



**Ingenieurgeologie**  
**Dr. Lübke**

Füchteler Straße 29  
49377 Vechta  
Telefon 0 44 41 – 979 75-0  
Telefax 0 44 41 – 979 75-29

[www.ig-luebbe.de](http://www.ig-luebbe.de)  
[office@ig-luebbe.de](mailto:office@ig-luebbe.de)

# GEOTECHNISCHER BERICHT

## 2. Revision

PROJEKT:  
1075-15-1

Windpark Ovelgönne, neun Windenergieanlagen  
7 x WEA Enercon E-115, 135 mNH  
2 x WEA Enercon E-101, 149 mNH  
w-03778

Auftraggeber:  
Windkonzept Projektentwicklungs GmbH & Co. KG  
Mansholter Straße 30  
26215 Wiefelstede

13. April 2016

Baugrunderkundungen  
Gründungsgutachten  
Baugrundlabor  
Altlastenuntersuchungen  
Gefährdungsabschätzungen  
Sanierungskonzepte  
Hydrogeologie

In Kooperation mit der  
TERRA Umwelt Consulting GmbH





Projektdaten:

Projekt: 1075-15-1  
Windpark Ovelgönne  
7 x WEA Enercon E-115, 135 mNH  
2 x WEA Enercon E-101, 149 mNH,  
w-03778  
2. Revision

Auftraggeber: Windkonzept Projektentwicklungs GmbH & Co. KG  
Mansholter Straße 30  
26215 Wiefelstede

Auftragnehmer: Ingenieurgeologie Dr. Lübbe  
Füchteler Str. 29  
49377 Vechta

Projektbearbeiterin: Dipl.-Geol. Petra Müller

Exemplare: 1 Stück

Dieser Geotechnische Bericht umfasst 21 Seiten, 10 Tabellen und 7 Anlagen.

Vechta, 07. April 2016

Der Bericht darf nur vollständig und unverändert vervielfältigt werden und nur zu dem Zweck, der unserer Beauftragung mit der Erstellung des Berichtes zugrunde liegt. Die Vervielfältigung zu anderen Zwecken, eine auszugsweise oder veränderte Wiedergabe sowie eine Veröffentlichung bedürfen unserer schriftlichen Genehmigung.



## INHALTSVERZEICHNIS

|                                                                                       |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>I. VERANLASSUNG UND BEAUFTRAGUNG.....</b>                                          | <b>5</b>  |
| 1. Unterlagen.....                                                                    | 5         |
| 2. Angaben zum Bauwerk.....                                                           | 6         |
| <b>II. DURCHGEFÜHRTE UNTERSUCHUNGEN.....</b>                                          | <b>7</b>  |
| <b>III. BODEN- UND GRUNDWASSERVERHÄLTNISSE.....</b>                                   | <b>8</b>  |
| 1. Boden.....                                                                         | 8         |
| 2. Grundwasser.....                                                                   | 10        |
| 3. Erdbebenzone.....                                                                  | 11        |
| 4. Körnungsanalysen.....                                                              | 11        |
| 5. Bodenklassifizierung nach DIN 18300/DIN 18196.....                                 | 12        |
| 6. Bodenkennwerte.....                                                                | 12        |
| <b>IV. GRÜNDUNGEN.....</b>                                                            | <b>13</b> |
| 1. Geotechnische Kategorie.....                                                       | 13        |
| 2. Auswertung und Bewertung.....                                                      | 13        |
| 3. Hinweise zur Pfahlgründung.....                                                    | 14        |
| <b>V. KRANAUFSTELLFLÄCHEN UND ZUWEGUNGEN.....</b>                                     | <b>14</b> |
| 1. Zuwegung und Vormontagefläche.....                                                 | 14        |
| 2. Kranstellflächen.....                                                              | 15        |
| <b>VI. HINWEISE ZUR BAUAUSFÜHRUNG.....</b>                                            | <b>16</b> |
| 1. Baugrube, Böschungen.....                                                          | 16        |
| 2. Wasserhaltung, hydraulische Berechnung.....                                        | 16        |
| 3. Fundamentüberdeckung, Wiederverwendung Bodenaushub, Verdichtungsanforderungen..... | 18        |
| 4. Betonaggressivität des Grundwassers.....                                           | 19        |
| 5. Frischbetoneigengewicht.....                                                       | 19        |
| <b>VII. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSWORT.....</b>                                      | <b>20</b> |



## TABELLENVERZEICHNIS

|                      |                                                                                                                                                     |    |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 1.1 und 1.2: | Pfahlvarianten und Bemessungspfahllasten.....                                                                                                       | 6  |
| Tabelle 2:           | Anlagentypen, Koordinaten und Geländehöhen.....                                                                                                     | 7  |
| Tabelle 3:           | Generelle Bodenschichtung Standorte.....                                                                                                            | 9  |
| Tabelle 4:           | Ergebnisse der Körnungsanalysen.....                                                                                                                | 11 |
| Tabelle 5:           | Durchlässigkeitsbereiche nach DIN 18300.....                                                                                                        | 11 |
| Tabelle 6:           | Bodenklassifizierung nach DIN 18300:2002/DIN 18196....                                                                                              | 12 |
| Tabelle 7:           | Bodenkennwerte in Anlehnung an TÜRKE (1998), EAU (2012), Grundbau Taschenbuch, Ergebnissen der Drucksondierungen und eigenen Erfahrungswerten ..... | 12 |
| Tabelle 8:           | Rechnerisch ermittelte Pfahlabsetztiefen ( <i>m u. GOK</i> ) für Fertigrammpfähle.....                                                              | 14 |
| Tabelle 9:           | Kenndaten der hydraulischen Berechnungen und ermittelte Wassermengen.....                                                                           | 17 |
| Tabelle 10:          | Zusammenfassung der Gründungsempfehlungen.....                                                                                                      | 20 |

## ANLAGENVERZEICHNIS:

|                  |                                                                                                              |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ANLAGE 1:        | Lageplan                                                                                                     |
| ANLAGE 2.1-2.20: | Bohrprofile nach DIN 4023, Drucksondier- (CPT, nach DIN 4094) und Rammdiagramme (DPH nach DIN EN ISO22476-2) |
| ANLAGE 3:        | Drucksondierprotokolle                                                                                       |
| ANLAGE 4:        | Körnungslinien, DIN 18123                                                                                    |
| ANLAGE 5.1-5.11: | Äußere Pfahltragfähigkeit                                                                                    |
| ANLAGE 6:        | Ergebnisse Grundwasseranalysen                                                                               |
| ANLAGE 7.1-7.9:  | Hydraulische Berechnung                                                                                      |





## I. VERANLASSUNG UND BEAUFTRAGUNG

Die Windkonzept Projektierungs GmbH & Co. KG plant in der Gemeinde Ovelgönne im Landkreis Wesermarsch nördlich von Großenmeer einen Windpark bestehend aus neun Windenergieanlagen.

Mit Datum vom 16.04.2015 haben wir dazu bereits einen Geotechnischen Bericht vorgelegt. Zwischenzeitlich wurden die geplanten Anlagentypen geändert. Aktuell sollen sieben Standorte mit Anlagen vom Typ Enercon E-115 und einer Nabenhöhe von 135 m bzw. Turmhöhe von 133 m und zwei Anlagen vom Typ E-101 mit einer Nabenhöhe von 149 m bzw. Turmhöhe von 147 m realisiert werden. Mit Datum vom 02.06.2015 hatten wir daher eine 1. Revision unseres Berichtes vorgelegt.

Um die Einschnitte in den Untergrund zu minimieren und die erforderliche Wasserhaltung gering zu halten, sollen die Fundamentunterkanten angehoben werden. Als Bezugshöhe für die Planungen wurde die Oberkante des Culturweges festgelegt. Außerdem ist für alle Standorte eine Pfahlgründung vorgesehen.

Unser Büro wurde während einer Baubesprechung am 15.03.2016 von der Windkonzept Entwicklungs GmbH, Wiefelstede, Frau Eilers-Schröder, beauftragt, unseren Geotechnischen Bericht auf der Grundlage der aktuell geplanten Gründungstiefen sowie der geplanten Pfahlgründung zu überarbeiten.

Die Anlagenstandorte wurden nicht verschoben. Neue oder zusätzliche Baugrunderkundungen waren daher nicht erforderlich.

### 1. Unterlagen

Zur Durchführung der Untersuchungen erhielten wir folgende Unterlagen:

- Übersichtskarte, Maßstab 1 : 25.000,
- Lageplan Entwurf, Standorte für Windenergieanlagen, vom 05.02.2015, Maßstab 1 : 10.000,
- Lageplan Entwurf mit Luftbild, vom 11.02.2015, Maßstab 1 : 10.000,
- Höhenplan, vom 14.12.2015, Maßstab 1 : 5000,
- Schnitte Baugrube/Fundamente, K & R Ingenieure, Maßstab 1 : 200,
- Fundamentdatenblatt E-101/BF/133/27/01 & E-115/BF/133/27/02 Flachgründung mit Auftriebswirkung, vom 23.03.2011, Revision JIR 5/29.10.2014.
- Fundamentdatenblatt E-101/BF/133/27/01 & E-115/BF/133/27/02 vom 07.03.2011 Revision JIR 3/29.10.2014.
- Fundamentdatenblatt E-115/BF/147/31/02 und E-101/BF/147/31/01, Flachgründung mit Auftrieb, D0210143-1 vom 15.05.2012, Revision FME 2/19.09.2014.



- Fundamentdatenblatt E-115/BF/147/31/02 und E-101/BF/147/31/01 Flachgründung ohne Auftrieb, D0187213-3 JAV/02.05.2012, Revision FME 3/19.09.2014.
- Fundamentdatenblatt E-115/BF/147/31/02 und E-101/BF/147/31/01 Tiefgründung mit Auftrieb, D0215423-1/DA vom 19.09.2014.

2. Angaben zum Bauwerk

E-115, 133 m/135 mNH:

Bei einer Pfahlgründung beträgt der Fundamentdurchmesser 21,50 m. Es sind folgende Pfahlvarianten mit den entsprechenden Bemessungswerten der axialen Pfahllasten vorgesehen (*Tabelle 1.1*):

| Variante | Pfahltyp                     | Anzahl Pfähle | Druck (kN) | Zug (kN) |
|----------|------------------------------|---------------|------------|----------|
| 1        | Fertigrammpfähle 45/45 cm    | 60            | 1680       | 301      |
| 2        | Ortbetonrammpfähle d = 51 cm | 48            | 2097       | 375      |
| 3        | Ortbetonrammpfähle d = 56 cm | 36            | 2792       | 498      |
| 4        | Bohrpfähle d = 100 cm        | 22            | 4597       | 909      |

Tabelle 1.1: Pfahlvarianten und Bemessungspfahllasten.

Für die elastische Fundamenteinspannung zwischen Fundament und Baugrund ist eine Mindestdrehfedersteifigkeit des Gesamtsystems (*Turm und Gründung*) von  $k_{phi,dyn} = 150\,000\text{ MNm/rad}$  bzw.  $k_{phi,stat} = 15\,000\text{ MNm/rad}$  einzuhalten. Der Ersatzradius für den gleich steifen Kreis ist mit  $r = 11,07\text{ m}$  angegeben.

E-101, 147 m/149 mNH:

Bei einer Pfahlgründung beträgt der Fundamentdurchmesser 24,80 m. Es sind folgende Pfahlvarianten mit den entsprechenden Bemessungswerten der axialen Pfahllasten vorgesehen (*Tabelle 1.2*):

| Variante | Pfahltyp                     | Anzahl Pfähle | Druck (kN) | Zug (kN) |
|----------|------------------------------|---------------|------------|----------|
| 1        | Fertigrammpfähle 45/45 cm    | 72            | 1746       | 260      |
| 2        | Ortbetonrammpfähle d = 51 cm | 60            | 2102       | 319      |
| 3        | Ortbetonrammpfähle d = 56 cm | 42            | 3000       | 459      |
| 4        | Bohrpfähle d = 100 cm        | 26            | 4829       | 798      |

Tabelle 1.2: Pfahlvarianten und Bemessungspfahllasten.

Für die elastische Fundamenteinspannung zwischen Fundament und Baugrund ist eine Mindestdrehfedersteifigkeit des Gesamtsystems (*Turm und Gründung*)



von  $k_{\text{phi,dyn}} = 210\,000 \text{ MNm/rad}$  bzw.  $k_{\text{phi,stat}} = 21\,000 \text{ MNm/rad}$  einzuhalten. Der Ersatzradius für den gleich steifen Kreis ist mit  $r = 12,80 \text{ m}$  angegeben.

Die maximal zulässige Schiefstellung infolge Baugrundsetzung in 20 Jahren bezogen auf den Außendurchmesser beträgt  $\Delta s \leq 40,0 \text{ mm}$ .

Die Fundamentunterkanten werden gegenüber der Typenprüfung planungsseitig soweit wie möglich angehoben. Über die Geländeoberkante herausragende Fundamente sollen Boden angefüllt und überdeckt werden. Die UTM-Koordinaten der Anlagenmittelpunkte wurden den vorliegenden Unterlagen und die Geländehöhen dem Höhenplan vom 14.12.2015 entnommen. In Tabelle 2 sind die Eckdaten der Anlagenstandorte aufgeführt:

| Anlagennummer | Anlagentyp        | Rechtswert   | Hochwert    | Geländehöhe mNN | Fundamentunterkante (mNN) |
|---------------|-------------------|--------------|-------------|-----------------|---------------------------|
| WEA B1        | E-115,<br>135 mNH | 32453242,366 | 5904817,610 | 0,55            | -0,35                     |
| WEA B2        | E-101,<br>149 mNH | 32452483,804 | 5905570,285 | 1,00            | -1,85                     |
| WEA B3        | E-101,<br>149 mNH | 32451676,813 | 5905480,504 | 0,60            | -1,85                     |
| WEA C1        | E-115,<br>135 mNH | 32454390,552 | 5904452,690 | -0,50           | -1,50                     |
| WEA C2        | E-115,<br>135 mNH | 32454254,403 | 5904796,068 | -0,30           | -1,20                     |
| WEA C3        | E-115,<br>135 mNH | 32453829,327 | 5904876,531 | 0,60            | -0,30                     |
| WEA T1        | E-115,<br>135 mNH | 32453655,898 | 5905198,782 | 0,35            | -0,55                     |
| WEA T2        | E-115,<br>135 mNH | 32453164,479 | 5905178,669 | 1,45            | +0,55                     |
| WEA T3        | E-115,<br>135 mNH | 32452918,774 | 5905462,015 | 1,60            | +0,70                     |

Tabelle 2: Anlagentypen, Koordinaten und Geländehöhen.

## II. DURCHGEFÜHRTE UNTERSUCHUNGEN

Die Standortmittelpunkte wurden über den Auftraggeber eingemessen und ausgepflockt. Zur Erkundung der Baugrundverhältnisse wurde vom 11.03. bis 17.03.2015 an jedem Anlagenmittelpunkt eine Bohrsondierung/Rammkernsondierung (WEA B1, RKS 1 bis WEA T 3, RKS 1,  $\varnothing 80 \text{ mm}/60 \text{ mm}$ ) bis jeweils 10,0 m unter Gelände abgeteuft.

An jedem Anlagenstandort wurden durch die Fugro GmbH, Lilienthal, in einem Abstand von ca. 12,0 m vom Mittelpunkt entfernt und in etwa gleichmäßig um den Umfang verteilt vier elektrische Drucksondierungen bis maximal 35,0 m



unter Gelände durchgeführt (*CPT 1 bis CPT 36*). Je Anlagenstandort wurden die Drucksondierungen bis in ausreichend tragfähige, gut mitteldicht bis dicht gelagerte Sande bzw. bis zur Geräteauslastung gefahren.

Je Kranstellfläche (*KAF*) wurden eine Bohrsondierung/Rammkernsondierung (*BS 2K*) und eine Schwere Rammsondierung (*DPH 1K*) bis 5,0 m bzw. eine Drucksondierung bis 10,0 m unter GOK abgeteuft.

Für die Bewertung der geplanten Zuwegungen wurden insgesamt acht Rammkernsondierungen/Kleinbohrungen (*RKS Z 1 bis RKS Z 8*) und fünf schwere Rammsondierungen (*DPH 1 bis DPH 5, gem. DIN EN ISO 22476-2*) jeweils bis 3,0 m bzw. 6,0 m unter Ansatzpunkt abgeteuft. Zusätzlich wurden entlang der Hauptzuwegung zur WEA C1 und WEA C2 drei Drucksondierungen bis 7,0 m unter GOK ausgeführt.

Ein Übersichtslageplan mit den Sondierungen ist in Anlage 1 dargestellt.

Die Bodenprofile wurden entsprechend DIN EN ISO 14688-1/2 ingenieurgeologisch vor Ort angesprochen und in Schichtenverzeichnissen aufgenommen. Die Ergebnisse sind in Anlage 2.1-2.20 als Bohrprofile nach DIN 4023 zusammen mit den Drucksondierdiagrammen (*CPT nach DIN 4094*) bzw. den Rammdiagrammen (*DPH gem. DIN EN ISO 22476-2*) dargestellt.

Aus den Sondierbohrungen wurden Bodenproben entnommen. An insgesamt vier repräsentativ ausgewählten Bodenproben der Anlagenstandorte aus den gründungsrelevanten Sanden wurden die Körnungslinien nach DIN 18123 durch Siebanalyse nach nassem Abtrennen der Feinanteile ermittelt (*Anlage 4*).

Im Windpark besteht die Grundwassermessstelle GWS 4. Aus diesem Brunnen sowie aus einem temporären Grundwasserpegel der Bohrung an der WEA C1 wurden Grundwasserproben entnommen und im Labor auf ihren Angriffsgrad nach DIN 4030 analysiert (*Anlage 6*).

Der Nachweis der äußeren Pfahltragfähigkeit ist als Anlage 5.1-5.11 beigelegt.

Hydrologische Berechnungen liegen in Anlage 7.1-7.9 vor.

### III. BODEN- UND GRUNDWASSERVERHÄLTNISSE

#### 1. Boden

Nach der Kartenserie Geologie vom Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (*LBEG*), Maßstab 1 : 500 000 und 1 : 50 000, sind im Untersuchungsgebiet quartäre Ablagerungen zu erwarten. Sie bestehen oberflächennah zunächst aus holozänem Torf und Klei bzw. Brackwasserablagerungen. Darunter stehen glazifluviatile, drenthezeitliche Sande an.

Das Gelände ist in etwa eben und liegt mit einer Höhe von ca. 0,50 mNN bis 1,00 m flach.

Die Anlagenstandorte WEA T1 und WEA T3 befinden sich in einem aktiven Torfabbauereich. Ansonsten wird das Gelände als Grünland genutzt.



Die Tragfähigkeit von nicht bindigen Böden (*Sande, Kiese*) kann aufgrund ihrer Lagerungsdichte bestimmt werden. Die Bewertung kann gem. Normen-Handbuch Eurocode 7, 2011, Band 2, Anhang D, Tabelle D.1 wie folgt vorgenommen werden:

| Bezogene Lagerungsdichte | Spitzenwiderstand (qc)<br>(aus CPT) MN/m <sup>2</sup> | Wirksamer Reibungswinkel ( $\varphi'$ ) |
|--------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| sehr locker              | 0,0 bis 2,5                                           | 29 bis 32                               |
| locker                   | 2,5 bis 5,0                                           | 32 bis 35                               |
| mitteldicht              | 5,0 bis 10,0                                          | 35 bis 37                               |
| dicht                    | 10,0 bis 20,0                                         | 37 bis 40                               |
| sehr dicht               | > 20,0                                                | 40 bis 42                               |

Nach den vorliegenden Bohrprofilen und den Drucksondierdiagrammen kann die grundsätzliche Bodenschichtung an den geplanten Anlagenstandorten wie folgt zusammengefasst werden (*vgl. Tabelle 3*):

| Tiefe (bis m u. GOK min./max.) | Mächtigkeit (m) | Bodenschicht (Spitzendruck qc in MN/m <sup>2</sup> )                                                 | nicht bindig/ bindig  | Baugrundeigenschaften |
|--------------------------------|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 4,00/7,00                      | 4,00-7,00       | Torf und Klei (< 1)                                                                                  | organisch oder bindig | nicht geeignet        |
| > 35,00                        | > 30,0          | Sand, überwiegend mitteldicht bis dicht (> 10->25)<br>einzelne Auflockerungszonen mit qc = 5 möglich | nicht bindig          | gut bis sehr gut      |

Tabelle 3: Generelle Bodenschichtung an den Anlagenstandorten.

Im gesamten Windpark stehen unter flächendeckenden organischen Böden aus Torf sowie unter Kleiböden überwiegend gut mitteldicht bis dicht gelagerte Sande.

Die Drucksondierungen reichen bis maximal 35,0 m unter GOK. In tieferen Profilabschnitten (> 10,0 m unter GOK) wurden keine unkonsolidierten Weichschichten wie Auesedimente oder humose Böden wie Torf bzw. Mudde erbohrt. Der tiefere Baugrund besteht grundsätzlich aus dicht gelagerten Sanden. Der Baugrund ist entsprechend Enercon-Spezifikation ausreichend tief erkundet.

### Zuwegungen und Kranstellflächen

Die erbohrten Bodenprofile an den Zuwegungen und den Kranstellflächen können bis 10,0 m unter Geländeoberkante (GOK) wie folgt beschrieben und bewertet werden:



#### *Torf und Klei:*

- Petrographie: Torf, schwach bis mäßig zersetzt. Klei = Schluff, schwach tonig schwach torfig bis torfig.
- Farbe: Torf = dunkelbraun bis schwarz. Klei = grau.
- bis Meter unter Gelände (min./max.): 4,00/7,00.
- Mächtigkeit: 4,00 m bis 7,00.
- Lagerungsdichte/Konsistenz: sehr locker/sehr weich bis breiig.
- Baugrundeigenschaften: nicht geeignet.

#### *künstliche Anfüllungen, vorhandene Wegebefestigungen, Z 3 bis Z5, CPT W 1 bis W 3:*

- Petrographie: Sand, steinig.
- Farbe: grau, graubeige.
- bis Meter unter Gelände (min./max.): 0,60/0,65.
- Mächtigkeit: 0,60 m bis 0,60 m.
- Lagerungsdichte: mitteldicht.
- Baugrundeigenschaften: grundsätzlich geeignet.

#### *Sand (tieferer Untergrund):*

- Petrographie: überwiegend Feinsand, mittelsandig.
- Farbe: grau.
- bis Meter unter Gelände (min./max.): > maximale Aufschlusstiefe von 6,0 m bzw. 7,0 m unter GOK.
- Mächtigkeit: > 5,0 m.
- Lagerungsdichte: mitteldicht.
- Baugrundeigenschaften: gut.

## 2. Grundwasser

Bei den Bohrarbeiten im März 2015 wurde Grundwasser an den Anlagenstandorten je nach lokaler Wasserwegsamkeit zwischen 0,50 m und 1,80 m unter GOK angetroffen. Alle Bodenschichten waren stark wassergesättigt und nass bzw. die Kleiböden wiesen eine breiige Konsistenz auf. Bis zur Sondierendtiefe von 10,0 m waren die Sande Wasser führend und nass. Dabei handelt sich um einen größeren, zusammenhängenden Grundwasserkörper.

Nach den hydrologischen Kartenunterlagen ist die Grundwasseroberfläche etwa bei > 0,00 mNN bzw. 1,00 mNN zu erwarten. Dies entspricht Grundwasserständen nahe der Geländeoberkante. Die gemessenen Wasserstände korrespondieren gut mit den Angaben in den Kartenunterlagen.

Die Gründungstiefen der geplanten WEA betragen je nach festgelegter Gründungstiefe zwischen 0,90 m und 2,85 m unter Gelände. Die Fundamente stehen voraussichtlich ständig unter Grundwassereinfluss. An allen Standorten ist daher die auftriebssichere Fundamentvariante erforderlich.



### 3. Erdbebenzone

Der Landkreis Wesermarsch befindet sich nach DIN 4149 in der Erdbebenzone A. Seismische Aktivitäten und daraus folgende Einwirkungen auf Gebäude sind in diesem Bereich nicht zu erwarten und werden daher für die weiteren Ausführungen nicht berücksichtigt.

### 4. Körnungsanalysen

Zur Überprüfung der Bodenansprache am Bohrkern und zur Klassifizierung der anstehenden Böden, wurden an vier repräsentativ ausgewählten Bodenproben der gründungsrelevanten Sande die Körnungslinien nach DIN 18123 ermittelt.

Aus den Körnungslinien wurden nach der Labormethode „Sieblinienauswertung“ die  $k_f$ -Werte nach HAZEN bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

| Standort, Sondierung, Probennummer | Entnahmetiefe (m u. GOK) | Anteil < 0,063 mm | Bezeichnung                                     | $k_f$ -Wert (HAZEN) (m/s) |
|------------------------------------|--------------------------|-------------------|-------------------------------------------------|---------------------------|
| WEA B1, RKS 1, B1-4                | 4,40-6,00                | 2,4               | Feinsand, stark mittelsandig                    | $7,6 \times 10^{-5}$      |
| WEA B3, RKS 1, B3-4                | 4,50-6,00                | 2,7               | Feinsand, stark mittelsandig, schwach schluffig | $6,2 \times 10^{-5}$      |
| WEA C2, RKS 1, C2-4                | 5,30-7,00                | 2,2               | Feinsand, stark mittelsandig                    | $7,9 \times 10^{-5}$      |
| WEA T3, RKS 1, T3-3                | 6,80-8,00                | 2,5               | Feinsand, stark mittelsandig                    | $7,1 \times 10^{-5}$      |

n. b. = nicht bestimmt, i. M. = im Mittel.

Tabelle 4: Ergebnisse der Körnungsanalysen.

Nach DIN 18130 werden in Abhängigkeit vom Durchlässigkeitsbeiwert ( $k_f$ -Wert) folgende Durchlässigkeitsbereiche unterschieden (Tabelle 5):

| $k_f$ -Wert (m/s)            | Bereich                  |
|------------------------------|--------------------------|
| unter $10^{-8}$              | sehr schwach durchlässig |
| $10^{-8}$ bis $10^{-6}$      | schwach durchlässig      |
| über $10^{-6}$ bis $10^{-4}$ | durchlässig              |
| über $10^{-4}$ bis $10^{-2}$ | stark durchlässig        |
| über $10^{-2}$               | sehr stark durchlässig   |

Tabelle 5: Durchlässigkeitsbereiche nach DIN 18130.

Die anstehenden Sande sind mit einem mittleren  $k_f$ -Wert von  $7,2 \times 10^{-5}$  m/s, durchlässig.

Für die oberen Torfe kann der Durchlässigkeitsbeiwert mit  $k_f < 1,0 \times 10^{-5}$  m/s und für die Kleiböden mit  $k_f \approx 1,0 \times 10^{-7}$  m/s abgeschätzt angegeben werden. Der Torf ist mäßig durchlässig und der Klei ist schwach durchlässig.



## 5. Bodenklassifizierung nach DIN 18300: 2002/DIN 18196

Für die Ausschreibung der Erdarbeiten können die angetroffenen Bodenarten wie folgt klassifiziert werden (vgl. Tabelle 6):

| Bezeichnung                                  | Bodenklasse nach DIN 18300: 2002                                                  | Bodengruppe nach DIN 18196 |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Torf, schwach bis mäßig zersetzt, sandig     | 2                                                                                 | HN, HZ                     |
| Klei: Schluff, schwach tonig, schwach torfig | 4,<br>bei starker Vernässung und dynamischer Beanspruchung in Klasse 2 übergehend | UM, UA                     |
| Pleistozäner Sand: Feinsand, mittelsandig    | 3                                                                                 | SE, SW                     |

Tabelle 6: Bodenklassifizierung nach DIN 18300: 2002/DIN 18196.

## 6. Bodenkennwerte

Die Bodenkennwerte wurden nach der Bodenansprache und den durchgeführten klassifizierenden Laborversuchen (*Körnungsanalysen*) zugewiesen. Danach können in Anlehnung an TÜRKE (1998), EAU (2012) und eigenen Erfahrungswerten die in Tabelle 7 aufgeführten statischen und dynamischen Bodenkennwerte bei erdstatischen Berechnungen zugrunde gelegt werden.

| Bezeichnung                                   | Boden-<br>gruppe<br><br>DIN<br>18196 | Konsistenz/<br>Lagerungs-<br>dichte | Wichte<br>erdfeucht/<br>unter Auf-<br>trieb<br>cal $\gamma$ / cal $\gamma'$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | Reibungs-<br>winkel<br><br>cal $\phi$<br>[°] | Kohäsion<br><br>cal-c'<br>kN/m <sup>2</sup> | Steife-<br>modul<br>statisch/<br>dynamisch<br>E <sub>s</sub><br>[MN/m <sup>2</sup> ] | Poisson-<br>zahl (-) |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Bodenaustausch zur Baugrundverbesserung: Sand | SE, SW                               | -/mitteldicht                       | 18/10                                                                                               | 35                                           | 0                                           | 40-60/160-180                                                                        | 0,35                 |
| Torf, schwach bis mäßig zersetzt              | HN, HZ                               | weich/-                             | 11/1                                                                                                | 15                                           | 0-5                                         | 0,4-0,6/-                                                                            | -                    |
| Klei, Schluff, schwach tonig, schwach torfig  | UM, UA                               | weich-breigig / -                   | 16-17/6-7                                                                                           | 20                                           | 0-5                                         | 0,5-3/5-30                                                                           | 0,45                 |
| pleistozäner Sand, Feinsand, mittelsandig     | SE, SW                               | locker                              | 17/9                                                                                                | 32,5                                         | 0                                           | 20-30/110-150                                                                        | 0,35                 |
|                                               |                                      | mitteldicht                         | 18/10                                                                                               | 35                                           | 0                                           | 50-80/180-280                                                                        | 0,32-0,35            |
|                                               |                                      | dicht                               | 19/11                                                                                               | 37,5                                         | 0                                           | 80-120/280-350                                                                       | 0,30-0,32            |

Tabelle 7: Bodenkennwerte in Anlehnung an TÜRKE (1998), EAU (1997), Grundbau Taschenbuch, Ergebnissen der Drucksondierungen und eigenen Erfahrungswerten.

Die dynamischen Bodenkennwerte für die Berechnung der Drehfedersteifigkeit des Baugrundes wurden nach den Ergebnissen der statischen Baugrunduntersuchung in Anlehnung an das Grundbau Taschenbuch abgeschätzt.



## IV. GRÜNDUNGEN

### 1. Geotechnische Kategorie

Bei der Baugrunduntersuchung wurden weiche organogene Böden (*Torf*) in größerer Mächtigkeit angetroffen (*Geotechnische Kategorie GK 3 in Anlehnung an DIN 4020*). Die freie Grundwasseroberfläche liegt oberhalb der Gründungssohle.

Bei Windenergieanlagen handelt es sich um Bauwerke mit hohen und dynamischen Lasten, hohem Sicherheitsanspruch und ungewöhnlichen Lastkombinationen (*Geotechnische Kategorie GK 3 in Anlehnung an DIN 4020*).

### 2. Auswertung und Bewertung

Die Gründungsebenen der geplanten Windenergieanlagen befinden sich nach den vorliegenden aktuellen Unterlagen in einer Tiefe von 0,90 m bzw. 2,85 m unter Geländeoberkante (*GOK*).

Die oberen Torfe und der Klei sind nicht tragfähig. Sie reichen bis in Tiefen von 4,00 m bzw. 7,00 m unter *GOK*. Darunter stehen an allen Standorten gut tragfähige, mitteldicht gelagerte Sandböden an.

Um den Eingriff in den Untergrund und die Maßnahmen für die Wasserhaltung zu minimieren, soll für alle Standorte eine Pfahlgründung ausgeführt werden.

Laut Fundamentdatenblatt der E-115, 135 mNH und E-101, 149 mNH sind für eine Pfahlgründung entweder Fertigbetonrammpfähle mit quadratischem Querschnitt und einer Seitenlänge von 45 cm oder Ortbetonrammpfähle mit geradem Schaft und einem Durchmesser  $d = 51$  cm bzw.  $d = 56$  cm oder Bohrpfähle  $d = 100$  cm vorgesehen.

Nach den vorliegenden Erfahrungen sind Fertigrammpfähle in den anstehenden Böden gut geeignet und wirtschaftlich ausführbar. Die rechnerische Pfahlbemessung erfolgt daher zunächst nur für dieses Pfahlsystem. Bei Bedarf können die entsprechenden Nachweise auch für die übrigen Pfahlarten geführt werden.

Der Nachweis erfolgt mit den nachfolgend angegebenen Bemessungswerte der Pfahllasten nach EA-Pfähle, 2012:

E-115, 135 mNH:

Fertigrammpfähle,  $a/b = 45/45$  cm      Druck  $D = 2097$  kN      Zug  $Z = 375$  kN  
und

E-101, 149 mNH:

Fertigrammpfähle,  $a/b = 45/45$  cm      Druck  $D = 1746$  kN      Zug  $Z = 260$  kN

Die Pfähle sollten nicht in oder kurz oberhalb von bindigen Böden oder Auflockerungszonen abgesetzt werden. Unter Beachtung einer ausreichenden Einbindelänge, der Durchstanzsicherheit und der Teilsicherheitsbeiwerte ergeben sich folgende Pfahlabsetztiefen (*Tabelle 8*):



| Standort | Anlagentyp     | Fertigrampfpfahl 45/45 |
|----------|----------------|------------------------|
| WEA B1   | E-115, 135 mNH | 12,50                  |
| WEA B2   | E-101, 149 mNH | 14,50                  |
| WEA B3   | E-101, 149 mNH | 12,50                  |
| WEA C1   | E-115, 135 mNH | 13,00                  |
| WEA C2   | E-115, 135 mNH | 15,50                  |
| WEA C3   | E-115, 135 mNH | 17,00                  |
| WEA T1   | E-115, 135 mNH | 22,00                  |
| WEA T2   | E-115, 135 mNH | 18,50                  |
| WEA T3   | E-115, 135 mNH | 18,00                  |

Tabelle 8: Rechnerisch ermittelte Pfahlabssetztiefen (*m u. GOK*) für Fertigrampfpfähle.

Der rechnerische Nachweis der äußeren Pfahltragfähigkeit liegt als Anlage 5.1-5.11 bei.

### 3. Hinweise zur Pfahlgründung

Die genannten zulässigen Belastungen gelten für einfache Rampfpfähle nach DIN 1054.

Nach den vorliegenden statischen Unterlagen liegt die Fundamentunterkante bei ca. 0,90 m bzw. 2,85 m u. GOK. Die Pfahlköpfe binden in die Fundamentplatte ein. Außerdem werden die Pfähle unter einer Neigung eingebracht. Bei der Berechnung der zulässigen Pfahlbelastungen wurde die Pfahlfußtiefe angegeben. Für die tatsächlichen erforderlichen Pfahllängen ist die Tiefenlage der Fundamentunterkante, die Einbindelängen der Pfähle in die Fundamentplatte und die Neigung der Pfähle noch zu berücksichtigen. Die von uns angegebenen Abssetztiefen beziehen sich auf

Geländeoberkante = Oberkante Drucksondierung.

Beim Rammen sind Rammprotokolle zu führen, die an den Bodengutachter zur Prüfung zu überstellen sind.

## V. KRANAUFSTELLFLÄCHEN UND ZUWEGUNGEN

### 1. Zuwegung und Vormontagefläche

Nach den vorliegenden Ergebnissen der Baugrunderkundungen entlang der Zuwegungen stehen bis 4,0 m bzw. 5,3 m unter GOK nicht tragfähige Torf- und Kleiböden an. Darunter folgen tragfähige Sande.

Ein Bodenaustausch der Torfböden im Schutze einer Wasserhaltung und ein anschließender standardisierter Wegeaufbau ist wegen der großen Mächtigkeit der Torfe und des setzungsempfindlichen Umfeldes unter wirtschaftlichen Aspekten kaum möglich. Daher wird ein Wegeaufbau auf dem bestehenden Geländeniveau vorgeschlagen, der wie folgt ausgeführt werden kann:



- Aufbau auf der Grasnarbe
- Verlegen eine hochzugfesten, kombinierten Geogitters mit Geovlies (z. B. *Naue Combigrid 40/40 Q1 GRK 4C*, oder vergleichbar),
- Einbau 30 cm Schotter 0/45 (*Mineralgemisch oder güteüberwacher RC-Schotter*),
- Verlegen eines Geogitter (z. B. *Naue Secugrid 30/30 Q1*, oder vergleichbar)
- Einbau 35 cm Schotter 0/45 oder 0/32 (*Mineralgemisch oder güteüberwacher RC-Schotter*).

An den bestehenden Wegen wurde eine Befestigung aus Sand in einer Stärke von 0,60 m bzw. 0,65 m festgestellt, der wegen der darunter anstehenden mächtigen Weichschichten voraussichtlich zur Aufnahme der Lasten aus dem Baustellenverkehr nicht ausreichend tragfähig ist. Zur Ertüchtigung des Aufbaus wird auch hier ein zusätzliches Geogitter und eine 0,30 m mächtige Schottertragschicht vorgeschlagen.

Auf das Merkblatt für die Anwendung von Geotextilien und Geogittern im Erdbau des Straßenbaus wird verwiesen.

Baubegleitend sind Lastplattendruckversuche zu empfehlen. Auf der Oberkante sind  $E_{v2} \geq 100 \text{ MN/m}^2$  anzustreben. In Abhängigkeit von den tatsächlichen Ergebnissen können Ergänzende Maßnahmen (z. B. *Erhöhung des Aufbaus*) erforderlich werden.

Wegen im Untergrund verbleibenden, humosen Weichschichten kann es durch die dynamischen Belastungen des Schwerverkehrs zu Setzungen und Sackungen kommen, die bauzeitlich ausgebessert werden müssen.

## 2. Kranstellflächen

Die Kranaufstellflächen befinden sich auf bisher unbefestigten Flächen mit 4,00 m bis 7,00 m mächtiger, nicht tragfähiger Torf- und Kleiauflage. Darunter folgen gut tragfähige Sande.

Ein Bodenaustausch im Schutze einer Wasserhaltung wäre eine sichere und setzungsarme Gründungsvariante. Wegen der großen Fläche und Austauschmchtigkeiten ist dies wahrscheinlich aber unwirtschaftlich.

Eine Befestigung auf den humosen Weichschichten ist bei den zu erwartenden hohen Kranlasten zu riskant und daher nicht möglich.

Für die Aufstellung des Krans wird eine Pfahlgründung empfohlen.

Die Pfahlanordnung, die Pfahllängen und die Pfahlanzahl sind vom ausgewählten Krantyp und von den Kranlasten abhängig. Eine Bemessung ist erst nach Vorlage der Krandaten sinnvoll.



Um den hohen Belastungen des Anlieferungsverkehrs und Zwischenlagerung von Anlagenteilen auch im Bereich der Kranstellflächen gerecht zu werden, wird für die Befestigung folgender Aufbau vorgeschlagen:

- Aufbau auf der Grasnarbe
- Verlegen eine hochzugfesten, kombinierten Geogitters mit Geovlies (z. B. *Naue Combigrid 40/40 Q1 GRK 4C, oder vergleichbar*),
- Einbau 30 cm Schotter 0/32 bis 0/63 (*Mineralgemisch oder güteüberwachter RC-Schotter*),
- Verlegen einer 2. Lage Geogitter (z. B. *Naue Secugrid 30/30 Q1, oder vergleichbar*),
- Einbau 30 cm Schotter 0/32 bis 0/63 (*Mineralgemisch oder güteüberwachter RC-Schotter*),
- Verlegen einer 3. Lage Geogitter (z. B. *Naue Secugrid 30/30 Q1, oder vergleichbar*),
- Einbau 35 cm Schotter 0/32 bis 0/63 (*Mineralgemisch oder güteüberwachter RC-Schotter*),

## VI. HINWEISE ZUR BAUAUSFÜHRUNG

### 1. Baugrube, Böschungen

Für den Aushub der Baugruben gilt DIN 4124. In den oberflächennah anstehenden Torfen können die Böschungen mit maximal 30-45° geneigt hergestellt werden. Die Stabilität der Böschungen in den Torfböden ist allerdings im Vorfeld nicht sicher abzuschätzen. Ggf. handelt es sich um fließende Böden, die beim Aushub keine standsichere Böschung bilden. Dann müssten die Böschungen deutlich abgeflacht werden, oder zusätzliche Stabilisierungsmaßnahmen (z. B. *Böschungsverbau, Entwässerung durch Vakuumfilter o. ä.*) können notwendig werden.

Aktuell ist die Tiefe der Fundamentunterkanten mit 0,90 m bzw. 2,85 m unter Gelände vorgesehen. Für den Einbau der ca. 0,50 m mächtigen Stabilisierungsschichten und der 0,25 m mächtigen bewehrten Hilfssohle sind Baugruben bis 1,65 m bzw. 3,60 m erforderlich. Der Fundamentdurchmesser beträgt  $d = 21,50$  m (E-115, 135 mNH) bzw.  $d = 24,80$  m (E-101, 149 mNH). Unter Berücksichtigung des ca. 1,0 m breiten Arbeitsraumes und einer Böschung und 45° ergeben sich Baugrubendurchmesser zwischen ca.  $D = 25,0$  m und  $D = 30,0$  m.

### 2. Wasserhaltung, hydraulische Berechnung

Grundwasser wurde bereits geländenah ab Tiefen von 0,50 m bzw. 1,80 m unter Geländeoberkante angetroffen.

Die Sande und ggf. auch der Torf neigen beim Anschnitt im wassergesättigtem Zustand zum Fließen. Ein Bodenaushub unterhalb des Grundwasserspiegels



kann daher nur im Schutze einer Wasserhaltung ausgeführt werden. Dazu ist eine geschlossene Wasserhaltung, z. B. über Tiefendränagen (*HORI-Dränage*) oder Vakuumfilter erforderlich. Falls der Wasserandrang sehr hoch oder stark verzögert ist, müssen z. B. auch Vakuumfilter und Tiefendränage kombiniert oder durch Tiefbrunnen ergänzt werden. Die Grundwasserabsenkung muss bis mindestens 0,50 m unter Aushubsohle erfolgen.

Für die Grundwasserabsenkung ist eine wasserrechtliche Erlaubnis bei der zuständigen unteren Wasserbehörde erforderlich. Mit der Behörde sind die notwendigen Grundwasseranalysen abzustimmen. Für eine geeignete Vorflut ist zu sorgen. Es ist eine ausreichende Vorlaufzeit, die zur Entwässerung der Torfe auch 1-2 Wochen betragen kann, zu berücksichtigen.

Die hydraulischen Berechnungen mit einem mittleren kf-Wert von  $7,2 \times 10^{-5}$  m/s liegen in Anlage 9.1-9.9 bei. Die für die Berechnungen angenommenen Kenndaten sowie die ermittelten Reichweiten und Wassermengen sind in Tabelle 9 zusammengefasst dargestellt. Für die Ermittlung der Gesamtmenge wurde eine Laufzeit von jeweils vier Wochen veranschlagt.

| Standort                       | B1                   | B2                   | B3                   | C1                   | C2                   | C3                   | T1                   | T2                   | T3                   |
|--------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Typ                            | E-115                | E-101                | E101                 | E-115                | E-115                | E-115                | E-115                | E-115                | E-115                |
| Geländehöhe GOK (mNN)          | +0,55                | +1,00                | +0,60                | -0,50                | -0,30                | +0,60                | +0,35                | +1,45                | +1,60                |
| UKF (mNN)                      | -0,35                | -1,85                | -1,85                | -1,50                | -1,20                | -0,30                | -0,55                | +0,55                | +0,70                |
| Baugrubensohle (mNN)           | -1,10                | -2,60                | -2,60                | -2,25                | -1,95                | -1,05                | -1,30                | -0,20                | -0,05                |
| GW (m u. GOK)                  | 1,10                 | 1,00                 | 1,20                 | 1,50                 | 0,60                 | 0,50                 | 0,60                 | 1,50                 | 1,80                 |
| GW (mNN)                       | -0,55                | 0,00                 | -0,60                | -2,00                | -0,90                | 0,10                 | -0,25                | -0,05                | -0,20                |
| Absenktiefe (mNN)              | -1,60                | -3,10                | -2,60                | -2,75                | -2,45                | -1,55                | -1,80                | -1,00                | -1,50                |
| Absenkbetrag "s" (m)           | 1,05                 | 3,10                 | 2,50                 | 0,75                 | 1,55                 | 1,65                 | 1,55                 | 0,95                 | 1,30                 |
| Ø Fundament (m)                | 21,50                | 24,80                | 24,80                | 21,50                | 21,50                | 21,50                | 21,50                | 21,50                | 21,50                |
| ca. Ø Baugrube (m)             | 25,0                 | 30,0                 | 30,0                 | 25,0                 | 25,0                 | 25,0                 | 25,0                 | 25,0                 | 25,0                 |
| kf (m/s)                       | $7,2 \times 10^{-5}$ |
| Methode                        | Vakuum               |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |
| Q (m <sup>3</sup> /h)          | 18,8                 | 29,5                 | 26,2                 | 24,8                 | 19,5                 | 19,5                 | 19,9                 | 19,7                 | 23,0                 |
| Q (m <sup>3</sup> /d)          | 451                  | 708                  | 629                  | 585                  | 468                  | 458                  | 478                  | 473                  | 552                  |
| ca. Q gesamt (m <sup>3</sup> ) | 12 628               | 19 824               | 17 612               | 16 380               | 13 104               | 12 824               | 13 384               | 13 244               | 15 456               |
| ca. Reichweite R (m)           | 27                   | 45                   | 50                   | 20                   | 40                   | 42                   | 40                   | 24                   | 33                   |

GOK: Geländeoberkante; UKF: Unterkante Fundament; GW: Grundwasser; D: Durchmesser; Q: Wassermenge.

Tabelle 9: Kenndaten der hydraulischen Berechnungen und ermittelte Wassermengen.



Die angegebenen Wassermengen dienen der ersten Kalkulation. Die tatsächlich anfallenden Wassermengen können aufgrund ggf. abweichender natürlicher Verhältnisse von den mit vereinfachten Modellannahmen rechnerisch ermittelten Werten deutlich nach oben oder unten abweichen.

Die Reichweite „R“, also die Entfernung von der Wasserentnahmeposition bis zu der Stelle an der ein Einfluss auf den Grundwasserstand praktisch nicht mehr nachweisbar ist, wurde nach der SICHARDT-Formel  $R = 3000 \times s \sqrt{kf}$  ermittelt. Wir sind davon ausgegangen, dass es sich bei den ermittelten Wasserständen um den entspannten Ruhewasserspiegel handelt.

Die Reichweite „R“ ist eine in der Literatur viel diskutierte und umstrittene Größe, die von einer Vielzahl von Faktoren, wie z. B. Inhomogenität des Untergrundes, Baugrundsichtung, Grundwassergefälle, Grundwasserneubildung, Dauer der Grundwasserhaltung o. a., beeinflusst wird.

Bei den vorliegenden hydraulischen Berechnungen hat die ermittelte Reichweite nur Bedeutung für die Berechnung des Volumenstromes und steht als Argument im Logarithmus. Dies rechtfertigt die Verwendung der empirischen Näherungsformel nach SICHARDT.

Die bei der Wasserhaltung resultierenden tatsächlichen Reichweiten können von den rechnerisch ermittelten Werten abweichen. Zur genaueren Ermittlung der Reichweite wären im Baufeld Pumpversuche mit Grundwasserbeobachtungspegeln in gestaffelten Entfernungen erforderlich.

### 3. Fundamentüberdeckung, Wiederverwendung Bodenaushub, Verdichtungsanforderungen

Die Anfüllungen auf dem Fundamentsporn und die Arbeitsraumverfüllungen müssen eine Wichte von  $18 \text{ kN/m}^3$  im Trockenzustand erreichen bzw. überschreiten.

Die beim Fundamentaushub anfallenden Torfe und der Klei sind nicht verdichtungsfähig und können für die Anfüllungen auf dem Fundamentsporn und für die Arbeitsraumverfüllungen nicht wieder verwendet werden. Entsprechende grobkörnige, verdichtungsfähige Austauschböden (z. B. SE, SW, gem. DIN 18196) sind vorzuhalten.

Um die geforderte Wichte zu erreichen, sind der Bodenaustausch sowie die Anfüllungen auf dem Fundamentsporn und die Arbeitsraumverfüllungen lagenweise ( $d = \text{max. } 0,30 \text{ m}$ ) mit einem geeigneten Verdichtungsgerät (z. B. Flächenrüttler) und mindestens drei bis fünf Übergängen je Lage gleichmäßig verdichtet einzubauen.

Für die Verdichtungsarbeiten gelten die Anforderungen der ZTVE-StB 2009. Die ausreichende Verdichtung der eingebrachten Böden (Gründungspolster, Arbeitsraumverfüllungen, Bodenaustausch) kann z. B. durch Rammsondierungen (z. B. DPH, gem. DIN EN ISO 22476-2) oder durch statische Lastplattendruckversuche (LPD nach DIN 18134) nachgewiesen werden. Dabei sind folgende Anforderungen zu erfüllen:



DPH ohne Grundwasser: mindestens 8 Schläge je 10 cm Eindringtiefe

DPH mit Grundwasser: mindestens 5 Schläge je 10 cm Eindringtiefe

LPD, auf Sand:  $E_{v2} \geq 80 \text{ MN/m}^2$ ,  $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,30$

Schottertragschichten im Bereich der Kranstellflächen, unterhalb der Fundamente und des Wegebaus (*Mineralgemisch 0/45*) sind mit einer Verdichtung auf mindestens 100 % der einfachen Proctordichte herzustellen. Zum Verdichtungsnachweis sind im statischen Lastplattendruckversuch (*DIN 18134*)

$E_{v2} \geq 100 \text{ MN/m}^2$  bei  $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,20$  zu erreichen.

Der Verdichtungserfolg ist durch den ausführenden Unternehmer im Rahmen der Erdbaukontrollprüfungen nachzuweisen und durch die Auftraggeberseite zu kontrollieren.

#### 4. Betonaggressivität des Grundwassers

Aus einem provisorischen Grundwasserpegel (*WEA C1*) sowie aus einem Grundwassermesspegel (*GWS 4*) wurden Grundwasserproben entnommen und jeweils im Labor auf ihren chemischen Angriffsgrad analysiert.

Aufgrund des Gehaltes an kalklösender Kohlensäure von 15 mg/l ist das Grundwasser der *GWS 4* der Expositionsklasse *XA1* nach *DIN 1014* (*schwach betonangreifend nach DIN 4030*) zuzuordnen. Das Grundwasser der *WEA C1* ist nicht betonangreifend ( $< XA1$ ).

Die Betonbemessung für *XA1* für alle Standorte ist zu empfehlen.

Es wurden Gesamteisengehalte zwischen 5,3 mg/l und 16 mg/l ermittelt.

Die vollständigen Analysenergebnisse liegen in Anlage 8 bei.

#### 5. Frischbetoneigengewicht

Die in den Baugrubensohlen anstehenden weichen oder breiigen Kleiböden sind nicht in der Lage, das Frischbetoneigengewicht aufnehmen zu können.

Zur Stabilisierung ist ein mindestens 0,50 m mächtiges Sandpolster (*SE, SW, gem. DIN 18196*) bzw. 0,30 m mächtiges Schotterpolster (*RC-Schotter 0/45 oder 0/32*) jeweils mit Geovlies (*GRK 3*) an der Basis vorzusehen. Bei der Verdichtung muss die Tiefenwirkung des Verdichtungsgerätes auf die Höhe des eingebauten Polstermaterials begrenzt werden, damit der empfindliche Untergrund nicht gestört wird.

Zusätzliche ist eine bewehrte Sauberkeitsschicht als Hilfssohle einzubauen.

Das Fundament sollte in mehreren Abschnitte betoniert werden, wobei der erste Abschnitt eine Bodenpressung von  $\sigma = 25 \text{ kN/m}^2$  nicht überschreitet.



**VII. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSWORT**

Im Windpark Ovelgönne sollen insgesamt neun Windenergieanlagen errichtet werden. Zwei Anlagen davon sind vom Typ Enercon E-101 mit einer Nabenhöhe von 149 m bzw. Turmhöhe von 147 m (*WEA B2 und WEA B3*) und sieben vom Typ Enercon E-115 mit einer Nabenhöhe von 135 m bzw. Turmhöhe von 133 m vorgesehen.

Im gesamten Windpark stehen unter flächendeckenden organischen Böden aus Torf sowie unter Kleiböden überwiegend gut mitteldicht bis dicht gelagerte Sande. Die Baugrundverhältnisse können in die Geotechnische Kategorie GK 3 in Anlehnung an DIN 4020 eingeordnet werden.

Im März 2015 wurde Grundwasser je nach lokaler Wasserwegsamkeit zwischen 0,50 m und 1,80 m unter GOK angetroffen. Alle Bodenschichten waren stark wassergesättigt und nass bzw. die Kleiböden wiesen eine breiige Konsistenz auf. Bis zur Sondierendtiefe von 10,0 m waren die Sande wasserführend und nass. Dabei handelt sich um einen größeren, zusammenhängenden Grundwasserkörper. An allen Standorten ist daher die auftriebssichere Fundamentvariante erforderlich.

Für die Gründung der Anlagen ist ein Bodenaustausch oder eine Pfahlgründung erforderlich. Die Entscheidung richtet sich nach den wirtschaftlichen Erwägungen. Die Gründungsempfehlungen für die Standorte können wie folgt zusammengefasst werden (*Tabelle 10*):

| Standort | Anlagentyp   | Gründungstiefe (m u. GOK) | Aushubtiefe (m u. GOK) | Gründungsempfehlung                                                     |
|----------|--------------|---------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| WEA B1   | E-115, 135 m | 3,30                      | 5,00                   | FmA; + BA                                                               |
| WEA B2   | E-101, 149 m | 3,65                      | 3,75 + 0,50 STS = 4,25 | Pfahlgründung; Stabilisierung Baugrubensohle; Betonieren in Abschnitten |
| WEA B3   | E-101, 149 m | 3,65                      | 4,50/5,30              | FmA; + BA                                                               |
| WEA C1   | E-115, 135 m | 3,30                      | 3,40 + 0,50 STS = 3,90 | Pfahlgründung; Stabilisierung Baugrubensohle; Betonieren in Abschnitten |
| WEA C2   | E-115, 135 m | 3,30                      | 4,90/5,30              | FmA; + BA                                                               |
| WEA C3   | E-115, 135 m | 3,30                      | 3,40 + 0,50 STS = 3,90 | Pfahlgründung; Stabilisierung Baugrubensohle; Betonieren in Abschnitten |
| WEA T1   | E-115, 135 m | 3,30                      | 5,00/5,70              | FmA; + BA                                                               |
| WEA T2   | E-115, 135 m | 3,30                      | 3,40+ 0,50 STS = 3,90  | Pfahlgründung; Stabilisierung Baugrubensohle; Betonieren in Abschnitten |
| WEA T3   | E-115, 135 m | 3,30                      | 3,75, lokal 4,00       | Pfahlgründung; Stabilisierung Baugrubensohle; Betonieren in Abschnitten |

\*FmA = Flachgründung mit Auftrieb, STS = Schotterausgleichsschicht, BA = Bodenaustausch.

Tabelle 10: Zusammenfassung der Gründungsempfehlungen.



Die vorliegende Baugrund- und Gründungsbeurteilung beschreibt die in unmittelbarer Umgebung der punktuellen Bodenaufschlüsse festgestellten Baugrundverhältnisse in geologischer, bodenmechanischer und hydrogeologischer Hinsicht und ist nur für diese gültig. Interpolationen zwischen den Aufschlusspunkten sind nicht statthaft. Die bautechnischen Aussagen beziehen sich auf den zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Beurteilung bekannten Planungsstand und auf die Ergebnisse der Aufschlussbohrungen. Bei einer wesentlichen Planungsänderung, wie z. B. veränderte Höhenlage des Bauwerkes, oder von den vorstehenden Angaben abweichend festgestellte Baugrundverhältnisse, sollten die getroffenen Aussagen und Empfehlungen überprüft und ggf. an die geänderten Randbedingungen angepasst werden.

Sämtliche Aussagen, Bewertungen und Empfehlungen basieren auf dem im Bericht beschriebenen Erkundungsrahmen und erheben keinen Anspruch auf eine vollständige repräsentative Beurteilung der Fläche.

Unser Büro ist rechtzeitig für Baugrubenabnahmen zu benachrichtigen.

Falls sich Fragen ergeben, die in der vorliegenden Baugrundbeurteilung nicht oder abweichend erörtert wurden, ist der Baugrundgutachter zu einer ergänzenden Stellungnahme aufzufordern.

Vechta, den 13. April 2016

Dipl.-Geol. Dr. Joachim Lübke

Dipl.-Geol. Petra Müller

Der Bericht wird dem Auftraggeber auch im pdf-Format zur Verfügung gestellt.

Die EDV-Version ist nur in Verbindung mit einer original unterschriebenen Druckversion in Papierform gültig.