



Dipl.-Ing.  
Peter Neumann  
Baugrunduntersuchung  
GmbH & Co. KG  
Marienthaler Str. 6  
24340 Eckernförde  
Tel. 0 43 51 7136-0  
Fax 0 43 51 7136-71

 Gründungsmitglied  
des BD bohr

EEN GmbH  
Schlossweg 3

18516 Süderholz

14.01.2011  
tie/cg

#### Bauvorhaben Nr. 402/399/07 - N

Neubau einer Windkraftanlage im Windpark Vorbein  
Baugrunduntersuchung - Gründungsbeurteilung

---

#### 1 Vorgang

Die EEN GmbH plant im Windpark Vorbein die Errichtung einer Windkraftanlage vom Typ Vestas V 90 - 2,0 MW mit einer Nabenhöhe von 105,00 m. Diese Anlage wird im Fall einer Flachgründung auf einem 16-eckigen Einzelfundament mit einem Eckmaß von 16,40 m in einer Tiefe von ca. 2,70 m unter GOK gegründet.

Der Unterzeichner ist von der EEN GmbH, beauftragt worden, den Baugrund im Bereich der geplanten Anlage zu erkunden und hierauf basierend eine gutachterliche Stellungnahme zur Gründung der Windkraftanlage zu erarbeiten.

Aus dem vorliegenden Lageplan ist zu entnehmen, dass der Mittelpunkt der Anlage durch folgende Koordinaten im System GK Bessel festgelegt ist:

Y (4574241); X (5987685)

0701

BAUGRUNDUNTERSUCHUNG



## 2 Baugrund

### 2.1 Durchgeführte Untersuchungen

Der Baugrundaufbau ist im Bereich des geplanten Windenergieanlagenfundamentes durch 3 Kleinbohrungen bis in Tiefen von 5,00 – 10,00 m unter Ansatzpunkt erkundet worden.

Die Lage der geplanten Windkraftanlage sowie der Baugrundaufschlüsse innerhalb des Fundamentes ist in dem als Anlage 1 beigefügten Lageplan eingetragen worden, während die Ergebnisse als Bohrprofile auf der Anlage 2 dargestellt worden sind. Zur Beurteilung des Baugrundes standen uns insgesamt 18 gestörte Bodenproben der Güteklasse 3 - 4 zur Verfügung, die im Erdbaulabor bestimmt und beurteilt worden sind.

### 2.2 Baugrundaufbau

Wie aus den Sondierprofilen ersichtlich ist, wurde oberflächennah zunächst eine 40 – 45 cm starke Mutterbodenschicht erkundet. Hierunter folgen mit Ausnahme der Kleinbohrung BS3 bis in Tiefen zwischen minimal 0,70 m und maximal 0,80 m unter GOK schluffige, schwach feinsandige, schwach grobsandige Mittelsande, die bis zur Endteufe der Sondierungen BS 2 + BS 3 bzw. in eine Tiefe von 4,30 m (BS 1) unter GOK durchweg von Geschiebeböden (Geschiebelehme und –mergel) unterlagert werden. Die Konsistenz dieser Böden konnte fast durchweg als steifplastisch, z. T. auch als steif-halbfest bzw. halbfest angesprochen werden.

Lediglich bei der BS 1 wurde in einer Tiefe zwischen 0,8 m und 1,7 m eine weich – steife Konsistenz der Geschiebelehme festgestellt. Bei dem Baugrundaufschluss BS 1 werden die Geschiebeböden bis zur Endteufe von Mittelsanden mit unterschiedlichen Anteilen der übrigen Kornfraktionen unterlagert. Darüber hinaus sind bei der Kleinbohrung BS 3 Fein- und Mittelsande in den Geschiebemergel eingelagert, und zwar in einer Tiefe von 4,50 – 7,60 m unter Ansatzpunkt.



### 2.3 Zusammenstellung der bodenmechanischen Kennwerte

Im folgenden werden die für die weitere Bearbeitung erforderlichen bodenmechanischen Kennziffern auf der Grundlage der durch den Baugrundsachverständigen durchgeführten Baugrundansprache und der vorhandenen Erfahrungswerte kurz tabellarisch zusammengestellt.

**Tabelle 1** Bodenmechanische Kennwerte der für die Gründung relevanten Baugrundsichten

Bodenart	statischer Steifemodul $E_{s-stat.}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	dynamischer Steifemodul $E_{s-dyn.}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	Reibungswinkel $\varphi$ [°]	Kohäsion $c$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Wichte $\gamma / \gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Quer- dehnzahl $\nu$
Mutterboden	keine baugrundtechnische Bedeutung				18,0 / 10,0	--
Geschiebelehm, weich-steif	10,0	60,0	26,0	7,0	20,0 / 10,0	0,40
Geschiebelehm, steif	25,0	125,0	27,0	10,0	21,0 / 11,0	0,40
Geschiebelehm, halbfest	30,0	150,0	28,0	10,0	21,0 / 11,0	0,40
Geschiebemergel, steif	50,0	225,0	27,5	12,5	22,0 / 12,0	0,40
Geschiebemergel, halbfest	80,0	280,0	30,0	12,5	22,0 / 12,0	0,40
Sand und Kiessand, mitteldicht	50,0	200,0	35,0	--	19,0 / 11,0	0,35
Sand, dicht	80,0	240,0	36,0	--	19,0 / 11,0	0,35

### 2.4 Wasserstände

Nach Beendigung der Sondierarbeiten wurde bei keinem Baugrundaufschluss Wasser festgestellt. Dennoch kann das kurzzeitige Auftreten von Stau- / Schichtenwasser auf den gering durchlässigen bindigen Böden nicht ausgeschlossen werden.



### 3 Gründungsbeurteilung

Aus dem vorliegenden Fundamentalschalplan des Ingenieurbüros Fröhling & Rathjen für die geplante Vestas V 90 – 2,0 MW geht hervor, dass die Gründungssohle der Anlage (UK Magerbeton) ca. 2,80 m unter der derzeitigen Geländeoberkante liegen wird. Diese Gründungskote ist auf der Anlage 2 in die dort dargestellten Bohrprofile eingezeichnet worden.

Hieraus ist ersichtlich, dass in dieser Tiefe durchweg Geschiebelehme und –mergel im Konsistenzbereich zwischen steif und halbfest anstehen. Gemäß der Typenstatik muss der  $E_{s-dyn}$  – Wert für bindige Böden bei  $\geq 103 \text{ MN/m}^2$  und der  $E_{s-stat}$  – Wert für bindigen Böden bei  $\geq 21 \text{ MN/m}^2$  liegen. Dieses Kriterium wird von den mindestens steifplastischen Geschiebeböden erfüllt, d. h., dass aus geotechnischer Sicht keine Bedenken gegen die Flachgründung der Windkraftanlage bestehen.

Es ist jedoch erforderlich, die Geschiebeböden direkt unter Gründungssohle durch ein ca. 0,50 m mächtiges Kiessandpolster zu ersetzen, da sie ihr Porenwasser unter dynamischen Belastungen nicht schnell genug abgeben können und die Boden dann aufgrund der fehlenden Scherfestigkeit eine verminderte bzw. im Endzustand keine Tragfähigkeit mehr aufweisen. Ein möglicher Grundbruch und die damit verbundenen Setzungen könnten somit zu Schäden an der Anlage führen. Um diesen „liquifaction effect“ auszuschließen, muss unterhalb des Fundamentes das o. g. Kiessandpolster angeordnet werden, das bei dynamischen Belastungen eine Dämpfungswirkung ausübt. Technische Hinweise hierzu sind dem Abschnitt 4.1 zu entnehmen.

Im folgenden wird nach DIN 1054 die Grundbruchsicherheit und daraus die zulässige mittlere Bodenpressung mit dem Programm GGU-Footing ermittelt. Wie der als Anlage 3 beigefügten Berechnung zu entnehmen ist, kann die vorhandene mittlere Bodenpressung von  $\sigma = 200 \text{ kN/m}^2$  mit großer Sicherheit aufgenommen werden ( $\sigma_{zul} = 1300 \text{ kN/m}^2$ )

Eine in Anlehnung an die DIN 4019 durchgeführte Setzungsberechnung hat ergeben, dass bei der o. g. Windkraftanlage unter Berücksichtigung der vorhandenen maximalen Bodenpressung mit rechnerischen Setzungen von bis zu 2,5 cm gerechnet werden muss.



Aufgrund der sehr gleichmäßigen Baugrundverhältnisse wird die maximal zulässige Schiefstellung infolge Baugrundsetzung von  $\Delta s \leq 3,0$  mm/m in 20 Jahren nicht überschritten werden. Die Setzungsberechnung ist als Anlage 4 beigefügt.

Die Berechnungen haben also ergeben, dass für den geplanten Standort sowohl die geforderten erdstatischen Werte eingehalten als auch die maximale Setzungsdifferenz nicht überschritten werden, so dass aus geotechnischer Sicht keine Bedenken gegen die vorgesehene Gründung bestehen.

#### **4 Technische Hinweise**

##### **4.1 Bodenaustausch**

Wie in Abschnitt 3 beschrieben, sind die Geschiebeböden im 45°-Lastabtragungsbereich unterhalb der Fundamentsohle bis in die auf der Anlage 2 dargestellten Tiefe auszukoffern und gegen hoch zu verdichtende Kiessande zu ersetzen.

Der einzubringende Kiessand sollte im Körnungsbereich von 0 - 32 mm (Schluffanteile  $\leq 5$  %) liegen und einen Ungleichförmigkeitsgrad von  $U \cong 3$  haben. Alternativ hierzu ist die Aufbringung von Mineralgemisch bzw. Recyclingmaterial möglich.

Die rolligen Böden müssen in Lagen von maximal 30 cm im Trockenen eingebracht und auf eine Proctordichte von mind. 100 % bzw. eine mitteldichte bis dichte Lagerung gebracht werden. Die erforderliche Verdichtung kann durch wenigstens 4 - 5 Übergänge mit einer mittelschweren Vibrationsplatte erreicht werden.

Die Kiessande sind so einzubauen, dass von den Fundamentaußenkanten Lastabtragungen unter 45° in diesen verdichteten Böden möglich sind. Der verbleibende Bereich zwischen dieser theoretischen Lastabtragungslinie und der Böschung sollte ebenfalls mit Kiessand, der verdichtet werden muss, aufgefüllt werden.



#### 4.2 Baugrubendurchführung

Unter Berücksichtigung der erkundeten Baugrund- und Grundwasserverhältnisse muss die Baugrubendurchführung im Bereich der Fundamente überwiegend im Schutz einer offenen Wasserhaltung (Baudränage, Pumpensumpf, Tauchpumpe) erfolgen, um anfallendes Niederschlags- bzw. Sickerwasser, das sich oberhalb der bindigen Böden sammeln kann, ableiten zu können.

Die in der Gründungssohle anstehenden bindigen Böden sind vor dem Aufweichen durch Niederschlags- oder Schichtenwasser zu schützen, da die Konsistenz dieser Böden wassergehaltsabhängig ist. Die Baugrubensohlen sollten nach dem Bodenaushub nicht mehr befahren und möglichst wenig betreten werden. Aufgeweichte bindige Böden müssen vor dem Einbringen des Kiessandes vollständig entfernt werden.

Weiterhin sollte, um den Zufluss von Niederschlagswasser und die damit verbundene Verschlechterung der Konsistenz der unter den Fundamentsohlen anstehenden bindigen Böden weitestgehend zu verhindern, eine Fundamentabdeckung mit einem bindigen Material (z.B. Geschiebelehm oder -mergel) erfolgen.

Da es sich bei den Geschiebeböden um stark frostempfindliche Böden handelt, muss ein Eindringen von Frost in den Baugrund verhindert werden.

Nicht verbaute Baugruben mit senkrechten Wänden sind nach DIN 4124 nur bis zu einer Tiefe von 1,25 m zulässig. Tiefere Baugruben müssen geböschst oder abgestützt werden. Die Neigung der Böschung darf innerhalb der anstehenden Sande 45° und innerhalb der steifplastischen Geschiebeböden 60° nicht überschreiten.

#### 4.3 Höherlegung des Fundamentes

Bei der Höhenlegung des Fundamentes muss beachtet werden, dass die aufgebrachte Überschüttung des Fundamentes mindestens der statischen Auflast bei normaler Gründungstiefe entspricht. Das aufzubringende Material muss eine Mindestdichte von



$\gamma = 18,0 \text{ kN} / \text{m}^3$  aufweisen, d.h., dass das anfallende Aushubmaterial für die Überschüttung geeignet ist.

Allseitig muss eine Berme von  $\geq 1,00 \text{ m}$  mit anschließender Böschung von  $30^\circ$  angeordnet werden, um die statisch erforderlichen Erdauflast langfristig gegen Erosion zu schützen.

## 5 Zusammenfassung

Die durchgeführten Untersuchungen haben ergeben, dass die im Windpark Vorbein geplante Windenergieanlage flach gegründet werden kann, wenn das in Abschnitt 3 beschriebene Kiessandpolster ( $d = 50 \text{ m}$ ) angeordnet wird. Einzelheiten zu der Gründung können dem Abschnitt 3 entnommen werden.

Die technischen Hinweise in Abschnitt 4 sind zu beachten.

**Die Baugrubensohle ist nach Beendigung des Baugrubenaushubs durch den Unterzeichner abnehmen zu lassen, um die im Gutachten vorausgesetzten Baugrundverhältnisse vor Ort zu überprüfen. Die Verdichtung des eingebrachten Kiessandes ist ab einer Mächtigkeit von  $> 0,5 \text{ m}$  durch Beauftragte des Unterzeichners mittels leichter Rammsondierungen ansonsten durch dynamische Lastplattendruckversuche zu überprüfen.**

Für evtl. noch auftretende Fragen stehen wir weiterhin gern zur Verfügung.

Dipl.-Ing. Peter Neumann  
Baugrunduntersuchung GmbH & Co. KG

Sachbearbeiter

Peter Neumann, Dipl.-Ing.

ppa. Wolfgang Tiedemann

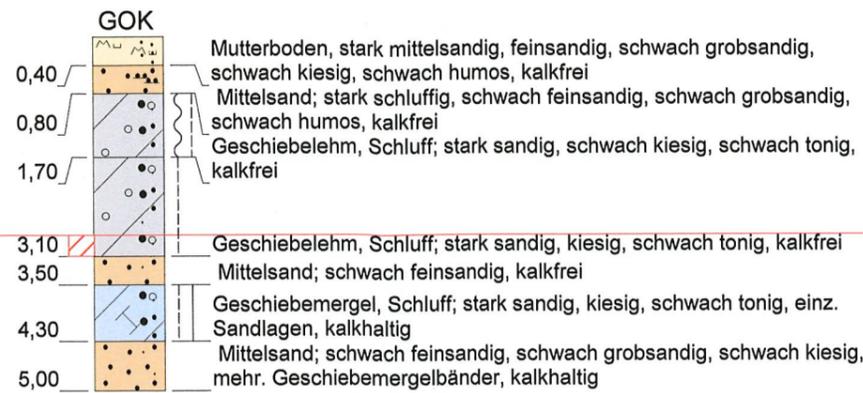


Abstandskreis 1000 m

Bauvorhaben: Windpark Vorbein	
Aktenzeichen: 402/399/07	
Bezeichnung: Lageplan	
Auftraggeber: Energie Engineering Nord GmbH	
Datum: 14.01.2011	Maßstab: 1 : 5.000
gezeichnet: ClaudiaThießen	Anlage 1

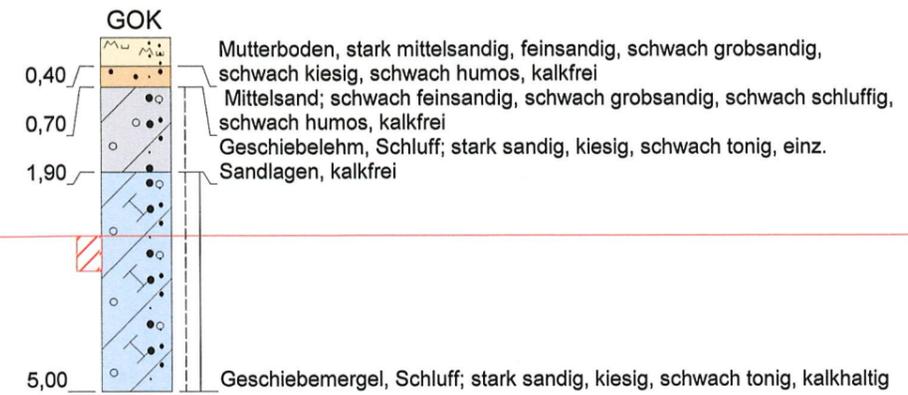
**NEUMANN** **Dipl.-Ing. P. Neumann**  
 Marienthaler Str. 6  
 24340 Eckernförde  
 Tel. 04351/7136-0 Fax 04351/7136-71

### BS 1 -WEA 1-

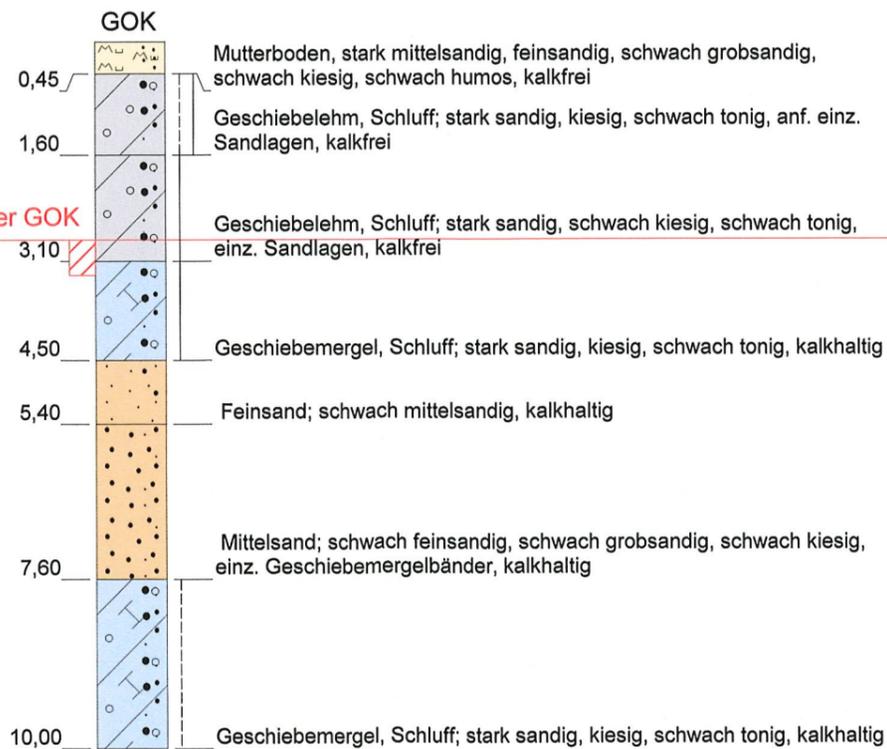


GS = 2,80 m unter GOK

### BS 2 -WEA 1-



### BS 3 -WEA 1-



GS = 2,80 m unter GOK

 Kiessandpolster

<b>Bauvorhaben: Windpark Vorbein</b>	
<b>Aktenzeichen: 402/399/07</b>	
<b>Bezeichnung: Sondierprofile</b>	
<b>Auftraggeber: Energie Engineering Nord GmbH</b>	
Datum: 12.01.2011	Maßstab: 1 : 100
gezeichnet: ClaudiaThießen	Anlage 2



**Dipl.-Ing. P. Neumann**  
 Marienthaler Str. 6  
 24340 Eckernförde  
 Tel. 04351/7136-0 Fax 04351/7136-71

# Anlage zur zeichnerischen Darstellung nach DIN 4023

## Legende:

### Hauptbodenarten:

	Kies
	Grobkies
	Mittelkies
	Feinkies
	Sand
	Grobsand
	Mittelsand
	Feinsand
	Schluff
	Ton
	Torf
	Stein
	Blöcke
	Lehm
	Mudde
	Aufschüttung
	Mutterboden
	Geschiebemergel
	Geschiebelehm
	Wiesenkalk
	Klei
	Bänderton
	Braunkohle
	Steinkohle
	Lößlehm
	Verwitterungslehm
	Kreidestein
	Festgestein
	Kalkstein
	Tonstein
	Kalkmergel

### Beimengungen:

	kiesig
	grobkiesig
	mittelkiesig
	feinkiesig
	sandig
	grobsandig
	mittelsandig
	feinsandig
	schluffig
	tonig
	humos
	steinig
	organisch

### Konsistenzen:

	breiig
	breiig bis weich
	weich
	weich bis steif
	steif bis weich
	steif
	halbfest
	fest

### Grundwasser:

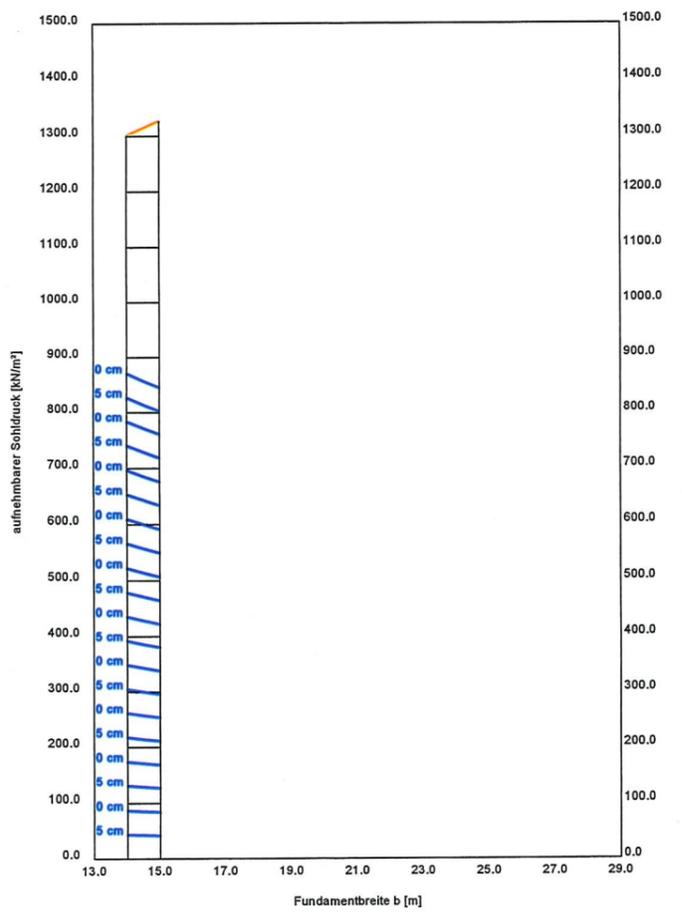
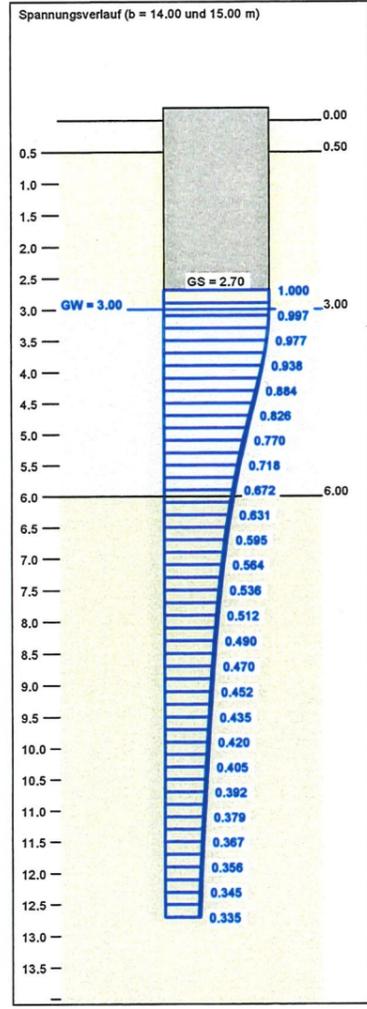
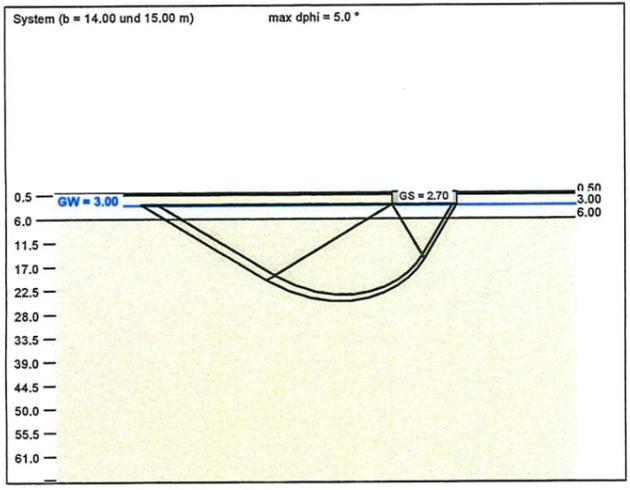
	0,50
	1,00
	1,50
	2,00

	Grundwasserspiegel angebohrt bei 0,50 m
	Grundwasserspiegel gefallen bis 1,00 m
	Grundwasserspiegel angestiegen bis 1,50 m
	Grundwasserspiegel im ausgebauten Bohrloch bei 2,00 m bzw. Grundwasserspiegel in Ruhe bei 2,00 m

Boden	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi$ [°]	c [kN/m <sup>2</sup> ]	$E_s$ [MN/m <sup>2</sup> ]	v [-]	Bezeichnung
□	19.0	11.0	35.0	0.0	50.0	0.00	Kiessand,md
□	22.0	12.0	27.5	12.5	50.0	0.00	Mg,stf
□	19.0	11.0	35.0	0.0	50.0	0.00	Sand,md
□	22.0	12.0	27.5	12.5	50.0	0.00	Mg,stf

Berechnungsgrundlagen:  
 399/07 WP Vorbein  
 Grundbruchformel nach DIN 4017 (neu)  
 Teilsicherheitskonzept  
 Einzelfundament (a/b = 1.00)  
 $\gamma$  (G) = 1.40  
 $\gamma$  (G) = 1.35  
 $\gamma$  (Q) = 1.50  
 Anteil Veränderliche Lasten = 50.0 %

Gründungssohle = 2.70 m  
 Grundwasser = 3.00 m  
 Grenztiefe mit festem Wert von 10.00 m u. GS  
 — aufnehmbarer Sohldruck  
 — Setzungen

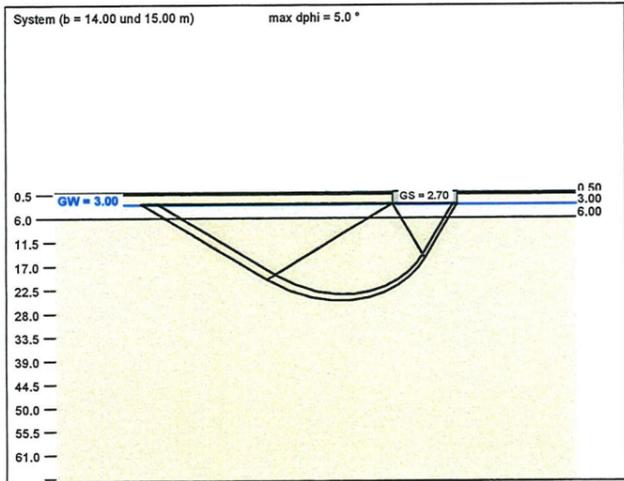


a [m]	b [m]	zul $\sigma$ [kN/m <sup>2</sup> ]	zul R [kN]	s [cm]	cal $\phi$ [°]	cal c [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma_2$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\sigma_0$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$t_s$ [m]	UK LS [m]
14.00	14.00	1300.2	254844.1	14.93	28.2 *	11.10	12.01	57.90	12.70	23.53
14.50	14.50	1313.2	276093.8	15.32	28.1 *	11.15	12.01	57.90	12.70	24.26
15.00	15.00	1326.2	298393.8	15.70	28.1 *	11.19	12.01	57.90	12.70	24.99

\* phi wegen 5° Bedingung abgemindert  
 zul  $\sigma = \sigma_{alk} / (\gamma_{or} \cdot \gamma_{(a,b)}) = \sigma_{alk} / (1.40 \cdot 1.43) = \sigma_{alk} / 1.99$   
 Verhältnis Veränderliche(Q)/Gesamtlasten(G+Q) [-] = 0.50

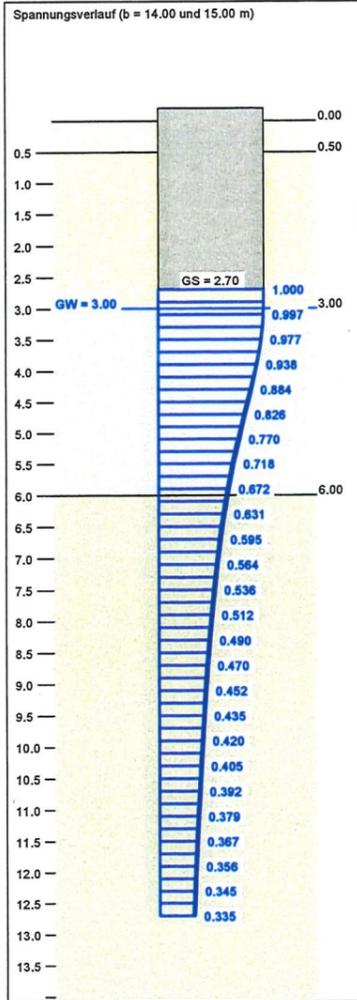
07/11  
Anlage 3

Boden	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi$ [°]	c [kN/m <sup>2</sup> ]	E <sub>s</sub> [MN/m <sup>2</sup> ]	v [-]	Bezeichnung
□	19.0	11.0	35.0	0.0	50.0	0.00	Kiessand,md
□	22.0	12.0	27.5	12.5	50.0	0.00	Mg,stf
□	19.0	11.0	35.0	0.0	50.0	0.00	Sand,md
□	22.0	12.0	27.5	12.5	50.0	0.00	Mg,stf

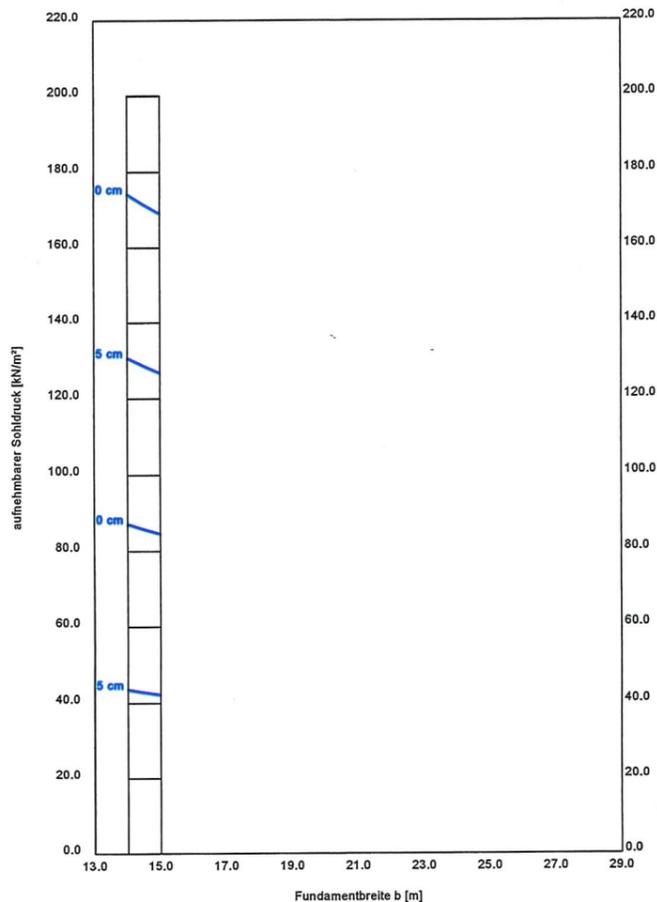


a [m]	b [m]	zul $\sigma$ [kN/m <sup>2</sup> ]	zul R [kN]	s [cm]	cal $\phi$ [°]	cal c [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma_2$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\sigma_0$ [kN/m <sup>2</sup> ]	t <sub>d</sub> [m]	UK LS [m]
14.00	14.00	200.0	39200.0	2.30	28.2°*	11.10	12.01	57.90	12.70	23.53
14.50	14.50	200.0	42050.0	2.33	28.1°*	11.15	12.01	57.90	12.70	24.26
15.00	15.00	200.0	45000.0	2.37	28.1°*	11.19	12.01	57.90	12.70	24.99

\* phi wegen 5° Bedingung abgemindert  
zul  $\sigma = \sigma_{\text{alk}} / (\gamma_{\text{Gr}} \cdot \gamma_{\text{R,alk}}) = \sigma_{\text{alk}} / (1.40 \cdot 1.43) = \sigma_{\text{alk}} / 1.99$   
Verhältnis Veränderliche(Q)/Gesamtlasten(G+Q) [-] = 0.50



Berechnungsgrundlagen:  
399/07 WP Vorbein  
Grundbruchformel nach DIN 4017 (neu)  
Teilsicherheitskonzept  
Einzelfundament (a/b = 1.00)  
zul sigma auf 200.00 kN/m<sup>2</sup> begrenzt  
Gründungssohle = 2.70 m  
Grundwasser = 3.00 m  
Grenztiefe mit festem Wert von 10.00 m u. GS  
aufnehmbarer Sohlldruck  
Setzungen  
Anteil Veränderliche Lasten = 50.0 %



0712

Anlage 4