
**Kunden Nr. 10002276**

Herr Jens Heiter  
Telefon +49 2366/305-600  
Fax +49 2366/ 305-611  
Jens.heiter@sgs.com

Environmental, Health and Safety

SGS INSTITUT FRESENIUS  
GmbH  
Am Technologiepark 10  
45699 Herten

Herten, 17.04.2024

Ihr Auftrag/Projekt: BV in Arnsberg Lattenberg  
Ihr Bestellzeichen: 24026-01  
Ihr Bestelldatum: 28.03.2024

Prüfzeitraum von 02.04.2024 bis 16.04.2024  
Erste laufende Probennummer 240330210  
Probeneingang am 02.04.2024

SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH

i.A. Dr. Dennis Mo  
Customer Service

i.A. Jens Heiter  
Customer Service

Seite 1 von 4

BV in Arnsberg Lattenberg  
24026-01

Prüfbericht Nr. 6836740  
Auftrag 6959573

Seite 2 von 4  
17.04.2024

Proben von Ihnen übersendet      Matrix: Boden

Probenummer      240330210  
Bezeichnung      B 1.1  
                              (0,4...2,0 m)

Eingangsdatum					
Parameter	Einheit		BG	Methode	Lab
<b>Bodenuntersuchungen n. DIN 4030</b>					
Säuregrad n. Baumann-Gully	ml/kg	1200	2	DIN 4030-2	*
Sulfat	mg/kg	1190	10	DIN EN ISO 11885	*
Sulfid	mg/kg	<3,0	3	DIN 38 405-D 27	*
Chlorid	mg/kg	250	50	DIN EN ISO 10304-1	*

Proben von Ihnen übersendet      Matrix: Boden

Probenummer      240330211  
Bezeichnung      B 2.1  
                              (0,4...2,0 m)

Eingangsdatum					
Parameter	Einheit		BG	Methode	Lab
<b>Bodenuntersuchungen n. DIN 4030</b>					
Säuregrad n. Baumann-Gully	ml/kg	560	2	DIN 4030-2	*
Sulfat	mg/kg	816	10	DIN EN ISO 11885	*
Sulfid	mg/kg	<3,0	3	DIN 38 405-D 27	*
Chlorid	mg/kg	<50	50	DIN EN ISO 10304-1	*

Proben von Ihnen übersendet  
  
 Probennummer  
 Bezeichnung

Matrix: Boden  
  
 240330212  
 B 3.1  
 (0,4...2,0 m)

Eingangsdatum					
Parameter	Einheit		BG	Methode	Lab
<b>Bodenuntersuchungen n. DIN 4030</b>					
Säuregrad n. Baumann-Gully	ml/kg	480	2	DIN 4030-2	*
Sulfat	mg/kg	1100	10	DIN EN ISO 11885	*
Sulfid	mg/kg	<3,0	3	DIN 38 405-D 27	*
Chlorid	mg/kg	<50	50	DIN EN ISO 10304-1	*

Proben von Ihnen übersendet  
  
 Probennummer  
 Bezeichnung

Matrix: Boden  
  
 240330213  
 B 4.1  
 (0,5...2,0 m)

Eingangsdatum					
Parameter	Einheit		BG	Methode	Lab
<b>Bodenuntersuchungen n. DIN 4030</b>					
Säuregrad n. Baumann-Gully	ml/kg	790	2	DIN 4030-2	*
Sulfat	mg/kg	729	10	DIN EN ISO 11885	*
Sulfid	mg/kg	<3,0	3	DIN 38 405-D 27	*
Chlorid	mg/kg	<50	50	DIN EN ISO 10304-1	*

BV in Arnsberg Lattenberg  
24026-01

Prüfbericht Nr. 6836740  
Auftrag 6959573

Seite 4 von 4  
17.04.2024

Proben von Ihnen übersendet      Matrix: Boden

Probenummer      240330214  
Bezeichnung      B 5.1  
                              (0,4...2,0 m)

Eingangsdatum					
Parameter	Einheit		BG	Methode	Lab
<b>Bodenuntersuchungen n. DIN 4030</b>					
Säuregrad n. Baumann-Gully	ml/kg	680	2	DIN 4030-2	*
Sulfat	mg/kg	570	10	DIN EN ISO 11885	*
Sulfid	mg/kg	<3,0	3	DIN 38 405-D 27	*
Chlorid	mg/kg	<50	50	DIN EN ISO 10304-1	*

\*Fremdvergabe

### Zusammenfassung der verwendeten Prüfmethode

DIN 4030-2	2008-06	DIN EN 11885	2009-09
DIN 18123	2011-04	DIN EN ISO 10304-1	2009-07
DIN EN 13656	2003-01	DIN 38 405-D 27	2017-10

Die Laborstandorte der SGS-Gruppe Deutschland und Schweiz gemäß den oben genannten Kürzeln sind aufgeführt unter

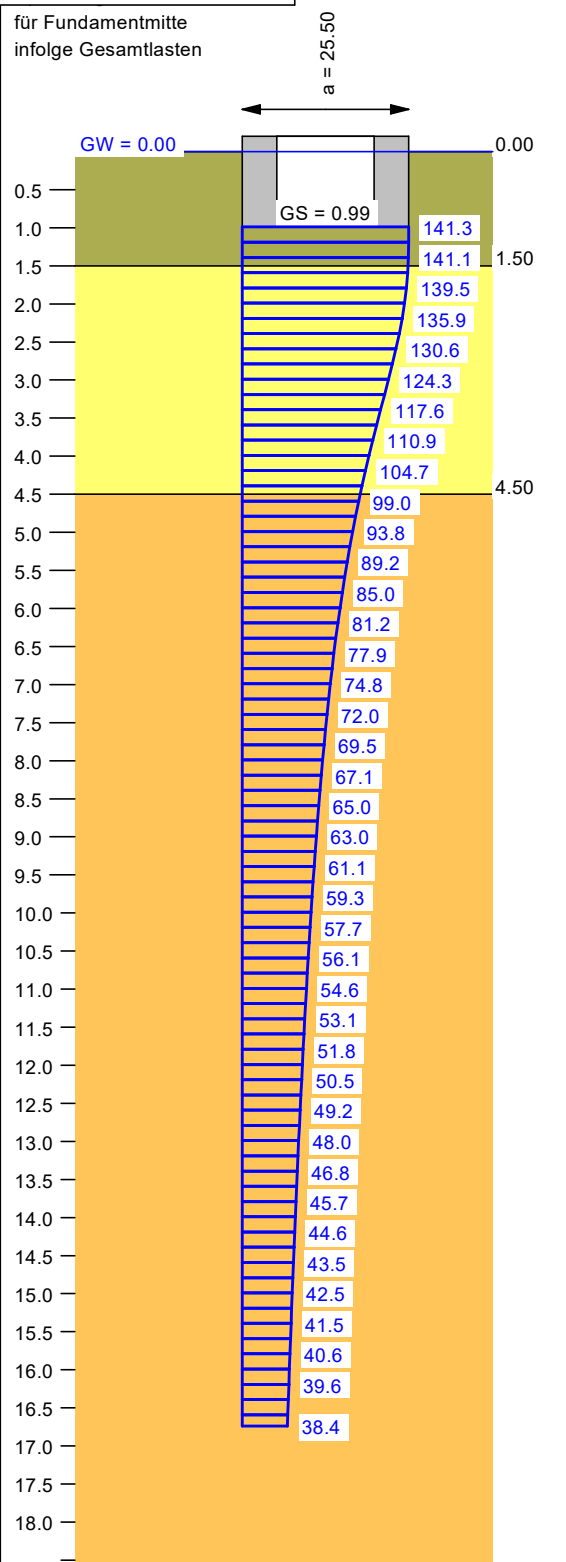
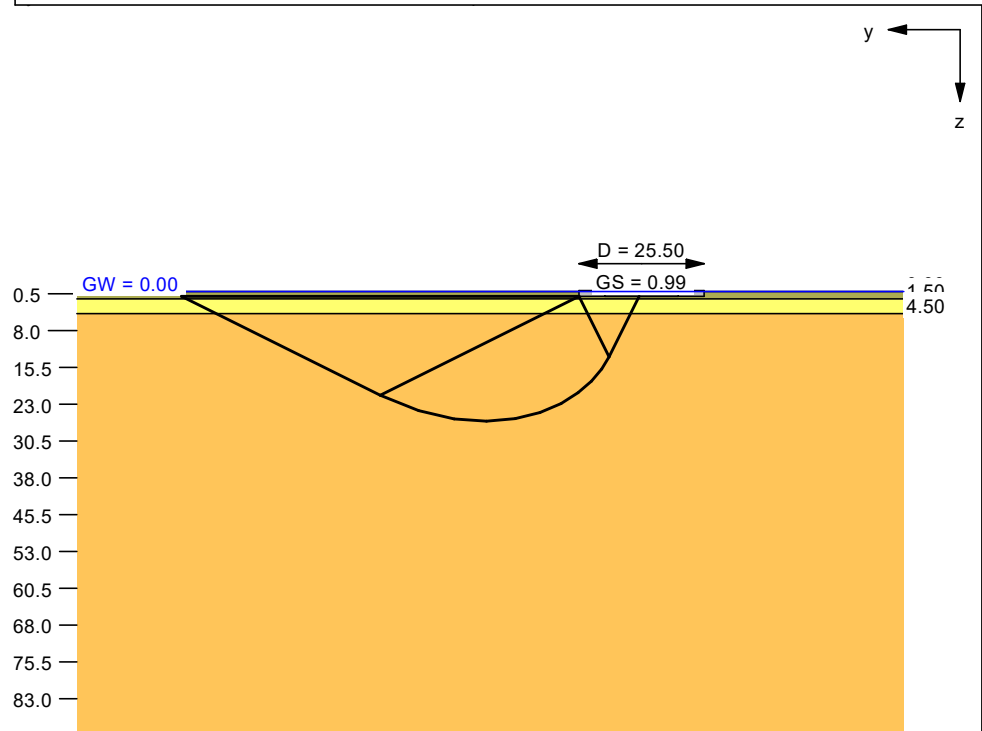
<http://www.institut-fresenius.de/filestore/89/laborstandortkuerzelsgs2.pdf>.

\*\*\* Ende des Berichts\*\*\*

Dieses Dokument wurde von der Gesellschaft im Rahmen ihrer Allgemeinen Geschäftsbedingungen für Dienstleistungen erstellt, die unter [www.sgs-group.de/agb](http://www.sgs-group.de/agb) zugänglich sind. Es wird ausdrücklich auf die darin enthaltenen Regelungen zur Haftungsbegrenzung, Freistellung und zum Gerichtsstand hingewiesen. Dieses Dokument ist ein Original. Wenn das Dokument digital übermittelt wird, ist es als Original im Sinne der UCP 600 zu behandeln. Jeder Besitzer dieses Dokuments wird darauf hingewiesen, dass die darin enthaltenen Angaben ausschließlich die im Zeitpunkt der Dienstleistung von der Gesellschaft festgestellten Tatsachen im Rahmen der Vorgaben des Kunden, sofern überhaupt vorhanden, wiedergeben. Die Gesellschaft ist allein dem Kunden gegenüber verantwortlich. Dieses Dokument entbindet die Parteien von Rechtsgeschäften nicht von ihren insoweit bestehenden Rechten und Pflichten. Jede nicht genehmigte Änderung, Fälschung oder Verzerrung des Inhalts oder des äußeren Erscheinungsbildes dieses Dokuments ist rechtswidrig. Ein Verstoß kann rechtlich geahndet werden.

Höhenbezug		Anlagentyp Fundamenttyp Gründungsart Bodenersatz			Fundament- ab- messungen	Durch- messer ø	Höhe h <sub>ges</sub>	Fundament- unterkante		Gründungs- sohle [UK-Sauber- keitsschicht]	geforderte Drehfeder- steifigkeit, statisch k <sub>φ,stat.</sub>	geforderte Drehfeder- steifigkeit, dynamisch k <sub>φ,dyn.</sub>	aufnehm- barer Sohldruck σ <sub>zul.</sub>	zulässige Setzung/Schiefstellung.		
						[m]	[m]	[m u. BZH]		[m u. BZH]	[MNm/rad]	[MNm/rad]	[MN/m²]			
Bezugspunkt [BZP]	Geländeoberkante am Fundamentmittelpunkt	N163 6.X TCS164B-03			außen	25,5	2,8	0,892		0,992	60.000	300.000	257	Schiefstellung ges. Δs [mm]	77	
Bezugshöhe [BZH]	MP = ± 0,0 m	Kreisfundament Flach mit Auftrieb			innen									Setzungsdifferenz Δs [mm]	3,00	
Absolute Höhe BZP [mNHN]														Winkelverdrehung α [°]	0,17	
Schicht Kurzbeschreibung		Nr.	Ober- grenze	Unter- grenze	Schicht- mächtig- keit unter Gründung	Reibungs- winkel φ <sub>k</sub>	Kohäsion c' <sub>k</sub>	Steife- modul statisch E <sub>s,stat,k</sub>	Steife- modul dynamisch E <sub>s,dyn,k</sub>	Wichte	Quer- dehnungs- zahl ν	wirksamer Radius OK-Schicht r	Drehfeder- steifigkeit, statisch k <sub>φ,stat</sub>	Ausnutzung	Drehfeder- steifigkeit, dynamisch k <sub>φ,dyn.</sub>	Ausnutzung
			[m]	[m]	[m u. BZH]	[°]	[kN/m²]	[MN/m²]	[MN/m²]	γ <sub>k</sub>	[-]	[m]	[MNm/rad]	[%]	[MNm/rad]	[%]
Bodenaustausch/Tragschicht (Verdichtungsgrad: Dpr > 98%)		0.1	0,992	1,492	0,5	37,5	0	100	300	20	0,3	12,75	225.597	26,6	676.791	44,3
Gesteinsschutt		0.2	1,49	2,30	0,8	32,5	2,5	75	200	20	0,4	13,13	125.859	47,7	335.625	89,4
Fels (Ton-, Schluff- und Sandstein)		3	2,30	30,00	27,7	32,5	0	100	300	22	0,33	13,65	256.753	23,4	770.258	38,9
Bei der empfohlenen Gründung ist die geforderte Drehfedersteifigkeit im Zusammenwirken zwischen Fundament und Baugrund gewährleistet																
$K_{\varphi} = E_s / (3/4r^3 * (1+\nu) * (1-\nu)^2) / (1-\nu-2\nu)^2)$ <p>K<sub>φ</sub>: Drehfedersteifigkeit E<sub>s</sub>: Steifemodul r: Fundamentradius, bzw. bei quadratischen Fundamenten halbe Kantenlänge (rechnerisch OK Bodenschicht) ν: Querdehnungszahl des Bodens</p>													Geotechnisches Büro Dr. Koppelberg & Gerdes GmbH			
													Projekt: Windpark Lattenberg WEA 1...5 Typ: N163 6.X TCS164B-03			
													Auftraggeber: Ruhrtal NaturEnergie GmbH & Co. KG Kunibertstraße 9 59457 Werl			
													Gutachten: 24026-01		Anl.:1.1	

Boden	$\gamma$ [kN/m³]	$\gamma'$ [kN/m³]	$\phi$ [°]	c [kN/m²]	$E_s$ [MN/m²]	v [-]	Bezeichnung
	20.0	10.0	37.5	0.0	100.0	0.00	0.1 Schotterbodenaustausch
	20.0	10.0	32.5	2.5	75.0	0.00	2.2 Gesteinsschutt
	22.0	12.0	37.5	5.0	100.0	0.00	3 Fels (Ton-, Schluff- und Sandstein)



Ergebnisse Einzelfundament:  
Lasten = ständig / veränderlich  
Vertikallast  $F_{v,k} = 47534.00 / 0.00$  kN  
Horizontalkraft  $F_{h,x,k} = 0.00 / 0.00$  kN  
Horizontalkraft  $F_{h,y,k} = 0.00 / 0.00$  kN  
Moment  $M_{x,k} = 218891.00 / 0.00$  kN·m  
Moment  $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$  kN·m  
Durchmesser  $D = 25.500$  m  
Durchmesser (innen)  $d = 14.900$  m  
Unter ständigen Lasten:  
Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
Exzentrizität  $e_y = -4.605$  m  
**Resultierende im 2. Kern (= 8.288 m)**  
 $a' = 12.259$  m  
 $b' = 17.894$  m  
Unter Gesamtlasten:  
Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
Exzentrizität  $e_y = -4.605$  m  
**Resultierende im 2. Kern (= 8.288 m)**  
 $a' = 12.259$  m  
 $b' = 17.894$  m

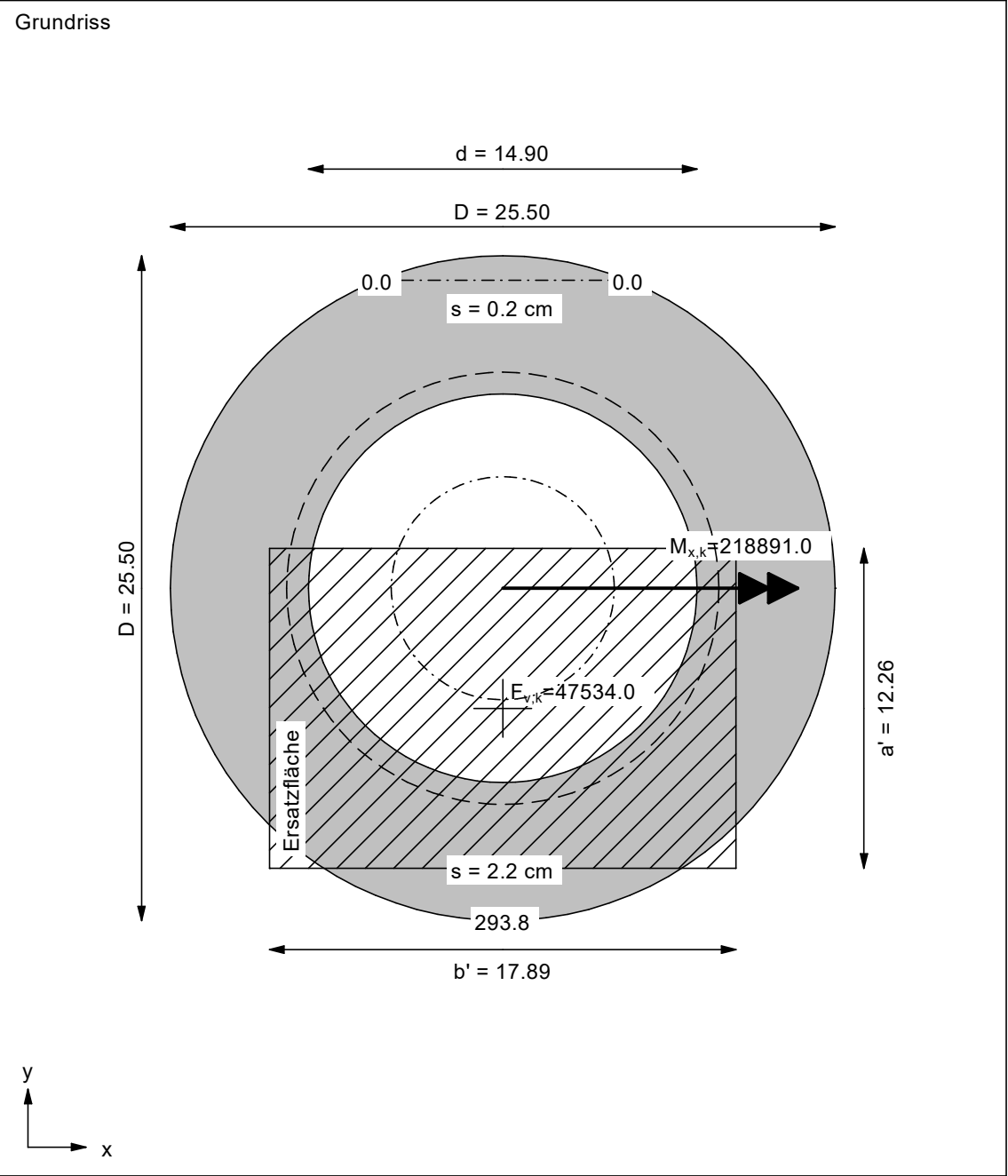
cal  $\sigma_u = 9.90$  kN/m²  
UK log. Spirale = 26.42 m u. GOK  
Länge log. Spirale = 111.04 m  
Fläche log. Spirale = 1499.95 m²  
Tragfähigkeitsbeiwerte (y):  
 $N_{c0} = 56.01$ ;  $N_{d0} = 43.32$ ;  $N_{b0} = 31.97$   
Formbeiwerte (y):  
 $v_c = 1.423$ ;  $v_d = 1.413$ ;  $v_b = 0.794$

Setzung infolge Gesamtlasten:  
Grenztiefe  $t_g = 16.74$  m u. GOK  
Setzung (Mittel aller KPs) = 1.21 cm  
Setzungen der KPs:  
oben = 0.25 cm  
unten = 2.17 cm  
Verdrehung(x) (KP) = 1 : 1120.7  
Nachweis EQU:  
 $M_{stb} = 47534.0 \cdot 25.50 \cdot 0.5 \cdot 0.90 = 545452.7$   
 $M_{dst} = 218891.0 \cdot 1.10 = 240780.1$   
 $\mu_{EQU} = 240780.1 / 545452.7 = 0.441$

Grundbruch:  
Durchstanzen untersucht,  
aber nicht maßgebend.  
Teilsicherheit (Grundbruch)  $\gamma_{R,v} = 1.40$   
 $\sigma_{R,k} / \sigma_{R,d} = 4587.1 / 3276.50$  kN/m²  
 $R_{n,k} = 1006210.10$  kN  
 $R_{n,d} = 718721.50$  kN  
 $V_d = 1.35 \cdot 47534.00 + 1.50 \cdot 0.00$  kN  
 $V_d = 64170.90$  kN  
 $\mu$  (parallel zu y) = 0.089  
cal  $\phi = 37.1^\circ$   
cal c = 4.70 kN/m²  
cal  $\gamma_2 = 11.58$  kN/m³

Berechnungsgrundlagen:  
Norm: EC 7  
BS: DIN 1054: BS-P  
Grundbruchformel nach DIN 4017:2006  
Teilsicherheitskonzept (EC 7)  
 $\gamma_{R,v} = 1.40$   
 $\gamma_G = 1.35$   
 $\gamma_Q = 1.50$   
Grenzzustand EQU:  
 $\gamma_{G,dst} = 1.10$

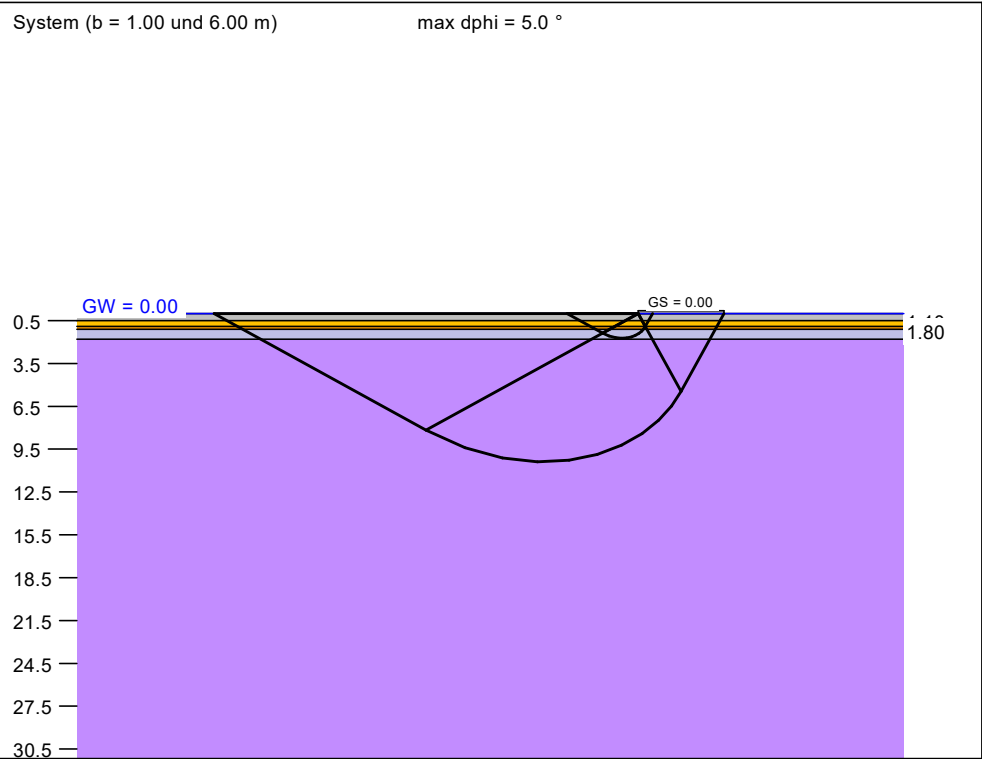
$\gamma_{G,stab} = 0.90$   
 $\gamma_{Q,dst} = 1.50$   
Gründungssohle = 0.99 m  
Grundwasser = 0.00 m  
Grenztiefe mit  $p = 20.0$  %  
- - - - 1. Kernweite  
- - - - 2. Kernweite



Geotechnisches Büro Dr. Koppelberg & Gerdes, Moers  
Projekt: Windpark Lattenberg: Kranstellfläche

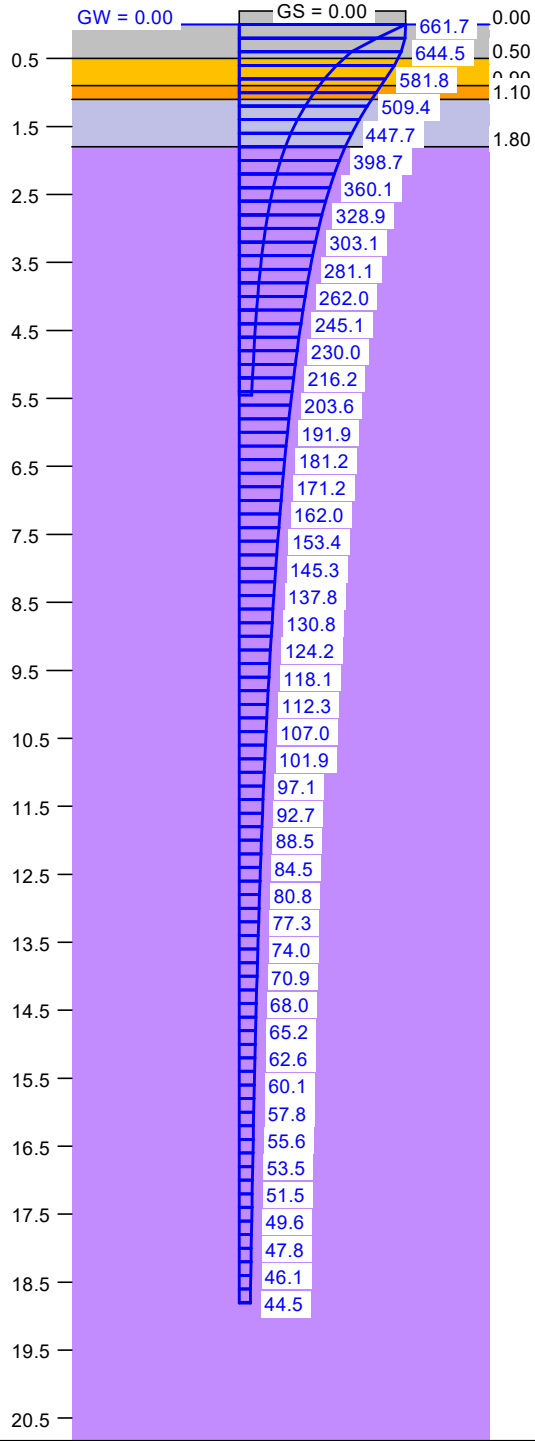
Anlage:1.3  
Bearb.Nr.: 24026-01

Boden	$\gamma$ [kN/m³]	$\gamma'$ [kN/m³]	$\phi$ [°]	c [kN/m²]	$E_s$ [MN/m²]	$\nu$ [-]	Bezeichnung
	20.0	10.0	37.5	0.0	100.0	0.00	Schotter
	20.0	11.0	35.0	5.0	45.0	0.00	Bodenvermörtelung
	19.0	9.0	27.5	10.0	10.0	0.00	2.1 Verwitterungslehm
	20.0	10.0	32.5	2.5	75.0	0.00	3 Gesteinsschutt
	22.0	12.0	37.5	5.0	100.0	0.00	3 Fels



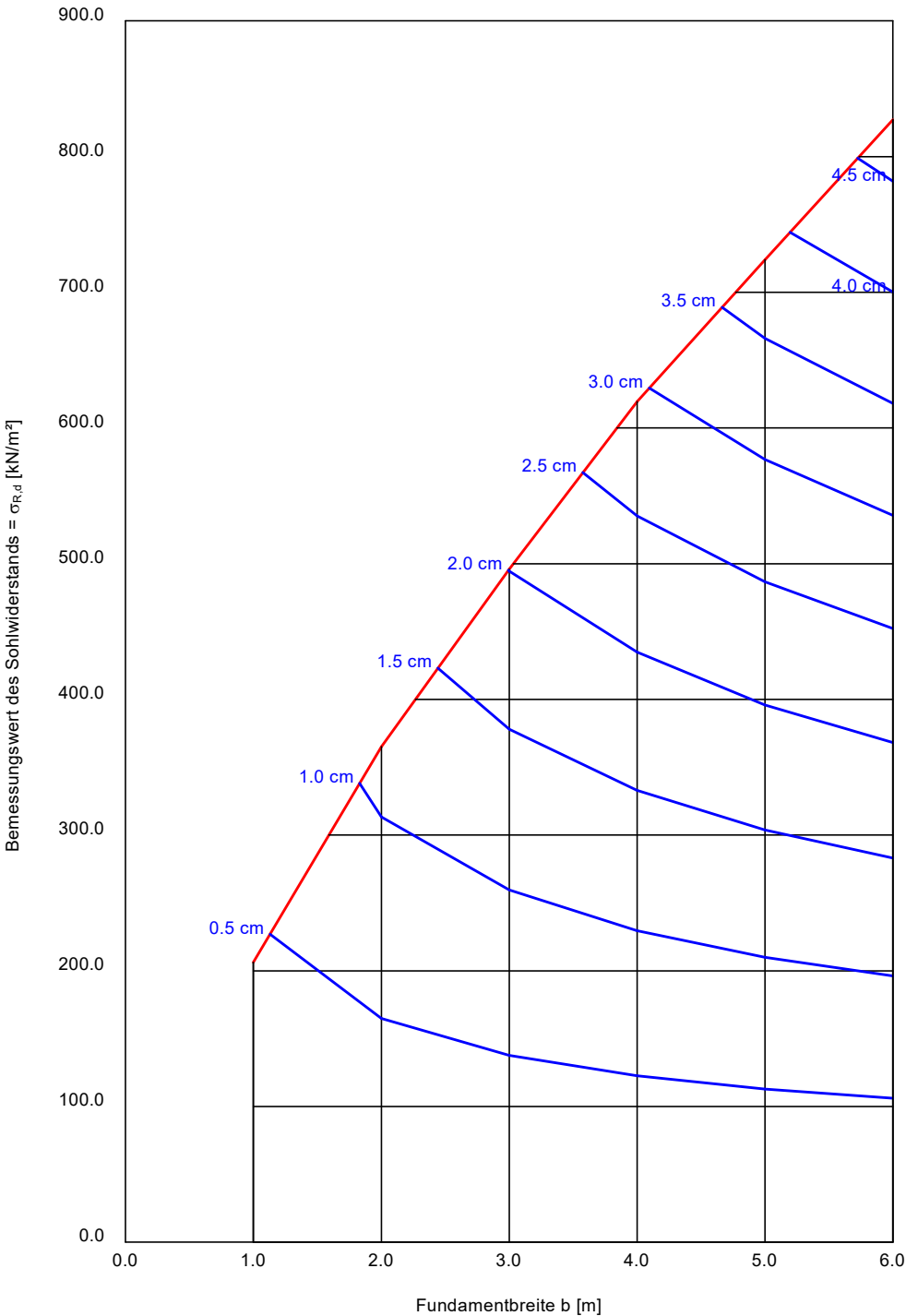
a [m]	b [m]	$\sigma_{R,d}$ [kN/m²]	$R_{n,d}$ [kN/m]	$\sigma_{E,k}$ [kN/m²]	s [cm]	cal $\phi$ [°]	cal c [kN/m²]	$\gamma_2$ [kN/m³]	$\sigma_0$ [kN/m²]	$t_g$ [m]	UK LS [m]
10.00	1.00	206.2	206.2	165.0	0.43	32.5 *	3.07	10.15	0.00	5.45	1.74
10.00	2.00	365.0	730.1	292.0	1.18	32.4 *	4.27	10.73	0.00	9.18	3.46
10.00	3.00	495.9	1487.8	396.7	2.01	32.4 *	4.51	11.09	0.00	12.11	5.19
10.00	4.00	619.4	2477.5	495.5	2.92	32.5 *	4.64	11.30	0.00	14.66	6.93
10.00	5.00	723.8	3619.1	579.1	3.82	32.4 *	4.71	11.42	0.00	16.81	8.65
10.00	6.00	827.1	4962.6	661.7	4.78	32.4 *	4.76	11.51	0.00	18.81	10.38

Spannungsverlauf (b = 1.00 und 6.00 m)



Berechnungsgrundlagen:  
Norm: EC 7  
BS: DIN 1054: BS-T  
Grundbruchformel nach DIN 4017:2006  
Teilsicherheitskonzept (EC 7)  
Streifenfundament (a = 10.00 m)  
 $\gamma_{R,v} = 1.30$   
 $\gamma_G = 1.20$   
 $\gamma_Q = 1.30$   
Anteil Veränderliche Lasten = 0.500

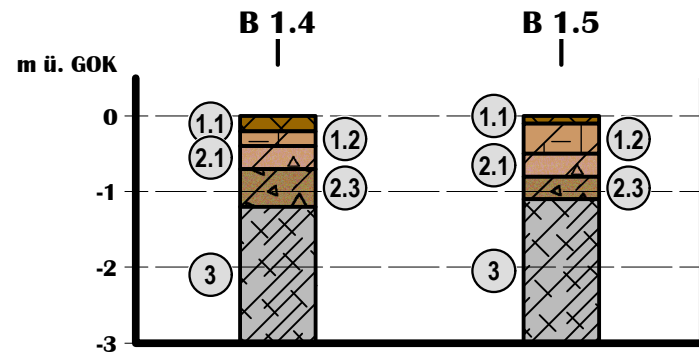
$\gamma_{(G,Q)} = 0.500 \cdot \gamma_Q + (1 - 0.500) \cdot \gamma_G$   
 $\gamma_{(G,Q)} = 1.250$   
Gründungssohle = 0.00 m  
Grundwasser = 0.00 m  
Grenztiefe mit p = 20.0 %  
Grenztiefen spannungsvariabel bestimmt  
— Sohlruck  
— Setzungen



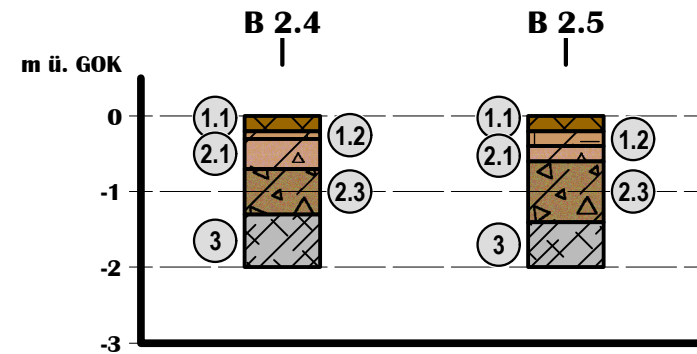
\* phi wegen 5° Bedingung abgemindert  
 $\sigma_{E,k} = \sigma_{R,k} / (\gamma_{R,v} \cdot \gamma_{(G,Q)}) = \sigma_{R,k} / (1.30 \cdot 1.25) = \sigma_{R,k} / 1.63$  (für Setzungen)



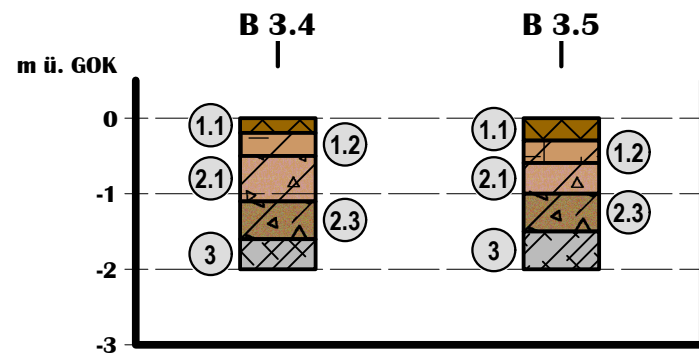
## WEA 1



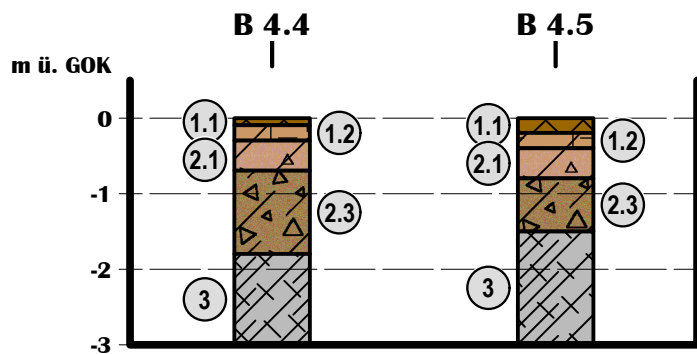
## WEA 2



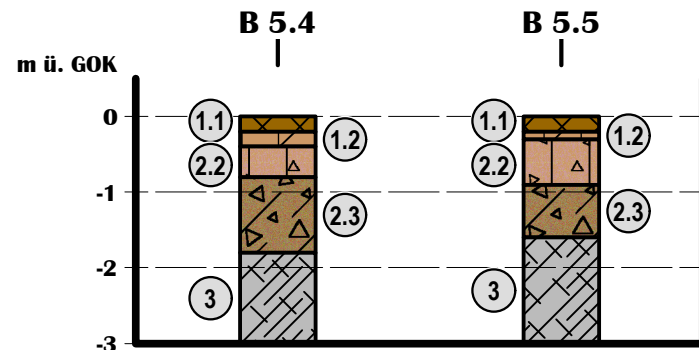
## WEA 3



## WEA 4



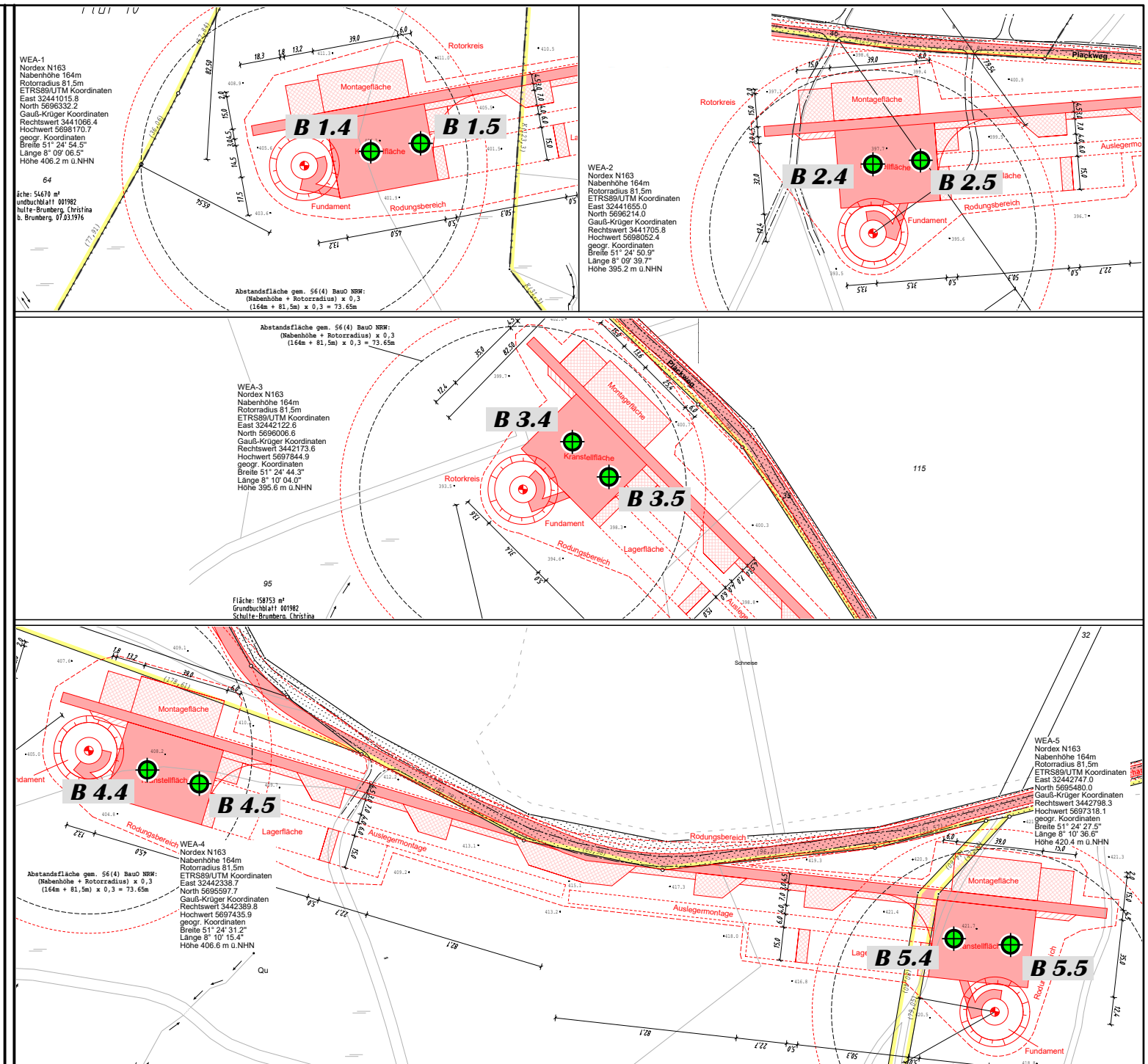
## WEA 5



### Legende:

- |  |  |
|--|--|
|  | 1.1 Mutterboden  |
|  | 1.2 Verwitterungslehm und -ton, schwach steinig bis steinig, mit humosen Spuren          |
|  | 2.1 Verwitterungslehm, schwach steinig bis steinig                                       |
|  | 2.2 Verwitterungston, schwach steinig  |
|  | 2.3 Gesteinsschutt, lehmig   |
|  | 3 Fels, stark verwittert übergehend in schwach verwittert (Ton-, Schluff- und Sandstein) |

Säulenprofile der Kranstellflächen, Maßstab 1:100



Lagepläne mit Untersuchungen, Maßstab 1:2500



Übersichtslageplan, ohne Maßstab

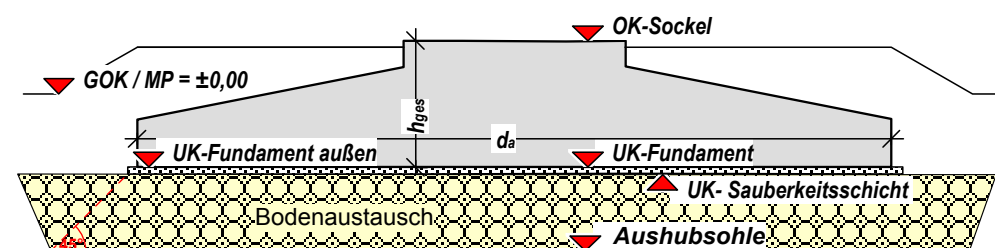
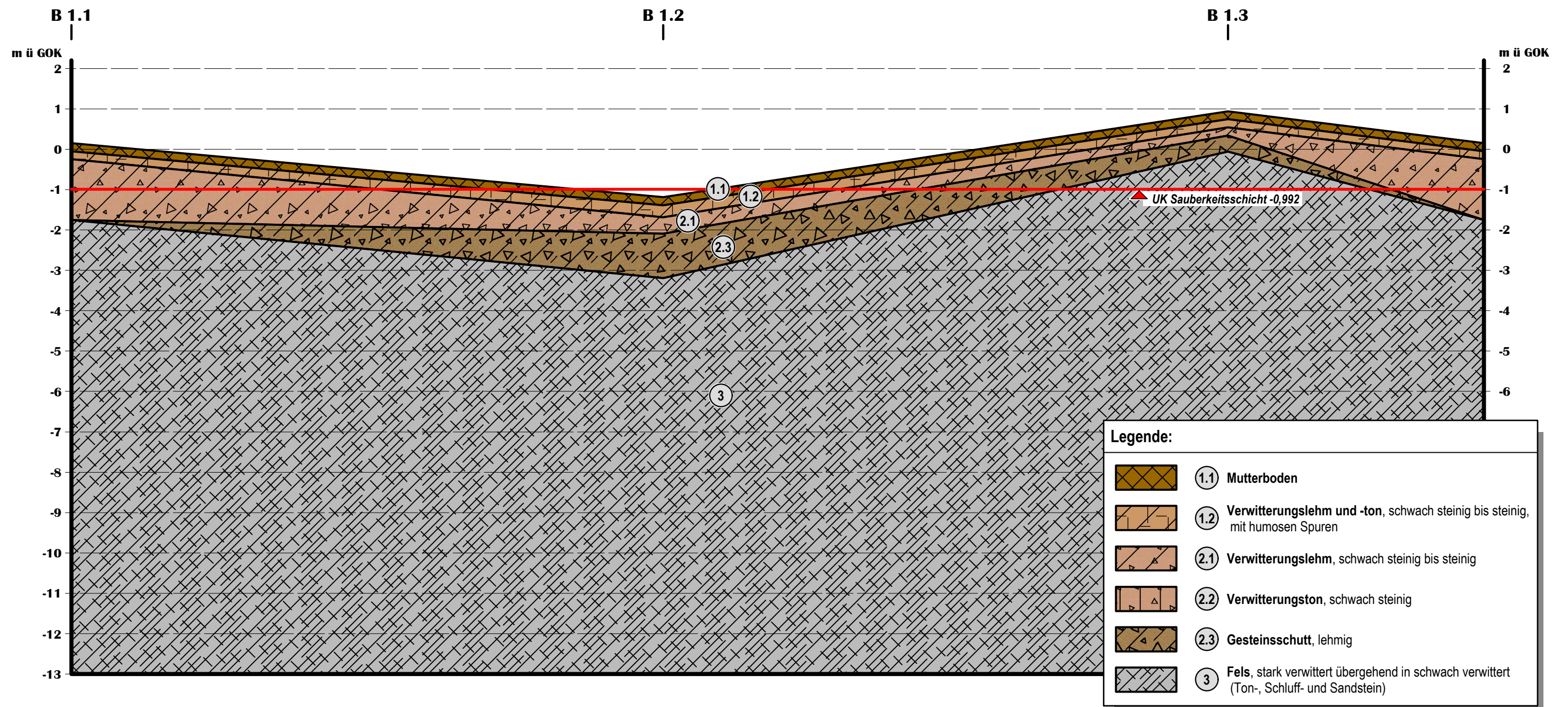
Geotechnisches Büro  
Dr. Koppelberg & Gerdes GmbH  
Fritz-Peters-Straße 22, 47447 Moers  
Tel.: 02841/96733-3 Fax: 96733-5  
eMail: post@baugrund-moers.de

Projekt: Neubau von 5 WEA  
Typ: Nordex N163/6.X TCS 164B-03  
WP Lattenberg 59823 Arnberg

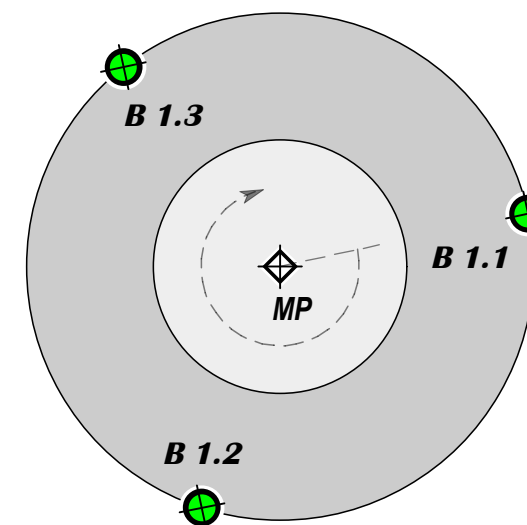
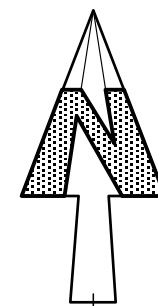
Auftraggeber:  
Ruhrtal NaturEnergie GmbH & Co. KG  
Kunibertstraße 9 59457 Werl

Planinhalt:  
• Lagepläne mit Untersuchungen, Maßstab 1:2500  
• Säulenprofile der Kranstellflächen, Maßstab 1:100  
• Übersichtslageplan, ohne Maßstab

Bearbeiter: J. Weghs	Plan-Bez.: 24026-01-2	Datum: 27.02.2024
Maßstab:	Gutachten-Nr.: 24026-01	Anlage: 2

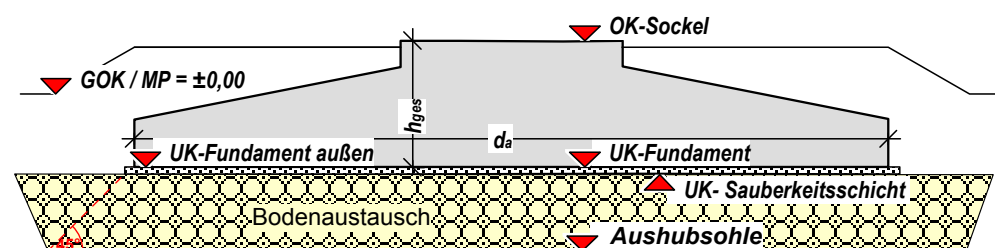
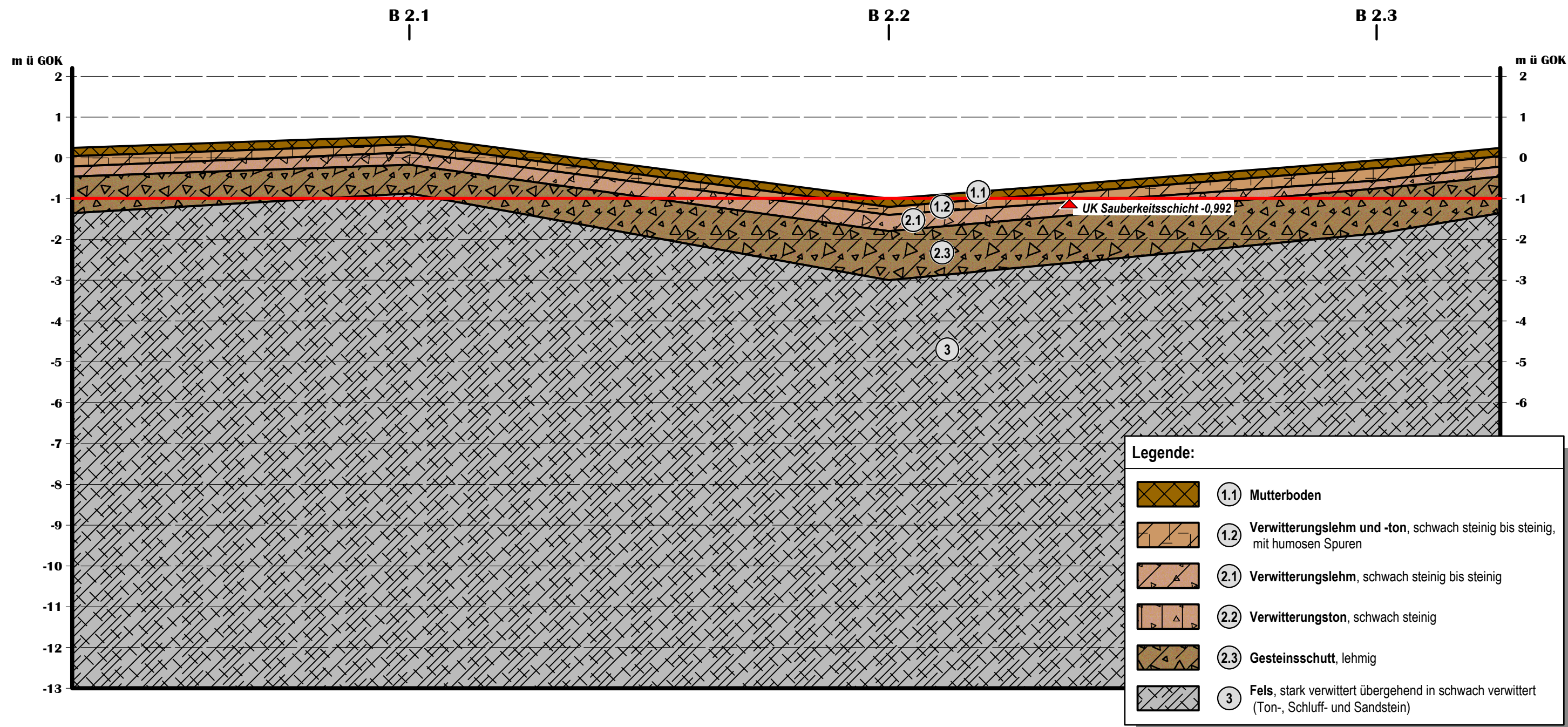


Fundamentgeometrie	N163/6.X TCS 164B-03
	Kreisfundament mit Auftrieb
Außendurchmesser $d_a$ [m]	25,50
Außendurchmesser Weichschicht [m]	14,90
Fundamenthöhe $h_{ges}$ [m]	2,80
Fundamentunterkante [m ü. GOK]	-0,892
UK Sauberkeitsschicht [m ü. GOK]	-0,992

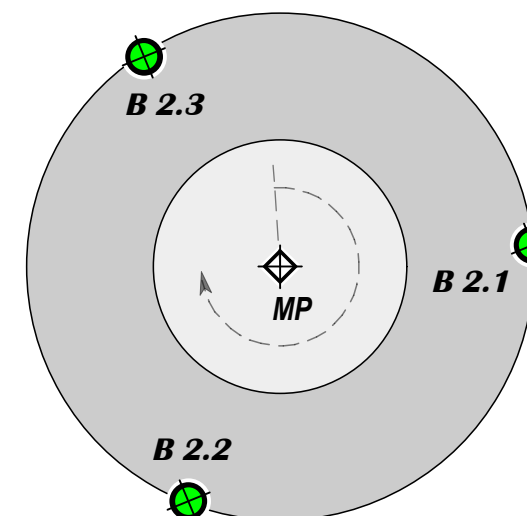
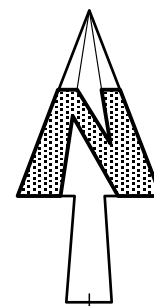


<b>Geotechnisches Büro</b> Dr. Koppelberg & Gerdes GmbH Fritz-Peters-Straße 22, 47447 Moers Tel.: 02841/96733-3 Fax: 96733-5 eMail: post@baugrund-moers.de		
Projekt: Neubau von 5 WEA		
Typ: Nordex N163/6.X TCS 164B-03 WP Lattenberg 59823 Arnsberg		
Auftraggeber: Ruhrtal NaturEnergie GmbH & Co. KG Kunibertstraße 9 59457 Werl		
Planinhalt: • Fundamentaufsicht mit Untersuchungen, M ohne • Schemaschnitt durch das Fundament, M ohne • Interpoliertes Schichtenprofil, Maßstab 1:~100		
Bearbeiter: J. Weghs	Plan-Bez.: 24026-01-3.1	Datum: 27.02.2024
WEA 1	Gutachten-Nr.: 24026-01	Anlage: 3.1

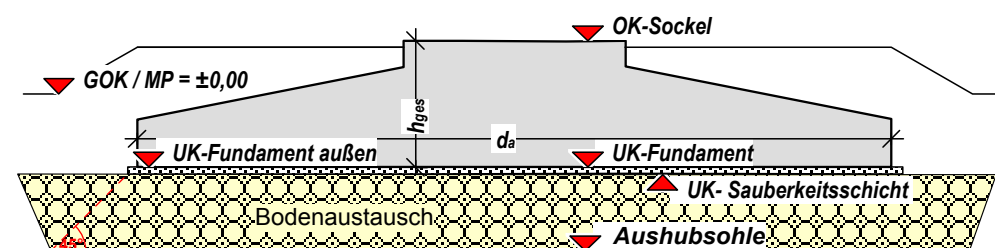
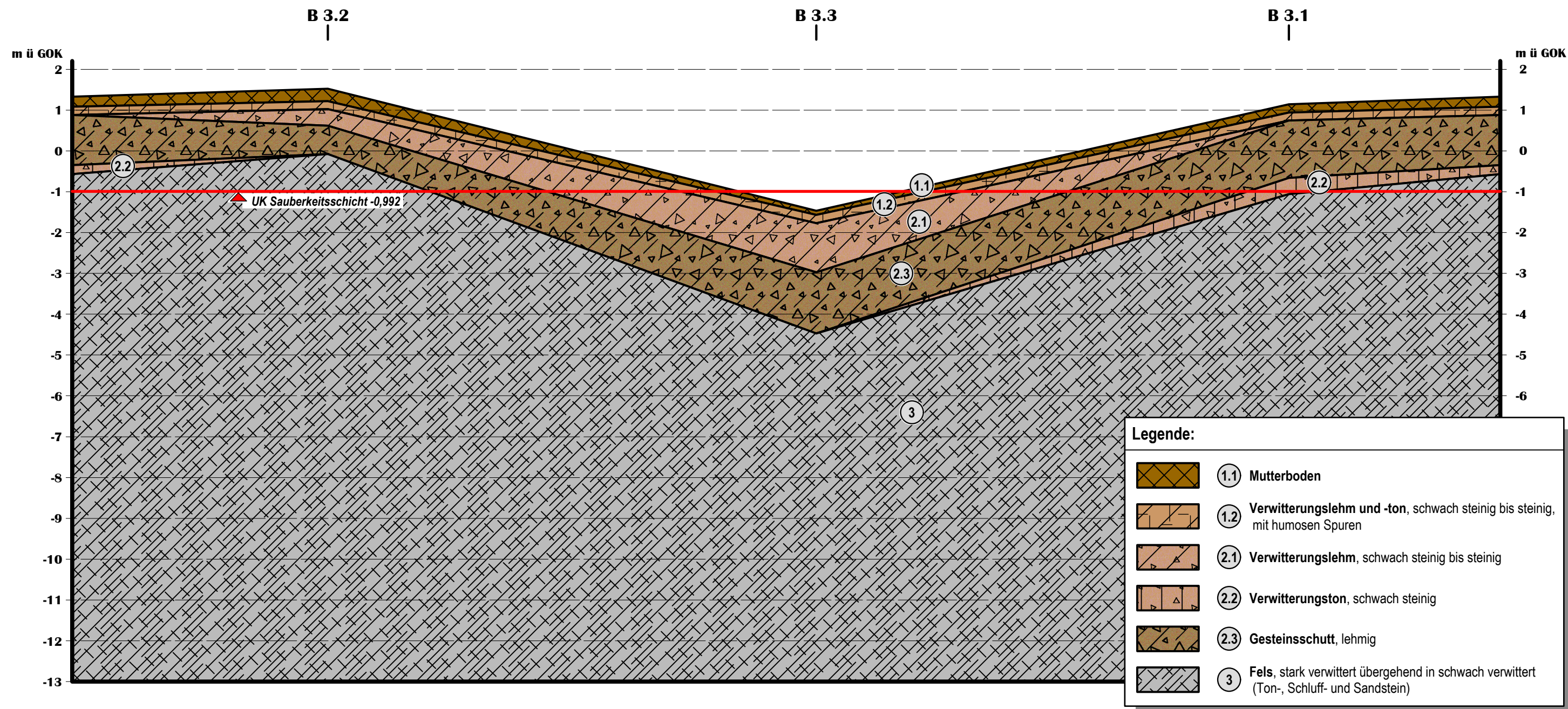




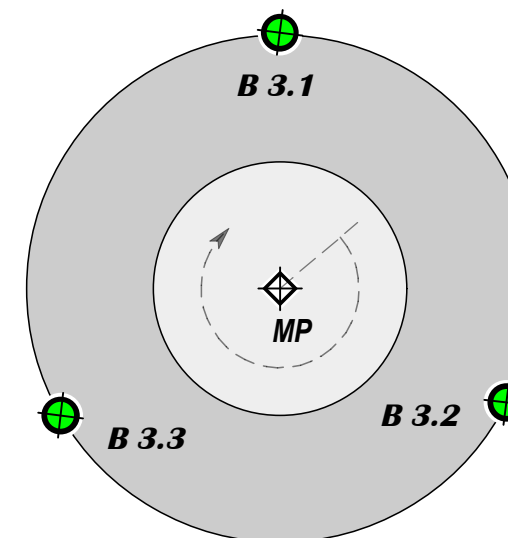
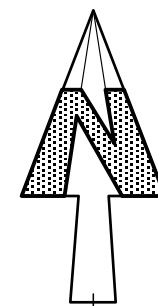
Fundamentgeometrie	N163/6.X TCS 164B-03
	Kreisfundament mit Auftrieb
Außendurchmesser d <sub>a</sub> [m]	25,50
Außendurchmesser Weichschicht [m]	14,90
Fundamenthöhe h <sub>ges</sub> [m]	2,80
Fundamentunterkante [m ü. GOK]	-0,892
UK Sauberkeitsschicht [m ü. GOK]	-0,992



<b>Geotechnisches Büro</b> Dr. Koppelberg & Gerdes GmbH Fritz-Peters-Straße 22, 47447 Moers Tel.: 02841/96733-3 Fax: 96733-5 eMail: post@baugrund-moers.de		
Projekt: Neubau von 5 WEA Typ: Nordex N163/6.X TCS 164B-03 WP Lattenberg 59823 Arnsberg		
Auftraggeber: Ruhrtal NaturEnergie GmbH & Co. KG Kunibertstraße 9 59457 Werl		
Planinhalt: • Fundamentaufsicht mit Untersuchungen, M ohne • Schemaschnitt durch das Fundament, M ohne • Interpoliertes Schichtenprofil, Maßstab 1:~100		
Bearbeiter: J. Weghs	Plan-Bez.: 24026-01-3.2	Datum: 27.02.2024
WEA 2	Gutachten-Nr.: 24026-01	Anlage: 3.2

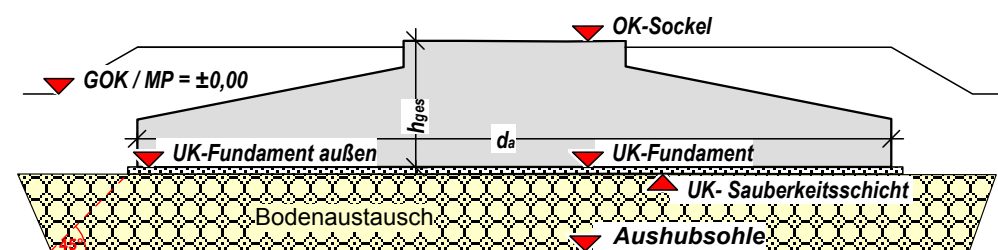
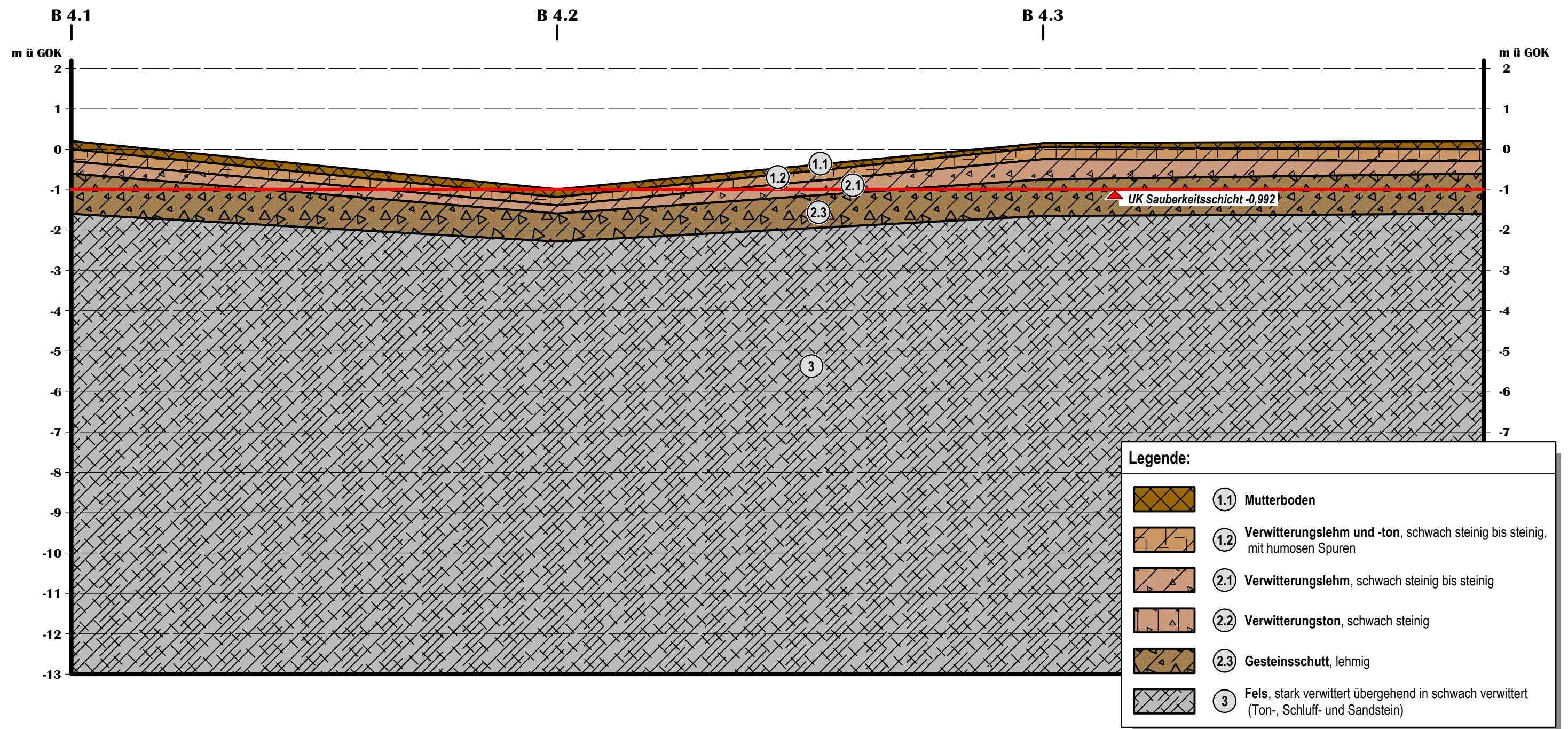


Fundamentgeometrie	N163/6.X TCS 164B-03
	Kreisfundament mit Auftrieb
Außendurchmesser $d_a$ [m]	25,50
Außendurchmesser Weichschicht [m]	14,90
Fundamenthöhe $h_{ges}$ [m]	2,80
Fundamentunterkante [m ü. GOK]	-0,892
UK Sauberkeitsschicht [m ü. GOK]	-0,992

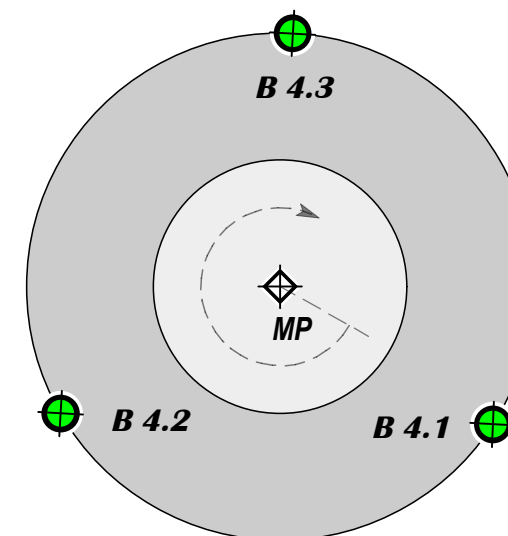
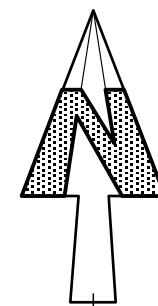


<b>Geotechnisches Büro</b> Dr. Koppelberg & Gerdes GmbH Fritz-Peters-Straße 22, 47447 Moers Tel.: 02841/96733-3 Fax: 96733-5 eMail: post@baugrund-moers.de		
Projekt: Neubau von 5 WEA Typ: Nordex N163/6.X TCS 164B-03 WP Lattenberg 59823 Arnsberg		
Auftraggeber: Ruhrtal NaturEnergie GmbH & Co. KG Kunibertstraße 9 59457 Werl		
Planinhalt: • Fundamentaufsicht mit Untersuchungen, M ohne • Schemaschnitt durch das Fundament, M ohne • Interpoliertes Schichtenprofil, Maßstab 1:~100		
Bearbeiter: J. Weghs	Plan-Bez.: 24026-01-3.3	Datum: 27.02.2024
WEA 3	Gutachten-Nr.: 24026-01	Anlage: 3.3

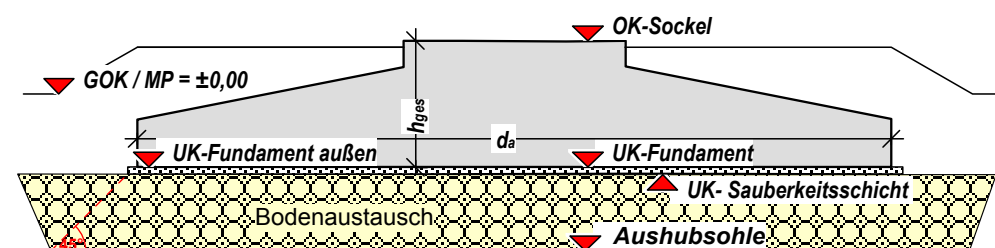
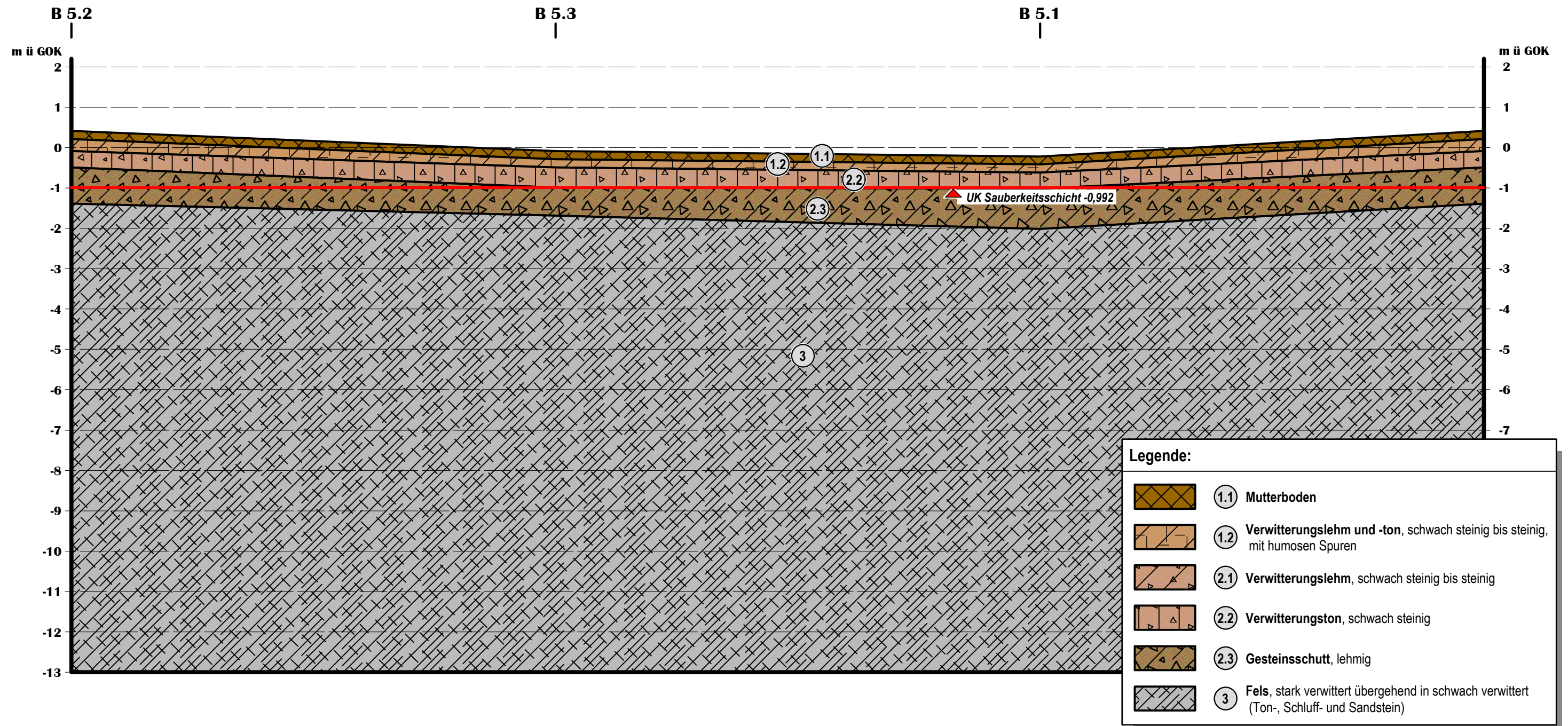




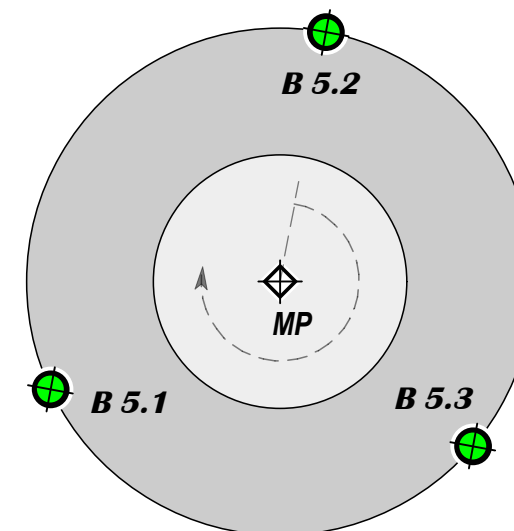
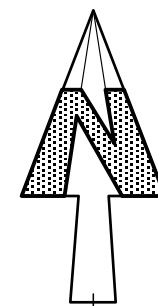
Fundamentgeometrie	N163/6.X TCS 164B-03
	Kreisfundament mit Auftrieb
Außendurchmesser $d_a$ [m]	25,50
Außendurchmesser Weichschicht [m]	14,90
Fundamenthöhe $h_{ges}$ [m]	2,80
Fundamentunterkante [m ü. GOK]	-0,892
UK Sauberkeitsschicht [m ü. GOK]	-0,992



Geotechnisches Büro Dr. Koppelberg & Gerdes GmbH Fritz-Peters-Straße 22, 47447 Moers Tel.: 02841/96733-3 Fax: 96733-5 eMail: post@baugrund-moers.de		
Projekt: Neubau von 5 WEA Typ: Nordex N163/6.X TCS 164B-03 WP Lattenberg 59823 Arnsberg		
Auftraggeber: Ruhrtal NaturEnergie GmbH & Co. KG Kunibertstraße 9 59457 Werl		
Planinhalt: • Fundamentaufsicht mit Untersuchungen, M ohne • Schemaschnitt durch das Fundament, M ohne • Interpoliertes Schichtenprofil, Maßstab 1:~100		
Bearbeiter: J. Weghs	Plan-Bez.: 24026-01-3.4	Datum: 27.02.2024
WEA 4	Gutachten-Nr.: 24026-01	Anlage: 3.4



Fundamentgeometrie	N163/6.X TCS 164B-03
	Kreisfundament mit Auftrieb
Außendurchmesser d <sub>a</sub> [m]	25,50
Außendurchmesser Weichschicht [m]	14,90
Fundamenthöhe h <sub>ges</sub> [m]	2,80
Fundamentunterkante [m ü. GOK]	-0,892
UK Sauberkeitsschicht [m ü. GOK]	-0,992



<b>Geotechnisches Büro</b> Dr. Koppelberg & Gerdes GmbH Fritz-Peters-Straße 22, 47447 Moers Tel.: 02841/96733-3 Fax: 96733-5 eMail: post@baugrund-moers.de		
Projekt: Neubau von 5 WEA		
Typ: Nordex N163/6.X TCS 164B-03 WP Lattenberg 59823 Arnsberg		
Auftraggeber: Ruhrtal NaturEnergie GmbH & Co. KG Kunibertstraße 9 59457 Werl		
Planinhalt: • Fundamentaufsicht mit Untersuchungen, M ohne • Schemaschnitt durch das Fundament, M ohne • Interpoliertes Schichtenprofil, Maßstab 1:~100		
Bearbeiter: J. Weghs	Plan-Bez.: 24026-01-3.5	Datum: 27.02.2024
WEA 5	Gutachten-Nr.: 24026-01	Anlage: 3.5