




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

SOLVIND Projekt AS
Ullandhaugveien 150
N - 4021 Stavanger

 Gründungsmitglied
des BD bohr

15.05.2019
tie/cg

Bauvorhaben Nr. 278/15:

Neubau von 3 Windkraftanlagen im Windpark Friestad - Norwegen (E 48 - 75 m Turm)
Baugrunduntersuchungen – Gründungsbeurteilung
Revision 2: Änderung des Anlagentyps am Standort WT 3 - Turmhöhe

1 Vorgang

Die SOLVIND Projekt AS plant im Windpark Friestad Norwegen die Errichtung von 3 Windenergieanlagen der Fa. Enercon. Abweichend von der ursprünglichen Planung soll am Standort WT 3 jetzt eine Windenergieanlage vom Typ Enercon E 82 mit einer Turmhöhe von 67 m errichtet werden. Gemäß Fundamentdatenblatt der Firma Enercon E-82 E4/S/67/5K/01 vom 14.05.2014 wird dieser Anlagentyp auf einem kreisförmigen auftriebssicheren Einzelfundament (\varnothing 19,60 m) flachgegründet, und zwar in einer Tiefe von 2,55 m unter GOK. Die Lage der Windenergieanlagen kann den als Anlage 1.1 beigefügten Lageplänen entnommen werden.

Die Fa. Neumann wurde durch die SOLVIND Projekt AS mit der Mail vom 20.3.2019 beauftragt, basierend auf den im Jahre 2015 durchgeführten Baugrundaufschlüssen eine gutachterliche Stellungnahme zur Gründung der Windenergieanlage WT 3 zu erarbeiten.

BAUGRUNDUNTERSUCHUNG

2 Baugrund

2.1 Durchgeführte Untersuchungen

Der Baugrundaufbau ist im Bereich des geplanten Windenergieanlagenfundamentes durch 3 Kleinbohrungen bis in Tiefen von 2,80 - 4,70 m unter GOK sowie eine Sondierung mit der schweren Rammsonde (DPH gemäß DIN 4094-3 / DIN EN ISO 22476-2) bis in eine Tiefe zwischen von 4,70 m untersucht worden. Weiterhin wurden im Bereich der Kranstellfläche zusätzliche Kleinbohrungen bis in Tiefen von 3,00 - 4,00 m unter GOK ausgeführt. Die Baugrundaufschlüsse mussten alle vor dem Erreichen der geplanten Endteufe aufgrund von Sondierhindernissen bzw. wegen des Erreichens der vorgegebenen Abbruchkriterien beendet werden.

Die Lage der Baugrundaufschlüsse innerhalb des Standortes ist in den als Anlage 1.2 beigefügten Lageplan eingetragen worden. Die Ergebnisse der Kleinbohrungen und der schweren Rammsondierung sind als Bohrprofile und Rammdiagramm in den Anlagen 2 aufgetragen worden.

2.2 Baugrundaufbau

Aus den in den Anlagen 2 aufgetragenen Bohrprofilen ist ersichtlich, dass unter 0,30 m - 0,60 m mächtigen Mutterböden bis zur Endteufe im Wesentlichen Fein- und Mittelsande mit unterschiedlichen Anteilen der übrigen Kornfraktionen anstehen, die stellenweise (WT 3 BS 7 B) von dünnen Schluff- und Tonbändern durchzogen werden.

2.3 Auswertung der schweren Rammsondierung

Die parallel zu der Kleinbohrung WT 3 - BS 3B durchgeführte Sondierung mit der schweren Rammsonde (DPH gemäß DIN EN ISO 22476-2) weist in gründungsrelevanten Tiefen (> 2,55 m unter GOK) Schlagzahlen zwischen minimal 9 und maximal 28 pro 10 cm Eindringtiefe auf, d. h., dass die erkundeten Sande in mindestens mitteldichter, mit zunehmender Tiefe jedoch auch in dichter Lagerung anstehen.

2.4. Kornverteilung

Mit Hilfe von 4 Siebanalysen ist die Kornverteilung der anstehenden Sande ermittelt worden. Die Untersuchungen ergaben Schluffanteile von < 5 % und Kieskornanteile von 6 % - 49 %. Kornanalytisch handelt es sich bei diesen Sanden somit überwiegend um schwach schluffige, kiesige bzw. schwach kiesige, schwach grobsandige Fein- bis Mittelsande. Abweichend hiervon muss die Probe WT 3 / BS 1 C (Tiefe 2,00 m – 2,80 m) als feinsandiger, mittelsandiger, schwach grobsandiger Kies eingestuft werden.

Die Untersuchungsergebnisse sind als Körnungslinien auf den Anlagen 3.1 + 3.2 aufgetragen.

2.5 Zusammenstellung der bodenmechanischen Kennwerte

Im folgenden werden die für die weitere Bearbeitung erforderlichen bodenmechanischen Kennziffern anhand der entnommenen Bodenproben, der Ansprache der Bodenproben durch den Baugrundsachverständigen, der Laborversuche, der Ergebnisse der Rammsondierungen und von Erfahrungswerten, die von vergleichbaren Böden vorliegen, tabellarisch zusammengestellt.

Tabelle 2 Bodenmechanische Kennwerte der für die Gründung relevanten Baugrundsichten.

Bodenart	statischer Steifemodul $E_{\text{stat.}}$ [MN/m ²]	dynamischer Steifemodul $E_{\text{dyn.}}$ [MN/m ²]	Reibungswinkel φ [°]	Kohäsion c [kN/m ²]	Wichte ρ / ρ' [kN/m ³]	Querdehnzahl ν [-]
Mutterboden	keine baugrundtechnische Relevanz				18,0 / 10,0	--
Sand, mitteldicht	50,0	200,0	35,0	--	19,0 / 11,0	0,35
Sand, Kiessand, dicht	80,0	280,0	36,0	--	19,0 / 11,0	0,35

Gemäß DIN 18300 können die anstehenden Böden den folgenden Bodenklassen zugeordnet werden:

Mutterboden	Bodenklasse 1
Sand	Bodenklasse 3

2.6 Wasserstände

Während und nach Beendigung der Sondierarbeiten wurde am Standort WT 3 kein Wasser bis zur Endteufe der Kleinbohrungen festgestellt.

3 Gründungsbeurteilung

Die nachfolgende Gründungsbeurteilung wird auf der Grundlage des E-82 E4/S/67/5K/01 FLmA der Fa. Enercon vom 14.05.2014 vorgenommen.

Die Gründungssohlen der geplanten Windkraftanlagen verläuft gemäß Fundamentdatenblatt in einer Tiefe von 2,55 m u. GOK. Diese Gründungskote ist in die Sondierprofile, die dem Gutachten als Anlage 2 beigelegt sind, eingezeichnet worden. Hieraus ist zu entnehmen, dass in dieser Tiefe Sande in mindestens mitteldichter Lagerung anstehen. Diese Böden können als gut tragfähig und gering setzungsempfindlich eingestuft werden, so dass aus geotechnischer Sicht die Windenergieanlage oberhalb dieser Böden ohne Zusatzmaßnahmen gegründet werden kann. Für eine technisch einwandfreie Gründung ist es lediglich erforderlich, die in der Baugrubensohle anstehenden Sande durch mehrere Übergänge mit einer mittelschweren Vibrationsplatte nachzuverdichten, um aushubbedingte Auflockerungen zu beseitigen und ggf. die natürliche Lagerung zu verbessern.

Die laut Statik einzuhaltende dynamische Mindestdrehfedersteifigkeit beträgt $k_{\varphi, \text{dyn}} = 40.000 \text{ MNm/rad}$. Unter Berücksichtigung der für den Sand anzusetzenden

Querdehnhzahl von $\nu = 0,35$ und eines Fundamentradius von $r = 9,80$ m wird gemäß nachfolgender Formel das erforderliche dynamische Steifemodul ermittelt:

$$E_{s,dyn} = k_{\varphi,dyn} * \frac{3}{4} * \frac{1}{r^3} * \frac{(1+\nu) * (1-\nu)^2}{1-\nu-2*\nu^2}$$

$$E_{s,dyn} = 40.000 * \frac{3}{4} * \frac{1}{9,80^3} * 1,408$$

$$E_{s,dyn} = 40.000 * 0,75 * 0,001 * 1,408$$

$$E_{s,dyn} = 44,9 \text{ MN / m}^2 < \text{vorh. } E_{s,dyn} = 200 \text{ MN / m}^2$$

Da durch die anstehenden Sande der erforderliche dynamische Steifemodul eingehalten wird, müssen für die Gründung der Windkraftanlage auf einem Fundament mit Auftrieb keine Zusatzaßnahmen getroffen werden. Der Nachweis der Mindestdrehfedersteifigkeit ist für die einzelnen Baugrundsichten als Anlage 4 beigefügt.

Im folgenden werden mit dem Teilsicherheitskonzept EC 7 die Grundbruchsicherheit und daraus die mittlere zulässige Bodenpressung mit dem Programm GGU-Footing ermittelt. Wie der als Anlage 5 beigefügten Berechnung zu entnehmen ist, kann die vorhandene Bodenpressung von $\sigma = 140 \text{ kN/m}^2$ aus geotechnischer Sicht mit sehr großer Sicherheit ($\mu = 0,047$) aufgenommen werden. Grundlage dieser Berechnung ist der Lastfall DLC 1.4.

Die in Anlehnung an die DIN 4019 durchgeführte Setzungsberechnung hat ergeben, dass bei der o. g. Windkraftanlage unter Berücksichtigung des charakteristischen Lastfalles DLC 6.2 mit rechnerischen Setzungsdifferenzen von bis zu 0,7 cm gerechnet werden muss, d. h., dass die maximal zulässige Schiefstellung infolge Baugrundsetzung von $\Delta s \leq 19,6 * 3,0 = 58,8 \text{ mm}$ in 25 Jahren auch unter Zugrundelegung des Extremlastfalles nicht überschritten wird.

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

Am Standort WT 3 kann, wenn genauere Unterlagen zu den Schwankungsbereichen der Grundwasserstände - während der Sondierarbeiten wurde kein Grundwasser angetroffen - vorliegen, ggf. ein Fundament ohne Auftrieb gebaut werden. Auch eine Höherlegung der Gründungssohle ist an diesem Standort unter Berücksichtigung der erkundeten Baugrundverhältnisse möglich, ohne dass gravierende Zusatzmaßnahmen getroffen werden müssen. Hierzu muss ggf. in einem Nachtrag Stellung genommen werden.

4 Technische Hinweise zur Fundamentherstellung

4.1 Baugrubendurchführung

Nicht verbaute Baugruben mit senkrechten Wänden sind nach DIN 4124 nur bis zu einer Tiefe von 1,25 m zulässig. Tiefere Baugruben müssen geböscht oder abgestützt werden. Die Neigung der Böschung darf ohne weitere Nachweise in den erkundeten Mutterböden und Sanden $\beta = 45^\circ$ nicht überschreiten.

Die Baugrubensohle sollte nach dem Bodenaushub nicht mehr befahren und möglichst wenig betreten werden. Aufgelockerte Böden sind mittels glatter Baggerschaufel abzuziehen und durch verdichtet einzubauende Kiessande auszutauschen. Darüber hinaus ist darauf zu achten, den Bodenaushub ab einer Tiefe von mind. 0,40 m oberhalb der geplanten Aushubsohle nur mit einer glatten Baggerschaufel vorzunehmen. Durch gezackte Schaufeln wird der Baugrund aufgerissen bzw. aufgelockert und besitzt somit keine ausreichende Tragfähigkeit.

Die in den Baugrubensohlen anstehenden Sande müssen durch mehrere Übergänge mit einer mittelschweren Vibrationsplatte nachverdichtet werden, um sowohl aushubbedingte Auflockerungen zu beseitigen als auch die natürliche Lagerungsdichte der Sande zu verbessern.

Eine endgültige Entscheidung über ggf. weitere Maßnahmen sind zu Beginn des Bodenaushubs vor Ort zu treffen.

Am Standort WT 3 sind voraussichtlich keine Wasserhaltungsmaßnahmen erforderlich.

4.2 Fundamentherstellung

Die Fundamentsohle wird gemäß Typenprüfung etwa bei 2,55 m u. GOK verlaufen. Die unter dem Fundament anstehenden Sande weisen eine ausreichende Tragfähigkeit auf, so dass für die Herstellung des Fundamentes keine weiteren Zusatzmaßnahmen zu treffen sind und das Fundament in einem Abschnitt betoniert werden kann.

4.3 Bodenauflast

Der auf das Fundament aufzubringende Boden muss gemäß Fundamentdatenblatt eine Wichte von $\gamma \geq 18,0 \text{ kN/m}^3$ aufweisen. Da die Aushubböden mit Ausnahme der Mutterböden diese Anforderung erfüllen, bestehen aus geotechnischer Sicht keine Bedenken, die beim Aushub des Fundamentes anfallenden Böden als Bodenauflast zu verwenden.

4.4 Gründung der Kranstellfläche

Im Bereich der Kranstellfläche wurden unter oberflächennahen Mutterböden Sande in mitteldichter Lagerung erbohrt. Für die Herstellung der Kranstellfläche wird folgende Vorgehensweise empfohlen:

- Aushub der Mutterböden
- Nachverdichtung anstehender Sande
- Einbau eines Sandes als Unterbau für die Tragschicht von ca. 20 - 40 cm. Dieser Sand (Körnung $0 - > 8 \text{ mm}$) muss so verdichtet werden, dass auf dieser Schicht ein E_{v2} -Wert von $\geq 80 \text{ MN/m}^2$ nachgewiesen werden kann.
- Aufbringen einer hochverdichteten Tragschicht aus Mineralgemisch / Betonrecycling in eine Schichtstärke von $d \geq 30 \text{ cm}$. Auf der Tragschicht muss ein $E_{v2} \geq 80 - 100 \text{ MN/m}^2$ nachgewiesen werde.

Wie dem als Anlage 6 beigefügten Grundbruchnachweis zu entnehmen ist, kann bei einer Pratzenaufstandsfläche von ca. $a/b = 4,00 / 2,00$ m eine zulässige charakteristische Pratztenlast von 1.850 kN nachgewiesen werden. Hierbei muss mit Setzungen bis zu ca. 1,1 cm gerechnet werden.

Nach Vorlage einer Kranstatik sind durch den Unterzeichner die erforderlichen Maßnahmen (Dimensionierung der Pratzenaufstandsflächen) in einem Nachtrag zu ermitteln.

5 Zusammenfassung

Die durchgeführten Untersuchungen haben ergeben, dass die im Windpark Friestad (Norwegen) geplante Windkraftanlage vom Typ Enercon E 82 mit 67 m Turmhöhe im Anschluss an die Nachverdichtung der Baugrubensohle flach auf einem Fundament mit Auftrieb gegründet werden kann. Weitere Einzelheiten hierzu können den Abschnitten 3 und 4 des Gutachtens entnommen werden.

Die Baugrubensohle ist durch den Unterzeichner abnehmen zu lassen, um die im Gutachten vorausgesetzten Baugrundverhältnisse vor Ort zu überprüfen. Die Lagerungsdichte des eingebrachten Austauschmaterials / der anstehenden Sande muss durch dyn. Lastplattenversuche und Sondierungen mit der leichten Rammsonde nachgewiesen werden.

Für die Beantwortung eventuell noch auftretender Fragen stehen wir weiterhin gern zur Verfügung.

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



ppa. Wolfgang Tiedemann