

Geotechnisches Büro Dr. Koppelberg & Gerdes GmbH

Fritz - Peters - Straße 22
D - 47447 Moers

Tel.: 02841/ 967 33 - 3
Fax.: 02841/ 967 33 - 44
eMail: post@baugrund-moers.de
Internet: www.baugrund-moers.de

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

ABO Wind AG
Herrn Michael Lohmann
Hauert 14
44227 Dortmund

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

Moers, 18.11.2021
Unser Zeichen: Ge - sk

Baugrundgutachten

Projekt: Neubau von 2 Windenergieanlagen
Typ: Nordex N149/5.7 TS125-04
Schälkstraße/Gut Böckelühr
58239 Schwerte

Auftraggeber: ABO Wind AG
Unter den Eichen 7
65195 Wiesbaden

Gutachten: 21065-01
Bearbeiter: Dipl.-Geol. Ch. Gerdes

INHALT:

1	Vorgang	4
2	Untersuchungsumfang	4
3	Baugrund	5
3.1	Erbohrte Bodenschichtenfolge.....	5
3.1.1	Auffüllungen/Wegbefestigung (Schicht Nr. 1).....	5
3.1.2	Bodenbildungshorizont (Schichten Nr. 2.1 und 2.2).....	5
3.1.3	Verwitterungsschichten (Schichten Nr. 3.1 und 3.2).....	6
3.1.4	Fels (Schicht Nr. 4).....	6
3.2	Erdbebenbeeinflussung.....	7
4	Wasserverhältnisse	7
4.1	Wasserstände	7
4.2	Betonangriff nach DIN 4030/EN 206.....	7
5	Bodenklassen, Bodengruppen, Frostempfindlichkeit.....	8
6	Bodenmechanische Kennwerte.....	8
7	Gründung	9
7.1	Grundlagen	9
7.2	Gründungsempfehlung.....	10
8	Hinweise zur Bauausführung	11
9	Nachweis der geforderten Bodenkennwerte	12
9.1	Drehfedersteifigkeit.....	12
9.2	Aufnehmbarer Sohldruck.....	12
9.3	Grundwasserhöchststand.....	13
9.4	Setzungsbedingte Schiefstellung.....	14
9.5	Bodenüberdeckung.....	14
10	Elektrotechnische Erdung	14
11	Hinweise zum Wegebau und Kranstellflächenbau	15
11.1	Allgemeines/Wegebestand.....	15
11.2	Oberbau unter Beachtung der RStO-12.....	15
11.3	Wassereinfluss.....	17
11.4	Tragfähigkeit der Kranstellflächen	17
11.5	Setzungsverhalten.....	19

ANLAGEN:

- Anlagen 0: Dokumentation
- 0.1 Schichtenverzeichnis
 - 0.2...0.3 Wassergehaltsbestimmungen nach DIN 18.121
 - 0.4 Prüfzeugnis SGS Fresenius, Ergebnisse der Bodenanalysen n. DIN 4030/EN206
- Anlagen 1: Rechenanhang
- 1.1 Berechnung der Drehfedersteifigkeiten
 - 1.2 Grundbruchberechnung nach DIN 4017; WEA
 - 1.3 Setzungsberechnung nach DIN 4019; WEA
 - 1.4 Grundbruchberechnung nach DIN 4017; Kranstellflächen
 - 1.5 Setzungsberechnung nach DIN 4019; Kranstellflächen
- Anlage 2: Übersichtslageplan, ohne Maßstab
Lageplan mit Anlagenstandorten und Bohrungen auf den Kranstellflächen, Maßstab 1:5000
Säulenprofile der Bohrungen im Bereich der Kranstellflächen, Höhenmaßstab 1:50
- Anlagen 3.1...3.2: Fundamentaufsichten mit Bohrpunkten
Schemaschnitte durch die Fundamente
Interpolierte Schichtenprofile, Maßstab 1:-/100

1 Vorgang

Südöstlich von Schwerte, Gut Böckelühr soll ein Windpark mit 2 Windenergieanlagen der Firma Nordex vom Typ N149/5.7 TS125-04 errichtet werden. Nach den vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Unterlagen weisen die Fundamentmittelpunkte der Anlagen folgende Koordinaten auf:

Anlagenstandort	ETRS-Koordinaten		Geländehöhe nach topographischer Karte ca. mNHN
	Rechtswert	Hochwert	
WEA 1	32 403 626,1	56 94 438,7	238
WEA 2	32 403 507,5	56 94 052,5	241

Tab. 1.1

2 Untersuchungsumfang

Die Baugrunduntersuchungen für die Fundamentstandorte wurden am 12.07.2021 durchgeführt. Die Untersuchungen für die Kranstellflächen erfolgten am 12.10.2021. Je Anlagenstandort wurden folgende Prüfungen durchgeführt:

Anzahl je WEA	Art der Untersuchung
3	Fundament: Kleinrammbohrungen, \varnothing 80/36 mm, mit einer Tiefe von max. 4 m unter Geländeoberkante, bis zur Auslastungsgrenze des schweren Rammgerätes im Fels
2	Kranstellfläche: Kleinrammbohrungen, \varnothing 80/36 mm, Tiefe max. 3,0 m unter Geländeoberkante, bis zur Auslastungsgrenze des schweren Rammgerätes im Fels
1	Nivellement der Bohrpunkte mit Bezug auf die Geländeoberkante im Bereich des Fundamentmittelpunktes (MP = $\pm 0,00$ m)
1	Messung des spezifischen elektrischen Erdwiderstands nach VDE 0413
1	Entnahme einer Bodenprobe und Analyse nach DIN 4030 (Betonaggressivität)
1	Entnahme einer Bodenprobe und Bestimmung des Wassergehalts nach DIN 18.121
1	Auswertung der geologischen Karte Blatt CC4710 Münster; Maßstab 1:200.000

Tab. 2.1

Die Lage der WEA-Standorte und die Ergebnisse der Bohrungen auf den Kranstellflächen sind als Säulenprofile in der Anlage 2 verzeichnet. Die Lage der Bohrpunkte im Bereich der Fundamentstandorte ist den Fundamentskizzen (Anl. 3.1...3.2) zu entnehmen. Die Ergebnisse der Bohrungen liegen als Schichtenverzeichnis bei und sind als interpolierte Schichtenprofile in den Anlagen 3.1...3.2 zeichnerisch dargestellt.

3 Baugrund

In den Bohrungen wurde mit Ausnahme der Bohrung 2.1, die in einem aufgeschütteten Waldweg lag, ein natürliches Bodenprofil aus Mutterboden, Verwitterungsschichten und Fels angetroffen. Lokal wurden geringmächtige Lösslehmablagerungen über den Verwitterungsschichten erbohrt.

Bei dem Fels handelt es sich um das Grundgebirge aus karbonischem Ton-, Schluff- und Sandstein (Übergangsbereich zwischen den sog. Hagener Schichten und den Arnsberger Schichten). Beide Einheiten bestehen überwiegend aus sandigem Ton- und Schluffstein mit Sandsteinen, welche für die Hagener Schichten als glimmerreich beschrieben werden. Die Arnsberger Schichten weisen nach den Kartenangaben z.T. konglomeratische und quarzitisches Einlagerungen auf.

3.1 Erbohrte Bodenschichtenfolge

In den Bohrungen wurde folgender genereller Schichtenaufbau festgestellt:

- Auffüllungen/Wegbefestigung
- Bodenbildungshorizont
- Verwitterungsschichten
- Fels (Sand-, Schluff- und Tonstein)

3.1.1 Auffüllungen/Wegbefestigung (Schicht Nr. 1)

Der Fundamentmittelpunkt der WEA 2 liegt im Bereich eines Waldwegs. Die Bohrung B 2.1 wurde im Weg angesetzt, der in einer Stärke von 1,2 m mit Bauschutt, Schlacke und Lehmboden befestigt wurde. Bis in eine Tiefe von etwa 0,4 m wurde ein erhöhter Lehmantel mit Holzresten erbohrt.

3.1.2 Bodenbildungshorizont (Schichten Nr. 2.1 und 2.2)

In den übrigen Bohrungen beginnt die Schichtenfolge mit einem etwa 0,2 m starken Mutterbodenhorizont (Schicht Nr. 2.1). In der Bohrung B 2.1 wurde der ehemalige, d.h. zwischenzeitlich verrottete Mutterboden unter der Wegbefestigung angetroffen.

Der Mutterboden geht nach unten in Verwitterungs- und Lösslehm mit humosen Spuren über. Diese Schicht Nr. 2.2 bildet den tieferen Teil des Bodenbildungshorizonts, dessen Unterkante nach den Bohrergebnissen zwischen ca. 0,3 m und 0,4 m unter Gelände liegt. Eine Ausnahme bildet die Bohrung B 2.1, hier liegt die Unterkante des ehemaligen Oberbodens durch die Überdeckung etwa 1,4 m unter Gelände.

3.1.3 Verwitterungsschichten (Schichten Nr. 3.1 und 3.2)

Unter dem Bodenbildungshorizont lagert schwach steiniger bis steiniger Verwitterungslehm (Schicht Nr. 3.1) mit steif bis halbfester Konsistenz. Am Anlagenstandort WEA 2 ist der Verwitterungslehm tonig ausgeprägt. Die Unterkante der Schicht Nr. 3.1 wurde im Bereich der Fundamentstandorte in folgenden Tiefen angetroffen:

Anlagenstandort	UK Verwitterungslehm, steinig [m ü. GOK]	UK Verwitterungslehm, steinig [m ü. Bezugshöhe/MP]
WEA 1	-0,6...-1,1	-0,0...-1,4
WEA 2	-0,4...-1,9	-0,8...-2,6

Tab. 3.1

Den tieferen Teil der Verwitterungsschichten bildet lehmiger Gesteinsschutt (Schicht Nr. 3.2). Der Gesteinsschutt ist – nach den Bohrwiderständen zu urteilen – dicht gelagert. In den stärker lehmhaltigen Lagen hat er eine steif bis halbfeste Konsistenz. Die Wassergehalte der Verwitterungsschichten liegen nach den Analyseergebnissen (Anlagen 0.2 und 0.3) i.M. bei 11,8 % (B 1.1) bzw. 17,6 % (B 2.1).

Die erbohrten Unterkanten sind in der nachstehenden Tabelle angegeben:

Anlagenstandort	UK Gesteinsschutt, schwach lehmig bis lehmig = OK-Fels [m ü. GOK]	UK Gesteinsschutt, schwach lehmig bis lehmig = OK-Fels [m ü. Bezugshöhe/MP]
WEA 1	-1,5...-1,9	-1,0...-2,3
WEA 2	-1,1...-2,6	-1,0...-3,3

Tab. 3.2

3.1.4 Fels (Schicht Nr. 4)

Der weitere Untergrund wird in allen Bohrungen bis zur Bohrendtiefe von maximal 4 m unter Gelände von stark verwittertem, im tieferen Teil schwach verwittertem Fels gebildet. Dieser besteht aus Sandstein, Schluffstein und Tonstein.

Der Fels ist den sog. Hagerer und Arnsberger Schichten zuzuordnen (s.o.). Er reicht nach der geologischen Karte bis in sehr große Tiefe, d.h. weit unter die Einflusstiefe der Fundamente. Stärker zusammendrückbare Schichten, die für die Setzungen der geplanten Windenergieanlagen von Bedeutung sein könnten, sind daher im tieferen Untergrund nicht mehr zu erwarten, sofern eine Beeinflussung durch **Bergbau/Altbergbau** auszuschließen ist. Diesbezüglich sollte bei der **Bezirksregierung Arnsberg** bauseits sicherheitshalber eine Anfrage gestellt werden.

3.2 Erdbebenbeeinflussung

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 der Standortbereich **außerhalb einer Erdbebenzone**.

4 Wasserverhältnisse

4.1 Wasserstände

Während der Bohrarbeiten im Juli bzw. Oktober 2021 wurde der Grundwasserstand bis zur Bohrendtiefe von maximal 4 m unter Gelände nicht angetroffen.

In den bindigen Schichten (Schichten Nr. 2.2...3.2) kann es nach starken oder langanhaltenden Niederschlagsperioden zeitweilig zur Bildung von Stau- und Schichtenwasser kommen. Auch der verwitterte Fels ist gering durchlässig, wenn er nur schwach geklüftet ist. Ein zeitweiliger Stau- und Schichtenwasseranfall oberhalb der geplanten Gründungssohlen ist somit nicht sicher auszuschließen und sollte bei den Planungen berücksichtigt werden (s.u.).

4.2 Betonangriff nach DIN 4030/EN 206

Der Grundwasserspiegel liegt unter der Gründungssohle. Die Fundamente werden nur zeitweilig von Schichtenwasser berührt.

Aus den Bohrungen B 1.1 und B 2.1 wurde je 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 O.4) bei. Demnach ist der analysierte Boden wie folgt einzustufen:

WEA/Bohrung	Probenart	Entnahmetiefe [m]	Betonangriff [nach DIN 4030/EN206]	Expositionsklasse [nach Zement-Merkblatt Betontechnik B 9/1.2010]
WEA 1/B 1.1	Boden	0,5...1,8	schwach betonangreifend	XA 1
WEA 2/B 2.1	Boden	1,4...2,0	schwach betonangreifend	XA 1

Tab. 4.1

5 Bodenklassen, Bodengruppen, Frostempfindlichkeit

Bodenart	Schicht Nr.	Bodenklasse DIN 18.300	Bodengruppe DIN 18.196	Frostempfindlichkeitsklasse ZTVE-StB 09
Auffüllung (Wegbefestigung)	1	-	-	-
Mutterboden	2.1	1	OU	F3
Verwitterungslehm, schwach steinig, mit humosen Spuren	2.2	4	UL/UM	F3
Verwitterungslehm, schwach steinig bis steinig, am Standort WEA 2 tonig, steif bis halbfest	3.1	4	UM	F3
Gesteinsschutt, lehmig, dicht	3.2	3...5	GI/GU/GU*	F2...F3
Fels (Sandstein, Schluffstein, Tonstein), stark verwittert, übergehend in schwach verwittert	4	6...7	-	-

Tab. 5.1

6 Bodenmechanische Kennwerte

Bodenart	Schicht Nr.	Reibungswinkel	Kohäsion	stat. Steifemodul	dyn. Steifemodul	Wichte	Querdehnungszahl
		φ'_k	c'_k	$E_{s \text{ stat., k}}$	$E_{s \text{ dyn., k}}$	γ	ν
		[°]	[kN/m ²]	[MN/m ²]	[MN/m ²]	[kN/m ³]	[-]
Verwitterungslehm, schwach steinig bis steinig, am Standort WEA 2 tonig, steif bis halbfest	3.1	27,5	5...10	12,5...25	100...120	19...20	0,35...0,42
Gesteinsschutt, lehmig, dicht	3.2	27,5...37,5	2,5...5	15...70	120...150	20	0,35...0,40
Fels (Sandstein, Schluffstein, Tonstein), stark verwittert, übergehend in schwach verwittert	4	> 37,5	5...15	>150	>500	22	0,30
Anforderung an die Schottertragschicht	0.1	37,5	0	100	300	20	0,30

Tab. 6.1

Bei den o.a. Bodenkennwerten handelt es sich nach den örtlichen Kenntnissen um konservativ angesetzte Rechenwerte.

Im Verwitterungslehm und Gesteinsschutt (Schichten Nr. 3.1 und 3.2) liegen stark wechselnde Tragfähigkeiten vor. Im schwach lehmigen Gesteinsschutt mit dichter Lagerung können auch bei konservativer Abschätzung die oberen Grenzen der o.g. bodenmechanischen Kennwerte angesetzt werden.

Der schwach verwitterte Fels (Schicht Nr. 4) hat eine sehr gute Tragfähigkeit. Die Bodenkennwerte im Fels sind aufgrund des Trennflächensystems richtungsabhängig. Die bindigen Bodenschichten (Schichten Nr. 2.2...3.1) nehmen leicht eine weiche bis breiige Konsistenz an, wenn sie nass sind und zusätzlich dynamisch beansprucht werden.

7 Gründung

7.1 Grundlagen

Es ist der Neubau von 2 Windenergieanlagen der Firma Nordex vom Typ N149/5.7 TS125-04 geplant. Von Fa. Nordex wird nur ein Standardfundament mit Auftrieb angeboten. Nach den vorliegenden Unterlagen weisen die **Standardfundamente mit Auftrieb** folgende Abmessungen und Anforderungen an den Baugrund auf:

Anlagenhersteller		Nordex
Typenbezeichnung		N149/5.7 TS125-04
Fundamenttyp		Kreis, flach, mit Auftrieb
Turmtyp		Stahlrohrturm
Datengrundlagen		Nordex 01.04.2021: Allg. Dokumentation Fundamente Stahlrohrturm 125: Rev. 02/; Dokumentenr. 2002034DE Fröhling & Rathjen GmbH & CO.KG 15.11.2019: Schalplan B7826/19 Bl. 1; TÜV Süd 23.01.2020: Prüfvermerk 3114113-121-d-7
Fundamentdaten	Einheit	Wert
Bezugshöhe am Fundamentmittelpunkt (MP)	m	±0,00
Außendurchmesser	m	26,40
Sockeldurchmesser/Fundamentvertiefung	m	6,00
Fundamenthöhe außen/innen	m	3,15/3,45
UK-Fundament außen/innen	m	-2,19/-2,49
UK-Sauberkeitsschicht außen/innen	m	-2,29/-2,59
OK-Erdüberschüttung	m	0,91
OK-Fundament	m	0,96
erforderliche dyn. Drehfedersteifigkeit $k_{\psi \text{dyn.}}$	MNm/rad	110.000
erforderliche stat. Drehfedersteifigkeit $k_{\psi \text{stat.}}$	MNm/rad	27.500
Sohldruck σ_{Rk}	kN/m ²	210
Wichte der Bodenauflast γ/γ'	kN/m ³	19/9
max. Vertikallast $V_{z k}$ inkl. Erdauflast	kN	46.953
max. Moment Fundamentunterkante $M_{xy k}$	kNm	158.221
Grundwasserhöchststand nach Typenstatik	m	±0,00
zul. Schiefstellung Δs	mm/m	3

Tab. 7.1

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 gewisse Zusatzmaßnahmen, wie z.B. lokale Verstärkungen des Bodenaustausches, ergeben. Diese Maßnahmen können dann aber auf das absolut notwendige Maß begrenzt werden.

7.2 Gründungsempfehlung

Die Unterkante Sauberkeitsschicht liegt standardmäßig in einer Tiefe von -2,29 m unter GOK am Fundamentmittelpunkt. Nach den Bohrergebnissen liegt dieses Niveau im Übergang zwischen dem lehmigen Gesteinsschutt (Schicht Nr. 3.2) und dem Fels (Schicht Nr. 4). Am Standort WEA 1 wird die Felsoberfläche vermutlich bereits vollflächig in der geplanten Aushubebene erreicht. Bei WEA 2 liegt die planmäßige Ausschachtungsebene an der Hangoberseite im Fels und an der Hangunterseite noch bis zu ca. 1,0 m unter der Sauberkeitsschicht.

Es wird empfohlen, die Gründung der Windenergieanlagen als **Flachgründung auf einem Schotterpolster (Tragschicht) über dem Fels (Schicht Nr. 4)** auszuführen. Bei den Ausschachtungsarbeiten wird es in der Felsoberfläche zu Ausbrüchen und dementsprechend zu gewissen Unebenheiten kommen.

Um eine gleichmäßige Bettung zu erhalten, sollten die Baugruben im Fels bis $\geq 0,15$ m unter die Unterkante Sauberkeitsschicht ausgehoben werden. Liegt dieses Niveau noch in dem lehmigen Gesteinsschutt (Schicht Nr. 3.2), wird die Baugrube bis zur Felsoberkante vertieft und dabei möglichst abgetrept. Große Höhenversprünge sollten in der Sohle vermieden werden.

Diese Aushubsohle wird vom Baugrundgutachter abgenommen. Im Rahmen der Baugrubenabnahme werden evtl. tiefe Verlehmungen oder aufgelockerte Bereiche in Form flacher Mulden entfernt und die Schottertragschicht entsprechend verstärkt.

Nach der Freigabe wird eine verdichtete Polsterschicht aus Gesteinsschotter (Körnung vergleichbar mit Schottertragschichtmaterial 0/45 mm nach TL SoB-StB 07) lagenweise aufgebracht und über die gesamte Höhe auf ≥ 98 % der einfachen Proctordichte verdichtet. Diese Tragschicht wird über den höchsten Felsrippen eine Stärke von $\geq 0,15$ m erhalten. Zur Hangunterseite sind lokal größere Stärken erforderlich (s.o.) Die Schottertragschicht muss zur Abtragung der seitlichen Druckausstrahlung der Fundamente (45°) entsprechend ihrer Stärke über die Fundamentaußenkanten überstehen.

Vor dem Betonieren der Sauberkeitsschicht erfolgt die Verdichtungskontrolle mit statischen Plattendruckversuchen nach DIN 18.134. Dafür bitten wir um Terminabstimmung. Es 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.

8 Hinweise zur Bauausführung

Die Tiefe des gut tragfähigen Baugrunds wechselt innerhalb der Baugrubensohle. Beim Aushub kommt es im Fels i.d.R. zu Ausbrüchen in der Sohle. Um eine gleichmäßige Bettung zu erhalten, sollten die Baugruben über Fels bis $\geq 0,15 \text{ m}$ unter die Unterkante Sauberkeitsschicht ausgehoben werden. Vor dem Aufbringen der Polsterschicht (s.u.) muss die Sohle durch den Baugrundgutachter abgenommen werden. Dabei können tiefe Verwitterungen und ggf. nicht ausreichend tragfähiger Boden erkannt und evtl. zusätzliche Maßnahmen für eine ordnungsgemäße Gründung vorgeschlagen werden.

Die Baugruben werden mit einem Tieflöffelbagger mit Zähnen vorgeschachtet. Die Sohlen sollten zur Vermeidung übermäßiger Ausbrüche mit einer glatten Schneide (Graberräumschaufel) nachgearbeitet werden. Restliche Auflockerungen werden mit einem mittelschweren bis schweren Flächenrüttler in 3 bis 4 Übergängen nachverdichtet.

Für den Fall, dass Schichten- oder Oberflächenwasser in die Baugruben läuft, sollte eine offene Wasserhaltung vorgesehen werden. Dafür wird das Wasser in einem Pumpensumpf im erweiterten Arbeitsraum gefasst und aus der Grube gepumpt. Für eine geordnete Wasserableitung in der Bauphase, d.h. bis zur Fertigstellung des Bodenaustausches bzw. des Fundamentes sollte bauseits gesorgt werden.

Werden unter den Fundamenten Gräben für Leerrohre ausgehoben, so müssen gelockerte Steine aus dem Graben entfernt werden. Die Leerrohre sollten mit Beton ummantelt werden, so dass eine kraftschlüssige Verfüllung des Grabens erfolgt. Zwischen der Betonfüllung und der Fundamentunterkante sollte für eine gleichmäßige Fundamentbettung eine Schotterschicht in einer Stärke von $\geq 0,15 \text{ m}$ vorgesehen werden. Bestehen dazu Fragen, bitten wir um Benachrichtigung.

Zur Geländegestaltung müssen dauerhafte Böschungen angelegt werden. Diese sollten zur Vermeidung von Erosion möglichst flach (z.B. $\leq 1:2$) angelegt und bepflanzt und/oder bei steileren Böschungen durch grobe Steinschüttungen gesichert werden.

Auffüllungsmaterial mit Fremd Beimengungen muss fachgerecht entsorgt werden.

9 Nachweis der geforderten Bodenkennwerte

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

Kenngröße	Einheit	N149/5.7 TS125-04
dynamische Drehfedersteifigkeit $k_{\varphi, \text{dyn.}}$	MNm/rad	110.000
statische Drehfedersteifigkeit $k_{\varphi, \text{stat.}}$	MNm/rad	27.500
zulässige Bodenpressung σ	kN/m ²	210
Grundwasserhöchststand max.	m	± 0,00
Wichte der Bodenauflast γ/γ'	kN/m ³	19/9
setzungsbedingte Schiefstellung des Fundamentes Δs	mm/m	≤ 3 (o. $\alpha \leq 0,17^\circ$)

Tab. 9.1

9.1 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 ν und Fundamentgröße. Bei der beschriebenen Gründung kann mit folgenden minimalen Drehfedersteifigkeiten gerechnet werden:

Anlagenstandort	statische Drehfedersteifigkeit $K_{\varphi, \text{stat}}$ [MNm/rad]	dynamische Drehfedersteifigkeit $K_{\varphi, \text{dyn}}$ [MNm/rad]
WEA 1 und WEA 2	250.337	751.010

Tab. 9.2

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

9.2 Aufnehmbarer Sohldruck

Für die geplante Anlage ist eine Bodenpressung (charakteristische Sohlnormalspannung) von $\sigma = 210 \text{ kN/m}^2$ 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 R_d nicht kleiner als der Bemessungswert der Beanspruchung V_d senkrecht zur Fundamentsohle ist ($V_d \leq R_d$).

Bei dem gewählten Fundament 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.

Bei dem Fundament handelt es sich um ein Kreisfundamente, bei dem die Länge/Breite einer rechteckigen Ersatzfläche L'/B' zugeordnet werden kann. Diese ergibt sich aus der Aufstandsbreite außerhalb des Fundamentkerns und der Maximallast/Sohlnormalspannung. Bei dieser WEA beträgt $L'/B' = 21,9 \text{ m}/10,2 \text{ m}$.

Die beiliegende Grundbruchberechnung (s. Anl. 1.2) weist für diese Fundamentbreite B' und eine Mindesteinbindetiefe an der Hangunterseite von ca. 0,5 m eine Grundbruchspannung ohne Sicherheitsbeiwerte von $\geq 4000 \text{ kN/m}^2$ aus. Der Bemessungswert des Grundbruchwiderstands R_d für die Bemessungssituation BS-P (permanent) ergibt sich aus diesem Rechenwert unter Berücksichtigung des Teilsicherheitsbeiwertes $\gamma_{R,v} = 1,40$ ($R_d \approx 2857 \text{ kN/m}^2$).

Die Einwirkung ergibt sich aus der im Fundamentdatenblatt angegebenen Kantenpressung $\sigma_{k,max} = 210 \text{ kN/m}^2$, multipliziert mit dem Teilsicherheitsbeiwert 1,40. Der Bemessungswert der Beanspruchung beträgt somit $V_d = 294 \text{ kN/m}^2$.

Bei der maßgeblichen Fundamentbreite von 10,2 m (Aufstandsbreite des Fundaments bei max. Ausmitte) und der Einbindetiefe von 2,19 m unter MP ergeben die vorgenannten Berechnungen, dass die Grundbruchsicherheit im Grenzzustand GEO-2 die Bedingung $V_d \leq R_d$ ($294 \text{ kN/m}^2 \leq 2857 \text{ kN/m}^2$) erfüllt. Die angegebenen Bodenpressungen (aufnehmbarer Sohldruck) sind hinsichtlich des Grundbruchkriteriums bei der empfohlenen Flachgründung zulässig.

9.3 Grundwasserhöchststand

Bei den oben beschriebenen Boden- und Wasserverhältnissen muss an der Hangoberseite mit dem Anstieg von Schichtenwasser bis über die Gründungssohle der Fundamente gerechnet werden.

9.4 Setzungsbedingte Schiefstellung

Die Setzungen der Anlagen wurden berechnet. Bei Zugrundelegung der zu erwartenden Vertikallasten sind diese in der Größenordnung von ≤ 2 cm zu erwarten (s. Anl. 1.3).

Die Gesamtsetzungen liegen noch unter dem zulässigen Wert, der sich als Setzungsdifferenz bei der zulässigen maximalen Schiefstellung einstellen würde. In dem oben genannten Fundamentdatenblatt des Anlagenherstellers ist ein Wert von $\Delta s = 3,0$ mm/m, d.h. $0,17^\circ$ ausschließlich für setzungsbedingte Schiefstellungen zugelassen. Die Gesamtsetzungen der Anlagen sind daher zulässig.

9.5 Bodenüberdeckung

Die Überdeckung der Fundamentplatten sollte aus humusfreiem Verwitterungslehm und die oberen ca. 0,2 m aus Mutterboden hergestellt werden. Der Füllboden muss auf ≥ 98 % der einfachen Proctordichte verdichtet werden. Die Überschüttung der Fundamentplatte mit einer Bodenverdichtung auf $\gamma \geq 19$ kN/m³ ist Teil des statischen Systems.

Die Wiederverwendung des Aushubmaterials für die Bodenüberdeckung ist grundsätzlich möglich. Dabei sollte jedoch darauf geachtet werden, dass die Kornfraktion > 200 mm vorher separiert wird, um die Verdichtungsfähigkeit zu gewährleisten.

10 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 24 m verwendet.

Die Messergebnisse sind in der folgenden Tabelle angegeben:

Messort	Anordnung	Abstand Erder - Hilfserder [m]	spez. Erdwiderstand [Ω m]
WEA 1	Wenner	24	192,8
WEA 2	Wenner	24	109,1

Tab. 10.1

11 Hinweise zum Wegebau und Kranstellflächenbau

11.1 Allgemeines/Wegebestand

Der Zustand von Bestandswegen sollte geprüft und in Abstimmung mit dem Anlagenhersteller und den Transportunternehmern bei Bedarf überarbeitet werden. Im Bereich der Kranstellflächen liegen Höhenunterschiede vor, die auszugleichen sind.

11.2 Oberbau unter Beachtung der RStO-12

Empfohlen wird, den Mutterboden mit Humusanteilen vollständig abzutragen. In dieser Tiefe sind noch Reste des Verwitterungslehms 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 (Unterkante Tragschicht) müssen dann Verformungsmoduli von $E_{v2} \geq 45$ MN/m² erreicht werden.

Diese Mindestfestigkeit ist in steifem Verwitterungslehm i.d.R. nicht nachzuweisen, so dass 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 es entsteht eine hohe Tragfähigkeit. Die Vermörtelung ist nur auf dauerhaft beanspruchten Flächen einzusetzen. Bei lediglich bauzeitlich beanspruchten Flächen ist auf eine Schottertragschicht mit Geotextil zur Befestigung des Baufeldes zurückzugreifen, damit die natürlichen Bodenfunktionen nach Bauabschluss wieder bestmöglich hergestellt werden können.

Wegen des **Geländegefälles** werden die Kranstellflächen an der Hangoberseite i.d.R. bis in den Fels eingegraben. An der Hangunterseite liegt das Niveau der Kranstellflächen zumindest lokal über dem jetzigen Gelände. Nach dem Mutterbodenabtrag wird ein Massenausgleich von der Hangoberseite zur Hangunterseite vorgenommen. Der dabei anfallende humusfreie Boden sollte für den Wiedereinbau im unteren Teil der Kranstellflächen möglichst wiederverwendet werden.

Der Felsausbruch und schwach lehmiger Gesteinsschutt sollten an der Hangunterseite lagenweise eingebaut und mit einer schweren Vibrationswalze mit Schaffußbandage verdichtet werden. Mürbe Gesteine, wie sie in den Bohrungen angetroffen wurden, werden dabei zertrümmert und lassen sich i.d.R. ausreichend gut verdichten. Massive, grobe

Steine, die bei der Verdichtung nicht zerfallen, sollten aussortiert und z.B. für Böschungssicherungen vorgehalten werden.

Verwitterungslehm ist ohne besondere Maßnahmen vor allem bei ungünstigen Witterungsverhältnissen nur schlecht zu verdichten. Es besteht aus baugrundtechnischer Sicht die Möglichkeit, diesen mit Bindemittel (Kalk/Zementgemisch) zu stabilisieren und an der Hangunterseite zum Höhenausgleich verdichtet einzubauen.

Die Zwischenlagen des Bodenauftrags sollten alle ca. 0,5 m mit dynamischen Fallplattenversuchen im Rahmen der Eigenüberwachung geprüft werden. Der verdichtete Gesteinsschutt sollte dabei E_{vd} -Werte von $\geq 25 \text{ MN/m}^2$ liefern.

Tonstein kann bei der Zertrümmerung und nasser Witterung aufweichen. Das Material sollte unmittelbar nach der Gewinnung wieder eingebaut werden. Bei ungünstiger Witterung kann dem Material durch Kalkzugabe bei Bedarf Wasser entzogen werden.

In Plattendruckversuchen nach DIN 18.134 sollten auf dem aufgeschütteten Boden und auf dem Gesteinsschutt, d.h. auf dem Planum Verformungsmoduli von $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ nachgewiesen werden.

Darüber wird eine **Schottertragschicht** in einer Stärke von ca. 0,5 m aufgebracht und verdichtet. Werden auf dem oben beschriebenen Planum E_{v2} -Werte von $\geq 60 \text{ MN/m}^2$ nachgewiesen, so kann die Schottertragschicht auf 0,25/0,30 m reduziert werden. Über dem wenig verwitterten Fels werden i.d.R. schon E_{v2} -Werte von $\geq 100 \text{ MN/m}^2$ erreicht, so dass dort nur eine dünne Verschleißschicht (s.u.) eingebaut werden muss.

Die obere Lage der Tragschicht von ca. 0,10...0,15 m sollte als Verschleißschicht und zur Schonung der Reifen 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 beachtet werden.

Die o.g. Bemessung der Tragschicht erfolgt, wie oben ausgeführt, 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.

11.3 Wassereinfluss

In der Tragschicht besteht die Gefahr von Schichtenwasserbildungen. Daher ist es 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 den Kranstellflächen in die Fundamentgruben durch geeignete **Dränagen/Quergräben** verhindert werden. Am Rand der Kranstellflächen können für die Bauphase bei Bedarf 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 Kranstellflächen beim Aufbau der Windenergieanlagen deutlich sicherer macht. An hangseitigen Böschungsunterkanten ist die Anlage von schmalen Gräben zur Fassung und Ableitung von Wasser sinnvoll.

11.4 Tragfähigkeit der Kranstellflächen

Für die Beurteilung der Tragfähigkeit der Kranstellflächen, d.h. zur Gewährleistung der Bodenpressungen unter den Hilfskränen und dem Hauptkran, wurde die beiliegende Grundbruchberechnung durchgeführt (s. Anlage 1.4). Dabei wurden die ungünstigsten Bodenkennwerte im unterlagernden bindigen Boden (Verwitterungslehm) angesetzt. Für schmale Baggermatratzen wurde die Lastausbreitung in der Tragschicht und bei großen Breiten der Matratzen der Einfluss aus dem unterlagernden Gesteinsschutt und Fels mit berücksichtigt.

Daraus ergeben sich an der Oberfläche des Verwitterungslehms in Abhängigkeit von der Breite der Aufstellfläche (Breite der Baggermatratzen) folgende zulässige Bodenpressungen:

Breite der Aufstandsfläche	zulässige Bodenpressung/Sohlnormalspannung
1,0 m	180 kN/m ²
2,0 m	250 kN/m ²
3,0 m	320 kN/m ²
4,0 m	390 kN/m ²
5,0 m und mehr	450 kN/m ²

Tab. 11.1: Zulässige Bodenpressungen für die Kräne

Die durch die Kräne verursachten Bodenpressungen in der kritischen Grenzschicht zwischen Schottertragschicht/Bodenvermörtelung und Verwitterungslehm ergibt sich aus der Breite der Aufstandsflächen zuzüglich der Lastausbreitung in der Schottertragschicht. In gut kornabgestuftem, kantigem Schottermaterial kann ein Lastausbreitungswinkel von $37,5^\circ$ angesetzt werden.

Somit ergibt sich allseits unter dem Rand der Lastfläche (Baggermatratzen) eine rechnerisch breitere Lastabtragungsfläche im Niveau der „Unterkante Tragschicht“. Die Tragschicht und die Bodenverbesserung darunter wirken sich bei einer punktförmigen Last, d.h. der Beanspruchung durch Radfahrzeuge zwar günstig aus, bei sehr breiten Aufstandsflächen ist die Lastausbreitung in der Schottertragschicht für die Grundbruchsicherheit aber zwangsläufig nur noch von untergeordneter Bedeutung.

Für die quasi statische Belastung durch die Kräne wird diese Schicht daher bei größeren Matratzenbreiten nicht als zusätzliche Sicherheit in den Berechnungen berücksichtigt. Empfohlen wird, aus Sicherheitsgründen die Baggermatratzen aus Holz und Stahl so breit zu wählen, dass die in der o.g. Tabelle angegebenen zulässigen Bodenpressungen nicht überschritten werden.

Bei einer stärkeren Durchbiegung der Matratzen kann sich eine geringere wirksame Breite ergeben. Für den Hauptkran ist voraussichtlich eine Unterlage aus gut ausgesteiften Stahl-Baggermatratzen sinnvoll, um die Kranlasten sicher und gleichmäßig zu verteilen.

Die angegebene zulässige Bodenpressung gilt ausschließlich für eine mittige Belastung, d.h. Unterlegbohlen unter Kranstützen müssen zentrisch belastet werden. Bei einer ausmittigen Belastung ergibt sich rechnerisch nur die sog. Ersatzbreite/-fläche (s. DIN 1054). Dadurch reduziert sich die Grundbruchsicherheit erheblich.

Aus baupraktischen Gründen wird empfohlen, unter Kranstützen kleinerer Hilfskräne Baggermatratzen oder Lastverteilungsbalken mit einer Grundfläche von $\geq 1 \text{ m}^2$ anzuordnen. Rechteckige Unterlegdielen sollten so ausgerichtet werden, dass sie längs zu evtl. auftretenden Horizontallasten aus den Kranstützen angeordnet werden.

11.5 Setzungsverhalten

Die maßgeblichen Setzungen ergeben sich aus dem stärker zusammendrückbaren vermörtelten Verwitterungslehm zwischen der Tragschicht und dem lehmigen Gesteinschutt.

Bei angenommenen Stützlasten des Hauptkrans von ≤ 6000 kN und einer Abtragung auf ausreichend großen Baggermatratzen unter Einhaltung der o.g. Bodenpressungen zeigen Setzungsberechnungen nach DIN 4019 (s. Anlage 1.5), dass unter den Kränen bei dem Ansatz der ungünstigsten Bodenkennwerte rechnerische Setzungen von ≤ 5 cm auftreten können. Der Einfluss der Tragschicht liegt dabei in der Größenordnung von nur ca. 1...2 mm.

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. Das kann zu höheren Setzungen führen als berechnet.

Erfahrungen haben gezeigt, dass es beim Aufrichten des Auslegers häufig zu übermäßigen Setzungen unter den vorderen Umlenkrollen kommen kann. Auch für diesen Lastfall sollte auf eine entsprechende Lastverteilung geachtet werden. Wird der Kran z.B. bei der Turmmontage oft verfahren, können im Untergrund verbreitete stärker bindige Böden durch die dynamische Beanspruchung eine ungünstigere Konsistenz annehmen, was sich ebenfalls auf das Setzungsverhalten auswirken kann. Die Kranverfahrenungen sollten daher auf das unbedingt notwendige Maß begrenzt werden.



Ch. Gerdes

Schichtenverzeichnis

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

WEA 1

B 1.1 0,77 m [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, nach unten übergehend in stark steinig, steif bis halbfest
0,8	...	1,8	m	Gesteinsschutt, schwach lehmig, lagenweise lehmig, dicht
1,8	...	3,0	m	Schluffstein und Tonstein, stark verwittert, nach unten übergehend in schwach verwittert kein weiterer Bohrfortschritt
Rückstellprobe 0,5...1,8 m				

B 1.2 -0,81 m [Ansatzhöhe]

0,0	...	0,2	m	Mutterboden
0,2	...	0,3	m	Verwitterungslehm, schwach steinig, mit humosen Spuren
0,3	...	0,6	m	Verwitterungslehm, schwach steinig, steif
0,6	...	1,5	m	Gesteinsschutt, lehmig, nach unten übergehend in schwach lehmig, dicht
1,5	...	1,9	m	Feinsandstein, stark verwittert
1,9	...	2,3	m	Schluffstein, stark verwittert
2,3	...	3,0	m	Feinsandstein, stark verwittert, nach unten übergehend in schwach verwittert kein weiterer Bohrfortschritt

B 1.3 0,20 m [Ansatzhöhe]

0,0	...	0,2	m	Mutterboden
0,2	...	0,3	m	Verwitterungslehm, schwach steinig, mit humosen Spuren
0,3	...	1,1	m	Verwitterungslehm, schwach steinig bis steinig, steif bis halbfest
1,1	...	1,9	m	Gesteinsschutt, lehmig, dicht
1,9	...	3,0	m	Schluffstein, stark verwittert, nach unten übergehend in schwach verwittert kein weiterer Bohrfortschritt

B 1.4		GOK	
0,0	... 0,2	m	Mutterboden
0,2	... 0,4	m	Verwitterungslehm, steinig, mit humosen Spuren
0,4	... 0,7	m	Verwitterungslehm, schwach steinig, lagenweise steinig bis stark steinig, steif
0,7	... 1,7	m	Gesteinsschutt, lehmig, nach unten übergehend in schwach lehmig, dicht
1,7	... 3,0	m	Schluffstein und Tonstein, lagenweise Sandstein, stark verwittert, nach unten übergehend in schwach verwittert kein weiterer Bohrfortschritt

B 1.5		GOK	
0,0	... 0,1	m	Mutterboden
0,1	... 0,4	m	Verwitterungslehm, schwach steinig, mit humosen Spuren
0,4	... 1,0	m	Verwitterungslehm, schwach steinig, lagenweise steinig, steif
1,0	... 1,8	m	Gesteinsschutt, lehmig, nach unten übergehend in schwach lehmig, dicht
1,8	... 3,0	m	Tonstein in Wechsellagerung mit Schluffstein, lagenweise Feinsandstein, stark verwittert, nach unten übergehend in schwach verwittert kein weiterer Bohrfortschritt

WEA 2**B 2.1** -0,72 m (Ansatzhöhe)

0,0	...	0,4	m	Auffüllung (Lehm, schwach sandig, lagenweise etwas Bauschutt und Holzreste (Wegbefestigung))
0,4	...	1,2	m	Auffüllung (Bauschutt, Schlacke und Lehm; Wegbefestigung)
1,2	...	1,4	m	Lehm, schwach steinig, humos (ehemaliger Mutterboden)
1,4	...	1,9	m	Verwitterungslehm, stark tonig, lagenweise schwach steinig, steif bis halbfest, hellgrau bis beige
1,9	...	2,6	m	Gesteinsschutt, lehmig, dicht
2,6	...	4,0	m	Tonstein, stark verwittert, nach unten übergehend in schwach verwittert

Rückstellprobe 0,0...1,2 m; 1,4...1,9m

B 2.2 0,13 m (Ansatzhöhe)

0,0	...	0,2	m	Mutterboden
0,2	...	0,4	m	Verwitterungslehm, schwach steinig, mit humosen Spuren
0,4	...	0,9	m	Verwitterungslehm, tonig, steinig, steif bis halbfest
0,9	...	1,1	m	Gesteinsschutt, lehmig, dicht
1,1	...	2,0	m	Tonstein, stark verwittert, nach unten übergehend in schwach verwittert
2,0	...	3,0	m	Feinsandstein, stark verwittert, nach unten übergehend in schwach verwittert kein weiterer Bohrfortschritt

B 2.3 -1,21 m (Ansatzhöhe)

0,0	...	0,2	m	Mutterboden
0,2	...	0,4	m	Verwitterungslehm, steinig, mit humosen Spuren
0,4	...	1,2	m	Gesteinsschutt, lehmig, dicht
1,2	...	3,0	m	Feinsandstein, stark verwittert, nach unten übergehend in schwach verwittert kein weiterer Bohrfortschritt

B 2.4 GOK neben Weg, ca. 1 m unter Wegoberkante

0,0	...	0,2	m	Mutterboden
0,2	...	0,4	m	Verwitterungslehm, schwach steinig, mit humosen Spuren, steif
0,4	...	0,9	m	Verwitterungslehm, steinig, nach unten übergehend in stark steinig, steif, nach unten übergehend in steif bis halbfest
0,9	...	1,3	m	Gesteinsschutt, schwach lehmig, dicht
1,3	...	2,0	m	Schluffstein, stark verwittert, nach unten übergehend in schwach verwittert kein weiterer Bohrfortschritt

B 2.5 GOK

0,0	...	0,1	m	Mutterboden
0,1	...	0,3	m	Verwitterungslehm, schwach steinig, mit humosen Spuren
0,3	...	0,8	m	Verwitterungslehm, steinig, lagenweise stark steinig, steif
0,8	...	1,4	m	Gesteinsschutt, lehmig, nach unten übergehend in schwach lehmig, dicht
1,4	...	2,0	m	Schluffstein, stark verwittert, nach unten übergehend in schwach verwittert kein weiterer Bohrfortschritt

Probe Nr.:	B1.1 0,50...1,80m
Entnahme am:	12. Juli 2021
Untersuchung am:	23. Juli 2021
Entnahmeort:	WEA 1, Bohrung 1
Bodenart:	Lehm und Gesteinsschutt

		Mittel	SV 1	SV 2	SV 3	SV 4
Feuchte Probe + Behälter	$m+m_B$ [g]	235,9	234,3	236,5	236,1	236,8
Trockene Probe + Behälter	m_d+m_B [g]	227,9	226,4	227,4	228,5	229,1
Behälter	m_B [g]	159,5	159,6	159,5	159,5	159,5
Porenwasser	m_w [g]	8,1	7,9	9,1	7,6	7,7
Trockene Probe	m_d [g]	68,3	66,8	67,9	69,0	69,6
Wassergehalt	w [-]	11,8 %	11,8 %	13,4 %	11,0 %	11,1 %

Probe Nr.:	B2.1 1,4...1,9 m
Entnahme am:	12. Juli 2021
Untersuchung am:	23. Juli 2021
Entnahmeort:	WEA 2, Bohrung 1
Bodenart:	Lehm, steinig

		Mittel	SV 1	SV 2	SV 3	SV 4
Feuchte Probe + Behälter	$m+m_B$ [g]	244,9	235,3	246,5	252,2	245,7
Trockene Probe + Behälter	m_d+m_B [g]	232,2	223,4	233,4	240,0	231,9
Behälter	m_B [g]	159,5	159,6	159,5	159,5	159,5
Porenwasser	m_w [g]	12,8	11,9	13,1	12,2	13,8
Trockene Probe	m_d [g]	72,7	63,8	73,9	80,5	72,4
Wassergehalt	w [-]	17,6 %	18,7 %	17,7 %	15,2 %	19,1 %

SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH Am Technologiepark 10 D-45699 Herten

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

Prüfbericht 5398336
Auftrags Nr. 5846621
Kunden Nr. 10002276



Herr Dr. Dennis Mo
Telefon +49 2366-305 636
Fax +49 2366-305 611
Dennis.Mo@sgs.com

Industries & Environment

SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH
Am Technologiepark 10
D-45699 Herten

Herten, den 05.08.2021

Ihr Auftrag/Projekt: Schwerte, Schälkstraße/Gut Böckelühr
Ihr Bestellzeichen: 21065-01
Ihr Bestelldatum: 16.07.2021

Prüfzeitraum von 16.07.2021 bis 04.08.2021
erste laufende Probenummer 210847741
Probeneingang am 16.07.2021

SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH

i.A. Dr. Dennis Mo
Customer Service

i.V. Paul Rygol
Customer Service

Seite 1 von 2

Schwerte, Schälkstraße/Gut Böckelühr
21065-01

Prüfbericht Nr. 5398336
Auftrag Nr. 5846621

Seite 2 von 2
05.08.2021

Proben durch IF-Kurier abgeholt Matrix: Boden

Probennummer	210847741	210847742
Bezeichnung	B 1.1	B 2.1
	0,5...1,8 m	1,4...2,0 m
	12.07.2021	12.07.2021
Eingangsdatum:	16.07.2021	16.07.2021

Parameter	Einheit			Bestimmungs Methode -grenze	Lab
-----------	---------	--	--	--------------------------------	-----

Feststoffuntersuchungen :

Trockensubstanz	Masse-%	87,3	85,2	0,1	DIN EN 14346	HE
-----------------	---------	------	------	-----	--------------	----

Bodenuntersuchung n. DIN 4030 :

Chlorid	mg/kg	< 100	< 100	100	DIN 4030-2	TS
Sulfat	mg/kg	580	360	20	DIN 4030-2	TS
Sulfid	mg/kg	3	13	1	DIN 4030-2	TS
Säuregrad n. Baumann-Gully	ml/kg	370	400	5	DIN 4030-2	TS

Zusammenfassung der verwendeten Prüfmethode(n):

DIN 4030-2	2008-06
DIN EN 14346	2007-03

Die Laborstandorte mit den entsprechenden Akkreditierungsverfahrensnummern der SGS-Gruppe Deutschland und Schweiz gemäß den oben genannten Kürzeln sind aufgeführt unter <http://www.institut-fresenius.de/filestore/89/laborstandortkuerzelsgs.pdf>.

*** Ende des Berichts ***

Dieses Dokument wurde von der Gesellschaft im Rahmen ihrer Allgemeinen Geschäftsbedingungen für Dienstleistungen erstellt, die unter www.sgsgroup.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.

Hinweis: Die Probe(n), auf die sich die hier dargelegten Erkenntnisse (die "Erkenntnisse") beziehen, wurde(n) ggf. durch den Kunden oder durch im Auftrag handelnde Dritte entnommen. In diesem Falle geben die Erkenntnisse keine Garantie für den repräsentativen Charakter der Probe bezüglich irgendwelcher Waren und beziehen sich ausschließlich auf die Probe(n). Die Gesellschaft übernimmt keine Haftung für den Ursprung oder die Quelle, aus der die Probe(n) angeblich/tatsächlich entnommen wurde(n).

Höhenbezüge		Anlagentyp Fundamenttyp	Funda- ment- ab- mes- sungen	Durch- mes- ser \varnothing [m]	Höhe $h_{ges.}$ [m]	Funda- ment- unter- kante [m u. BZH]	Gründungs- sole (UK-Sau- berkeits- schicht) [m u. BZH]	geforderte Drehfeder- steifigkeit, statisch $k_{\varphi, stat}$ [MNm/rad]	geforderte Drehfeder- steifigkeit, dynamisch $k_{\varphi, dyn}$ [MNm/rad]	aufnehm- barer Sohldruck σ_{zul} [MN/m ²]	zulässige Setzung/ Schiefstellung				
Bezugspunkt (BZP)	Geländeoberkante am Fundamentmittelpunkt	N149/5.7 TS125-04	außen	26,4	3,15	2,19	2,29	27.500	110.000	210	Schiefstellung ges. Δs [mm]	79			
Bezugshöhe (BZH)	MP = ±0,00 m	Flach mit Auftrieb	innen	6							Setzungsdifferenz Δs [mm/m]	3,00			
Absolute Höhe BZP [mNHN]		Kreisfundament									Winkelverdrehung α [°]	0,17			
Schicht Kurzbeschreibung	Nr.	Ober- grenze	Unter- grenze	Schicht- mächtig- keit unter Gründung M	Rei- bungs- winkel $\varphi'_{,k}$ [°]	Kohä- sion $c'_{,k}$ [kN/m ²]	Steifemodul statisch $E_{s,stat,k}$ [MN/m ²]	Steifemodul dynamisch $E_{s,dyn,k}$ [MN/m ²]	Wichte γ_k [kN/m ³]	Quer- dehnungs- zahl ν [-]	wirksamer Radius OK- Schicht r [m]	Drehfeder- steifigkeit, statisch $k_{\varphi, stat}$ [MNm/rad]	Aus- nut- zung [%]	Drehfeder- steifigkeit, dynamisch $k_{\varphi, dyn}$ [MNm/rad]	Aus- nut- zung [%]
Bodenaustausch(Gesteinsschotter) (Verdichtungsgrad: $D_{pr} \geq 100\%$)	0.1	2,29	2,44	0,15	37,5	0,0	100	300	20,0	0,30	13,20	250.337	11,0	751.010	14,6
Fels (Sandstein, Schluffstein, Ton- stein), stark verwittert, übergehend in schwach verwittert	4	2,44	30,00	27,56	37,5	5,0	150	500	22,0	0,30	13,32	385.414	7,1	1.284.712	8,6

Bei der empfohlenen Gründung ist die geforderte Drehfedersteifigkeit im Zusammenwirken zwischen Fundament und Baugrund gewährleistet!

$$K_{\varphi} = E_s / [3/4r^3 * [(1+\nu) * (1-\nu)^2] / (1-\nu-2\nu^2)]$$

- K_{φ} : Drehfedersteifigkeit
- E_s : Steifemodul
- r : Fundamentradius, bzw. bei quadratischen Fundamenten halbe Kantenlänge (rechnerisch OK-Bodenschicht)
- ν : Querdehnungszahl des Bodens

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

Projekt:
Schwerte, Gut Böckelühr
2 WEA Typ: N149/5.7 TS125-04

Auftraggeber:
ABO Wind AG

Berechnung der Drehfedersteifigkeit an den Schichtoberkanten

Gutachten: 21065-01

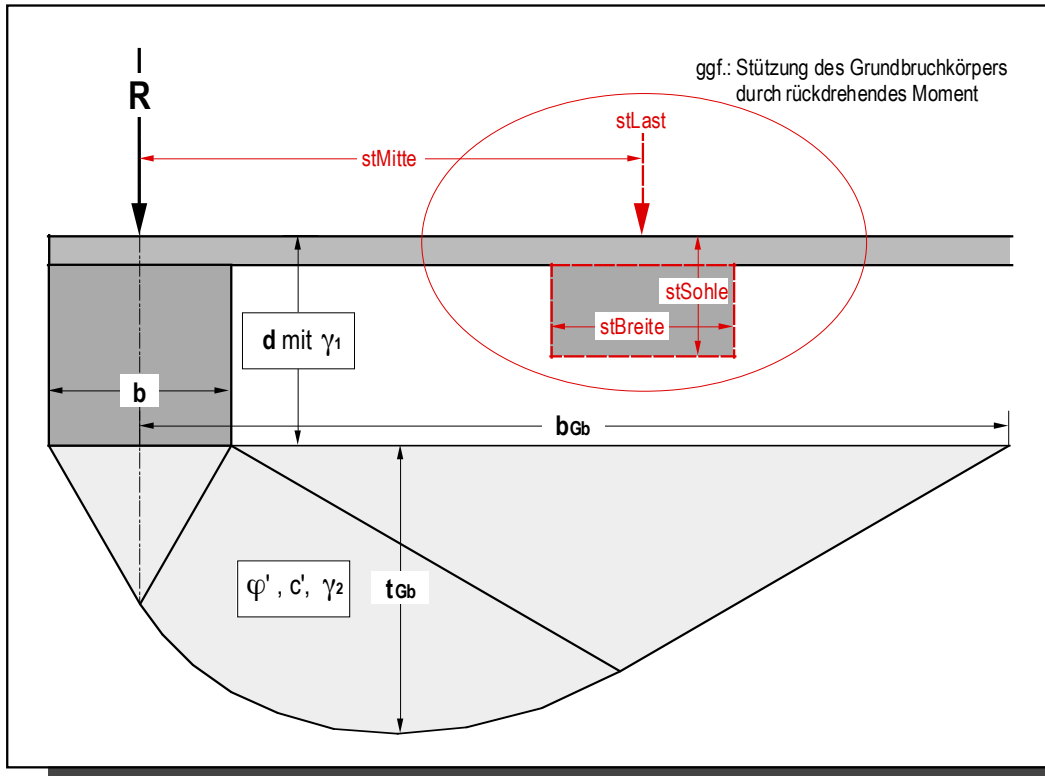
Anl.: 1.1

Grundbruchberechnungen n. DIN 4017,

Teil 1

Mathematica™ Applikation von W.Koppelberg ©

1991-2007



Funktionen: DIN4017T1[.], InfoDIN4017T1[]

```
InfoDIN4017T1[ ];
```

```
----- Update: 31.05.2007 -----
```

FUNKTION:

```
DIN4017T1[. ,PrintErg->True oder False] Default Input-Dimensionen: m und kN
```

```
PrintErg->False => {Grundbruchspannung[kN/m²], Breite[m], Tiefe[m]} !Bruchkörper!
```

```
PrintErg->True => Ausdruck aller Eingaben und Ergebnisse (Default)
```

Parameterliste:

```
[PosNr, a,b,d, phi,c, gamma1,gamma2] oder
```

```
[PosNr, a,b,d, phi,c, gamma1,gamma2,Stützkörper]
```

```
mit Stützkörper:= {stMitte, stBreite, stSohle, stLast}
```

PosNr: Bezeichnung des Fundamentes

a: Länge des Fundamentes

b: Breite des Fundamentes

d: Einbindetiefe des Fundamentes

φ' [°]: Reibungswinkel des Bodens

c' : Kohäsion des Bodens

γ_1 : Wichte Boden über Fundamentsohle

γ_2 : Wichte Boden unter Fundamentsohle

stMitte : Distanz Mitte Fundament - Mitte Stützkörper

stBreite: Breite des Stützkörpers

stSohle : Sohlentiefe des Stützkörpers; stSohle \leq d

stLast : Stützlinienlast

```
-----
```

1. Flachgründung auf: Tragschicht über Fels

■ 1.2 Graphik der zul. Sohlnormalspannung als Funktion der Fundamentbreite

```

dPlatte = 0.00 m; (* Stärke der Bodenplatte *)
d       = 0.5 m;  (* Mindesteinbindetiefe incl.SS Hangunterseite*)

gamBeton = 25.0 kN/m^3; (* Wichte Beton *)
gamBoden = 18.0 kN/m^3; (* Wichte Boden *)

(* gamma1 als gewichtetes Mittel bestimmen *)
gamma1 = (dPlatte*gamBeton+(d-dPlatte)*gamBoden)/d;
gamma2 = gamBoden;

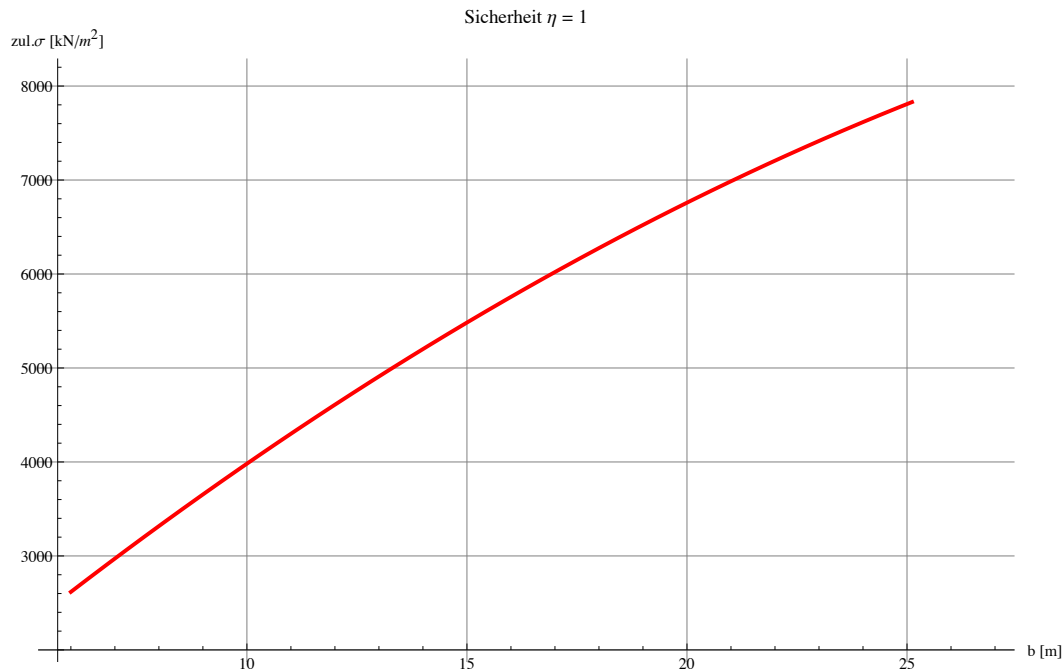
phi = 35;
c = 0.0 kN/m^2;

a = 27.0 m;

eta = 1;
b = .; bMin = 6; bMax = 27.00;

Plot[DIN4017T1["POS 1", a,b,d, phi,c,gamma1,gamma2, PrintErg->False][[1]]/eta,{b, bMin, bMax},
GridLines->Automatic, AxesOrigin->{bMin-0.05*bMin,2000},
PlotStyle->{Thickness[0.004],RGBColor[1,0,0],Dashing[{1]}],
AxesLabel->{"b [m]", "zul.σ [kN/!(m^2\)]"},
PlotLabel->StringJoin["Sicherheit η = ",ToString[eta]]]

```



Setzungsberechnungen n. DIN 4019, Teil 1

*Mathematica*TM Applikation von W.Koppelberg

Info[]

----- Version 1.6, 21.Jul.1998 -----

Info[{1}]:

Geologisches System

Liste: {{z1,Es1},{z2,Es2}, .. ,{zn,Esn}}

zi[mNN] (oder Planhöhe); Esi[MN/m²]

Liste wird nach fallenden zi sortiert!

Info[{2}]:

Angaben für das Fundament

Liste: {PosNr, a,b,d, zGründungsSohle, Sigma0}

"POS 007", a,b,d [m], zGründungsSohle [mNN], Sigma0 [MN/m²]

Info[{3}]:

Name default gültige Angaben

XYPosition ->{Automatic},{XPos,YPos}
Lage des Berechnungspunktes, falls nicht kennz.Pkt.
FundPosition->{0, 0, 0}, {x0,y0,Winkel(x,a)}
Lage des Fundamentes in einem xy-System
SigmaVor ->None, {GOK, Gamma, {GWSp, Gamma'}}
Vorbelastung durch Überlagerung; notwendig,wenn:
a) SigmaEff->True, b) GrenzTiefe->DIN4019
SigmaEff ->False, True oder False
Berücksichtigung der Aushubentlastung?
StartTiefe ->None, None oder z-Wert
None : StartTiefe = Gründungssohle
z-Wert: belieb.num.Wert (≤ Gründungssohle)
GrenzTiefe ->Automatic, Automatic, DIN4019, ALTES, Altes
oder z-Wert
Automatic : Grenztiefe:= 3b
DIN4019 : Grenztiefe n.DIN4019, SigmaVor erf.
Altes,ALTES: Grenztiefe n.ALTES(1976)
z-Wert : belieb.num.Wert (< Starttiefe)
PrintErg ->True True oder False
True : Ausdruck einer Ergebnisliste
False: gibt nur Gesamtsetzung s[m] zurück

1.1 Bodenpressungen

```
bSigma = {{10.2 m, 210 kN/m^2}
};
```

1.2 Listen: Schichtunterkanten - Steifemoduli:

```
GOK = 100 mNN; (* mittlere Geländehöhe *)
OKKS = 100 mNN; (* OK Kellersohle *)
GWSp = 100 mNN; (* mittlerer Wasserspiegel *)
```

```
SchichtenFolge = {{96.70 mNN, 100.OMN/m^2},(* BA *)
{70.00 mNN, 150.OMN/m^2} (* Fels *)
};
```

1.3 Listen: Fundamentgeometrie, Gründungssohle und Bodenpressung:

■ 3.1 Einzelfundamente

```

Lastfaktor = 1;      (* 100% ständige Lasten *)
d           = 2.29;  (* Einbindetiefe einschl. Sauberkeitsschicht *)

PosNr      = "Pos. P1";
P          = 46953 kN;      (* Einzellast *)
b          = 10.2;         (* Breite des Fundamentes *)
a          = 21.9;         (* Länge des Fundamentes *)
zGrSohle   = OKKS-d;      (* Gründungssohle *)
sigma      = P/(a*b) Lastfaktor; (* Bodenpressung *)
posFP1     = {PosNr, a,b,d, zGrSohle, sigma};

```

1.4 Bestimmung der Setzungen für ungünstigsten Fall WEA 2:

■ 4.1 Einzelfundamente

```

CalcSetzung[SchichtenFolge,posFP1,SigmaVor->{GOK,19kN/m^3, GWSp,12kN/m^3},
SigmaEff->True, GrenzTiefe->DIN4019]

```

ERGEBNISSE DER SETZUNGSBERECHNUNG NACH DIN 4019:

=====

FUNDAMENT: Pos. P1

```

Länge           a [m]: 21.9
Breite          b [m]: 10.2
Höhe            d [m]: 2.29
Gründungssohle [mNN]: 97.71
Sigma           [MN/m^2]: 0.21
Belastung GQk   [kN]: 46.953.

```

Angaben zur Bestimmung von Sigma(überlagerung):

```

GOK             [mNN]: 100.
Gamma           [kN/m^3]: 19.
GW-Höhe        [mNN]: 100.
Gamma'          [kN/m^3]: 12.

```

Berücksichtigung von Fundamentgewicht und Aushubentlastung:

```

eff.Sigma      [MN/m^2]: 0.224

```

Koordinaten für den Berechnungspunkt:

```

Kennzeichnender Punkt

```

Grenztiefe für die Setzungsberechnung:

```

u.Gründungssohle [m]: 16.31
in [mNN]: 81.4

```

PARTIALSETZUNGEN:

```

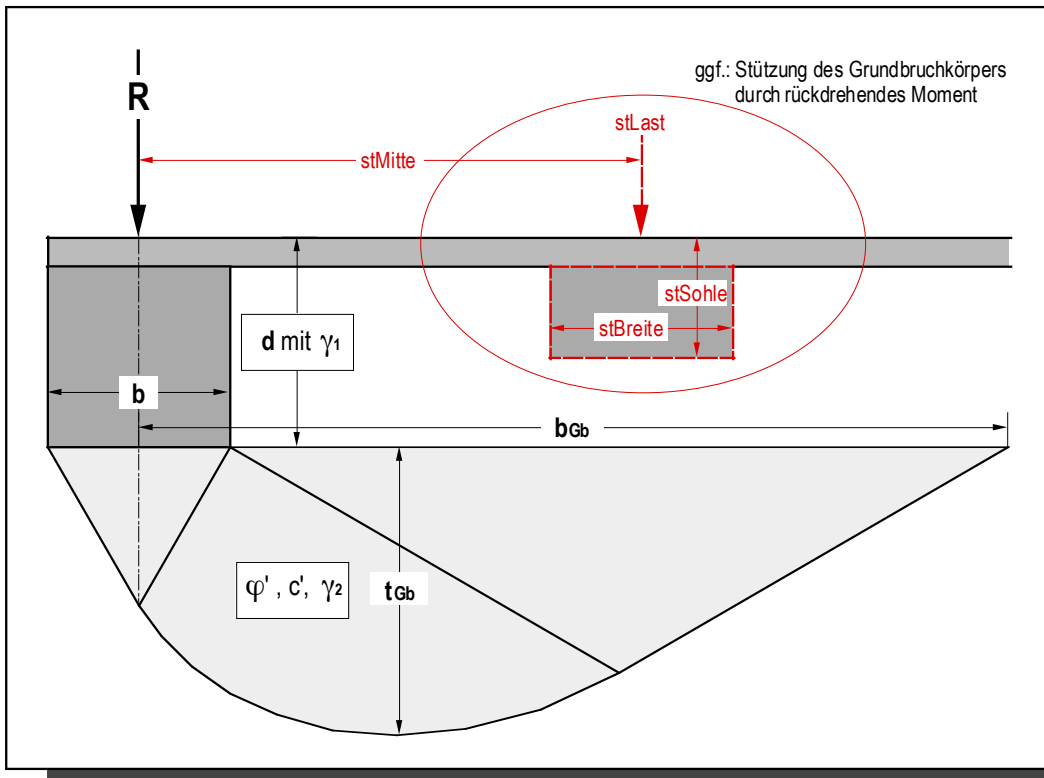
z1=0.m(97.7mNN)      z2=1.m(96.7mNN)      Es=100.MN/m^2      Δs=0.22cm
z1=1.m(96.7mNN)      z2=16.3m(81.4mNN)      Es=150.MN/m^2      Δs=0.95cm

```

GESAMTSETZUNG: ca. 1.18cm in {x',y'} = {8.1m,3.77m}

Grundbruchberechnungen n. DIN 4017, Teil 1

Mathematica™ Applikation von W.Koppelberg © 1991-2007



Funktionen: DIN4017T1[.], InfoDIN4017T1[]

InfoDIN4017T1[];

----- Update: 31.05.2007 -----

FUNKTION:

DIN4017T1[. ,PrintErg->True oder False] Default Input-Dimensionen: m und kN
PrintErg->False => {Grundbruchspannung[kN/m²], Breite[m], Tiefe[m]} !Bruchkörper!
PrintErg->True => Ausdruck aller Eingaben und Ergebnisse (Default)

Parameterliste:

[PosNr, a,b,d, phi,c, gamma1,gamma2] oder
[PosNr, a,b,d, phi,c, gamma1,gamma2,Stützkörper]
mit Stützkörper:= {stMitte, stBreite, stSohle, stLast}

PosNr: Bezeichnung des Fundamentes

a: Länge des Fundamentes

b: Breite des Fundamentes

d: Einbindetiefe des Fundamentes

φ' [°]: Reibungswinkel des Bodens

c' : Kohäsion des Bodens

γ_1 : Wichte Boden über Fundamentsohle

γ_2 : Wichte Boden unter Fundamentsohle

stMitte : Distanz Mitte Fundament - Mitte Stützkörper

stBreite: Breite des Stützkörpers

stSohle : Sohlentiefe des Stützkörpers; stSohle \leq d

stLast : Stützlasterlast

■ 1.1 Graphik der zul. Sohlnormalspannung als Funktion der Fundamentbreite

```

dPlatte = 0.0 m; (* Stärke der Bodenplatte *)
d       = 1 cm;  (* Mindesteinbindetiefe incl.SS *)

gamBeton = 25.0 kN/m^3; (* Wichte Beton *)
gamBoden = 18.0 kN/m^3; (* Wichte Boden *)

(* gamma1 als gewichtetes Mittel bestimmen *)
gamma1 = (dPlatte*gamBeton+(d-dPlatte)*gamBoden)/d;
gamma2 = gamBoden;

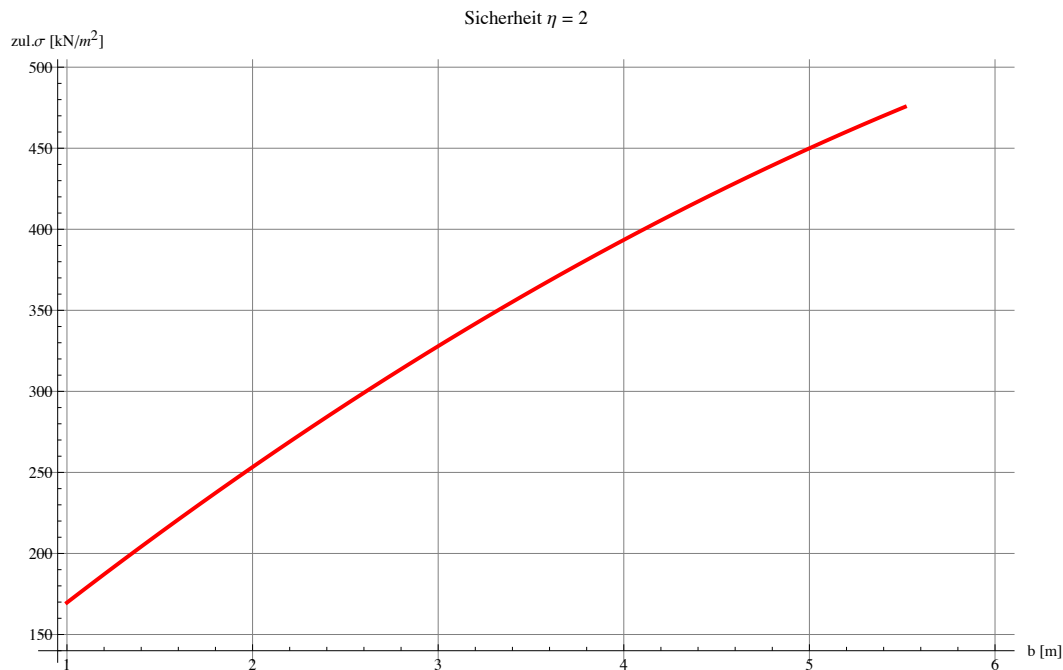
phi = 30;
c   = 5 kN/m^2;

a = 6.0 m;

eta = 2;
b = .; bMin = 1; bMax = 6;

Plot[DIN4017T1["POS 1", a,b,d, phi,c,gamma1,gamma2, PrintErg->False][[1]]/eta,{b, bMin, bMax},
GridLines->Automatic, AxesOrigin->{bMin-0.05*bMin,140},
PlotStyle->{Thickness[0.004],RGBColor[1,0,0],Dashing[{1]}},
AxesLabel->{"b [m]", "zul.σ [kN/!\(m^2\)}"},
PlotLabel->StringJoin["Sicherheit η = ",ToString[eta]]]

```



Setzungsberechnungen n. DIN 4019, Teil 1

Mathematica™ Applikation von W.Koppelberg

----- Version 1.7, (C) W.Koppelberg 1988-2013 -----

Info[{1}]:

=====

Geologisches System

Liste: {{z1,Es1},{z2,Es2}, .. ,{zn,Esn}}

zi[mNN] (oder Planhöhe); Esi[MN/m²]

Liste wird nach fallenden zi sortiert!

Info[{2}]:

=====

Angaben für das Fundament

Liste: {PosNr, a,b,d, zGründungsSohle, Sigma0}

"POS 007", a,b,d [m], zGründungsSohle [mNN], Sigma0 [MN/m²]

Info[{3}]:

=====

Name	default	gültige Angaben
XYPosition	->{Automatic},{xPos,yPos}	Lage des Berechnungspunktes, falls nicht kennz.Pkt.
FundPosition	->{0, 0, 0}, {x0,y0,Winkel(x,a)}	Lage des Fundamentes in einem xy-System
SigmaVor	->None, {GOK, Gamma, {GWSp, Gamma'}}	Vorbelastung durch Überlagerung; notwendig,wenn: a) SigmaEff->True, b) GrenzTiefe->DIN4019
SigmaEff	->False, True oder False	Berücksichtigung der Aushubentlastung?
StartTiefe	->None, None oder z-Wert	None : StartTiefe = Gründungssohle z-Wert: belieb.num.Wert (≤ Gründungssohle)
GrenzTiefe	->Automatic, Automatic, DIN4019, ALTES, Altes oder z-Wert	Automatic : Grenztiefe:= 3b DIN4019 : Grenztiefe n.DIN4019, SigmaVor erf. Altes,ALTES: Grenztiefe n.ALTES(1976) z-Wert : belieb.num.Wert (< Starttiefe)
PrintErg	->True True oder False	True : Ausdruck einer Ergebnisliste False: gibt nur Gesamtsetzung s[m] zurück

1. Listen: Schichtunterkanten - Steifemoduli:

```

bSigma = {{1.0m, 180 kN/m^2},
           {2.0m, 250 kN/m^2},
           {3.0m, 320 kN/m^2},
           {4.0m, 390 kN/m^2},
           {5.0m, 450 kN/m^2}
          };

GOK = 100.2 mNN; (* mittlere Geländehöhe *)
OKRF = 100.2 mNN; (* OK Rohfußboden *)
GWSp = 50.0 mNN; (* mittlerer Wasserspiegel *)

SchichtenFolge = {{99.5mNN, 120.0MN/m^2}, (* TS *)
                  {95.0mNN, 15.0MN/m^2}, (* Planum, VL *)
                  {80.0mNN, 70.0MN/m^2} (* GS + Fels *)
                 };

```

2. Listen: Fundamentgeometrie, Gründungssohle und Bodenpressung:

■ Streckenlasten auf Platte

```

Lastfaktor = 1; (* 100% der Lasten sind ständige, setzungsrelevante Lasten *)
d           = 0.20 m; (* Plattenstärke *)
dWand      = 2 m; (* Kettenbreite *)

PosNr      = "Pos. GQk = 1";
GQk        = 500 kN/m; (* Streckenlast *)
a          = 7 m; (* Länge des Fundamentes *)
b          = FbStreifen[GQk,bSigma]; (* Breite des Fundamentes *)
zGrSohle   = OKRF-d; (* Gründungssohle *)
sigma      = GQk/b Lastfaktor; (* Bodenpressung *)
posFq1={PosNr, a,b,d, zGrSohle, sigma};

```

■ Einzellasten auf Platte

```

Lastfaktor = 1; (* 100% der Lasten sind ständige, setzungsrelevante Lasten *)
d           = 0.20 m; (* Plattenstärke *)
dWand      = 2 m; (* Kettenbreite *)

PosNr      = "Pos. P1";
P          = 6000 kN; (* Einzellast *)
b          = FbQuadrat[P,bSigma]; (* Breite des Fundamentes *)
a          = b; (* Länge des Fundamentes *)
zGrSohle   = OKRF-d; (* Gründungssohle *)
sigma      = P/(a*b) Lastfaktor; (* Bodenpressung *)
posFP1    = {PosNr, a,b,d, zGrSohle, sigma};

```

3. Bestimmung der Setzungen:

■ 3.1 Günstigste Kombination der Steifemoduli: Setzungen und Bettungsmoduli

CalcSetzung[SchichtenFolge,posFq1,SigmaVor->{GOK,19kN/m³, GWSp,12kN/m³},
SigmaEff->False, GrenzTiefe->DIN4019]

ERGEBNISSE DER SETZUNGSBERECHNUNG NACH DIN 4019:

=====

FUNDAMENT: Pos. GQk = 1

Länge a [m]: 7.
Breite b [m]: 2.
Höhe d [m]: 0.2
Gründungssohle [mNN]: 100.
Sigma [MN/m²]: 0.25
Belastung GQk [kN]: 3500.

Angaben zur Bestimmung von Sigma(überlagerung):

GOK [mNN]: 100.2
Gamma [kN/m³]: 19.
GW-Höhe [mNN]: 50.
Gamma' [kN/m³]: 12.

Koordinaten für den Berechnungspunkt:

Kennzeichnender Punkt

Grenztiefe für die Setzungsrechnung:

u.Gründungssohle [m]: 6.46
in [mNN]: 93.54

PARTIALSETZUNGEN:

z1=0.m(100.mNN)	z2=0.5m(99.5mNN)	Es=120.MN/m ²	Δs=0.09cm
z1=0.5m(99.5mNN)	z2=5.m(95.mNN)	Es=15.MN/m ²	Δs=2.43cm
z1=5.m(95.mNN)	z2=6.5m(93.5mNN)	Es=70.MN/m ²	Δs=0.06cm

GESAMTSETZUNG: ca. 2.59cm in {x',y'} = {2.59m,0.74m}

CalcSetzung[SchichtenFolge,posFP1,SigmaVor->{GOK,19kN/m³, GWSp,12kN/m³},
SigmaEff->False, GrenzTiefe->DIN4019]

ERGEBNISSE DER SETZUNGSBERECHNUNG NACH DIN 4019:

=====

FUNDAMENT: Pos. P1

Länge a [m]: 3.95
Breite b [m]: 3.95
Höhe d [m]: 0.2
Gründungssohle [mNN]: 100.
Sigma [MN/m²]: 0.385
Belastung GQk [kN]: 6000.

Angaben zur Bestimmung von Sigma(überlagerung):

GOK [mNN]: 100.2
Gamma [kN/m³]: 19.
GW-Höhe [mNN]: 50.
Gamma' [kN/m³]: 12.

Koordinaten für den Berechnungspunkt:

Kennzeichnender Punkt

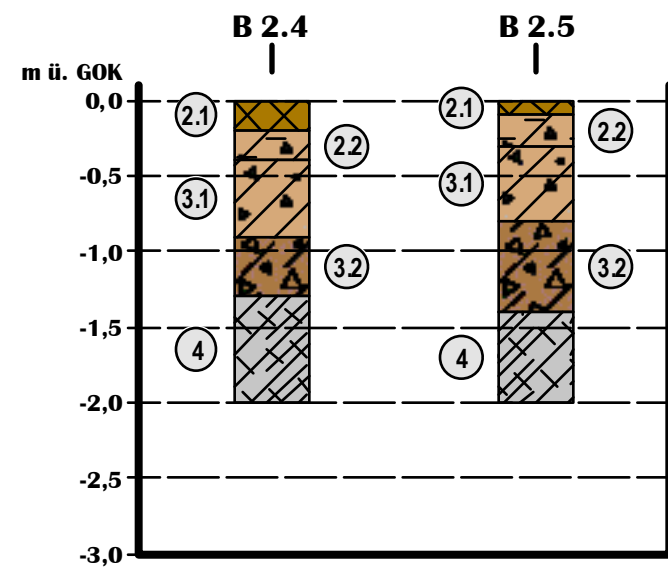
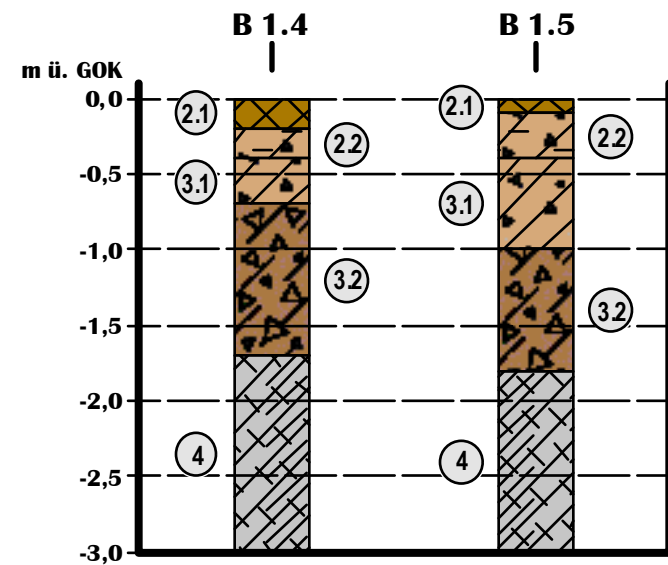
Grenztiefe für die Setzungsrechnung:

u.Gründungssohle [m]: 8.4
in [mNN]: 91.6






PARTIALSETZUNGEN:

z1=0.m(100.mNN)	z2=0.5m(99.5mNN)	Es=120.MN/m ²	Δs=0.15cm
z1=0.5m(99.5mNN)	z2=5.m(95.mNN)	Es=15.MN/m ²	Δs=4.26cm
z1=5.m(95.mNN)	z2=8.4m(91.6mNN)	Es=70.MN/m ²	Δs=0.23cm

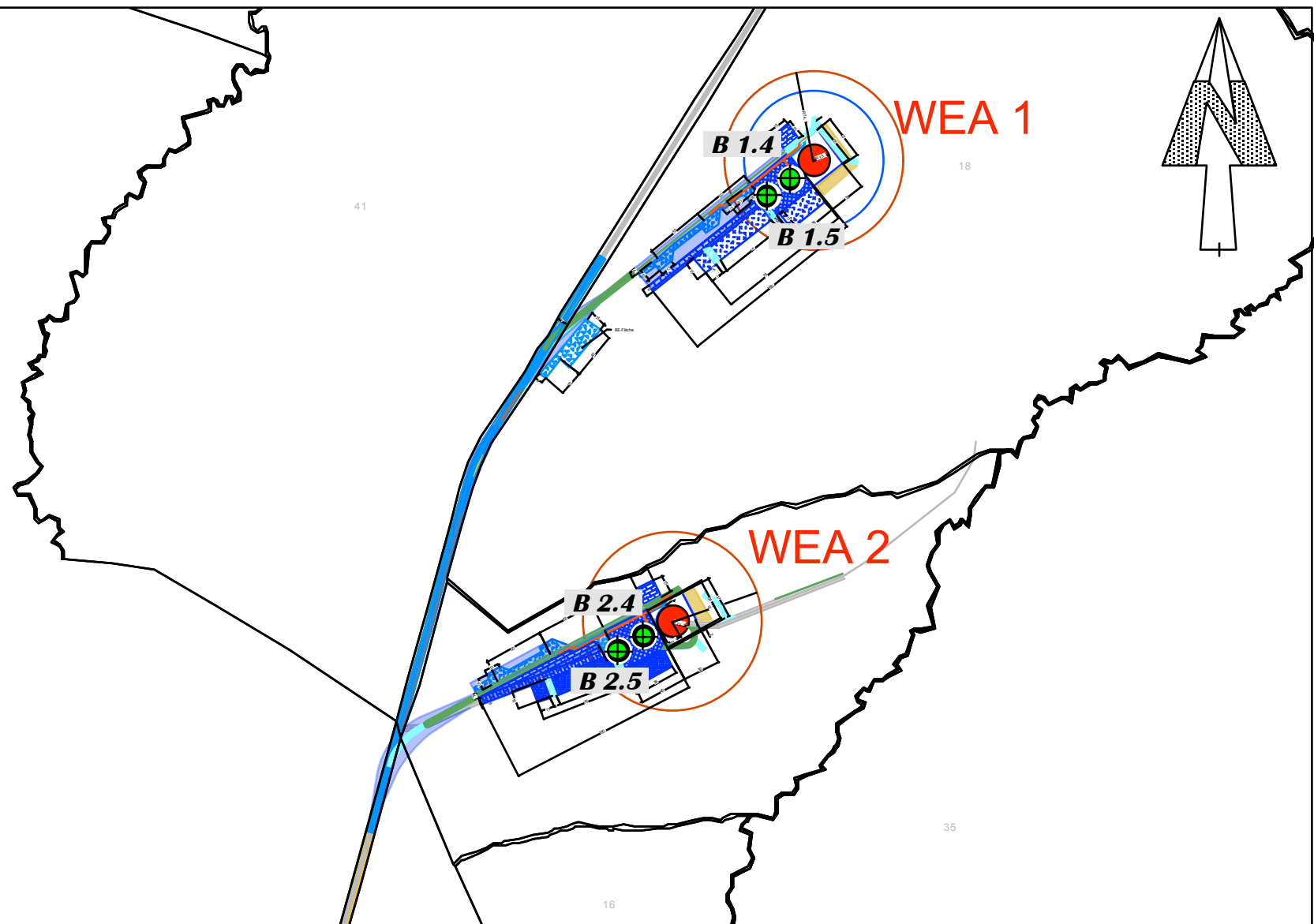
GESAMTSETZUNG: ca. 4.65cm in {x',y'} = {1.46m,1.46m}



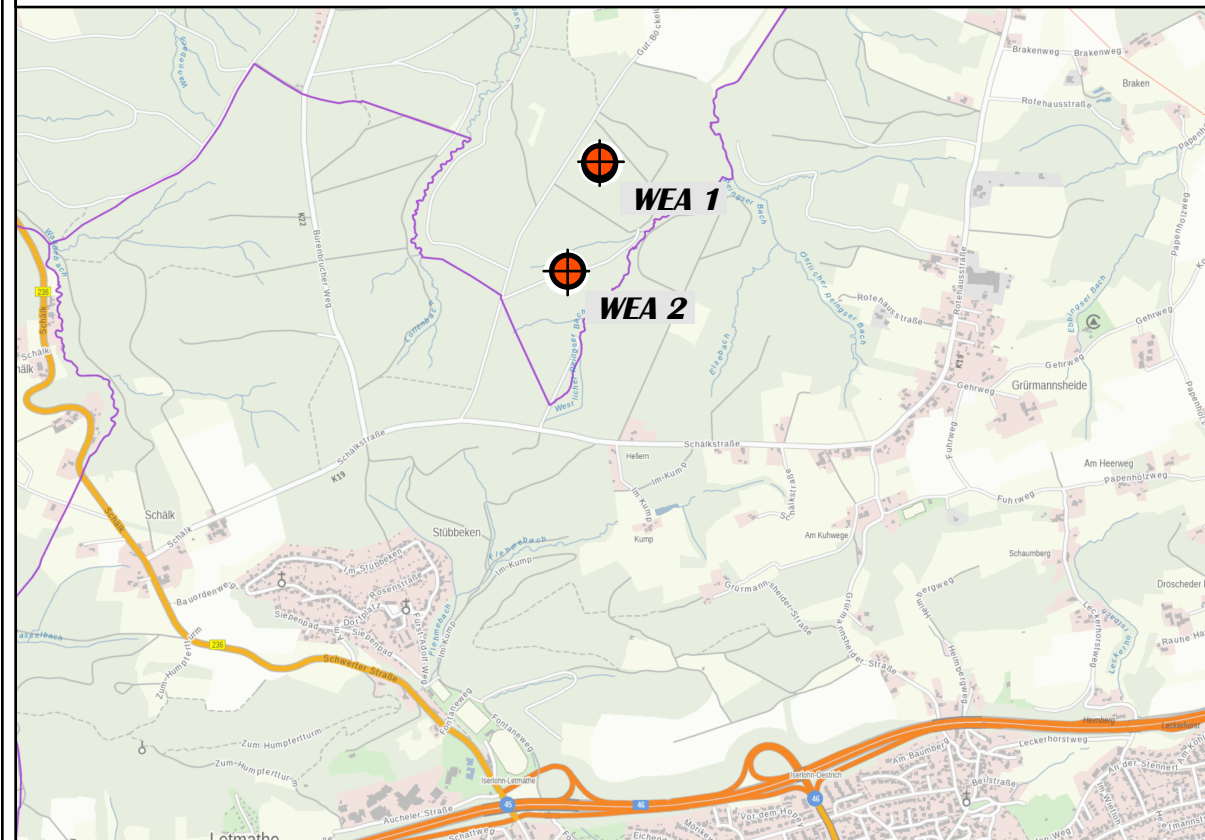
Legende:

-  ① **Auffüllung** (Wegbefestigung)
-  ②.1 **Mutterboden**
-  ②.2 **Verwitterungslehm**, schwach steinig, mit humosen Spuren
-  ③.1 **Verwitterungslehm**, schwach steinig bis steinig, am Standort WEA 2 tonig, steif bis halbfest
-  ③.2 **Gesteinsschutt**, lehmig, dicht
-  ④ **Fels**, stark verwittert, übergehend in schwach verwittert

Säulenprofile der Bohrungen im Bereich der Kranstellflächen, Höhenmaßstab 1:50



Lageplan mit Anlagenstandorten, Maßstab 1:5000



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

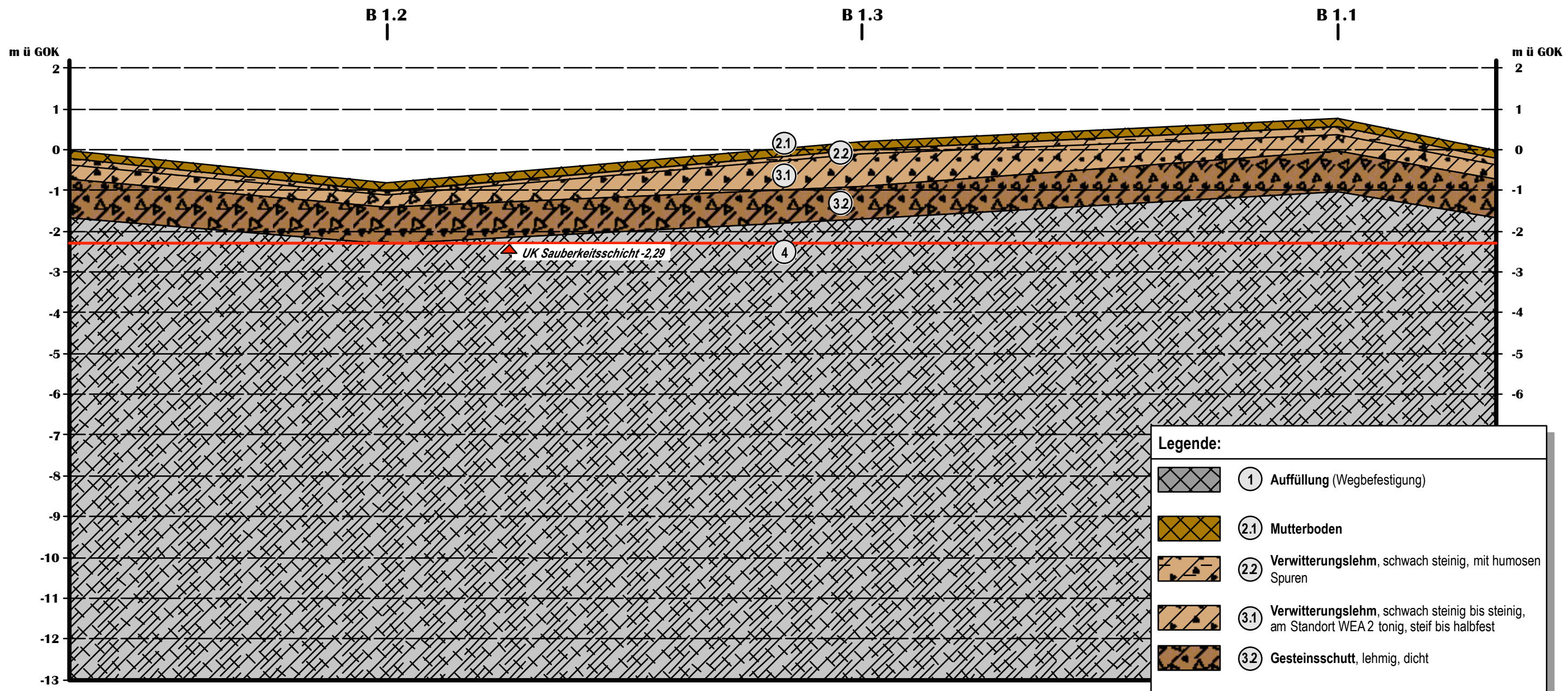
Projekt: Neubau von 2 WEA
 Typ N149/5.7 TS125-04
 WP 58239 Schwerte, Gut Böckelühr

Auftraggeber:
 ABO Wind AG
 Hauert 14 44227 Dortmund

Planinhalt:
 • Übersichtslageplan, ohne Maßstab
 • Lageplan mit Anlagenstandorten, Maßstab 1:5000
 • Säulenprofile der Bohrungen im Bereich der Kranstellflächen, Höhenmaßstab 1:50

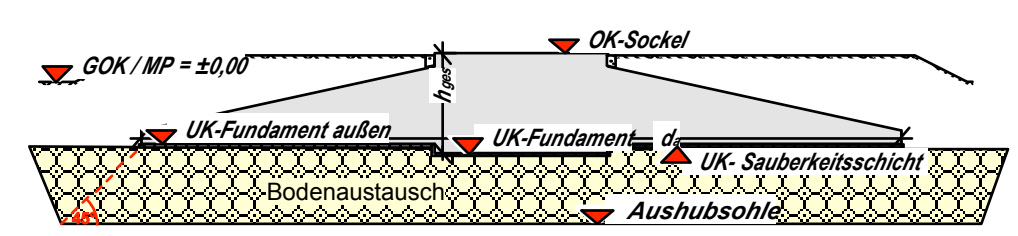
Bearbeiter: L. Konefke	Plan-Bez.: 21065-01-2	Datum: 12.10.21
---------------------------	--------------------------	--------------------

Maßstab:	Gutachten-Nr.: 21065-01	Anlage: 2
----------	----------------------------	--------------

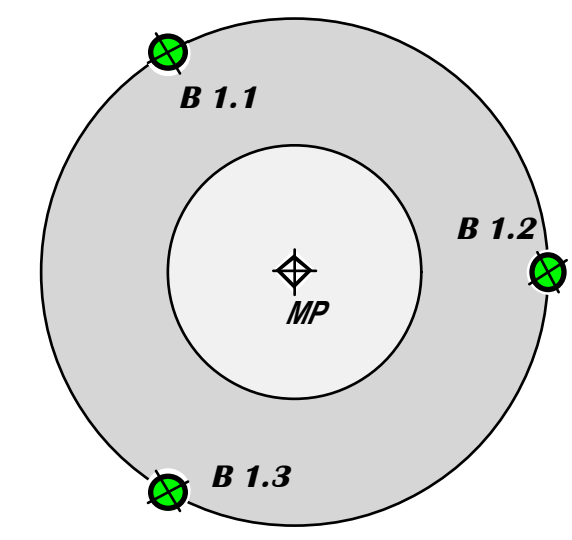
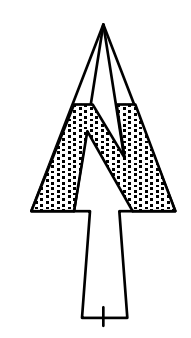


Legende:

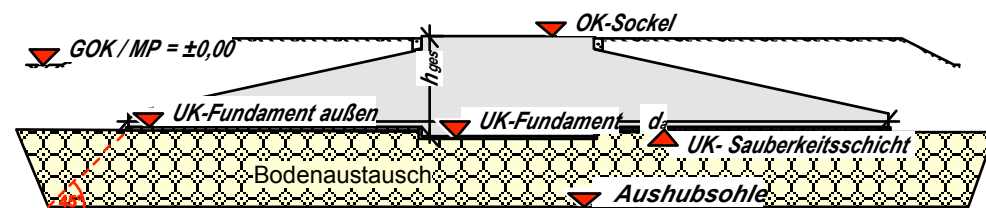
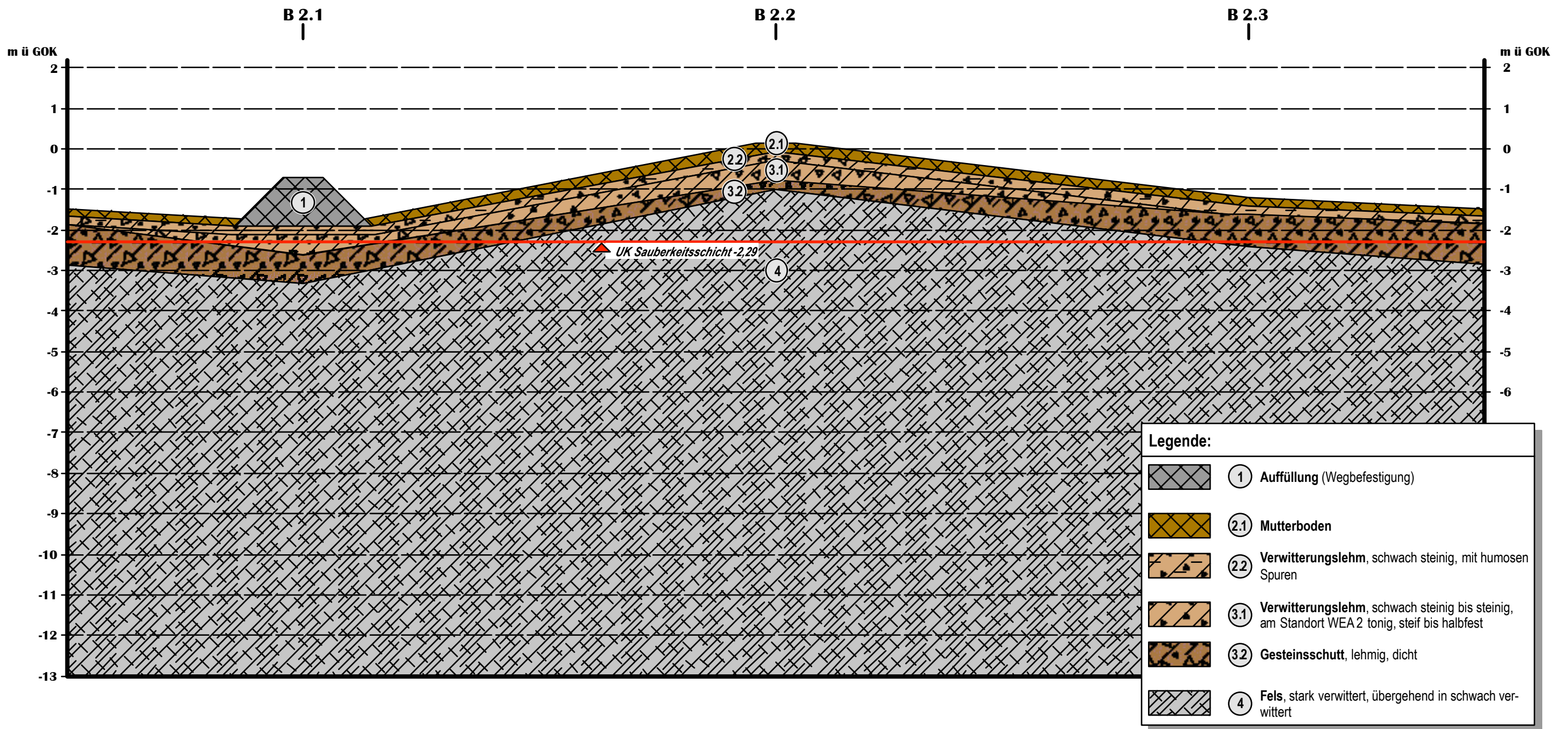
	1 Auffüllung (Wegbefestigung)
	2.1 Mutterboden
	2.2 Verwitterungslehm, schwach steinig, mit humosen Spuren
	3.1 Verwitterungslehm, schwach steinig bis steinig, am Standort WEA 2 tonig, steif bis halbfest
	3.2 Gesteinsschutt, lehmig, dicht
	4 Fels, stark verwittert, übergehend in schwach verwittert



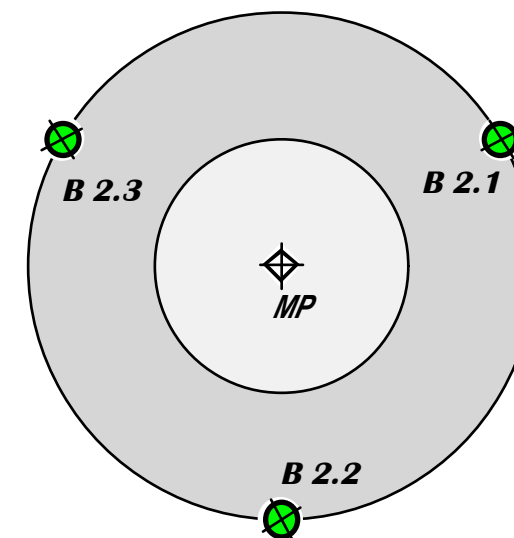
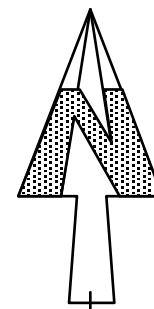
Fundamentgeometrie	N149/5.7 TS 125-04
	Flachgründung mit Auftrieb
Außendurchmesser d_a [m]	26,40
Sockeldurchmesser/Innendurchmesser [m]	6,00
Fundamenthöhe h_{ges} außen/unter dem Sockel [m]	3,15/3,45
Statische Gründungssohle außen/unter dem Sockel [m ü. GOK]	-2,19/-2,49
UK Sauberkeitsschicht außen/unter dem Sockel [m ü. GOK]	-2,29/-2,59



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 2 WEA Typ N149/5.7 TS125-04 WP Schälkestraße/Gut Böckelühr 58239 Schwerte		
Auftraggeber: ABO Wind AG Hauer 14 44227 Dortmund		
Planinhalt: • Fundamentaufsicht mit Untersuchungen, M ohne • Schemaschnitt durch das Fundament, M ohne • Interpoliertes Schichtenprofil, Maßstab 1:-/100		
Bearbeiter: L. Konefke	Plan-Bez.: 21065-01-3.1	Datum: 12.07.21
WEA 1	Gutachten-Nr.: 21065-01	Anlage: 3.1



Fundamentgeometrie	N149/5.7 TS 125-04
	Flachgründung mit Auftrieb
Außendurchmesser d_a [m]	26,40
Sockeldurchmesser/Innendurchmesser [m]	6,00
Fundamenthöhe h_{ges} außen/unter dem Sockel [m]	3,15/3,45
Statische Gründungssohle außen/unter dem Sockel [m ü. GOK]	-2,19/-2,49
UK Sauberkeitsschicht außen/unter dem Sockel [m ü. GOK]	-2,29/-2,59



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 2 WEA Typ N149/5.7 TS125-04 WP Schälkestraße/Gut Böckelühr 58239 Schwerte		
Auftraggeber: ABO Wind AG Hauer 14 44227 Dortmund		
Planinhalt: • Fundamentaufsicht mit Untersuchungen, M ohne • Schemaschnitt durch das Fundament, M ohne • Interpoliertes Schichtenprofil, Maßstab 1:-/100		
Bearbeiter: L. Konefke	Plan-Bez.: 21065-01-3.2	Datum: 12.07.21
WEA 2	Gutachten-Nr.: 21065-01	Anlage: 3.2