

# BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen  
Geophysik & Geotechnik



BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG · Leimenkaute 15 · 34388 Trendelburg

TurboWind Energie GmbH  
Vahrenwalder Straße 245 - 247

30179 Hannover

**Stellungnahme Nr.** 215227-6  
Ansprechpartner: Dr. Claus Schubert  
Datum: 17.06.2020  
Telefon: 0 56 71 – 77 97 0  
Fax: 0 56 71 – 77 97 10  
eMail: info@bbu-schubert.de  
[www.bbu-schubert.de](http://www.bbu-schubert.de)

## INGENIEURGEOLOGISCHE STELLUNGNAHME

### Romrod, WP Zell - Errichtung einer Windenergieanlage (WEA 06)

Hier: Orientierende geologische Voruntersuchung nach DIN 4020 mit ingenieurgeologischer Baugrundbeurteilung sowie gründungs- und erdbautechnischen Empfehlungen

**Bauvorhaben:** Errichtung einer Windenergieanlage (WEA 6)  
ENERCON E-138, 4,2 MW mit 160 m Nabenhöhe  
im Windpark Zell  
36329 Romrod - Zell

**Hier:** Änderung der Typenprüfung

**Bauherr:** TurboWind Energie GmbH  
Vahrenwalder Straße 245 - 247  
30179 Hannover

**Auftraggeber:** Wie vor

**Projektplanung:** Wie vor

**Anlagenhersteller:** Enercon GmbH  
Dreekamp 5  
26605 Aurich

Nachfolgend wird die Ingenieurgeologische Stellungnahme mit den Seiten 2 bis 13 und den Anlagen 1 bis 4 vorgelegt.



**Inhaltsverzeichnis:**

---

<b>1. Bauvorhaben und Veranlassung .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Fundamentgeometrie.....</b>	<b>4</b>
<b>3. Geotechnische Rahmenbedingungen .....</b>	<b>4</b>
<b>4. Gründung der Anlage .....</b>	<b>6</b>
<b>5. Auftriebssicherheit .....</b>	<b>7</b>
<b>6. Geotechnische Nachweise .....</b>	<b>8</b>
<b>7. Schlussbemerkungen.....</b>	<b>13</b>



## 1. Bauvorhaben und Veranlassung

Die **TurboWind Energie GmbH, Hannover**, beabsichtigt im Windparkgelände "Romrod - Zell" (Vogelsbergkreis - Hessen) die Errichtung und den Betrieb einer weiteren Windenergieanlage. Bislang war die Aufstellung des Anlagensystems:

- **ENERCON E-136 4,2 MW mit 160 m Nabenhöhe**

vorgesehen. Die Anlagenkennung ist mit **WEA 06** benannt.

Für das ursprüngliche Anlagensystem standen die Anforderungskriterien des Anlagenherstellers mit den Fundamentdatenblättern für geotechnische Nachweise zur Verfügung wie folgt:

### **Turmtyp E-138 EP3-HAT-160-ES-C-PA1**

Inzwischen liegt eine neue Typenprüfung vor mit:

### **Zusammenstellung der typengeprüften Dokumentation ENERCON E-138 EP3-HAT-160-ES-C-01 / E-138 EP3 E2-HAT-160-ES-C-01, ENERCON GmbH, Aurich vom 07.05.2020**

Im Rahmen der orientierenden ingenieurgeologischen Voruntersuchungen ist an dem Standort nach Auftragserteilung des Bauherrn durch die BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG eine Erkundung der Boden- und Grundwasserverhältnisse durchgeführt und das Ergebnis mit Ingenieurgeologischen Gutachten -iga 215227-5 - Florian Hackmann - vom 22.03.2019 bekannt gegeben worden.

Aufgrund der neuen Typenprüfung für das zur Aufstellung vorgesehene Anlagensystem wird eine Neubewertung der Gründungsbedingungen und der Geotechnischen Standsicherheitsnachweise erforderlich.

Mit nachfolgender Ingenieurgeologischer Stellungnahme wird das Ergebnis bekannt gegeben.





Im Wesentlichen sind es Solifluktionsschuttbildungen, als umgelagerte Bodenmassen über basaltischem Untergrund. Die Basalte sind Basaltuffite und wurden im Kernrohrgewinn kiesig zerbohrt. Sie sind dicht bis sehr dicht gelagert.

An der Basis der Bohrungen in Tiefe von 1,25 m bzw. 1,60 m konnte kein weiterer Bohrfortschritt erreicht werden, so dass profitiefer eine Zunahme der Festigkeit der Gesteine erwartet wird.

Eine planungsgemäße Höheneinstellung der Gelände- / Fundamentoberkante am Mittelpunkt der Anlagen liegt derzeit noch nicht vor. Gemäß der Einmessung der Geländehöhe am Anlagenmittelpunkt durch die buck Vermessung wird die Höhe mit 321,86 m ü. NN angegeben. Die Geländeneigung weist eine Oberflächenneigung in Richtung O - OSO von 2 bis 5° auf.

Wird die Geländehöhe von 321,86 m ü. NN am Anlagenmittelpunkt bestätigt (= UK Betonsauberkeitsschicht Fundament), ergeben sich folgende Bedingungen:

**Fundamenteinbindung im Bereich**

<b>Rammkernsondierungen:</b>	<b>RKS 1:</b>	Schluff - weich (Oberboden) im Übergang zu Feinkies, mittel schluffig - mitteldicht (Verwitterungszone)  → Kies, Basalt - dicht bis sehr dicht bei 0,80 m u. GOK (= 320,70 m ü. NN)
	<b>RKS 2:</b>	Sand, sehr stark kiesig - dicht → Kies, Basalt - dicht bei 1,15 m u. GOK (= 321,03 m ü. NN)

**Fundamenteinbindung im Bereich**

<b>Rammsondierungen:</b>	<b>DPH 1:</b>	Sehr locker gelagert → Dicht bis sehr dicht bei 0,90 m u. GOK (= 320,60 m ü. NN)
	<b>DPH 2:</b>	Mitteldicht gelagert → Dicht bis sehr dicht bei 1,60 m u. GOK (= 320,58 m ü. NN)

**Grundwasser:** keine Feststellungen bis maximale Erkundungstiefe



Während der seismischen Messungen zeigte sich im Tiefenbereich zwischen 13 und 15 m unter GOK eine Abnahme der Scherwellengeschwindigkeit. Möglicherweise handelt es sich um eine Tuffitlage, die zur Bildung plastischer Tone durch Verwitterung neigt. Oberhalb und unterhalb ist mit kompaktem Basaltfels zu rechnen. Bis Tiefe von 2 bis 2,5 m stehen Verwitterungsbildungen des Basalt mit wechselnden Nebengemengeanteilen an.

Zur Beurteilung der Baugrundeigenschaften ist bedeutsam, dass die basaltischen Vulkanite und Tuffe verschiedenen Eruptionsphasen zuzuordnen sind. Die Basalte stehen teils mit den großen Decken des vorderen Vogelsbergs im Zusammenhang - als deren äußerste Nordzungen und als lokale kleine Ströme. Im Vorland treten die Basalte in Form von Durchbrüchen oder örtlich beschränkten Vulkankuppen auf.

Die Basalte sind als Deckenergüsse (Trappbasalte) oder in Form von Förder- und Lagergängen mit tertiären Tuffen und Meeressedimenten (meist Ton und Sand) verzahnt. Im späten Tertiär fand eine flächenhafte Erosion und Einebnung statt. Die Basalte erfuhren unter tropischen Klimabedingungen eine tiefgründige Verwitterung.

Letztes Endprodukt der Verwitterung von basaltischen Gesteinen können je nach den klimatischen Bedingungen während des Verwitterungsprozesses auch tonige / schluffige Residualbildungen mit Eigenschaften plastischer Lockergesteine sein, die allenfalls anhand feiner Textur- / Strukturelikte als ehemalige Basalte erkannt werden können.

Derartige Verwitterungsbildungen können flächenhaft und bis in größere Tiefen auftreten, z.T. durchsetzen sie die Basaltkörper in unregelmäßigen Bändern, Lagen oder Linsen. Relevante Erscheinungsformen konnten während der seismischen Messungen in Tiefen zwischen 13 und 15 m ausgemacht werden.

Anhand der relativ großen Überlagerungsmächtigkeit des kompakten Basaltfelses dürfte der genannte Tiefenbereich jedoch ohne Bedeutung sein.

## **4. Gründung der Anlage**

Eine ausreichende Tragfähigkeit des Untergrundes zur Aufnahme der einwirkenden Lasten ist in den dicht bis sehr dicht gelagerten basaltischen Gesteinen gegeben. Mit der Lasteinleitung in diesen Untergrund kann sichergestellt werden, dass die Lasten im Hinblick auf die zu berücksichtigenden (möglichen) Lastwechsel und der hiermit einhergehenden erhöhten Eck- und Kantenpressung schadlos aufgenommen werden.

An dem Standort kann in Tiefe von +/- 2 m unter GOK ein entsprechender Baugrund erwartet werden.



Bei einer Einbindung des Fundamentes in Höhe des Geländeniveaus (einschl. Sauberkeitsbetonschicht), beträgt die erforderliche Überbrückungshöhe ca. 2 m.

Vorgeschlagen wird daher, die unzureichend steifen Böden bis zum Beginn der felsigen Gesteinsstrukturen durch einen mineralischen Bodenersatzkörper zu überbrücken.

Der Bodenersatz erfolgt in der Weise, dass der anstehende Boden ausgekoffert und durch gleichmäßig kornabgestufte, einbau- und verdichtungsfähige sowie raumbeständige Erdbaustoffen ersetzt wird (z.B. Brechkorngemisch 0 - 32, 0 - 45 oder 0 - 56 mm). Das Material wird in Lagen zu  $d = 0,30$  m eingebaut und lagenweise verdichtet (s. Abschn. 5.8 "*Bodenaustausch*").

Die endgültige Festlegung wird unter Hinzuziehung des Baugrundsachverständigen im Rahmen der Baugrubenabnahme und Freigabe der weiteren Arbeiten festgelegt. Zweck der baugrundsachverständigen Beteiligung ist zudem, ungünstige Einflüsse auf die Gründung der Anlage auszuschließen und ggf. frühzeitig eventuell notwendige Maßnahmen zur Vergleichmäßigung der Tragfähigkeitseigenschaften durchzuführen.

Die Beteiligung des Baugrundsachverständigen ist insbesondere deswegen geboten, da die Beurteilung der Gründungsverhältnisse erst in der fertig gestellten Baugrube über den gesamten Baugrubenquerschnitt ermöglicht wird.

Bei sach- und fachgerechter Umsetzung der Maßnahme kann eine standsichere Gründung gewährleistet werden, so dass die von der Windenergieanlage abzutragenden maßgeblichen Bauwerkslasten vom anstehenden Baugrund ausreichend aufgenommen werden können. Dies gilt insbesondere für den Lastfall "N / A / T" und der hiermit einhergehenden erhöhten Eck- und Kantenpressung.

## **5. Auftriebssicherheit**

Während der Erkundungsarbeiten wurde an dem Standort bis in Tiefe des Erkundungsaufschlusses kein Grundwasser angetroffen.

Es gilt grundsätzlich zu beachten, dass bei entsprechenden Niederschlagsereignissen im jahreszeitigem Klimazyklus schichtweise auftretende Grundwasserführungen nicht auszuschließen sind. Im Falle geländenaher Schichtwasserauftritte ist eine direkte Beeinflussung des Fundamentes gegeben.

Die anstehenden Böden sind wechselnd wasserdurchlässig. Als Wasserstauend gelten die geländenah anstehenden Lehme und bindig verwitterten basaltischen Gesteine sowie sehr dichte Strukturen des Basalt - Festgesteins. Sie behindern eine rasche Versickerung von Bodenwässern. Schließlich sind bei Niederschlagsereignissen entsprechende Zutritte in die Arbeitsraumverfüllung möglich, die insbesondere im Kontakt zwischen dem Fundamentrand und der Arbeitsraumverfüllung eine unmittelbare Beanspruchung auslösen können.

Aufgrund der vorliegenden Rahmenbedingungen wird bauseits bereits ein **auftriebssicheres Fundament** eingeplant.

## 6. Geotechnische Nachweise

Die Aufstellung und der Betrieb der Anlage erfordert die Einhaltung bestimmter Anforderungskriterien. Die für den Fundamenttyp "mit und ohne Auftrieb" festgelegten Kriterien sind in der nachstehenden tabellarischen Auflistung aufgeführt.

Flachgründung	<b>E-138 EP3-HAT-160-ES-C-01 / E-138 EP3 E2-HAT-160-ES-C-01</b>
Bodenpressung:	BS-P: $\sigma_{k,vorh} = 271 \text{ kN / m}^2$ BS-A: $\sigma_{k,vorh} = 275 \text{ kN / m}^2$
Mindestdrehfedersteifigkeit zwischen Fundament und Baugrund:	$k_{\phi,dyn} = 210.000 \text{ MNm / rad}$ $k_{\phi,stat} = 42.000 \text{ MNm / rad}$
Aufschüttung und Erdauflast:	Eine Aufschüttung ist Bestandteil der Anlage. Die Erdauflast muss ein Eigengewicht von $18,0 \text{ kN / m}^3$ (im Trockenzustand) erreichen.
Fundamentgeometrie:	Kreisringfundament $\varnothing a / i = 22,50 / 8,40 \text{ m}$ Einbindetiefe = OK Gelände (mit Sauberkeitsbeton)
Charakteristische Fundamentschnittgrößen in Unterkante Fundament:	mit / ohne Auftrieb: NTM DLC D.3: $F_{xy} = 802 \text{ kN}$ $F_{z,max} / F_{z,min} = 33.020 \text{ kN} / 42.190 \text{ kN}$ $M_{xy} = 105.989 \text{ kNm}$  N / A / T: $F_{xy} = 1.103 \text{ kN}$ $F_{z,max} / F_{z,min} = 33.020 \text{ kN} / 42.709 \text{ kN}$ $M_{xy} = 165.989 \text{ kNm}$
Maximal zulässige Schiefstellung infolge Baugrundsetzung in 25 Jahren bezogen auf den Außendurchmesser:	3 mm / m
Wasserstand:	maximal bis OK Gelände

**Tabelle 1:** Flachgründung - Anforderungskriterien

Weiterhin sind einschlägige DIN-Normen und Regelwerke zu beachten.



Auf der Grundlage der Bodenkennwerte wurden Grundbruch - und Setzungsprognosen sowie Nachweise gegen Gleiten und Kippen und Lagesicherheit mit Hilfe des Programmes "GGU - Footing" erstellt, dessen Rechnerausdrucke in den **Anlagen 1 bis 4** ersichtlich sind.

Die in der Berechnung eingesetzten Belastungswerte sind gemäß den Vorgaben des Fundamentdatenblattes berücksichtigt worden (Tabelle 1). Die Belastungswerte beziehen sich auf Unterkante Fundament.

Die Lasten der Gesamtkonstruktion werden zur Verbesserung der Tragfähigkeitseigenschaften bzw. zur Vergleichmäßigung der Lastverteilung in einen Bodenaustausch aus mineralischen und nicht bindigen Erdbaustoffen eingeleitet.

Auf der Grundlage der punktuellen Erkundungsfeststellungen wurde die Schichtmächtigkeit für den Standort mit **d = 2 m** vorläufig festgelegt.

Für den Bodenaustausch werden folgende mittlere bodenphysikalische Kennwerte bei Verwendung eines mineralischen Gesteins der Bodengruppe GW und Gewährleistung einer dichten Lagerung abschätzend erwartet:

$\gamma / \gamma'$	=	19,0 / 12,0 kN / m <sup>3</sup>	Wichte
$\varphi$	=	37,5 °	Reibungswinkel
<b>c</b>	=	0,0 kN / m <sup>2</sup>	Kohäsion
<b>E<sub>s</sub></b>	=	100.000 kN / m <sup>2</sup>	Steifemodul

Für den anstehenden Untergrund bis in die Tiefe der Lasteinwirkung werden folgende Kennwerte **-als Mittelwerte-** angesetzt:

$\gamma / \gamma'$	=	26,0 / 16,0 kN / m <sup>3</sup>	Wichte
$\varphi$	=	35,0 °	Reibungswinkel
<b>c</b>	=	0,0 kN / m <sup>2</sup>	Kohäsion

Der statische Steifemodul wurde gemäß Abschnitt 5.8 - "Geophysik- MASW und Refraktionsseismische Messungen" im Ingenieurgeologischen Gutachten vom 22.03.2019 wie folgt abgeleitet:

Tiefe [m]	<b>E<sub>s,max</sub></b> [MN/m <sup>2</sup> ]
1,0	160
2,2	460
3,4	> 500
6,5	> 500

Bis Tiefe von 2 m wird der Untergrund durch Bodenaustausch verbessert, so dass nur die unteren beiden Tiefenbereiche angesetzt wurden. Diese können zusammengefasst werden.



Berechnet wurden gemäß dem Datenblatt die Lastfälle: "NTM DLC D.3" und "N / A / T", jeweils mit / ohne Auftrieb und unter Berücksichtigung der Teilsicherheiten BS-P und BS-A.

Die nachstehende Tabelle enthält die Ergebnisdarstellung.

Programm- berechnung	WEA 06
<b>Setzungen:</b> in cm	NTM DLC D.3: $s = 0,11 - 0,58 / 0,21 - 0,68$  N/A/T: $s = 0,04 - 0,74 / 0,08 - 0,82$
<b>Zul. Schiefstellung:</b> $\Delta s \leq 3 \text{ mm / m}$  $D = 22,50 \text{ m}$ $22,50 \times 3 \approx 68 \text{ mm}$ $22,50 / 0,068 = 1 : 331$	NTM DLC D.3: $1 : 3.984 / 1 : 3.979 < 1 : 331$  N/A/T: $1 : 2.731 / 1 : 2.574 < 1 : 331$
<b>Grundbruchsicherheit:</b> Ausnutzungsgrad $\mu = V_d / R_d$ $\leq 1,0 \rightarrow$ Nachweis erbracht!	NTM DLC D.3: $\mu = 0,090 / 0,064 \leq 1,0$  N/A/T: $\mu = 0,124 / 0,067 \leq 1,0$
<b>Gleitwiderstand:</b> Ausnutzungsgrad $\mu = T_{t,d} / R_{t,d}$ $\leq 1,0 \rightarrow$ Nachweis erbracht!	NTM DLC D.3: $\mu = 0,057 / 0,045 \leq 1,0$  N/A/T: $\mu = 0,058 / 0,045 \leq 1,0$
<b>Lagesicherheit</b> $\mu_{\text{EQU}} = M_{\text{dst}} / M_{\text{stb}}$ $\leq 1,0 \rightarrow$ Nachweis erbracht!	NTM DLC D.3: $\mu = 0,476 / 0,372$  N/A/T: $\mu = 0,470 / 0,363$

**Tabelle 2:** Geotechnische Standsicherheitsnachweise - Programmberechnung

Die Programmberechnung hat unter den gegebenen Lastbeanspruchungen für die betrachteten Lastfälle zulässige Setzungsverformungen nachgewiesen.

Grundbruchsicherheit, Kippsicherheit, Gleitwiderstand und Lagesicherheit sind ausreichend.

Für die Fundamenteinspannung zwischen Fundament und Baugrund ist eine dynamische Mindestdrehfedersteifigkeit in der Größenordnung entsprechend Tabelle 1 zu bestätigen. Die Vorgaben beinhalten ferner, dass sich die erforderlichen dynamischen Steifemodule in Abhängigkeit von Fundamentgeometrie und Querdehnzahl ergeben. Die Anforderungen gelten für jede Baugrundsicht im Lasteinflussbereich des Fundamentes.

Die dynamischen Steifemodule  $E_{dyn.}$  ( $E_{oed,dyn.}$ ) und die Poissonzahl  $\nu$  liegen der Ergebnistabelle 9 aus dem Abschnitt Abschnitt 5.8 - "Geophysik- MASW und Refraktionsseismische Messungen" des Ingenieurgeologischen Gutachtens vom 22.03.2019 zugrunde. Berücksichtigt wurden die unteren beiden Schichtzeilen.

Tiefe [m]	$v_p$ [m/s]	$v_s$ [m/s]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\nu$	$K_{max}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$G_{d,max}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$G_d$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$E_{s,d,max}$ [MN/m <sup>2</sup> ]
1,0	820	466	1700	0,26	651	369	129	400
2,2	1040	470	2400	0,37	1889	530	186	909
3,4	1280	510	2600	0,41	3358	676	237	1490
6,5	1590	565	2600	0,43	5466	830	290	2300

d	:	Tiefe UK Schicht
$v_p$	:	Kompressionswellengeschwindigkeit
$v_s$	:	Scherwellengeschwindigkeit
$\rho$	:	Angenommene Dichte
$\nu$	:	Poissonzahl
$K_{max}$	:	dynamisches Kompressionsmodul für sehr kleine Dehnungen
$G_{max}$	:	dynamisches Schermodul/Schubmodul für sehr kleine Dehnungen
$G_d$	:	dynamisches Schermodul/Schubmodul für realistische Dehnungen (rel. Verformung $\sim 10^{-4}$ )
$E_{s,max}$	:	dynamisches Steifemodul für realistische Dehnungen

Die nachfolgende Tabelle enthält das Nachweisergebnis der nach Excel - Kalkulation berechneten Werte.

WP Romrod-Zell				Nachweis Drehfedersteifigkeit										
Datum	17.06.2020			Standort		WEA 06		42.000		210.000		Sollwerte		
Turmtyp	E-138 EP3_160 mNH			UK Schicht von GOK (m)		Eoed,stat (MN/m <sup>2</sup> )		Eoed,dyn (MN/m <sup>2</sup> )		dyn. Querdehnzahl		Fundamentradius (m)		
Gründungsart	FlmA			Schichthöhe (m)		Kappa phi, stat (MNm/rad)		Kappa phi, dyn (MNm/rad)		Bemerkung				
Schichten unter Fundament:				Innerer Reibungswinkel	Lagerung / Konsistenz									
UK Sauberkeitsschicht				37,5	sehr dicht	0	2,00	100	300	0,28	11,25	160.785	482.354	ausreichend
Bodenaustausch				35	sehr dicht	3,40	1,40	500	1490	0,41	12,78	720.351	2.146.646	ausreichend
Basalt (1. Schichtzone)				35	sehr dicht	30,00	26,60	500	2300	0,43	13,76	749.222	3.446.421	ausreichend
Basalt (2. Schichtzone)														

**Tabelle 3:** Dynamische Drehfedersteifigkeit

Die geforderten Mindestwerte gemäß Tabelle 1 werden rechnerisch eingehalten.



Der anstehende Baugrund muss die in der o.s. Tabelle aufgeführten max. charakteristischen Kantenpressung aufnehmen:

max. Kantenpressung	E-138 EP3, 160 m NH
aufnehmbarer charakteristischer Sohldruck:  <b>Bodenaustausch</b> * $\sigma_{k,zul} \geq 400 \text{ kN / m}^2$	erforderlicher charakteristischer Sohldruck:  BS-P $\sigma_{k,vorh} = 271 \text{ kN / m}^2$  BS-A $\sigma_{k,vorh} = 275 \text{ kN / m}^2$

\* Voraussetzung: Ersatz unter Verwendung von weitgestuften mineralischen Erdbaustoffen der Bodengruppe GW in optimaler Verdichtung ( $D_{pr} = 103\%$ ).

**Tabelle 13:** Gegenüberstellung aufnehmbarer / erforderlicher Sohldruck

Der aufnehmbare Sohldruck wird somit unterschritten.

Die Anlage kann gemäß den Nachweisen in den Bodenaustausch gegründet werden.



## 7. Schlussbemerkungen

Alle Empfehlungen und Hinweise im Ingenieurgeologischen Gutachten vom 22.03.2019 behalten weiterhin Gültigkeit.

Für weitere Ingenieurgeologische Beratungen stehen wir jederzeit gerne zur Verfügung.

**BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG**  
Aufgestellt: Trenzelsburg, den 17.06.2020

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen  
Geophysik & Geotechnik

Glockenstraße 1 • 34368 Trenzelsburg  
Tel. 0 56 71 - 77 97 10 • Fax 0 56 71 - 77 97 10

**Dr. Claus Schubert**

Geschäftsführer & Sachverständiger  
Sachverständiger der IHK KS für das Bestellungsgebiet  
2450, Baugrund- Erkundung, -untersuchung & -bewertung

---

**Anlage 1 bis 4** - Grundbruch- und Setzungsprognose, Kippsicherheit,  
Gleitwiderstand und Lagesicherheit für Lastfall NTM DLC D.3 mit /  
ohne Auftrieb und N/A/T sowie BS-P und BS-A

---

Wir bitten Sie freundlichst um Beachtung folgenden Hinweises:

Das Kopieren und Weiterleiten des Gutachtens an Dritte ist weder vollständig noch auszugsweise **ohne ausdrückliche schriftliche Zustimmung des Entwurfsverfassers** zulässig. Dies gilt insbesondere auch für die elektronische Verbreitung digitaler Dateien über Datenträger oder Internet.

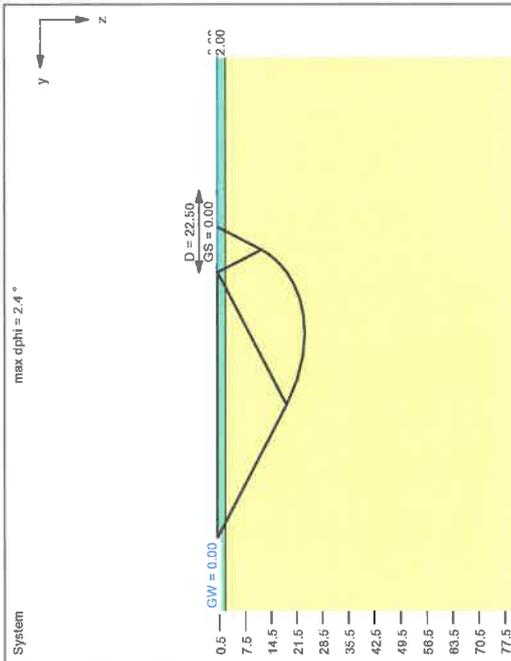
Projekt: 215227-6

Anlage: 1

WP Zell  
WEA 06

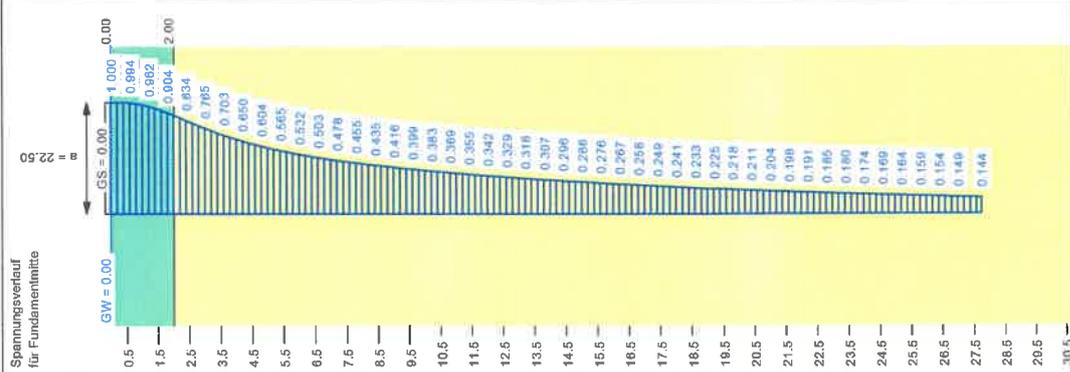
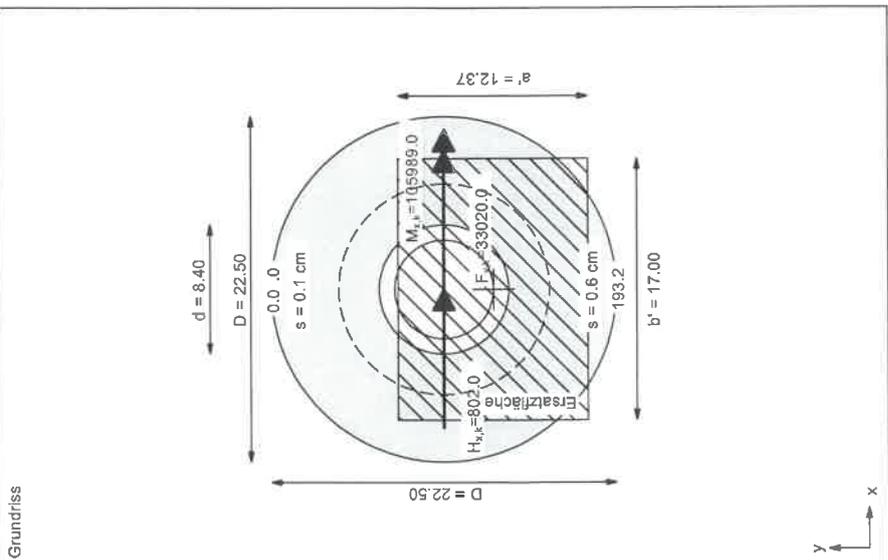
NTM DLC D.3 - mit Auftrieb

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 [-]	$\kappa$ [-]	Bezeichnung
	19.0	12.0	37.5	0.0	100.0	0.00	1.000	Bodenaustausch
	26.0	16.0	35.0	0.0	500.0	0.00	1.000	Basalt



GGU-FOOTING / Version 8.23 / 05.10.2015  
Berechnungsgrundlagen:  
Norm: EC 7  
Grundbruchformel nach DIN 4017:2006  
Teilsicherheitskonzept (EC 7)  
 $\gamma_{G,ab} = 1.10$   
 $\gamma_{G,ab} = 0.90$   
 $\gamma_{G,ab} = 1.50$   
Gründungsschle = 0.00 m  
Grundwasser = 0.00 m  
Grenztiefe mit x + b  
x = 1.500  
----- 1. Kernweite  
----- 2. Kernweite

Grundriss



**Ergebnisse Einzelfundament:**  
Lasten = ständig / veränderlich  
Vertikallast  $F_{v,k} = 33020.00 / 0.00$  kN  
Horizontalkraft  $F_{h,k} = 0.00 / 802.00$  kN  
Horizontalkraft  $F_{h,k} = 0.00 / 0.00$  kN  
Moment  $M_{1,k} = 0.00 / 105989.00$  kNm  
Moment  $M_{1,k} = 0.00 / 0.00$  kNm  
Durchmesser D = 22.500 m  
Durchmesser (Innen) d = 8.400 m  
Unter ständigen Lasten:  
Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
Exzentrizität  $e_y = 0.000$  m  
Resultierende im 1. Kern (= 3.204 m)  
 $a' = 18.498$  m  
 $b' = 18.498$  m  
Unter Gesamtlasten:  
Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
Exzentrizität  $e_y = -3.210$  m  
Resultierende im 2. Kern (= 6.855 m)  
 $a' = 12.372$  m  
 $b' = 17.001$  m

**Grundbruch:**  
Durchstanzen untersucht,  
aber nicht maßgebend.  
Teilsicherheit (Grundbruch)  $\gamma_{G,ab} = 1.40$   
 $r_{0,k} / r_{0,td} = 3280.0 / 2342.85$  kN/m<sup>2</sup>  
 $R_{0,k} = 689894.76$  kN  
 $R_{0,td} = 492761.98$  kN  
 $V_d = 1.35 \cdot 33020.00 + 1.50 \cdot 0.00$  kN

**Nachweis EQU:**  
 $M_{ab} = 33020.0 \cdot 22.50 \cdot 0.5 \cdot 0.90 = 334327.5$   
 $M_{top} = 105989.0 \cdot 1.50 = 158983.5$   
 $M_{EQU} = 158983.5 / 334327.5 = 0.476$

$V_d = 44577.00$  kN  
 $\mu$  (parallel zu y) = 0.090  
 $\mu$  (parallel zu x) = 0.090  
cal c = 0.00 kN/m<sup>2</sup>  
cal  $\gamma_2 = 15.48$  kN/m<sup>3</sup>  
cal  $\sigma_0 = 0.00$  kN/m<sup>2</sup>  
UK log. Spirale = 23.73 m u. GOK  
Länge log. Spirale = 101.32 m  
Fläche log. Spirale = 1269.46 m<sup>2</sup>  
Tragfähigkeitsbeiwerte (Y):  
 $N_{1,sp} = 46.83$ ;  $N_{1,sp} = 34.00$ ;  $N_{1,sp} = 23.25$   
Formbeiwerte (Y):  
 $v_c = 1.432$ ;  $v_d = 1.419$ ;  $v_b = 0.782$   
Neigungsbeiwerte (Y):  
 $i_c = 0.985$ ;  $i_d = 0.966$ ;  $i_b = 0.942$

Gleitwiderstand:  
Teilsicherheit (Gleitwiderstand)  $\gamma_{G,ab} = 1.10$   
 $N_k \cdot \tan(\phi) / R_{1,h} = 33020.00 \cdot \tan(35.00^\circ) / 1.10$   
 $R_{1,d} = N_k \cdot \tan(\phi) / \gamma_{G,ab} = 21018.96$  kN  
 $T_d = 1203.00$  kN  
 $\mu = T_d / R_{1,d} = 0.057$

Setzung infolge Gesamtlasten:  
Grenztiefe  $t_b = 27.75$  m u. GOK  
Setzung (Mittel aller KPs) = 0.35 cm  
Setzungen der KPs:  
oben = 0.11 cm  
unten = 0.58 cm  
Verdrehung(x) (KP) = 1.39864.1

Projekt: 215227-6

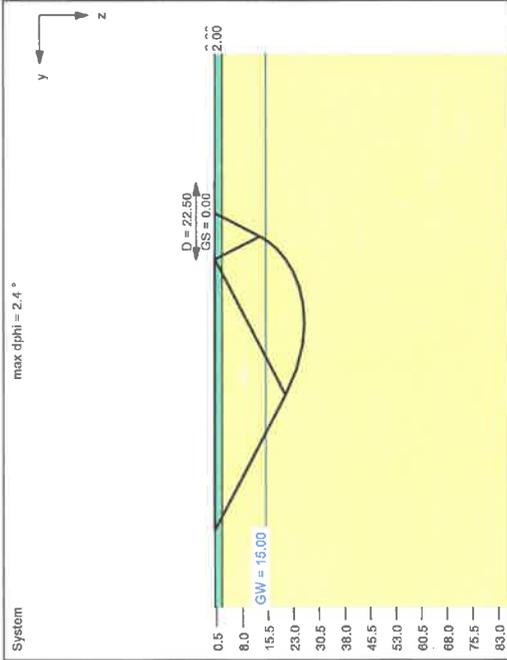
WP Zell  
WEA 06

Anlage: 2

NTM DLC D.3 - ohne Auftrieb

Bezeichnung  
Bodenaustausch  
Basalt

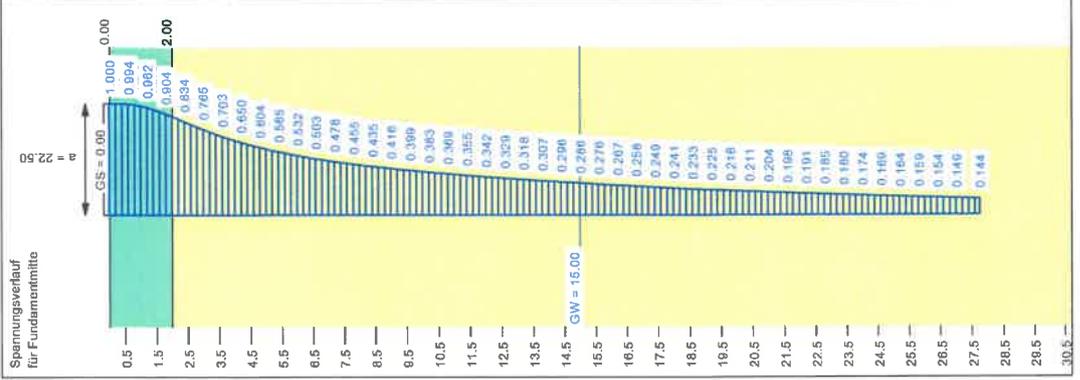
Boden	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi$ [°]	c	$E_s$ [MN/m <sup>2</sup> ]	v	$\kappa$ [-]	Bezeichnung
	19.0	12.0	37.5	0.0	100.0	0.00	1.000	Bodenaustausch
	26.0	16.0	35.0	0.0	500.0	0.00	1.000	Basalt



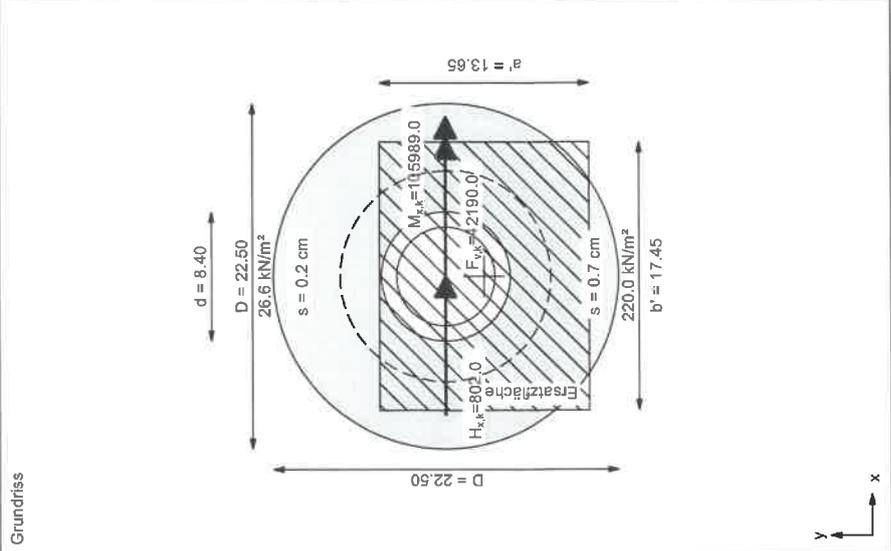
GGU-FOOTING / Version 8.23 / 05.10.2015  
Berechnungsgrundlagen:

Norm: EC 7  
Teilsicherheitskonzept nach DIN 4017:2006  
Teilsicherheitskonzept (EC-7)  
 $\gamma_{c,ed} = 1.40$   
 $\gamma_{c,ab} = 1.35$   
 $\gamma_{c,ed} = 1.10$   
 $\gamma_{c,ab} = 1.10$   
Gleitsicherheit mit  $\phi = 35.00^\circ$   
Grenz Zustand EQU:

1. Kernweite  
2. Kernweite



Grundriss



**Ergebnisse Einzelfundament:**  
 Lasten = ständig / veränderlich  
 Vertikallast  $F_{y,ed} = 42190.00 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{x,ed} = 0.00 / 802.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{y,ed} = 0.00 / 0.00$  kN  
 Moment  $M_{y,ed} = 0.00 / 105989.00$  kNm  
 Moment  $M_{x,ed} = 0.00 / 0.00$  kNm  
 Durchmesser  $D = 22.500$  m  
 Durchmesser (innen)  $d = 8.400$  m  
 Unter ständigen Lasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = 0.000$  m  
 Resultierende im 1. Kern (= 3.204 m)  
 $a' = 18.488$  m  
 $b' = 18.488$  m  
 Unter Gesamtlasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -2.512$  m  
 Resultierende im 1. Kern (= 3.204 m)  
 $a' = 13.655$  m  
 $b' = 17.455$  m  
 Durchbruch:  
 Durchbruchsversuch, aber nicht maßgebend.  
 Teilsicherheit (Grundbruch)  $\gamma_{s,b} = 1.40$   
 $\sigma_{0,1} / \sigma_{0,4} = 5192.5 / 3708.66$  kN/m<sup>2</sup>  
 $R_{0,1} = 1237576.80$  kN  
 $R_{0,4} = 863983.43$  kN  
 $V_d = 1.35 \cdot 42190.00 + 1.50 \cdot 0.00$  kN  
 Verdrehung(x) (KP) = 1. : 3979.0

**Nachweis EQU:**  
 $M_{ab} = 42190.0 \cdot 22.50 \cdot 0.5 \cdot 0.90 = 427173.8$   
 $M_{dat} = 105989.5 / 427173.8 = 0.372$   
 $\mu_{EQU} = 158983.5 / 427173.8 = 0.372$

$V_d = 56956.50$  kN  
 $\mu$  (parallel zu y) = 0.064  
 $cal \phi = 35.2^\circ$   
 $cal c = 0.00$  kN/m<sup>2</sup>  
 $cal \gamma_s = 22.45$  kN/m<sup>3</sup>  
 $UK \log. Spirale = 26.18$  m u. GOK  
 Länge log. Spirale = 111.76 m  
 Fläche log. Spirale = 1544.53 m<sup>2</sup>  
 Tragfähigkeitsbeiwerte (y):  
 $N_{ed} = 46.77$ ;  $N_{up} = 33.93$ ;  $N_{ed} = 23.19$   
 Formbeiwerte (y):  
 $v_c = 1.464$ ;  $v_o = 1.450$ ;  $v_o = 0.765$   
 Neigungsbeiwerte (y):  
 $i_c = 0.972$ ;  $i_o = 0.973$ ;  $i_b = 0.954$

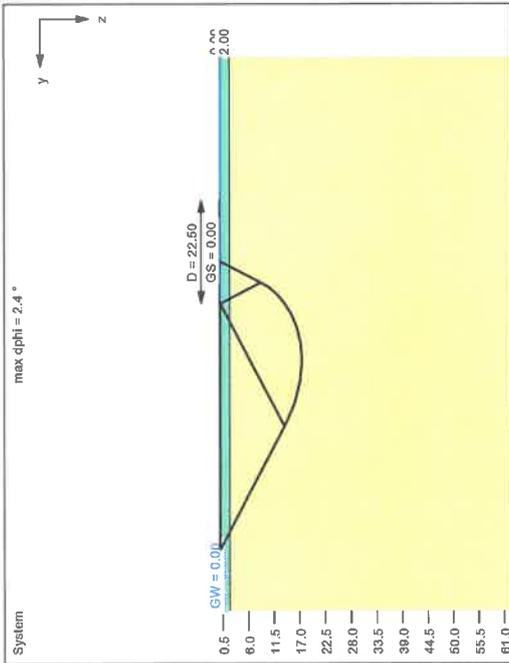
**Gleitwiderstand:**  
 Teilsicherheit (Gleitwiderstand)  $\gamma_{s,b} = 1.10$   
 $N_k \cdot \tan(\phi) / \gamma_{s,b} = 42190.00 \cdot \tan(35.00^\circ) / 1.10$   
 $R_{s,b} = N_k \cdot \tan(\phi) / \gamma_{s,b} = 26856.14$  kN  
 $T_d = 1203.00$  kN  
 $\mu = T_d / R_{s,b} = 0.045$

Setzung infolge Gesamtlasten:  
 Grenzsetz  $s_b = 27.75$  m u. GOK  
 Setzung (Mittel aller KPs) = 0.45 cm  
 Setzung der KPs:  
 oben = 0.21 cm  
 unten = 0.88 cm  
 Verdrehung(x) (KP) = 1. : 3979.0

WP Zell  
WEA 06

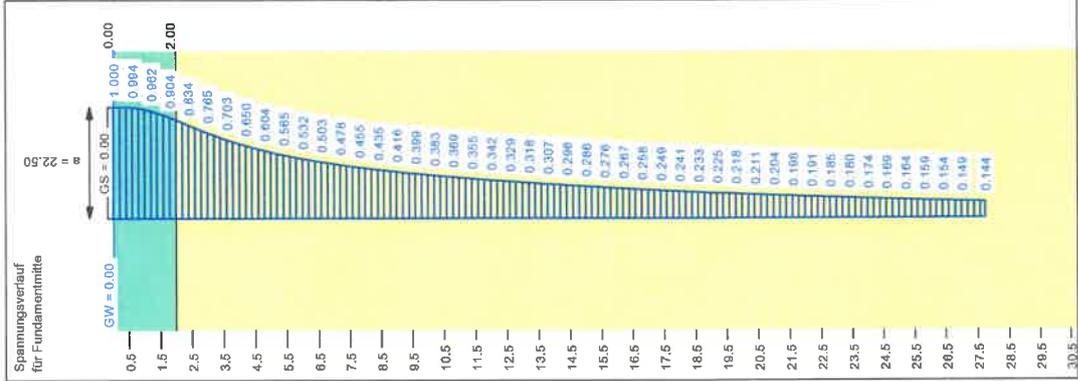
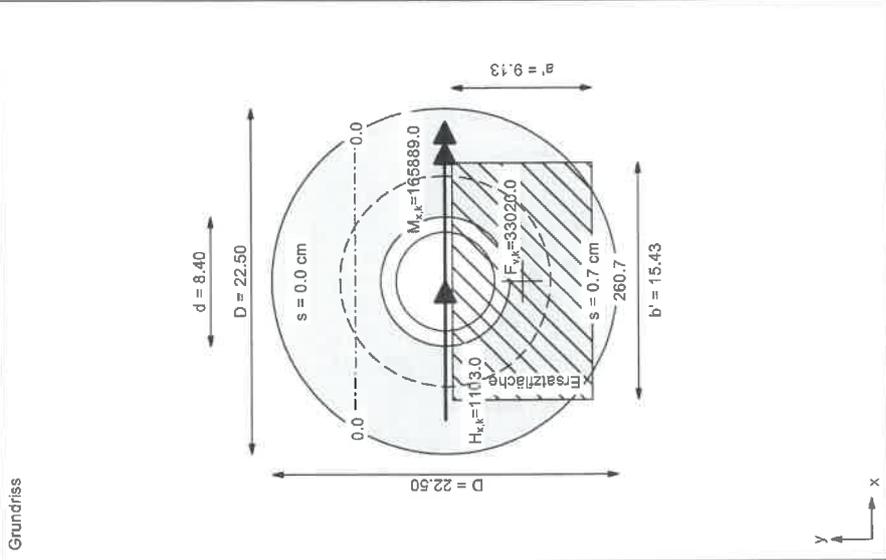
N/A/T - mit Auftrieb

Boden	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi$ [°]	c	$E_s$ [MN/m <sup>2</sup> ]	v	$\kappa$ [-]	Bezeichnung
	19.0	12.0	37.5	0.0	100.0	0.00	1.000	Bodenaustausch
	26.0	16.0	35.0	0.0	500.0	0.00	1.000	Basalt



GGU-FOOTING / Version 8.23 / 05.10.2015  
Berechnungsgrundlagen:  
Norm: EC 7  
Teilsicherheitskonzept (EC 7)  
 $\gamma_{G,del} = 1.00$   
 $\gamma_{Q,del} = 1.00$   
Gründungssohle = 0.00 m  
Grundwasser = 0.00 m  
Gründtiefe mit x \* b  
x = 1.500  
----- 1. Kernweite  
----- 2. Kernweite

Grundriss



**Ergebnisse Einzelfundament:**  
Lasten = ständig / veränderlich  
Vertikallast  $F_{k,Ed} = 33020.00 / 0.00$  kN  
Horizontalkraft  $F_{h,k,Ed} = 0.00 / 1103.00$  kN  
Horizontalkraft  $F_{h,y,k,Ed} = 0.00 / 0.00$  kN  
Moment  $M_{k,Ed} = 0.00 / 165889.00$  kNm  
Moment  $M_{y,k,Ed} = 0.00 / 0.00$  kNm  
Durchmesser  $D = 22.500$  m  
Länge log. Spirale = 74.95 m  
Fläche log. Spirale = 694.37 m<sup>2</sup>  
Tragfähigkeitsbeiwerte (y):  
Unter ständigen Lasten:  
Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
Exzentrizität  $e_y = 0.000$  m  
Resultierende im 1. Kern ( $= 3.204$  m)  
 $a' = 18.488$  m  
 $b' = 18.488$  m  
Unter Gesamlasten:  
Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
Exzentrizität  $e_y = -5.024$  m  
Resultierende im 2. Kern ( $= 6.855$  m)  
 $a' = 9.130$  m  
 $b' = 15.430$  m

**Grundbruch:**  
Durchslanzen untersucht, aber nicht maßgebend.  
Teilsicherheit (Grundbruch)  $\gamma_{G,Ed} = 1.20$   
 $R_{n,k} = 350720.80$  kN  
 $R_{n,Ed} = 292267.33$  kN  
 $V_d = 1.10 \cdot 33020.00 + 1.10 \cdot 0.00$  kN

**Nachweis EQU:**  
 $M_{Ed} = 33020.0 \cdot 22.50 \cdot 0.5 \cdot 0.95 = 352901.3$   
 $M_{k,Ed} = 165889.0 \cdot 1.00 = 165889.0$   
 $\mu_{EQU} = 165889.0 / 352901.3 = 0.470$

$V_d = 36322.00$  kN  
 $\mu$  (parallel zu y) = 0.124  
cal  $\phi = 35.2^\circ$   
cal c = 0.00 kN/m<sup>2</sup>  
cal  $\gamma_2 = 15.31$  kN/m<sup>3</sup>  
cal  $\sigma_v = 0.00$  kN/m<sup>2</sup>  
UK log. Spirale = 17.54 m u. GOK  
Länge log. Spirale = 74.95 m  
Fläche log. Spirale = 694.37 m<sup>2</sup>  
Tragfähigkeitsbeiwerte (y):  
 $N_{sp} = 47.09$ ;  $N_{sp} = 34.25$ ;  $N_{sp} = 23.48$   
Formbeiwerte (y):  
 $v_c = 1.352$ ;  $v_d = 1.341$ ;  $v_b = 0.822$   
Neigungsbeiwerte (y):  
 $i_c = 0.953$ ;  $i_d = 0.954$ ;  $i_b = 0.923$

Gleitwiderstand:  
Teilsicherheit (Gleitwiderstand)  $\gamma_{G,Ed} = 1.10$   
 $N_k \cdot \tan(\phi) / \gamma_{G,Ed} = 33020.00 \cdot \tan(35.00^\circ) / 1.10$   
 $R_{c,d} = N_k \cdot \tan(\phi) / \gamma_{G,Ed} = 21018.96$  kN  
 $T_d = 1213.30$  kN  
 $\mu = T_d / R_{c,d} = 0.058$

Setzung infolge Gesamlasten:  
Grenztiefe  $i_b = 27.75$  m u. GOK  
Setzung (Mittel aller KPs) = 0.39 cm  
Setzungen der KPs:  
oben = 0.04 cm  
unten = 0.74 cm  
Verdrehung(x) (KP) = 1 : 2730.6

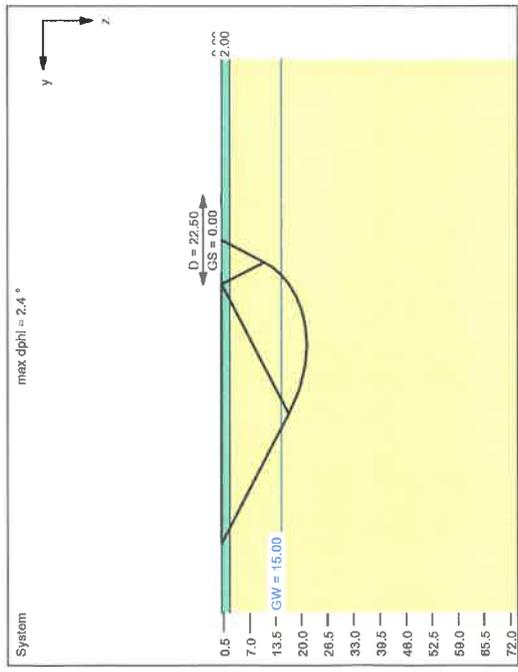
Boden	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi$ [°]	c	$E_s$ [MN/m <sup>2</sup> ]	v	$\kappa$ [-]	Bezeichnung
■	19.0	12.0	37.5	0.0	100.0	0.00	1.000	Bodenaustausch
■	26.0	16.0	35.0	0.0	500.0	0.00	1.000	Basalt

**WP Zelle**  
WEA 06

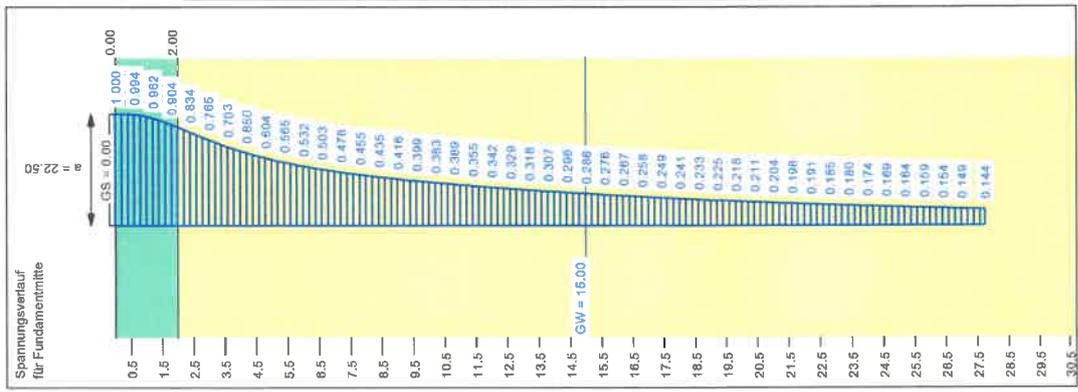
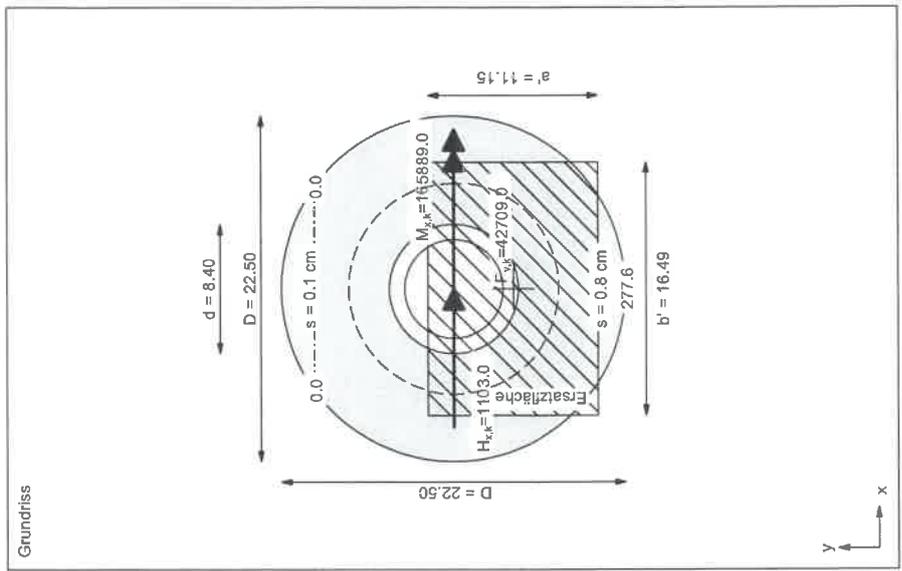
Projekt: 215227-6

Anlage: 4

N/AT - ohne Auftrieb



GGU-FOOTING / Version 8.23 / 05.10.2015  
 Berechnungsgrundlagen:  
 Norm: EC 7  
 Grundbruchformel nach DIN 4017:2006  
 Teilsicherheitskonzept (EC 7)  
 $\gamma_{s,v} = 1,20$   
 $\gamma_c = 1,10$   
 $\gamma_{c,ph} = 1,10$   
 Gleitsicherheit mit  $\phi = 35,00^\circ$   
 Grenzzustand EQU:  
 --- 1. Kernweite  
 - - - - 2. Kernweite



**Ergebnisse Einzelfundament:**  
 Lasten = ständig / veränderlich  
 Vertikallast  $F_{v,k} = 42709.00 / 0.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,k} = 0.00 / 1103.00$  kN  
 Horizontalkraft  $F_{h,k} = 0.00 / 0.00$  kN  
 Moment  $M_{v,k} = 0.00 / 165889.00$  kNm  
 UK log. Spirale = 21.40 m u. GOK  
 Durchmesser D = 22.500 m  
 Durchmesser (innen) d = 8.400 m  
 Unter ständigen Lasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = 0.000$  m  
 Resultierende im 1. Kern (= 3.204 m)  
 $a' = 18.488$  m  
 $b' = 16.488$  m  
 Unter Gesamtlasten:  
 Exzentrizität  $e_x = 0.000$  m  
 Exzentrizität  $e_y = -3.884$  m  
 Resultierende im 2. Kern (= 6.855 m)  
 $a' = 11.152$  m  
 $b' = 16.487$  m

**Grundbruch:**  
 Durchstanzen untersucht,  
 aber nicht maßgebend.  
 Teilsicherheit (Grundbruch)  $\gamma_{s,v} = 1,20$   
 $R_{v,k} / \alpha_{R,v} = 4555.1 / 3795.94$  kN/m<sup>2</sup>  
 $R_{h,k} = 697941.59$  kN  
 $V_d = 1.10 \cdot 42709.00 + 1.10 \cdot 0.00$  kN

**Nachweis EQU:**  
 $M_{inh} = 42709.0 \cdot 22.50 \cdot 0.5 \cdot 0.95 = 456452.4$   
 $M_{inh} = 165889.0 \cdot 1.00 = 165889.0$   
 $\mu_{EQU} = 165889.0 / 456452.4 = 0.363$

$V_d = 46379.90$  kN  
 $\mu$  (parallel zu y) = 0.067  
 $\text{cal } \phi = 35.2^\circ$   
 $\text{cal } c = 0.00$  kN/m<sup>2</sup>  
 $\text{cal } \gamma_c = 23.40$  kN/m<sup>3</sup>  
 $\text{cal } \phi_n = 0.00$  kN/m<sup>2</sup>  
 Länge log. Spirale = 91.40 m  
 Fläche log. Spirale = 1032.90 m<sup>2</sup>  
 Tragfähigkeitsbeiwerte (Y):  
 $N_{sp} = 46,91$ ;  $N_{sp} = 34,08$ ;  $N_{sp} = 23,32$   
 Formbeiwerte (Y):  
 $v_b = 1,402$ ;  $v_d = 1,390$ ;  $v_b = 0,797$   
 Neigungsbeiwerte (Y):  
 $i_b = 0,963$ ;  $i_d = 0,964$ ;  $i_b = 0,939$

Gleitwiderstand:  
 Teilsicherheit (Gleitwiderstand)  $\gamma_{s,h} = 1,10$   
 $N_{k,y} \cdot \tan(\phi) / \gamma_{s,h} = 42709.00 \cdot \tan(35,00^\circ) / 1,10$   
 $R_{d,y} = N_{k,y} \cdot \tan(\phi) / \gamma_{s,h} = 27186.51$  kN  
 $T_d = 1213.30$  kN  
 $\mu = T_d / R_{d,y} = 0,045$

Setzung infolge Gesamtlasten:  
 Grenztiefe  $z_p = 27.75$  m u. GOK  
 Setzung (Mittel aller KPs) = 0.45 cm  
 Setzungen der KPs:  
 oben = 0.08 cm  
 unten = 0.82 cm  
 Verdrehung(x) (KP) = 1 : 2574.0