

# 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  
Internet: www.baugrund-moers.de

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

juwi AG  
-Frau Hampe-  
Rottstraße 1-3  
44793 Bochum

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

Moers, den 09.06.2020  
Unser Zeichen: Ge - sk

## Baugrundgutachten

**Projekt:** Neubau von 3 Windenergieanlagen  
1 x Vestas V150-5.6 HH169m  
2 x Vestas V150-5.6 HH148m  
Windpark Wilnsdorf-Gernsdorf  
57234 Wilnsdorf

**Auftraggeber:** juwi AG  
Energie-Allee 1  
55286 Wörrstadt

**Gutachten:** 19073-01  
**Bearbeiter:** 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
3.2.4	Verwitterungsschichten (Schichten Nr. 2.1...2.2).....	6
3.2.5	Fels, verwittert (Schicht Nr. 3).....	6
3.3	Geoelektrische Messungen .....	6
3.4	Betonangriff nach DIN 4030/EN 206.....	6
4	Wasserverhältnisse .....	7
4.1	Wasserstände .....	7
4.2	Durchlässigkeiten .....	7
5	Erdbebenzone .....	7
6	Bodenklassen, Bodengruppen, Frostempfindlichkeit.....	7
7	Bodenmechanische Kennwerte.....	8
8	Gründungsvorschläge.....	8
8.1	Allgemeines.....	8
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	Aufnehmbarer Sohldruck .....	14
11.3	Grundwasserhöchststand.....	15
11.4	Berechnung der setzungsbedingten Schiefstellung.....	15
11.5	Bodenüberdeckung.....	15
12	Elektrotechnische Erdung .....	16
13	Hinweise zum Wege- und Kranstellflächenbau .....	16
13.1	Allgemeines .....	16
13.2	Oberbau unter Beachtung der RStO-12.....	17
13.3	Wassereinfluss.....	18
13.4	Tragfähigkeit der Kranstellflächen .....	18

**ANLAGEN:**

- Anlage 0.1...0.3: Dokumentation
- 0.1: Schichtenverzeichnis
  - 0.2: Datenblatt zur Bodenanalyse nach DIN 4030, WEA 2
  - 0.3: Labordatenblatt zur Bodenanalyse nach DIN 4030; WEA 2
- Anlagen 1.1...1.7: Rechenanhang
- 1.1: Drehfedersteifigkeiten WEA 1
  - 1.2: Drehfedersteifigkeiten WEA 2
  - 1.3: Drehfedersteifigkeiten WEA 3
  - 1.4 Grundbruchberechnung nach DIN 4017, WEA
  - 1.5: Setzungsberechnung nach DIN 4019, WEA
  - 1.6 Grundbruchberechnung nach DIN 4017, Kräne
  - 1.7: Setzungsberechnung nach DIN 4019, Kräne
- Anlage 2: Übersichtslageplan , ohne Maßstab  
Lageplan mit Anlagenstandorten, Maßstab 1:5000  
Säulenprofile der Bohrungen für die Kranstellflächen und Wege, Höhenmaßstab 1:50
- Anlagen 3.1...3.3: Profildarstellungen
- Fundamentaufsicht mit Bohrpunkten, ohne Maßstab
  - Schemaschnitt durch das Fundament, ohne Maßstab
  - Interpoliertes Schichtenprofil, Maßstab 1:-/100
  - Ergebnisse der Drucksondierungen, CPT n. DIN 4094
- Anlage 4: Prinzipdarstellung einer möglichen Dränage

## 1 Projekt

Die Juwi AG plant im Wald südsüdöstlich von Wilnsdorf-Gernsdorf den Neubau von drei Windenergieanlagen vom Typ Vestas V150-5.6. Eine Maschine wird auf einem hohen Hybridturm mit 169 m Nabenhöhe und zwei auf einem Stahlturm mit 148 m Nabenhöhe errichtet.

Der Standort WEA 2 wurde nach der Baugrunderkundung verschoben und musste neu untersucht werden. Die Untersuchungsergebnisse des alten Standortes werden in diesem Gutachten nicht berücksichtigt.

Die Fundamentmittelpunkte weisen folgende Koordinaten auf:

Anlagenstandort	Anlagentyp	Ostwert UTM ETRS 89	Nordwert UTM ETRS 89	Geländeoberkante am Fundamentmittelpunkt (MP) [mNHN]
WEA 1	V150-5.6 HH169m	32 442 437	56 31 233	517,91
WEA 2	V150-5.6 HH148m	32 442 880	56 31 252	522,20
WEA 3	V150-5.6 HH148m	32 443 342	56 31 706	509,20

Tab.: 1.1

## 2 Untersuchungsumfang

Für die Baugrunduntersuchungen wurden am 04. und 05.11.2019 je Anlagenstandort folgende Prüfungen durchgeführt:

Anzahl je WEA	Art der Untersuchung
3	Kleinrammbohrungen, $\varnothing$ 80/36 mm im Fundamentbereich, mit einer Tiefe von max. 3 m unter Geländeoberkante, bis zur Auslastungsgrenze des schweren Rammgerätes
2	Kleinrammbohrungen, $\varnothing$ 80/36 mm im Bereich der Kranstellflächen, mit einer Tiefe von max. 3 m unter Geländeoberkante, bis zur Auslastungsgrenze des schweren Rammgerätes
1	Kleinrammbohrungen, $\varnothing$ 80/36 mm auf den Bestandswegen mit einer Tiefe von max. 2,5 m unter Geländeoberkante, bis zur Auslastungsgrenze des schweren Rammgerätes
1	Entnahme und Analyse einer Bodenprobe nach DIN 4030/EN 206 auf Betonaggressivität
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	Auswertung der geologischen Karte Maßstab 1:200.000, Blatt CC 5510 Siegen

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...3.3) zu entnehmen. Die Ergebnisse der Bohrungen liegen als Schichtenverzeichnis bei und sind als interpolierte Schichtenprofile zeichnerisch dargestellt. Die Ergebnisse der Bohrungen auf den Kranstellflächen und Wegen sind als Säulenprofile in der Anlage 2 dargestellt.

## 3 Baugrund

### 3.1 Geologischer Überblick

Im Bereich der geplanten Windenergieanlagen besteht der Untergrund nach der geologischen Übersichtskarte, Blatt Siegen, aus Gesteinsbildungen der Emsstufe, d.h. des Unterdevon. Die Gesteine werden in den geologischen Karten als schluffige Tonschiefer mit Einschaltungen von plattig-bankigem Schluffstein, Quarzit und Quarzkeratophyr 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...3.3 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...0,3 m. Dieser besteht aus humosem, steinigem Verwitterungslehm.

An den Anlagenstandorten WEA 1 und WEA 3 geht der Mutterboden unter der Pflugtiefe in **sandigen Lehm bzw. stark sandigen Geschiebelehm mit humosen Spuren** (Schicht Nr. 1.2) über. Die Unterkante liegt bei 0,3...0,6 m unter Geländeoberkante. Im Bereich des Anlagenstandorts WEA 2 fehlt diese Schicht.

### 3.2.4 Verwitterungsschichten (Schichten Nr. 2.1...2.2)

Unterhalb des Bodenbildungshorizonts wurde in den Bohrungen überwiegend steif bis halbfester, **steiniger Verwitterungslehm** (Schicht Nr. 2.1) angetroffen. Am Standort WEA 3 war diese Schicht in der Bohrung B 3.3 nicht zu erkennen.

Im Übergangsbereich zum Fels (s.u.) folgt in allen Bohrungen **lehmiger, im tieferen Teil schwach lehmiger Gesteinsschutt** (Schicht Nr. 2.2) mit dichter Lagerung. Die Untergrenze der Verwitterungsschichten wurde in folgenden Tiefen angetroffen:

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

Tab.: 3.1

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

Der tiefe Untergrund besteht in allen Bohrungen aus Ton-, Schluff, und Sandstein (Schicht Nr. 3). Das erbohrte Material weist lagenweise eine starke Verwitterung auf. Unter harten Gesteinsbänken sind erfahrungsgemäß vor allem im höheren Niveau lokal mürbe Gesteinslagen vorhanden. Dabei handelt es sich um den felsigen Untergrund aus dem Unterdevon. Dieser reicht bis weit unter die Einflusstiefe der Fundamente hinab.

## 3.3 Geoelektrische Messungen

Die Standorte WEA 1 und WEA 3 wurden mit **geoelektrischen Widerstandsmessungen** geprüft. Die Messungen am Standort WEA 2 werden zu einem späteren Zeitpunkt nachgeholt. Die Bewertung erfolgt nach Fertigstellung der ausstehenden Messungen.

## 3.4 Betonangriff nach DIN 4030/EN 206

Vom Standort WEA 2 wurde aus der Bohrung B 2.1 eine Bodenprobe entnommen und im chemischen Labor auf betonangreifende Inhaltsstoffe nach DIN 4030/EN 206 untersucht. Die Ergebnisse der chemischen Analyse liegen als Datenblatt und als Laborbericht des SGS Institutes Fresenius (Anlagen 0.2 und 0.3) bei. Demnach ist der analysierte Boden wie folgt einzustufen:

Anlagenstandort	Betonaggressivität nach DIN 4030/EN 206	Expositionsklasse
WEA 2	nicht betonangreifend	XA -

Tab. 3.2

## 4 Wasserverhältnisse

### 4.1 Wasserstände

In den Bohrungen zur Baugrunderkundung wurde am 04.11.2019 und 16.03.2020 an den Standorten 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.

## 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 Nr.	Bodenklasse DIN 18.300	Bodengruppe DIN 18.196	Frostempfindlichkeitsklasse ZTVE-StB 09
Mutterboden	1.1	1	OU	F3
Verwitterungslehm, schwach steinig bis steinig, mit humosen Spuren	1.2	4	UL	F3
Verwitterungslehm, steinig bis stark steinig, in B 2.1 tonig, schwach steinig, steif bis halbfest	2.1	4	UM/UA	F3
Gesteinsschutt, lehmig, übergehend in schwach lehmig, dicht	2.2	3...4	GI/GU*	F2...F3
Fels (Ton-, Schluff- und Sandstein, stark verwittert, übergehend in schwach verwittert)	3	6	-	-

Tab.: 6.1

## 7 Bodenmechanische Kennwerte

Bodenart	Schicht Nr.	Reibungswinkel	Kohäsion	stat. Steifemodul	dyn. Steifemodul	Wichte	Querdehnungszahl
		$\varphi'_k$	$c'_k$	$E_{s \text{ stat., k}}$	$E_{s \text{ dyn., k}}$	$\gamma$	$\nu$
		[°]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[MN/m <sup>2</sup> ]	[MN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]
Verwitterungslehm, steinig bis stark steinig, in B 2.1 tonig, schwach steinig, steif bis halbfest	2.1	27,5	12,5...15	12,5...20	100...120	19	0,42...0,44
Gesteinsschutt, lehmig, übergehend in schwach lehmig, dicht	2.2	32,5...35	2,5...5	50...120	150...250	20	0,35...0,40
Fels (Ton-, Schluff- und Sandstein, stark verwittert, übergehend in schwach verwittert)	3	32,5...40	0...10	≥100	300...500	22	0,30...0,33
Schottertragschicht (geforderte Mindestwerte)	0	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 (Schicht Nr. 2.1) weist nur bei statischer Belastung eine normale, der schwach lehmige Gesteinsschutt (Schicht Nr. 2.2) und der verwitterte Fels (Schicht Nr. 3) dagegen eine gute Scherfestigkeit und Tragfähigkeit auf. Die bodenmechanischen Kennwerte im Gestein sind auf Grund des Trennflächensystems richtungsabhängig.

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

## 8 Gründungsvorschläge

### 8.1 Allgemeines

Es ist der Neubau von drei Windenergieanlagen der Fa. Vestas vom Typ V150 5.6MW HH169m bzw. V150 5.6MW HH148m geplant.

Auf Grund der ermittelten Boden- und Wasserverhältnisse wird im vorliegenden Fall die Gründung auf Standardfundamenten „Flachgründung mit Auftrieb“ notwendig, wenn die Standardgründungstiefe eingehalten werden muss und keine Möglichkeit einer Dränierung besteht. Bei den vorliegenden Geländeneigungen sollte bauseits geprüft werden, ob im Niveau der Sauberkeitsschicht eine **Ringdränage** verlegt und anfallendes Wasser



rückstaufrei zur Hangunterseite abgeführt werden kann. Ist das möglich, so können **Fundamente ohne Auftrieb** gebaut werden.

Nach den vorliegenden Unterlagen weisen die Standardfundamente **ohne Auftrieb** folgende Abmessungen und Anforderungen an den Baugrund auf:

Anlagenstandort		WEA 1	WEA 2 und WEA 3
Anlagenhersteller		Vestas	Vestas
Typenbezeichnung		V150 5.6MW; HH169m	V150 5.6MW; HH148m
Fundamenttyp		Kreisfundament ohne Auftrieb für Hybridturm	Kreisfundament ohne Auftrieb für Stahlrohturm
Datengrundlagen		Max Bögl, Schalplan DE T21 005 XX X v. 29.11.2019; Prüfvermerk: 3170518-24-d v. 11.03.2020	Vestas, Schalplan 0081-8139; 09.01.2019; Rev. 12.04.2019
Fundamentdaten	Einheit	Wert	Wert
Bezugshöhe: GOK am Fundamentmit- telpunkt, MP	m	±0,00	±0,00
Außendurchmesser	m	24,00	25,30
Sockeldurchmesser	m	10,90	8,116
Außendurchmesser Weichschicht	m	14,90	-
Fundamenthöhe außen/innen	m	2,80	3,55/3,77
erforderliche dyn. Drehfedersteifigkeit $k_{\varphi\text{dyn.}}$	MNm/rad	200.000	163.500
erforderliche stat. Drehfedersteifigkeit $k_{\varphi\text{stat.}}$	MNm/rad	40.000	30.900
Sohldruck $\sigma_{Rk}$	kN/m <sup>2</sup>	354,5	250
Sohlreibungswinkel $\varphi'$	°	-	30
Moment in der Gründungssohle $M_k \text{ max.}$	kNm	237.536	331.153
Vertikallast $V_k \text{ max.}$	kN	45.292	44.140
OK-Erdanschüttung über Fundament	m	2,36	0,00
Wichte der Erdüberschüttung $\gamma/\gamma'$	kN/m <sup>3</sup>	18/8	18/8
Grundwasserhöchststand	m	UK-Fundament	UK-Fundament
zul. Schiefstellung $\Delta s$	mm/m	3	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.

Aufgrund der Geländesituation und der Höhenplanung für die Wege und Kranstellflächen wurden die Gründungsebenen der drei WEA bauseits wie folgt festgelegt:

WEA	Typ	Geländeoberkante am Fundament- mittelpunkt (MP) [mNHN]	UK-Fundament/ UK-Sauberkeitsschicht [m u.MP]	UK-Fundament/ UK-Sauberkeitsschicht [mNHN]
1	V150-5.6 HH169m	517,91	-1,34/-1,44	516,57/516,47
2	V150-5.6 HH148m	522,20	-3,96/-4,06	518,24/518,14
3	V150-5.6 HH148m	509,20	-1,36 / -1,46	507,84/507,74

Tab. B.2

In den geplanten Gründungssohlen werden hangseitig der Fels (Schicht Nr. 3) und talseitig i.d.R. der lehmige Gesteinsschutt (Schicht Nr. 2.2) angetroffen (s. Anlagen 3.1...3.3).

## 8.2 Gründungsvorschläge

Der lehmige Gesteinsschutt (Schicht Nr. 2.2) reicht an den Standorten WEA 1 und WEA 2 nach den Bohrerergebnissen nur wenige Dezimeter und bei WEA 3 (B 3.2) bis max. ca. 1,5 m unter die Sauberkeitsschicht.

Es wird empfohlen, die Baugruben einerseits bis **mindestens  $\geq 0,15$  m** unter die Unterkante der Sauberkeitsschicht **und** andererseits bis **in den verwitterten Fels (Schicht Nr. 3)** auszuheben. Die Sohle wird abschließend mit einer Grabenräumschaufel mit glatter Schneide möglichst sauber abgezogen. 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. Diese Ausführung der Gründung sollte als Kalkulationsgrundlage dienen.

Bei WEA 3, Bohrung B 3.2, wurde die Unterkante des Gesteinsschutts rd. 1,5 m unter der geplanten Sauberkeitsschicht ermittelt. Im ungestörten Zustand hat der schwach lehmige Gesteinsschutt eine ausreichend gute Tragfähigkeit für die Gründung der Anlage. Vor allem bei erhöhtem Lehmgehalt in der Aushubsohle ist der Boden bei Wasserzutritt aber störungsempfindlich. Einzelne größere Steine können beim Aushub aus der Sohle ausbrechen. 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.

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

Anlagenstandort	Mindestaushubtiefe [m u. Bezugshöhe]
WEA 1	1,80...2,1
WEA 2	4,21...4,6
WEA 3	1,61...3,1 (Vorschachtung zur Baugrubenabnahme max. 2,1 m)

Tab. 8.3

Der Schotterbodenaustausch muss zur Abtragung der seitlichen Druckausstrahlung der Fundamente ( $45^\circ$ ) entsprechend seiner Stärke über die Fundamentaußenkanten überstehen. Das erfordert eine entsprechende Aufweitung der Gruben zur Hangunterseite, so dass dort mit einem weiteren Abfall der Aushubsohle zu rechnen ist.

Unmittelbar nach der Baugrubenabnahme und evtl. lokalen Nachschachtungen wird der Bodenaustausch aus kornabgestuftem Gesteinsschotter (Körnung vergleichbar mit Schottertragschicht 0/45 mm od. 0/56 mm nach TL SoB-StB 07) lagenweise aufgebracht und über die gesamte Höhe auf  $\geq 100\%$  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  $E_{v2} \geq 100 \text{ MN/m}^2$  und Verhältniswerte  $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,5$  zum Nachweis der ordnungsgemäßen Verdichtung erreicht werden.

## 9 Hinweise zur Bauausführung

Beim Aushub der Baugruben ist im tieferen Teil an der Hangoberseite mit Fels der Klasse 6, lokal ggf. auch 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. Bei WEA 3 erfolgt die Ausschachtung zur Hangunterseite hin im Verwitterungslehm bis zur Oberkante des schwach lehmigen bis lehmigen Gesteinsschutts (Schicht Nr. 2.2).

Empfohlen wird, stärkere Auflockerungen in der Baugrubensohle zu entfernen. Dafür ist es i.d.R. zweckmäßig, die Sohle mit einer Baggerschaufel (Grabenräumschaufel) mit glat-

ter Schneide nachzuarbeiten und verbleibende, restliche Auflockerungen mit einem schweren Flächenrüttler in 3...4 Übergängen nachzuverdichten.

Beim Aushub ist mit Ausbrüchen aus der Sohle zu rechnen. Diese sollten möglichst gering gehalten werden. Die **Baugrubensohlen** 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 tiefer reichende Verwitterungen und evtl. zusätzliche Maßnahmen für eine ordnungsgemäße Gründung vorgeschlagen werden.

Unter den Fundamenten wird jeweils ein Graben für Leerrohre ausgehoben. Gelockerte Steine werden aus den Gräben 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 jeweiligen 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.

Die Baugruben können 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 den Baugrubenböschungen, 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 Baugruben geneigt sind. Im ungünstigsten Fall sind die Böschungen entsprechend abzuflachen. Bei günstigen Einfallrichtungen der Trennflächen sind im Fels Böschungsneigungen von max.  $80^\circ$  möglich.

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

Zur Hangoberseite sollte die dauerhafte Böschung bis dicht vor die Fundamentaußenkante angelegt werden. An dieser Böschungsunterkante sollte ein flacher Abflussgraben angelegt werden, um Oberflächenwasser um das betreffende 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 auf der von der Quelle abgewandten Hangseite 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 Kranstellflächen 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 Windenergieanlagen folgende Anforderungen gestellt:

Kenngröße	Einheit	WEA1 V150-5.6MW HH169m	WEA 2 u. WEA 3 V150-5.6MW HH148m
Dyn. Drehfedersteifigkeit $k_{\varphi, \text{dyn.}}$	MNm/rad	200.000	163.500
Stat. Drehfedersteifigkeit $k_{\varphi, \text{stat.}}$	MNm/rad	40.000	30.900
Zulässige Sohlnormalspannung/Bodenpressung $\sigma$	kN/m <sup>2</sup>	354,5	250
Grundwasserhöchststand (Fundament ohne Auftrieb)	m	UK-Fundament	UK-Fundament
setzungsbedingte Schiefstellung des Fundaments	mm/m	3	3
Bodenüberdeckung $\gamma/\gamma'$	kN/m <sup>3</sup>	18/8	18/8

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. Anlagen 1.1...1.3) mit folgenden minimalen Drehfedersteifigkeiten gerechnet werden:

Anlagen-stand-orte	statische Drehfedersteifigkeit $K_{\varphi, \text{stat}}$ [MNm/rad]	dynamische Drehfedersteifigkeit $K_{\varphi, \text{dyn}}$ [MNm/rad]
WEA 1	188.082	538.729
WEA 2	210.059	630.176
WEA 3	98.464	295.391

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 Aufnehmbarer Sohldruck

Für die geplanten Anlagen mit einer Flachgründung ohne Auftrieb ist eine Bodenpressung, d.h. ein aufnehmbarer Sohldruck von  $\sigma = 354,5$  kN/m<sup>2</sup> bzw. 250 kN/m<sup>2</sup> angegeben. Bei den großen Fundamentbreiten und der Einbindetiefe ergeben Grundbruchberechnungen nach DIN 4017 (s. Anl. 1.4) zulässige Bodenpressungen, die deutlich höher liegen. Die

angegebenen Bodenpressungen sind hinsichtlich des Grundbruchkriteriums bei der empfohlenen Flachgründung zulässig.

### **11.3 Grundwasserhöchststand**

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

### **11.4 Berechnung der setzungsbedingten Schiefstellung**

Bei Zugrundelegung der zu erwartenden Vertikallasten ist bei den Anlagen eine Winkelverdrehung von  $\Delta s \leq 3 \text{ mm/m}$ , d.h. max. 72...76 mm über den gesamten Fundamentdurchmesser ausschließlich für setzungsbedingte Schiefstellungen zugelassen.

Die Gesamtsetzungen der Anlagen wurden überschlägig nach einem statischen Verfahren nach DIN 4019 berechnet (s. Anl. 1.5). Bei Zugrundelegung der zu erwartenden setzungsrelevanten Vertikallasten und bei den anzunehmenden maximalen Bodenpressungen sind im ungünstigsten Fall (WEA 3) Gesamtsetzungen in der Größenordnung von weniger als 2 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 [Ωm]
WEA 1	Wenner	21	907
WEA 2	Wenner	21	669
WEA 3	Wenner	21	369

Tab. 12.1

## 13 Hinweise zum Wege- und Kranstellflächenbau

### 13.1 Allgemeines

Für die Kranstellflächen sollte ein Höhen-/Massenausgleich vorgesehen werden. Die an den Standorten im Mittel ca. 0,1...0,3 m starke Mutterbodenschicht wird gesondert abgetragen und verwertet. Im Bereich des Hanganschnitts sollte an der Böschungsunterkante sicherheitshalber ein Abfanggraben oder eine Drainage für zulaufendes Schichtenwasser eingeplant werden.

Die Schotterstärke der Zuwegung im Bereich der Bohrungen W 1 und W 3 beträgt ca. 0,2 m über schwach lehmigem Gesteinsschutt. Bei Bohrung W 2 wurde unter der 0,2 m starken Schotterschicht Verwitterungslehm angetroffen.

Die Oberflächenbefestigung des Weges ist an den Bohrpunkten W 1...W 3 nach den Bohrergebnissen vermutlich abschnittsweise vor allem bei ungünstigen Witterungsbedingungen für die hier gestellten Anforderungen voraussichtlich nicht geeignet. Die Oberbodenreste und lehmige Restverunreinigungen der Oberfläche sollten weitgehend abgezogen und der Weg mit Mischbinder (s.u.) stabilisiert und mit Schotter möglichst nach oben aufgebaut 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 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  $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$  erreicht werden.

Diese Mindestfestigkeit ist in steifem Verwitterungslehm 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 Wegen 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 lehmfreien 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 Querdrägen 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 **Drägen/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

Für die Beurteilung der Tragfähigkeit der Kranstellflächen und zur Gewährleistung der Bodenpressungen unter den Montagekränen wurde eine Grundbruchberechnung (Anlage 1.6) durchgeführt. Dabei wurden die ungünstigsten Bodenkennwerte im unterlagernden Boden angesetzt.

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

Breite der Aufstandsfläche	zul. Sohlnormalspannung
1,0 m	190 kN/m <sup>2</sup>
2,0 m	260 kN/m <sup>2</sup>
3,0 m	330 kN/m <sup>2</sup>
4,0 m und mehr	400 kN/m <sup>2</sup>

Tab. 13.1 Zulässige Bodenpressungen für die Kräne

Die durch die Kräne verursachten Sohlnormalspannungen in der kritischen Grenzschicht zwischen der Tragschicht und dem Verwitterungslehm ergibt sich aus der Breite der Aufstandsflächen zuzüglich der Lastausbreitung in der Schottertragschicht. In gut korn-

abgestuftem, kantigen 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 und schmalen Lastverteilungsplatten 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 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 starken 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.

Zur Hangunterseite werden die Kranstellflächen schichtweise aufgebaut und erhalten talseitig Böschungen. Die hohen Kranlasten sollten nicht unmittelbar auf den Böschungskanten abgetragen werden. Bei Böschungshöhen von max. 5 m sollten zwischen den Baggermatratzen und den Böschungskanten Abstände von  $\geq 5 \text{ m}$  eingehalten werden. Die Befahrung mit LKW von max. 12 t Gesamtgewicht sollte in Anlehnung an DIN 4124 nicht dichter als 1,0 m und schwerere Fahrzeuge nicht dichter als 2,0 m bis an die Böschungskanten zugelassen werden.

Bei angenommenen Stützlasten des Hauptkrans von  $\leq 4000$  kN und einer Abtragung auf ausreichend großen Baggermatratzen unter Einhaltung der o.g. Bodenpressungen zeigen Setzungsberechnungen nach DIN 4019 (Anlage 1.7), dass unter den Kränen bei sehr lang anhaltenden Belastungen rechnerische Setzungen von ca. 3 cm auftreten können.



Ch. Gerdes

## Schichtenverzeichnis

Bezugshöhe ist die Geländeoberkante im Bereich des Fundamentmittelpunktes

### WEA 1

#### B 1.1 0,52 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 bis stark steinig, steif bis halbfest
0,6	...	1,5	m	Gesteinsschutt, lehmig, nach unten übergehend in schwach lehmig, dicht
1,5	...	2,0	m	Sandstein in Wechsellagerung mit Schluffstein, stark verwittert, nach unten übergehend in schwach verwittert kein weiterer Bohrfortschritt

#### B 1.2 -0,66 m [Ansatzhöhe]

0,0	...	0,2	m	Mutterboden
0,2	...	0,4	m	Verwitterungslehm, steinig, mit humosen Spuren
0,4	...	0,7	m	Verwitterungslehm, steinig bis stark steinig, steif bis halbfest
0,7	...	1,4	m	Gesteinsschutt, lehmig, nach unten übergehend in schwach lehmig, dicht
1,4	...	2,0	m	Schluffstein, nach unten übergehend in Sandstein, stark verwittert, nach unten übergehend in schwach verwittert kein weiterer Bohrfortschritt

#### B 1.3 0,18 m [Ansatzhöhe]

0,0	...	0,2	m	Mutterboden
0,2	...	0,4	m	Verwitterungslehm, steinig, mit humosen Spuren
0,4	...	0,9	m	Verwitterungslehm, steinig bis stark steinig, steif bis halbfest
0,9	...	1,9	m	Gesteinsschutt, lehmig, nach unten übergehend in schwach lehmig, dicht
1,9	...	2,5	m	Schluffstein in Wechsellagerung mit Sandstein, stark verwittert, nach unten übergehend in schwach verwittert kein weiterer Bohrfortschritt

#### B 1.4 GOK

0,0	...	0,2	m	Mutterboden
0,2	...	0,3	m	Verwitterungslehm, steinig, mit humosen Spuren
0,3	...	1,4	m	Verwitterungslehm, steinig, steif bis halbfest
1,4	...	2,5	m	Gesteinsschutt, stark lehmig, nach unten übergehend in schwach lehmig, steif bis halbfest
2,5	...	3,0	m	Tonstein, stark verwittert

#### B 1.5 GOK

0,0	...	0,2	m	Mutterboden
0,2	...	0,4	m	Verwitterungslehm, steinig, mit humosen Spuren
0,4	...	1,0	m	Verwitterungslehm, steinig, steif bis halbfest
1,0	...	2,6	m	Gesteinsschutt, stark lehmig, nach unten übergehend in schwach lehmig, dicht
2,6	...	3,0	m	Tonstein, lagenweise Schluffstein, stark verwittert

**WEA 2****B 2.1** -2,76 m [Ansatzhöhe]

0,0	...	0,2	m	Mutterboden
0,2	...	1,0	m	Verwitterungslehm, steinig bis stark steinig, steif
1,0	...	1,8	m	Gesteinsschutt, lagenweise schwach lehmig, dicht
1,8	...	2,5	m	Feinsandstein, schwach lehmig, stark verwittert, nach unten übergehend in schwach verwittert kein weiterer Bohrfortschritt

**B 2.2** 0,59 m [Ansatzhöhe]

0,0	...	0,2	m	Mutterboden
0,2	...	0,8	m	Verwitterungslehm, steinig bis stark steinig, steif bis halbfest
0,8	...	1,8	m	Gesteinsschutt, lehmig, nach unten übergehend in schwach lehmig, mitteldicht, nach unten übergehend in dicht
1,8	...	2,2	m	Feinsandstein, schwach lehmig, stark verwittert, nach unten übergehend in schwach verwittert kein weiterer Bohrfortschritt

**B 2.3** 0,82 m [Ansatzhöhe]

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

**B 2.4** GOK neben dem Weg

0,0	...	0,2	m	Mutterboden
0,2	...	1,4	m	Gesteinsschutt, lehmig, nach unten übergehend in schwach lehmig, dicht
1,4	...	1,8	m	Sandstein, stark verwittert, nach unten übergehend in schwach verwittert kein weiterer Bohrfortschritt

**B 2.5** GOK im Weg

0,0	...	0,1	m	Auffüllung (Schotter)
0,1	...	1,6	m	Gesteinsschutt, lehmig, lagenweise stark lehmig, dicht, lagenweise halbfest
1,6	...	2,0	m	Sandstein, stark verwittert kein weiterer Bohrfortschritt

**WEA 3****B 3.1** 2,19 m (Ansatzhöhe)

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

**B 3.2** -0,51 m (Ansatzhöhe)

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

**B 3.3** -0,61 m (Ansatzhöhe)

0,0	...	0,2	m	Mutterboden
0,2	...	0,5	m	Verwitterungslehm, steinig, mit humosen Spuren
0,5	...	1,0	m	Gesteinsschutt, lehmig, nach unten übergehend in schwach lehmig, dicht
1,0	...	1,5	m	Schluffstein, lagenweise Tonstein, stark verwittert, nach unten übergehend in schwach verwittert kein weiterer Bohrfortschritt

**B 3.4** GOK

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

**B 3.5** GOK

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

**WEGE**

<b>W 1</b>		<b>GOK</b>	
0,0	... 0,2	m	Auffüllung (Gesteinsschutt, schwach lehmig, dicht)
0,2	... 1,2	m	Gesteinsschutt, schwach lehmig, lagenweise lehmig, dicht
1,2	... 1,5	m	Schluffstein, in Wechsellagerung mit Tonstein, stark verwittert kein weiterer Bohrfortschritt

<b>W 2</b>		<b>GOK</b>	
0,0	... 0,2	m	Auffüllung (Gesteinsschutt, lagenweise schwach lehmig dicht)
0,2	... 0,4	m	Verwitterungslehm, schwach steinig bis steinig, halbfest
0,4	... 1,5	m	Gesteinsschutt, stark lehmig, nach unten übergehend in schwach lehmig, dicht
1,5	... 2,0	m	Schluffstein, lagenweise Tonstein, stark verwittert, nach unten übergehend in schwach verwittert kein weiterer Bohrfortschritt

<b>W 3</b>		<b>GOK</b>	
0,0	... 0,2	m	Auffüllung (Gesteinsschutt, lagenweise schwach lehmig dicht)
0,2	... 1,8	m	Gesteinsschutt, schwach lehmig, dicht
1,8	... 2,5	m	Schluffstein, lagenweise Sandstein, stark verwittert, nach unten übergehend in schwach verwittert kein weiterer Bohrfortschritt



**Entnahmestelle:** WEA 2

**Entnahme am:** 16.03.2020

**Untersuchung am:** 17.04.2020

**Analysen-Nr.:** 200307291

Angriffsgrad/ Expositionsclassen bei chemischem Angriff durch natürliche Wässer							
Grundwasser			nicht	schwach	mäßig	stark	
	Parameter im Wasser	Dim.	-	XA 1	XA 2	XA 3	Messwert
	pH Wert	-	> 6,5	< 6,5...5,5	< 5,5...4,5	< 4,5...4,0	
	Leitfähigkeit	µS/cm					
	KMnO <sub>4</sub> -Verbr.	mg/l					
	Chlorid	mg/l					
	Sulfat	mg/l	< 200	> 200...600	> 600...3000	> 3000	
	Ammonium	mg/l	< 15	> 15...30	> 30...60	> 60...100	
	Härte	mg/l					
	Nichtcarbonathärte	mg/l					
Hydrogencarbonathärte	mg/l						
Kohlensäure, kalklösend	mg/l	< 15	> 15...40	>40...100	> 100		
Magnesium	mg/l	< 300	> 300...1000	>1000...3000	> 3000		
Parameter im Boden	Dim.	-	XA 1	XA 2	XA 3	Messwert	
Sulfat	mg/kg	≤ 2000	2001...3000	3001...12000	12001...24000	290	
Säuregrad n. Baumann-Gu	ml/kg	≤ 200	> 200	in der Praxis nicht anzutreffen		76	

**Ergebnis der Untersuchung:**

**Angriffsgrad nach DIN 4030/EN206: "nicht betonangreifend"**

**Expositionsklasse nach Zement-Merkblatt Betontechnik B 9/1.2010: XA -**

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 4761803**  
**Auftrags Nr. 5320871**  
**Kunden Nr. 10002276**

Herr Dr. Raymund Dressler  
Telefon +49 2366/3056-43  
Fax +49 2366/3056-11  
raymund.dressler@sgs.com



Environment, Health and Safety

SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH  
Am Technologiepark 10  
D-45699 Herten

Herten, den 17.04.2020

Ihr Auftrag/Projekt: Wilnsdorf WEA 2  
Ihr Bestellzeichen: 19073  
Ihr Bestelldatum: 20.03.2020

Prüfzeitraum von 23.03.2020 bis 17.04.2020  
erste laufende Probenummer 200307291  
Probeneingang am 20.03.2020

SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH

i.V. Dr. Raymund Dressler  
Customer Service

i.A. Dr. Dennis Mo  
Customer Service

Seite 1 von 2

Wilnsdorf WEA 2  
19073

**Prüfbericht Nr. 4761803**  
**Auftrag Nr. 5320871**

Seite 2 von 2  
17.04.2020

Proben durch IF-Kurier abgeholt      Matrix: Boden

Probennummer                            200307291  
Bezeichnung                              WEA 2  
    B2.1  
    0,2-1,8m  
Eingangsdatum:                         20.03.2020

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

**Feststoffuntersuchungen :**

Trockensubstanz	Masse-%	88,8	0,1	DIN EN 14346	HE
-----------------	---------	------	-----	--------------	----

**Bodenuntersuchung n. DIN 4030 :**

Chlorid	mg/kg	< 100	100	DIN 4030-2	TS
Sulfat	mg/kg	290	20	DIN 4030-2	TS
Sulfid	mg/kg	< 1	1	DIN 4030-2	TS
Säuregrad n. Baumann-Gully	ml/kg	76	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 Akkreditierungsverfahrennummern 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.sgsgroup.de/agb](http://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).

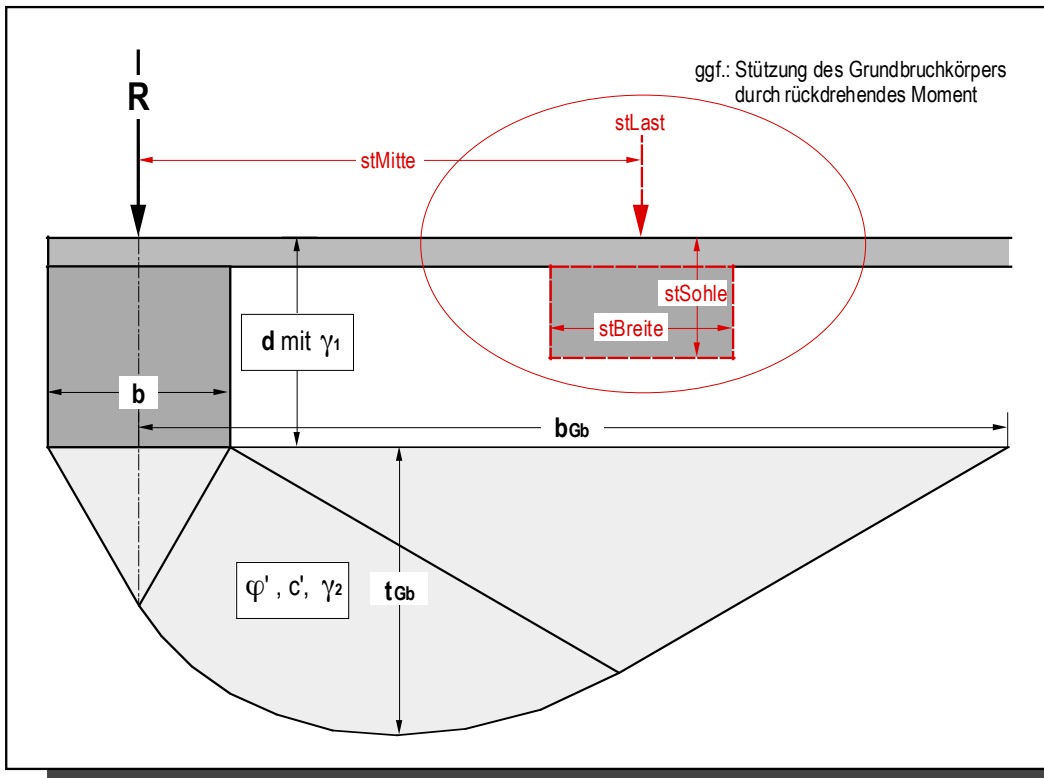




Höhenbezüge		Anlagentyp Fundamenttyp	Funda- ment- ab- mes- sungen	Durch- mes- ser $\varnothing$ [m]	Höhe $h_{ges.}$ [m]	Funda- ment- unter- kante [m u. BZH]	Gründungs- sole (UK-Sauer- berkeits- schicht) [m u. BZH]	geforderte Drehfeder- steifigkeit, statisch $k_{\varphi, stat}$ [MNm/rad]	geforderte Drehfeder- steifigkeit, dynamisch $k_{\varphi, dyn}$ [MNm/rad]	aufnehm- barer Sohldruck $\sigma_{zul}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	zulässige Setzung/ Schiefstellung				
Bezugspunkt (BZP)	Geländeoberkante am Fundamentmittelpunkt	V150-5.6MW HH148m	außen	25,3	3,55	1,36	1,46	30.900	163.500	250	Schiefstellung ges. $\Delta s$ [mm]	76			
Bezugshöhe (BZH)	MP = ±0,00 m	Flach ohne Auftrieb									Setzungsdifferenz $\Delta s$ [mm/m]	3,00			
Absolute Höhe BZP [mNHN]		Kreisfundament									Winkelverdrehung $\alpha$ [°]	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 <sup>2</sup> ]	Steifemodul statisch $E_{s,stat,k}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	Steifemodul dynamisch $E_{s,dyn,k}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	Wichte $\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Quer- dehnungs- zahl $\nu$ [-]	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	1,46	1,61	0,15	37,5	0,0	100	300	20,0	0,30	12,65	<b>220.330</b>	14,0	<b>660.991</b>	24,7
Gesteinsschutt, schwach lehmig, dicht	2.2	1,61	3,10	1,49	35,0	0,0	50	150	0,2	0,35	12,77	<b>98.464</b>	31,4	<b>295.391</b>	55,4
Fels, verwittert	3	3,10	20,00	16,90	35,0	0,0	100	300	22,0	0,33	13,81	<b>265.888</b>	11,6	<b>797.664</b>	20,5
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> <math>K_{\varphi}</math>: Drehfedersteifigkeit  <math>E_s</math>: Steifemodul  r: Fundamentradius, bzw. bei quadratischen Fundamenten halbe Kantenlänge (rechnerisch OK-Bodenschicht)  <math>\nu</math>: Querdehnungszahl des Bodens </p>											<b>Geotechnisches Büro Dr. Koppelberg &amp; Gerdes GmbH</b>				
											Projekt: Wilnsdorf 3 WEA WEA 3: V150-5.6MW HH148m				
											Auftraggeber: juwi AG				
Berechnung der Drehfedersteifigkeit an den Schichtoberkanten (WEA 3)											Gutachten: 19073-01		<b>Anl.: 1.3</b>		

# 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/m<sup>2</sup>], 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

$\varphi'$  [°]: Reibungswinkel des Bodens

c' : Kohäsion des Bodens

$\gamma_1$  : Wichte Boden über Fundamentsohle

$\gamma_2$  : Wichte Boden unter Fundamentsohle

stMitte : Distanz Mitte Fundament - Mitte Stützkörper

stBreite: Breite des Stützkörpers

stSohle : Sohlentiefe des Stützkörpers; stSohle  $\leq$  d

stLast : Stützlinienlast

-----

# 1. WEA Gründung in: Tragschicht über Gesteinsschutt und Fels

## ■ 1.2 Graphik der zul. Sohlnormalspannung als Funktion der Fundamentbreite

```

dPlatte = 0.0 m; (* Stärke der Bodenplatte *)
d       = 0.1 m; (* Mindesteinbindetiefe incl.SS *)

gamBeton = 25.0 kN/m^3; (* Wichte Beton *)
gamBoden = 11.0 kN/m^3; (* Wichte Boden *)

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

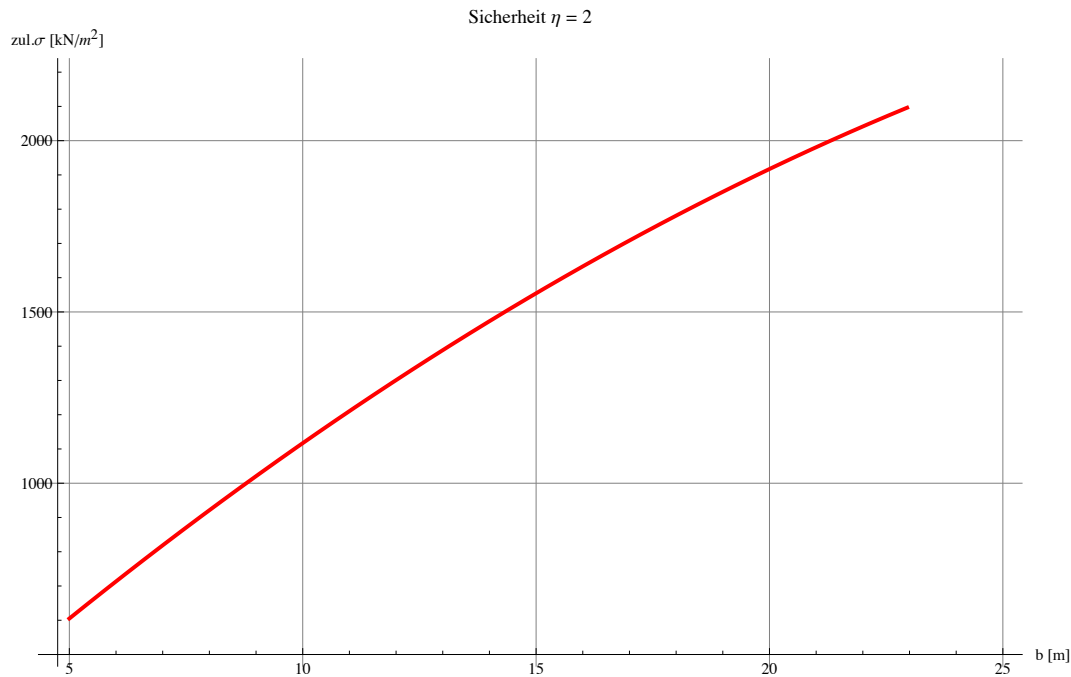
phi = 35;
c = 0 kN/m^2;

a = 25.0 m;

eta = 2;
b = .; bMin = 5; bMax = 25;

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,500},
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*<sup>TM</sup> Applikation von W.Koppelberg

Info[]

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

## 1. WEA 1...3 (ungünstigster Fall, WEA 3)

### 1.1 Bodenpressungen

```
bSigma = {{7m, 250 kN/m^2}
};
```

### 1.2 Listen: Schichtunterkanten - Steifemoduli:

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

SchichtenFolge = {{98.4mNN, 100.0MN/m^2}, (* 0 *)
                  {96.9mNN, 50.0MN/m^2}, (* 2.2 *)
                  {70.0mNN, 150.0MN/m^2} (* 3 *)
};
```

### 1.3 Listen: Fundamentgeometrie, Gründungssohle und Bodenpressung:

#### ■ 1 Einzelfundamente mit quadratischen Grundflächen

```
Lastfaktor = 1;      (* 100% ständige Lasten *)
d           = 1.46;  (* Einbindetiefe einschl. Sauberkeitsschicht *)

PosNr      = "Pos. P1";
P          = 45000 kN;      (* Einzellast *)
b          = 7.0;          (* Breite des Fundamentes *)
a          = 25.3;         (* 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:

#### ■ 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]: 25.3
Breite     b [m]: 7.
Höhe      d [m]: 1.46
Gründungssohle [mNN]: 98.54
Sigma      [MN/m^2]: 0.254
Belastung GQk [kN]: 45 000.
```

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]: 0.263
```

Koordinaten für den Berechnungspunkt:

Kennzeichnender Punkt

Grenztiefe für die Setzungsberrechnung:

```
u.Gründungssohle [m]: 16.
in [mNN]: 82.54
```

-----

PARTIALSETZUNGEN:

```
z1=0.m(98.5mNN)      z2=0.1m(98.4mNN)      Es=100.MN/m^2      Δs=0.04cm
z1=0.1m(98.4mNN)    z2=1.6m(96.9mNN)      Es=50.MN/m^2      Δs=0.71cm
z1=1.6m(96.9mNN)    z2=16.m(82.5mNN)     Es=150.MN/m^2     Δs=0.88cm
```

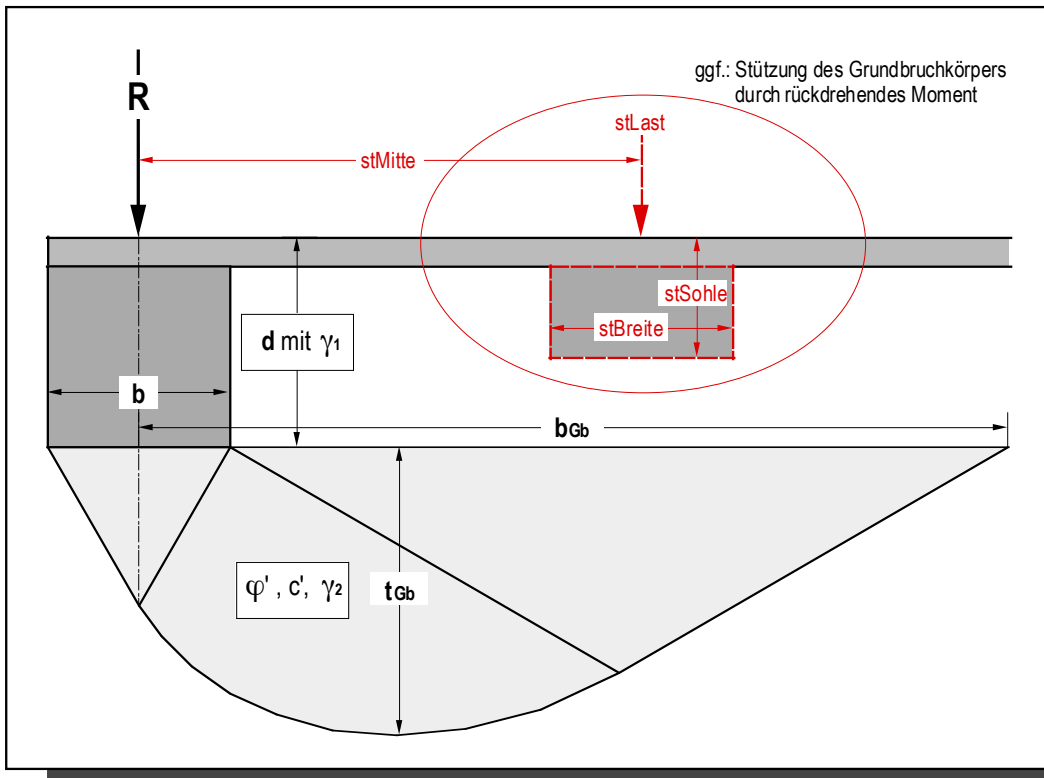
-----

GESAMTSETZUNG: ca. 1.63cm in {x', y'} = {9.36m, 2.59m}

\*\*\*\*\*

# 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/m<sup>2</sup>], 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

$\varphi'$  [°]: Reibungswinkel des Bodens

c' : Kohäsion des Bodens

$\gamma_1$  : Wichte Boden über Fundamentsohle

$\gamma_2$  : Wichte Boden unter Fundamentsohle

stMitte : Distanz Mitte Fundament - Mitte Stützkörper

stBreite: Breite des Stützkörpers

stSohle : Sohlentiefe des Stützkörpers; stSohle  $\leq$  d

stLast : Stützlinienlast

-----

### ■ 1.1 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 = 19.0 kN/m^3; (* Wichte Boden *)
```

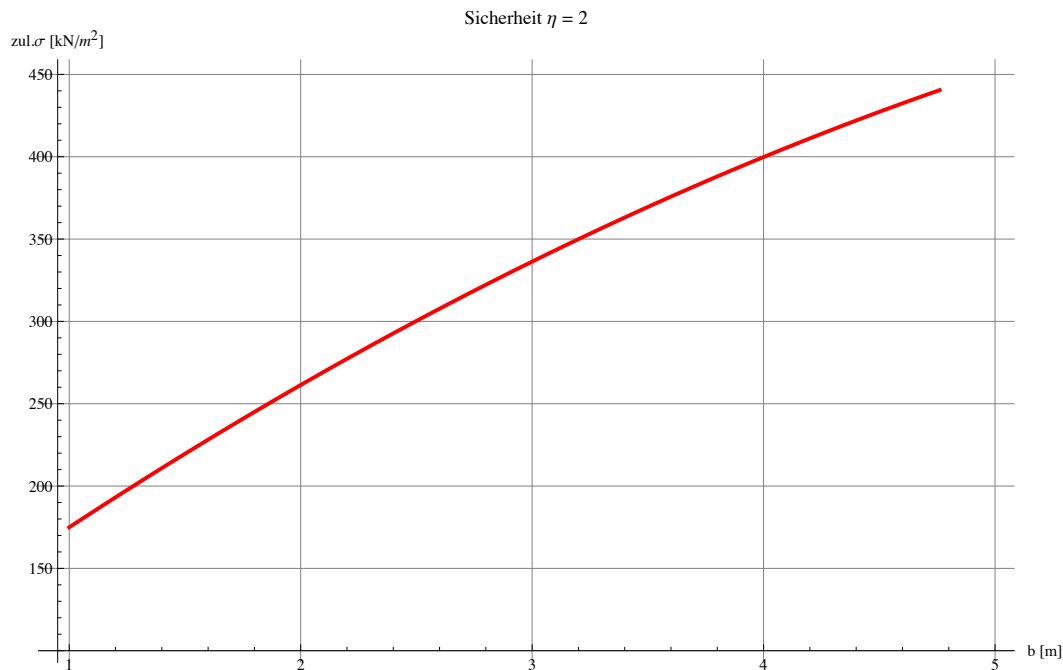
```
(* gamma1 als gewichtetes Mittel bestimmen *)
gamma1 = (dPlatte*gamBeton+(d-dPlatte)*gamBoden)/d;
gamma2 = gamBoden;
```

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

```
a = 5.0 m;
```

```
eta = 2;
b   = .; bMin = 1; bMax = 5;
```

```
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,100},
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/m<sup>2</sup>]

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/m<sup>2</sup>]

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, 190 kN/m^2},
           {2.0m, 260 kN/m^2},
           {3.0m, 330 kN/m^2},
           {4.0m, 400 kN/m^2}
          };

GOK    = 100.0 mNN; (* mittlere Geländehöhe *)
OKRF   = 100.0 mNN; (* OK Rohfußboden *)
GWSp   = 75.0 mNN; (* mittlerer Wasserspiegel *)

(* günstigste Kombination der Steifemoduli *)
SchichtenFolge1 = {{99.5mNN, 120.0MN/m^2}, (* TS *)
                   {70.0mNN, 250.0MN/m^2} (* Fels *)
                  };

(* ungünstigste Kombination der Steifemoduli *)
SchichtenFolge2 = {{99.5mNN, 100.0MN/m^2}, (* TS *)
                   {99.1mNN, 45.0MN/m^2}, (* Vermörtelung *)
                   {97.0mNN, 15.0MN/m^2}, (* VL, x *)
                   {95.5mNN, 50.0MN/m^2}, (* X, 1 *)
                   {70.0mNN, 100.0MN/m^2} (* Fels *)
                  };

```

## 2. Listen: Fundamentgeometrie, Gründungssohle und Bodenpressung:

### ■ Streckenlasten GQk auf Platte

```

Lastfaktor = 1;          (* 100% der Lasten sind ständige, setzungsrelevante Lasten *)
d           = 0.2 m;     (* Plattenstärke *)
dWand      = 2 m;       (* Kettenbreite *)

PosNr      = "Pos. GQk = 1";
GQk        = 250 kN/m;   (* Streckenlast *)
a          = 8 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};

PosNr      = "Pos. GQk = 2";
GQk        = 1000 kN/m;  (* Streckenlast *)
a          = 4 m;       (* Länge des Fundamentes *)
b          = FbStreifen[GQk,bSigma]; (* Breite des Fundamentes *)
zGrSohle   = OKRF-d;    (* Gründungssohle *)
sigma      = GQk/b Lastfaktor; (* Bodenpressung *)
posFq2     = {PosNr, a,b,d, zGrSohle, sigma};

```

### 3. Bestimmung der Setzungen:

#### ■ 3.1 Günstigste Kombination der Steifemoduli: Setzungen und Bettungsmoduli

SchichtenFolge = SchichtenFolge1;

CalcSetzung[SchichtenFolge, posFq1, SigmaVor->{GOK, 19kN/m<sup>3</sup>, GWSp, 12kN/m<sup>3</sup>},  
SigmaEff->True, GrenzTiefe->DIN4019]

ERGEBNISSE DER SETZUNGSBERECHNUNG NACH DIN 4019:

=====

FUNDAMENT: Pos. GQk = 1

Länge a [m]: 8.  
Breite b [m]: 1.2  
Höhe d [m]: 0.2  
Gründungssohle [mNN]: 99.8  
Sigma [MN/m<sup>2</sup>]: 0.208  
Belastung GQk [kN/m]: 250.

Angaben zur Bestimmung von Sigma(überlagerung):

GOK [mNN]: 100.  
Gamma [kN/m<sup>3</sup>]: 19.  
GW-Höhe [mNN]: 75.  
Gamma' [kN/m<sup>3</sup>]: 12.

Berücksichtigung von Fundamentgewicht und Aushubentlastung:

eff.Sigma [MN/m<sup>2</sup>]: 0.21

Koordinaten für den Berechnungspunkt:

Kennzeichnender Punkt

Grenztiefe für die Setzungsberrechnung:

u.Gründungssohle [m]: 4.97  
in [mNN]: 94.83

-----  
PARTIALSETZUNGEN:

z1=0.m(99.8mNN)	z2=0.3m(99.5mNN)	Es=120.MN/m <sup>2</sup>	Δs=0.05cm
z1=0.3m(99.5mNN)	z2=5.m(94.8mNN)	Es=250.MN/m <sup>2</sup>	Δs=0.1cm

-----  
GESAMTSETZUNG: ca. 0.15cm in {x',y'} = {2.96m,0.44m}

\*\*\*\*\*

CalcSetzung[SchichtenFolge, posFq2, SigmaVor->{GOK, 19kN/m<sup>3</sup>, GWSp, 12kN/m<sup>3</sup>},  
SigmaEff->True, GrenzTiefe->DIN4019]

ERGEBNISSE DER SETZUNGSBERECHNUNG NACH DIN 4019:

=====

FUNDAMENT: Pos. GQk = 2

Länge a [m]: 4.  
Breite b [m]: 3.05  
Höhe d [m]: 0.2  
Gründungssohle [mNN]: 99.8  
Sigma [MN/m<sup>2</sup>]: 0.328  
Belastung GQk [kN]: 4000.

Angaben zur Bestimmung von Sigma(überlagerung):

GOK [mNN]: 100.  
Gamma [kN/m<sup>3</sup>]: 19.  
GW-Höhe [mNN]: 75.  
Gamma' [kN/m<sup>3</sup>]: 12.

Berücksichtigung von Fundamentgewicht und Aushubentlastung:

eff.Sigma [MN/m<sup>2</sup>]: 0.329

Koordinaten für den Berechnungspunkt:

Kennzeichnender Punkt

Grenztiefe für die Setzungsberrechnung:

u.Gründungssohle [m]: 7.31  
in [mNN]: 92.49

-----  
PARTIALSETZUNGEN:

z1=0.m(99.8mNN)	z2=0.3m(99.5mNN)	Es=120.MN/m <sup>2</sup>	Δs=0.08cm
z1=0.3m(99.5mNN)	z2=7.3m(92.5mNN)	Es=250.MN/m <sup>2</sup>	Δs=0.26cm

-----  
GESAMTSETZUNG: ca. 0.34cm in {x',y'} = {1.48m,1.13m}

\*\*\*\*\*

### ■ 3.2 Ungünstigste Kombination der Steifemoduli: Setzungen und Bettungsmoduli

SchichtenFolge = SchichtenFolge2;

CalcSetzung[SchichtenFolge, posFq1, SigmaVor->{GOK, 19kN/m<sup>3</sup>, GWSp, 12kN/m<sup>3</sup>},  
SigmaEff->True, GrenzTiefe->DIN4019]

ERGEBNISSE DER SETZUNGSBERECHNUNG NACH DIN 4019:

=====

FUNDAMENT: Pos. GQk = 1

Länge a [m]: 8.  
Breite b [m]: 1.2  
Höhe d [m]: 0.2  
Gründungssohle [mNN]: 99.8  
Sigma [MN/m<sup>2</sup>]: 0.208  
Belastung GQk [kN/m]: 250.

Angaben zur Bestimmung von Sigma (überlagerung):

GOK [mNN]: 100.  
Gamma [kN/m<sup>3</sup>]: 19.  
GW-Höhe [mNN]: 75.  
Gamma' [kN/m<sup>3</sup>]: 12.

Berücksichtigung von Fundamentgewicht und Aushubentlastung:

eff.Sigma [MN/m<sup>2</sup>]: 0.21

Koordinaten für den Berechnungspunkt:

Kennzeichnender Punkt

Grenztiefe für die Setzungsberechnung:

u.Gründungssohle [m]: 4.97  
in [mNN]: 94.83

-----  
PARTIALSETZUNGEN:

z1=0.m (99.8mNN)	z2=0.3m (99.5mNN)	Es=100.MN/m <sup>2</sup>	Δs=0.06cm
z1=0.3m (99.5mNN)	z2=0.7m (99.1mNN)	Es=45.MN/m <sup>2</sup>	Δs=0.12cm
z1=0.7m (99.1mNN)	z2=2.8m (97.mNN)	Es=15.MN/m <sup>2</sup>	Δs=0.97cm
z1=2.8m (97.mNN)	z2=4.3m (95.5mNN)	Es=50.MN/m <sup>2</sup>	Δs=0.09cm
z1=4.3m (95.5mNN)	z2=5.m (94.8mNN)	Es=100.MN/m <sup>2</sup>	Δs=0.01cm

-----  
GESAMTSETZUNG: ca. 1.26cm in {x', y'} = {2.96m, 0.44m}

\*\*\*\*\*

CalcSetzung[SchichtenFolge, posFq2, SigmaVor->{GOK, 19kN/m<sup>3</sup>, GWSp, 12kN/m<sup>3</sup>},  
SigmaEff->True, GrenzTiefe->DIN4019]

ERGEBNISSE DER SETZUNGSBERECHNUNG NACH DIN 4019:

=====

FUNDAMENT: Pos. GQk = 2

Länge a [m]: 4.  
Breite b [m]: 3.05  
Höhe d [m]: 0.2  
Gründungssohle [mNN]: 99.8  
Sigma [MN/m<sup>2</sup>]: 0.328  
Belastung GQk [kN]: 4000.

Angaben zur Bestimmung von Sigma (überlagerung):

GOK [mNN]: 100.  
Gamma [kN/m<sup>3</sup>]: 19.  
GW-Höhe [mNN]: 75.  
Gamma' [kN/m<sup>3</sup>]: 12.

Berücksichtigung von Fundamentgewicht und Aushubentlastung:

eff.Sigma [MN/m<sup>2</sup>]: 0.329

Koordinaten für den Berechnungspunkt:

Kennzeichnender Punkt

Grenztiefe für die Setzungsberechnung:

u.Gründungssohle [m]: 7.31  
in [mNN]: 92.49

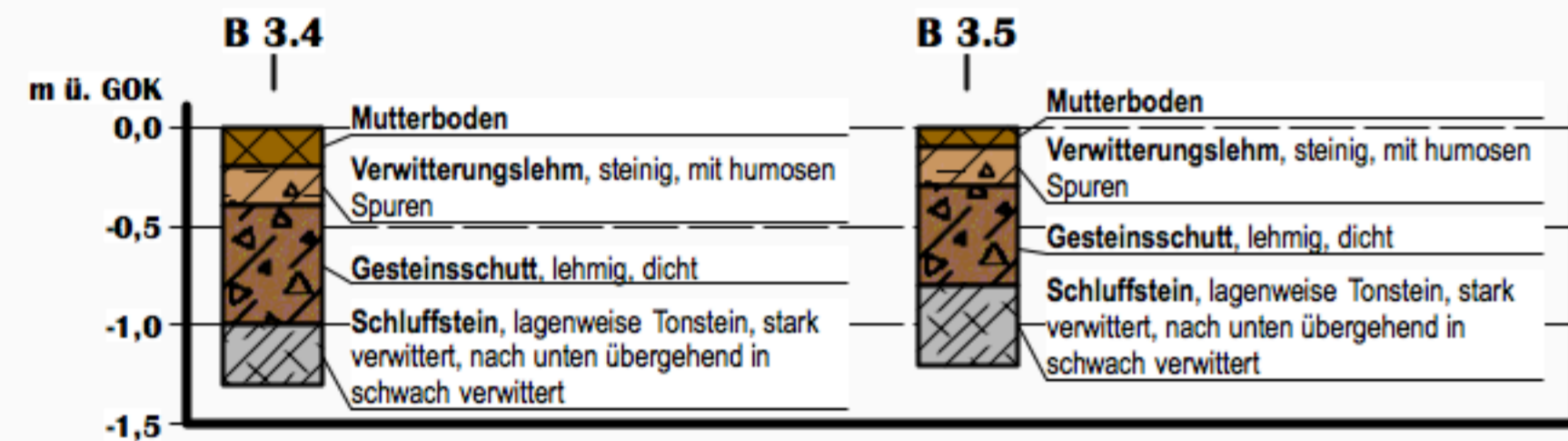
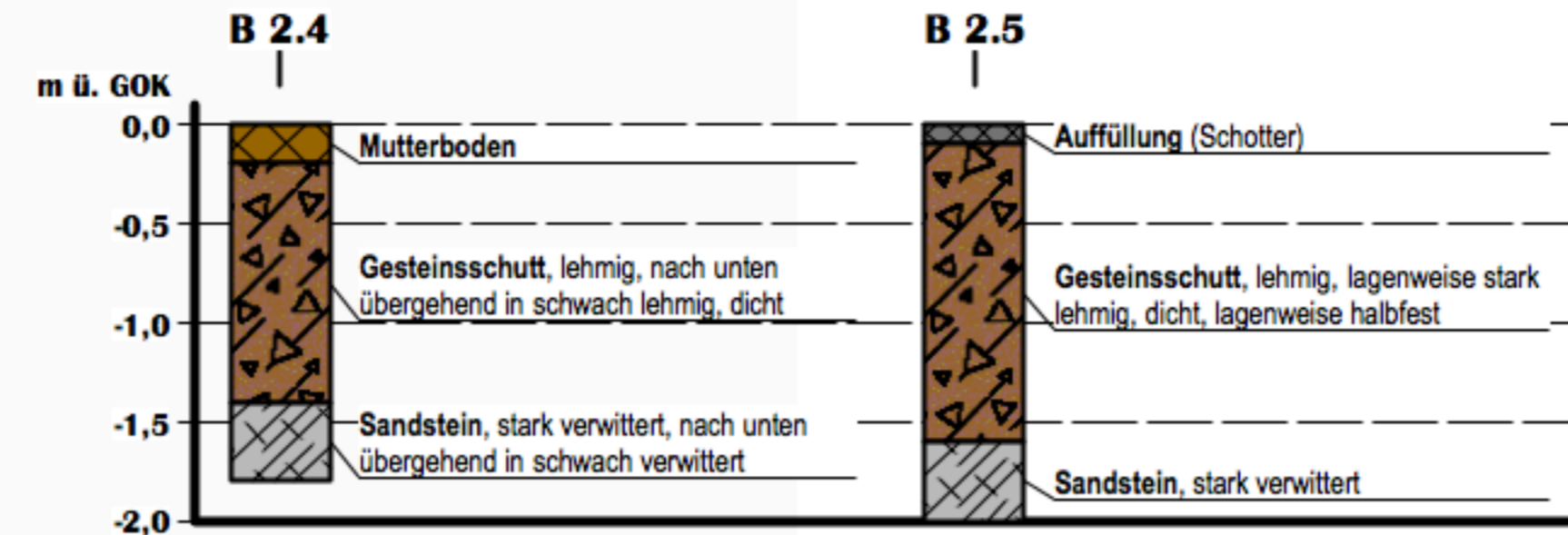
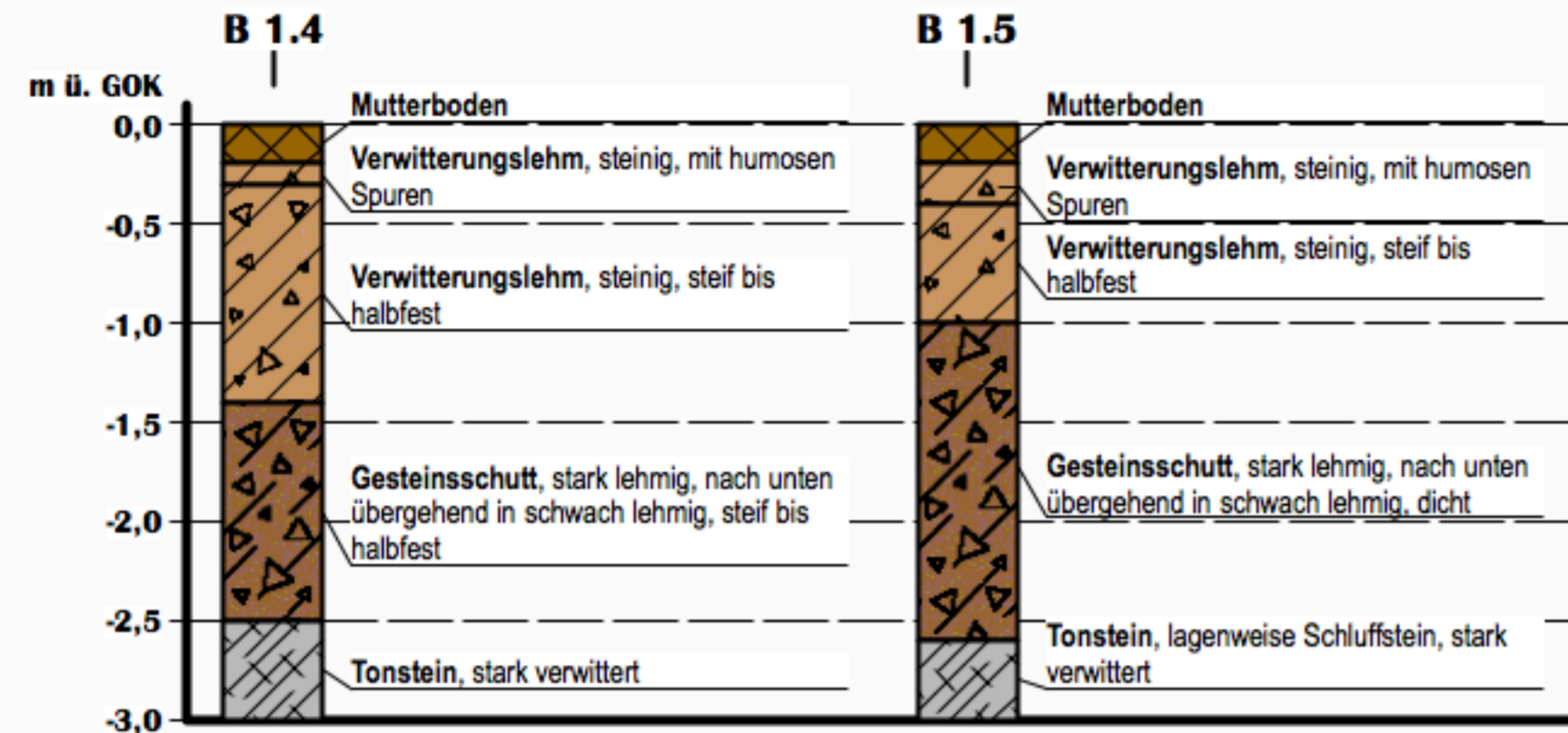
-----  
PARTIALSETZUNGEN:

z1=0.m (99.8mNN)	z2=0.3m (99.5mNN)	Es=100.MN/m <sup>2</sup>	Δs=0.1cm
z1=0.3m (99.5mNN)	z2=0.7m (99.1mNN)	Es=45.MN/m <sup>2</sup>	Δs=0.23cm
z1=0.7m (99.1mNN)	z2=2.8m (97.mNN)	Es=15.MN/m <sup>2</sup>	Δs=1.98cm
z1=2.8m (97.mNN)	z2=4.3m (95.5mNN)	Es=50.MN/m <sup>2</sup>	Δs=0.23cm
z1=4.3m (95.5mNN)	z2=7.3m (92.5mNN)	Es=100.MN/m <sup>2</sup>	Δs=0.13cm

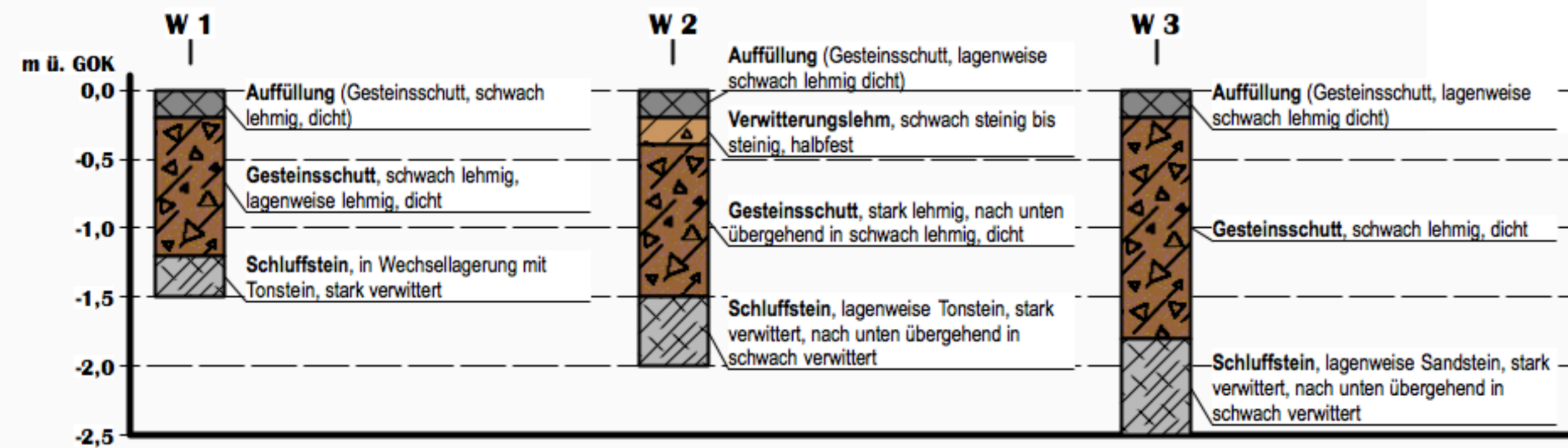
-----  
GESAMTSETZUNG: ca. 2.66cm in {x', y'} = {1.48m, 1.13m}

\*\*\*\*\*

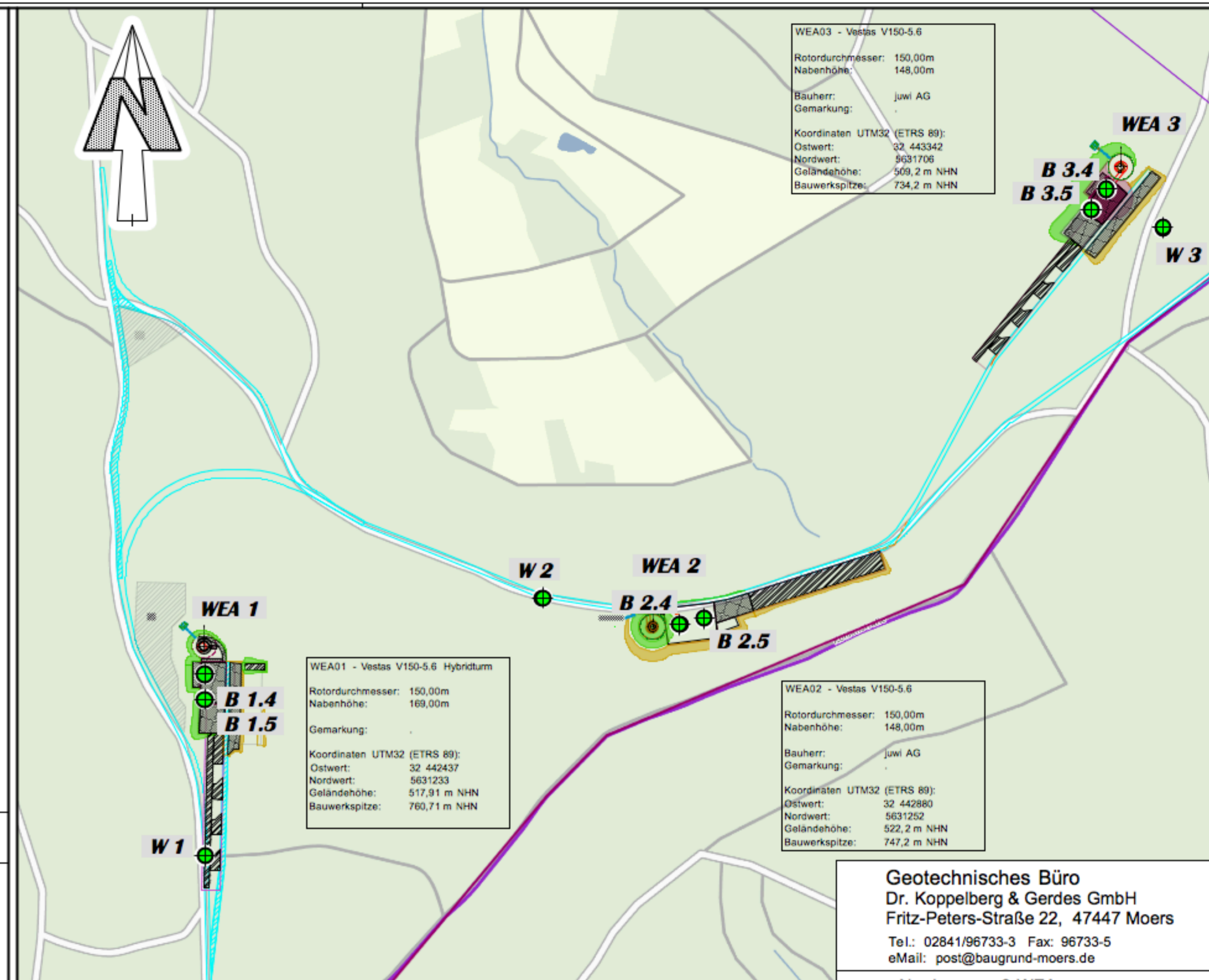




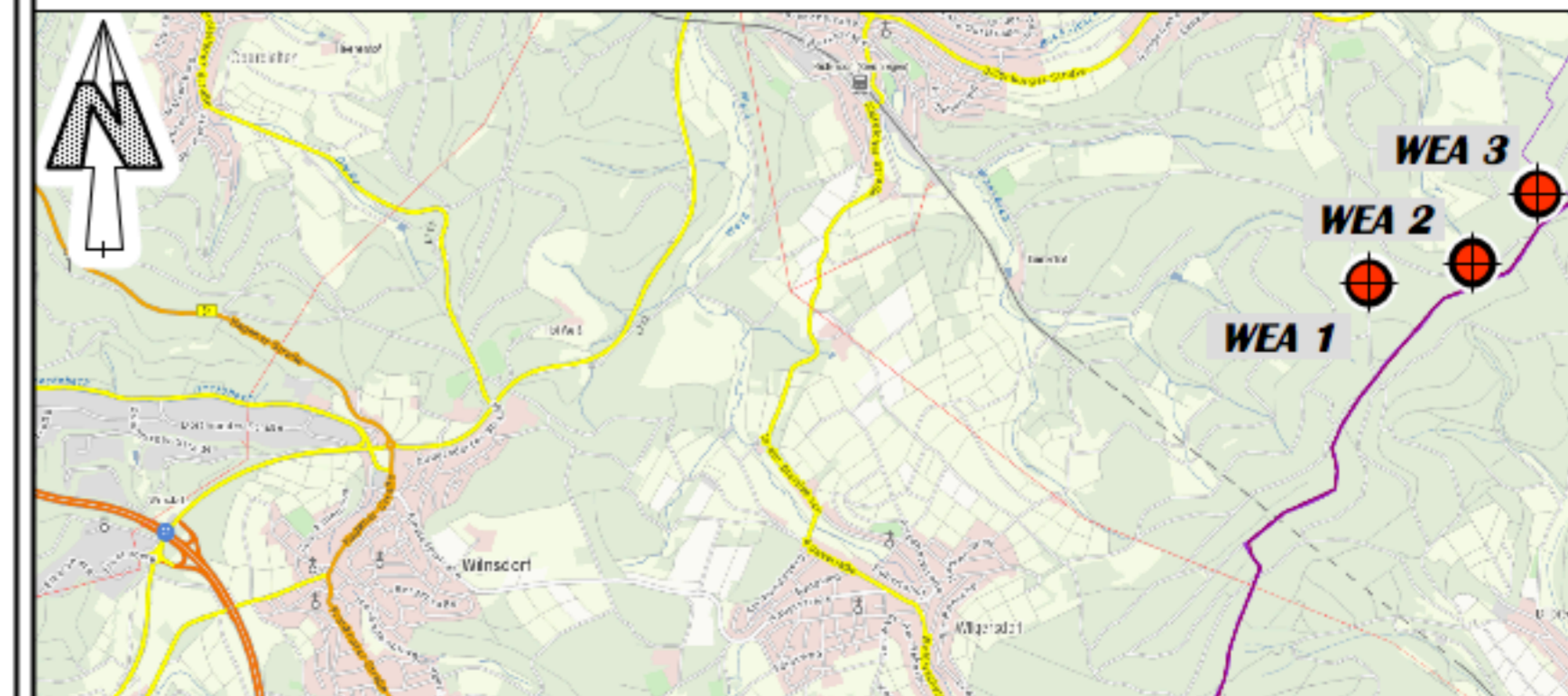
Säulenprofile der Bohrungen auf den Kranstellflächen, Höhenmaßstab 1:50



Säulenprofile der Bohrungen auf den Wegen, Höhenmaßstab 1:50



Lageplan mit Anlagenstandorten und Untersuchungen, Maßstab 1:5000



Übersichtslageplan, ohne Maßstab

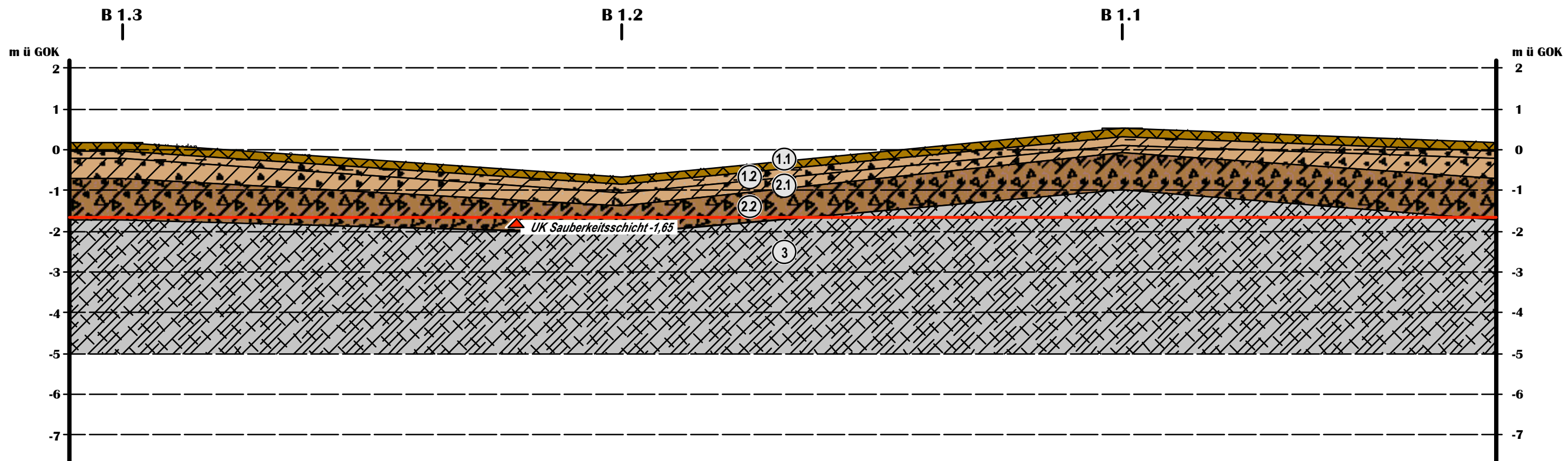
Geotechnisches Büro  
 Dr. Koppelberg & Gerdes GmbH  
 Fritz-Peters-Straße 22, 47447 Moers  
 Tel.: 02841/96733-3 Fax: 96733-5  
 eMail: post@baugrund-moers.de

Projekt: Neubau von 3 WEA  
 Typ V150-5.6 HH 169 m  
 Typ V150-5.6 HH 148 m  
 Wilnsdorf-Gernsdorf 57234 Wilnsdorf

Auftraggeber:  
 juwi AG  
 Energie-Allee 1 55286 Wörrstadt

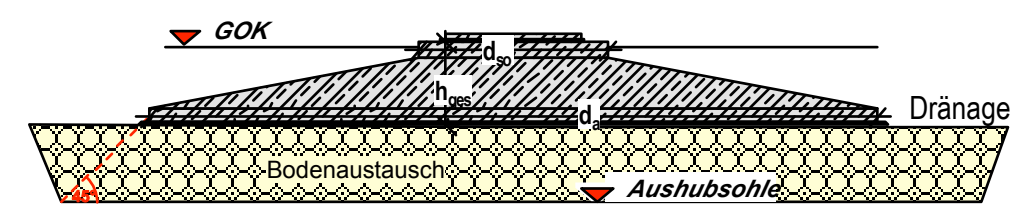
Planinhalt:  
 • Übersichtslageplan, ohne Maßstab  
 • Lageplan mit Anlagenstandorten und Untersuchungen, Maßstab 1:5000  
 • Säulenprofile der Bohrungen auf den Kranstellflächen, Höhenmaßstab 1:50  
 • Säulenprofile der Bohrungen auf den Wegen, Höhenmaßstab 1:50

Bearbeiter: L. Konefke	Plan-Bez.: 19073-01-2	Datum: 28.05.20
Maßstab:	Gutachten-Nr.: 19073	Anlage: 2

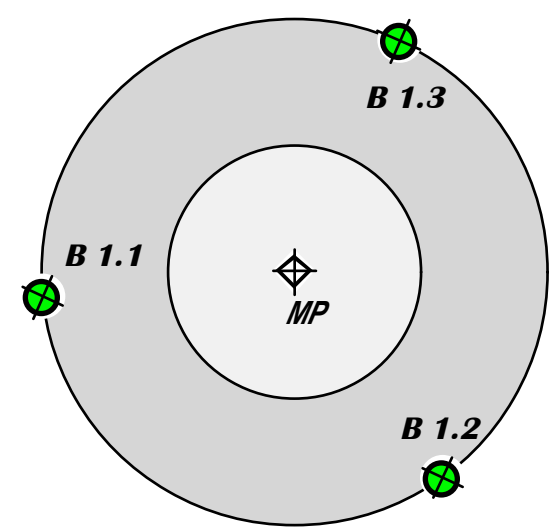
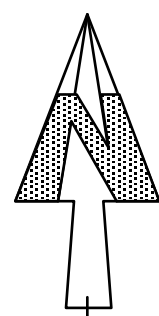


**Legende:**

	1.1 Mutterboden
	1.2 Verwitterungslehm, schwach steinig bis steinig, mit humosen Spuren
	2.1 Verwitterungslehm, steinig bis stark steinig, in B 2.1 tonig, schwach steinig, steif bis halbfest
	2.2 Gesteinsschutt, lehmig, übergehend in schwach lehmig, dicht
	3 Fels, stark verwittert, nach unten übergehend in schwach verwittert



Fundamentgeometrie	V150-5.6 HH 166 m Flachgründung ohne Auftrieb
Außendurchmesser $d_a$ [m]	24,000
Sockeldurchmesser $d_{so}$ [m]	10,900
Unterkante Fundament [m ü. GOK]	-1,550
Unterkante Sauberkeitsschicht [m ü. GOK]	-1,650



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

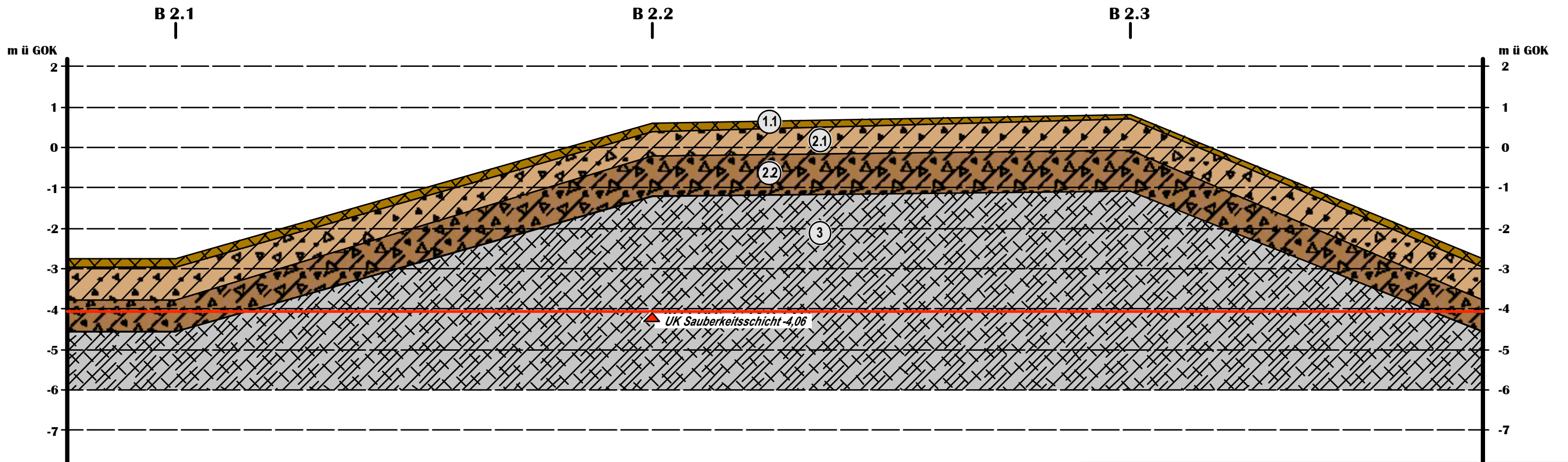
Projekt: Nebua von 3 WEA  
 Typ V150-5.6 HH 166 m  
 Typ V150-5.6 HH 148 m  
 Wilnsdorf 57234 Wilnsdorf

Auftraggeber:  
 juwi AG  
 Energie-Allee 1 55286 Wörrstadt

Planinhalt:  
 • Fundamentaufsicht mit Untersuchungen, M ohne  
 • Schemaschnitt durch das Fundament, M ohne  
 • Interpoliertes Schichtenprofil, Maßstab 1:-/100

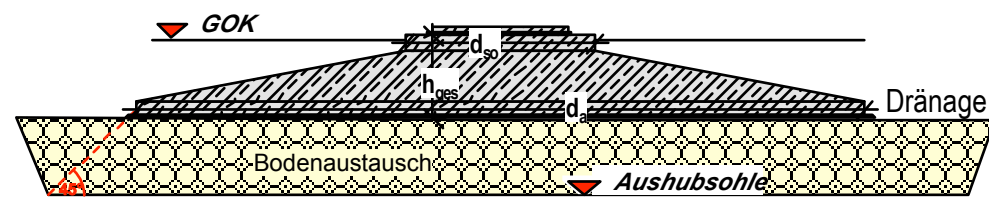
Bearbeiter: L. Konefke	Plan-Bez.: 19073-01-3.1	Datum: 02.04.20
---------------------------	----------------------------	--------------------

WEA 1	Gutachten-Nr.: 19073	Anlage: 3.1
-------	-------------------------	----------------

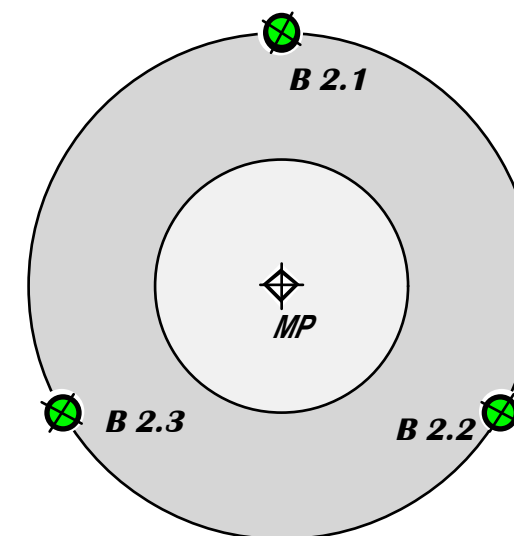
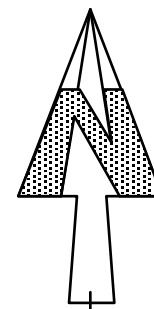


**Legende:**

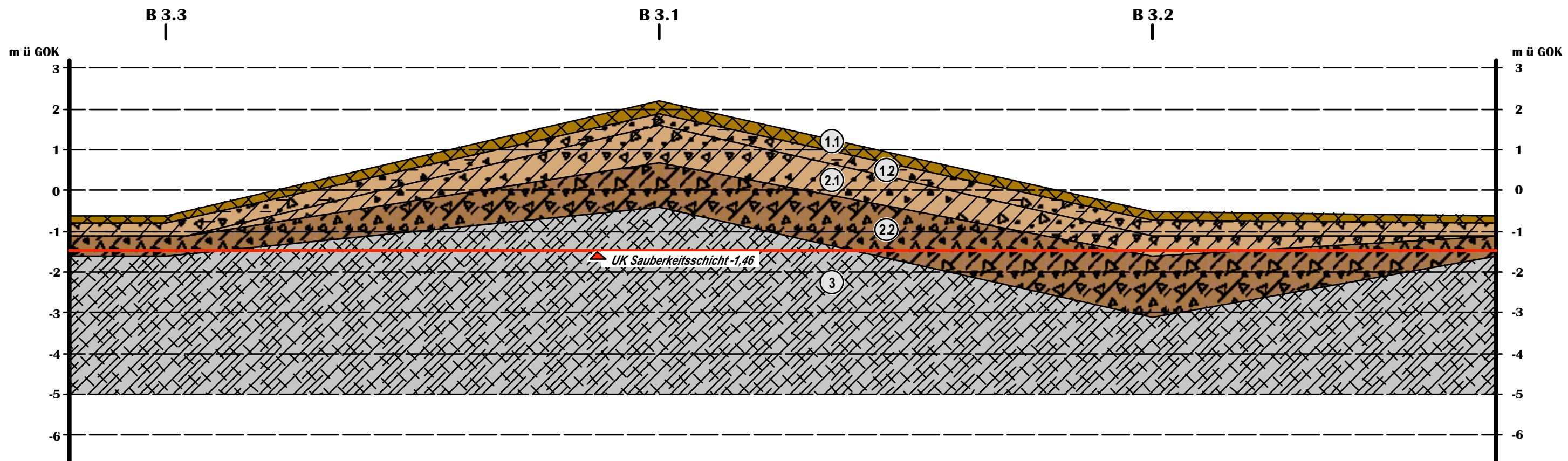
	1.1 Mutterboden
	2.1 Verwitterungslehm, schwach steinig bis steinig, mit humosen Spuren
	2.2 Verwitterungslehm, steinig bis stark steinig, in B 2.1 tonig, schwach steinig, steif bis halbfest
	2.2 Gesteinsschutt, lehmig, übergehend in schwach lehmig, dicht
	3 Fels, stark verwittert, nach unten übergehend in schwach verwittert








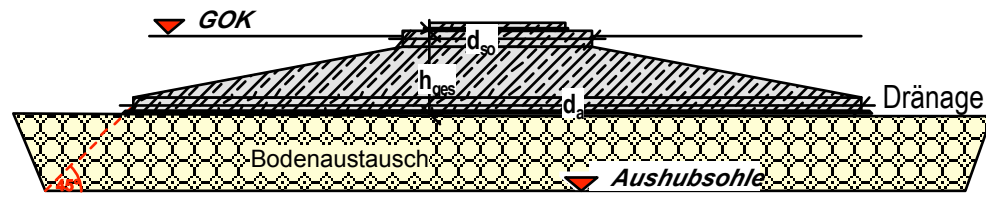
Fundamentgeometrie	V150-5.6 HH 148m Flachgründung ohne Auftrieb
Außendurchmesser $d_a$ [m]	25,300
Sockeldurchmesser $d_{so}$ [m]	8,116
Unterkante Fundament innen/außen [m ü. GOK]	-3,96/-3,96
Unterkante Sauberkeitsschicht innen/außen [m ü. GOK]	-4,06/-4,06



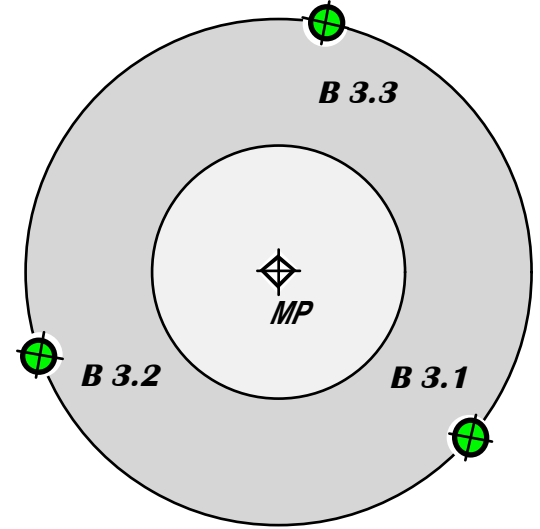
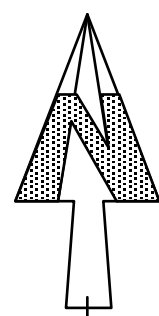
<b>Geotechnisches Büro</b> Dr. Koppelberg & Gerdes GmbH Fritz-Peters-Straße 22, 47447 Moers Tel.: 02841/96733-3 Fax: 96733-5 eMail: post@baugrund-moers.de		
Projekt: Neubau von 3 WEA Typ V150-5.6 HH 166 m Typ V150-5.6 HH 148 m Wilnsdorf 57234 Wilnsdorf		
Auftraggeber: juwi AG Energie-Allee 1 55286 Wörrstadt		
Planinhalt: • Fundamentaufsicht mit Untersuchungen, M ohne • Schemaschnitt durch das Fundament, M ohne • Interpoliertes Schichtenprofil, Maßstab 1:-/100		
Bearbeiter: L. Konefke	Plan-Bez.: 19073-01-3.2	Datum: 02.04.20
WEA 2	Gutachten-Nr.: 19073	Anlage: 3.2



- Legende:**
-  (1.1) Mutterboden
  -  (1.2) Verwitterungslehm, schwach steinig bis steinig, mit humosen Spuren
  -  (2.1) Verwitterungslehm, steinig bis stark steinig, in B 2.1 tonig, schwach steinig, steif bis halbfest
  -  (2.2) Gesteinsschutt, lehmig, übergehend in schwach lehmig, dicht
  -  (3) Fels, stark verwittert, nach unten übergehend in schwach verwittert



Fundamentgeometrie	V150-5.6 HH 148 m Flachgründung ohne Auftrieb
Außendurchmesser $d_a$ [m]	25,300
Sockeldurchmesser $d_{so}$ [m]	8,116
Unterkante Fundament innen/außen [m ü. GOK]	-1,36/-1,36
Unterkante Sauberkeitsschicht innen/außen [m ü. GOK]	-1,46/-1,46



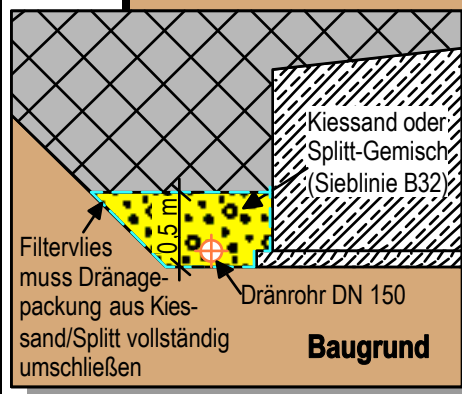
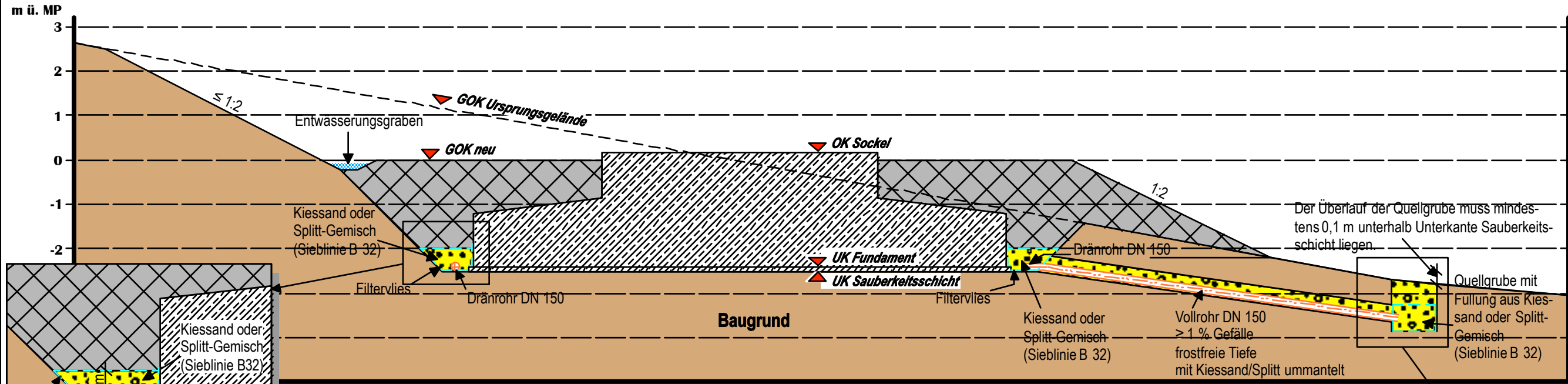
Geotechnisches Büro  
 Dr. Koppelberg & Gerdes GmbH  
 Fritz-Peters-Straße 22, 47447 Moers  
 Tel.: 02841/96733-3 Fax: 96733-5  
 eMail: post@baugrund-moers.de

Projekt: Neubau von 3 WEA  
 Typ V150-5.6 HH 166 m  
 Typ V150-5.6 HH 148 m  
 Wilnsdorf 57234 Wilnsdorf

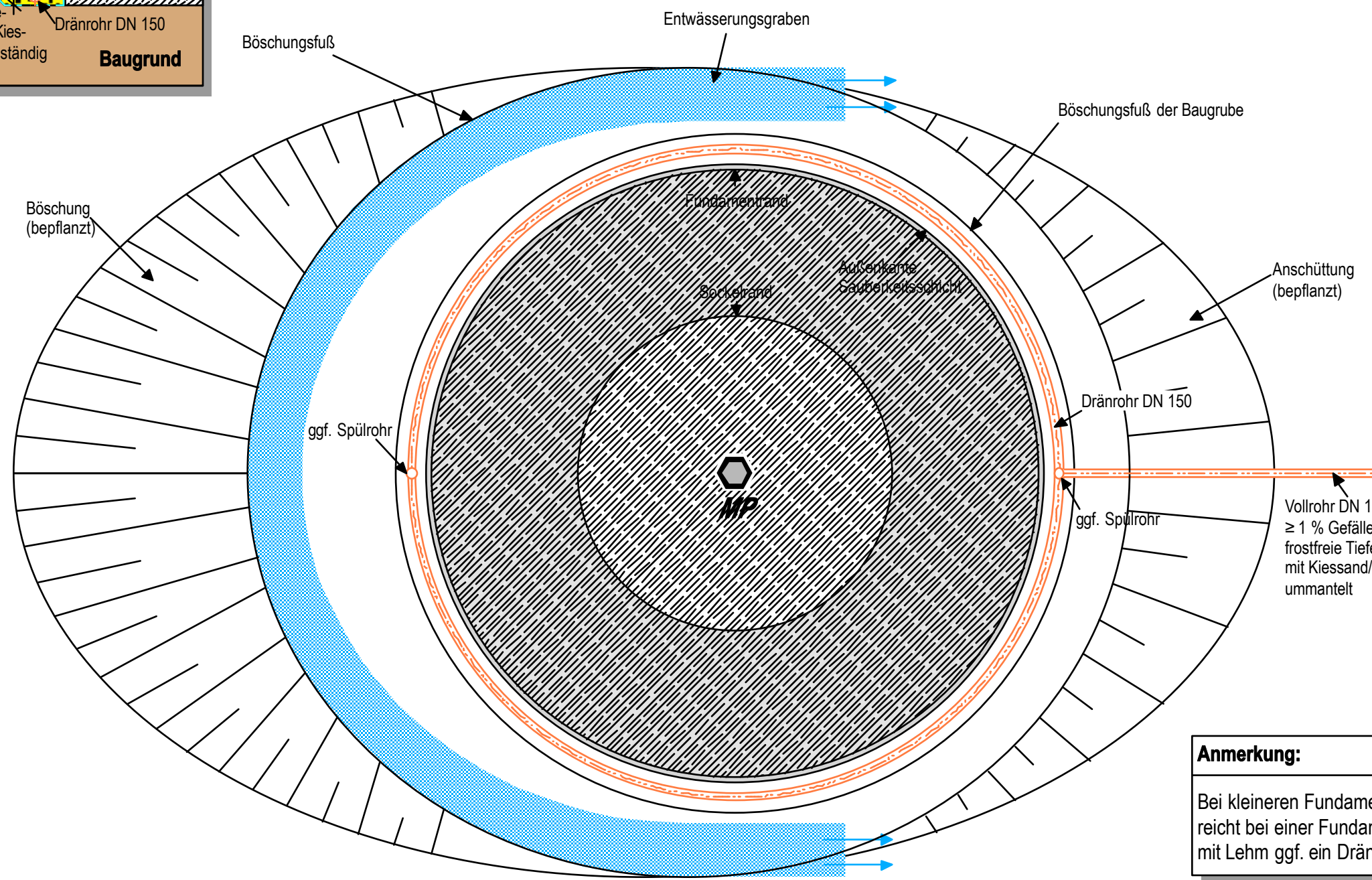
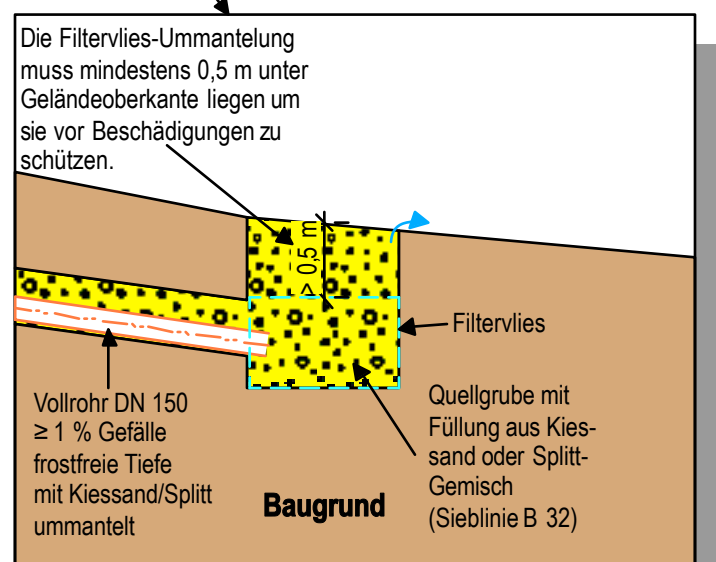
Auftraggeber:  
 juwi AG  
 Energie-Allee 1 55286 Wörrstadt

Planinhalt:  
 • Fundamentaufsicht mit Untersuchungen, M ohne  
 • Schemaschnitt durch das Fundament, M ohne  
 • Interpoliertes Schichtenprofil, Maßstab 1:-/100

Bearbeiter: L. Konefke	Plan-Bez.: 19073-01-3.3	Datum: 02.04.20
WEA 3	Gutachten-Nr.: 19073	Anlage: 3.3



Der Überlauf der Quellgrube muss mindestens 0,1 m unterhalb Unterkante Sauberkeitsschicht liegen.



**Anmerkung:**  
Bei kleineren Fundamenten ( $\varnothing \leq 15$  m) reicht bei einer Fundamentüberdeckung mit Lehm ggf. ein Dränrohr DN 100.

Quellgrube (ca. 1 m<sup>3</sup>) mit Füllung aus Kiessand oder Splitt-Gemisch (Sieblinie B 32)

<b>Geotechnisches Büro</b> Dr. Koppelberg & Gerdes GmbH Fritz-Peters-Straße 22, 47447 Moers Tel.: 02841/96733-3 Fax: 96733-44 eMail: post@baugrund-moers.de		
Projekt: Neubau von 3 WEA Typ V150-5.6 HH 166 m Typ V150-5.6 HH 148 m Wilnsdorf-Gernsdorf 57234 Wilnsdorf		
Auftraggeber: juwi AG Energie-Allee 1 55286 Wörrstadt		
Planinhalt: • Prinzipschnitt und -aufsicht WEA-Fundament mit Dränagesystem, Maßstab 1:100 • Detailskizze der Drainage, Maßstab 1:50 • Detailskizze der Quellgrube, Maßstab 1:50		
Bearbeiter: A. Böving	Plan-Bez.: 19073-01-4	Datum: 14.05.20
Projekt: WEA 1...3	Gutachten-Nr.: 19073-01	Anlage: 4