

BGA

INGENIEURBÜRO BGA

Baugrund - Grundwasser - Altlasten

Zuckerbergweg 22, 38124 Braunschweig, Tel. 0531 / 26416-0

BImSchG-Genehmigung erteilt unter
Hinweis auf den vorgekehrten Bescheid.
Nebenbestimmungen sind dem Bescheid

ImG 2 / 2023

zu entnehmen. Die Prüfbemerkungen
sind bei Errichtung / Betrieb der Anlage
zu beachten.

Windpark Sievern

Geotechnischer Bericht / Entwurfsbericht

Baugrundbeurteilung, Gründungsberatung und erd- statische Nachweise

Landkreis Cuxhaven
Der Landrat
Bauaufsichtsamt



Auftraggeber:



BayWa r.e. Wind GmbH
Arabellastraße 4
81925 München

Auftragsdatum:

26.10.2022

Auftragnehmer:



Ingenieurbüro BGA GbR
Zuckerbergweg 22
38124 Braunschweig

Bearbeiter BGA:

Dr. Zarske

Projektnummer:

4106.22 (Za/Neu)

Ausfertigung:

/ 2

Abschluss der
Bearbeitung:

21.03.2023

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Anlagenverzeichnis	3
1. Vorgang, Aufgabenstellung	4
2. Unterlagen	4
3. Bauvorhaben, örtliche Situation	5
4. Art und Umfang der durchgeführten Untersuchungen	8
5. Baugrundbeurteilung	12
5.1 Baugrundaufbau	12
5.1.1 Torf	12
5.1.2 Sande	13
5.1.3 Geschiebelehm und Geschiebemergel	13
5.1.4 Beckenton und Beckenschluff	13
5.2 Erdbautechnische Klassifikation und bodenmechanische Kennwerte	14
5.2.1 Torf	14
5.2.2 Sande	15
5.2.3 Geschiebelehm und Geschiebemergel	15
5.2.4 Beckenton und Beckenschluff	16
5.3 Thermische und elektrische Bodeneigenschaften	16
5.4 Homogenbereiche gemäß DIN 18300	17
5.5 Grundwasserverhältnisse	17
6. Gründungsberatung	19
6.1 Generelle Gründungsempfehlung	19
6.2 Standsicherheitsnachweise und Setzungsverhalten	19
6.3 Trockenhaltung der Baugruben	21
6.4 Aushub der Baugruben	22
6.5 Hinweise und Empfehlungen zur Herstellung von Baustraßen und Kraufstellflächen	23
6.6 Hinweise zum Umgang mit Abtragsmassen	24
6.6.1 Asphalt	24
6.6.2 Beton	25
6.6.3 Tragschichten und natürliche Böden	26
7. Tragfähigkeit der Bestandsstraßen	26
8. Schlussbemerkungen	27

Anlagenverzeichnis

- 1 Übersichtsplan
- 2 Lageplan
- 3 Schichtprofilverzeichnisse der Kleinrammbohrungen
- 4 Diagramme der Drucksondierungen
- 5 Rammdiagramme
- 6 Schematische Baugrundschnitte
- 7 Bodenmechanische Laborversuche
- 8 Probenliste
- 9 Prüfberichte des chemischen Labors
- 10 Abfalltechnische Klassifikation
- 11 Leitfähigkeitsmessungen
- 12 Homogenbereiche gemäß DIN 18300
- 13 Erdstatische Nachweise WEA
- 14 Erdstatische Nachweise Kranaufstellflächen (vorläufig)
- 15 Dynamische Lastplattendruckversuche

1. Vorgang, Aufgabenstellung

Südlich von Sievern sollen 7 neue Windenergieanlagen (WEA) errichtet werden. Bauherrin ist die BayWa r.e. Wind GmbH, 81925 München. Wir wurden von BayWa r.e. mit der Baugrunderkundung, Baugrundbeurteilung und Gründungsberatung für den Anlagenneubau beauftragt.

Der vorliegende Bericht gilt für:

- den Neubau der Windenergieanlagen (WEA)
- die Befestigung der Kranaufstellflächen
- die Straßen- und Wegebaumaßnahmen im Zuge des Neubaus

Mit den Baugrunderkundungen wurde im Dezember 2022 begonnen. Diese wurden im Januar 2023 abgeschlossen. Nach Eingang von Plänen und Angaben zum gewählten Anlagentyp erfolgte die weitere Bearbeitung. Die Ergebnisse werden hiermit vorgelegt.

2. Unterlagen

Von BayWa r.e. wurden uns in digitaler Form diverse Unterlagen zur Verfügung gestellt. Als für die Beurteilung maßgebend haben sich erwiesen:

- [1] Übersichtsplan
- [2] Lageplan der Neuanlagen
- [3] Diverse Unterlagen zum gewählten Anlagentyp

Als für die Beurteilung maßgebend wurden herangezogen und ausgewertet:

Ingenieurbüro für Baustatik Fröhling + Rathjen GmbH & Co. KG, 21698 Harsefeld, datiert 2019-11-15:

- [4] Schalplan Fundament als Flachgründung mit Auftrieb, Nordex N 149/5.X TS 125-04, NH 125 m
- [5] Schalplan Fundament als Flachgründung ohne Auftrieb

3. Bauvorhaben, örtliche Situation

Die Lage der geplanten WEA geht aus den als Anlagen 1 und 2 beigefügten Plänen hervor. Das Vorhaben umfasst die Neuerrichtung von 7 WEA:

- Nordex 149/5.X TS 125-04, NH 125 m
- Gründung auf Kreisfundamenten, \varnothing 26,4 m *(bzw 23,60 o. Auftrieb)*
- Einbindetiefe in den natürlichen Untergrund 2,19 m zzgl. 10 cm Sauberkeitsschicht
- Geländeaufschüttung über dem Fundament 1,10 m

Die im Zuge der Nachweise zu berücksichtigenden Lasten gehen aus der nachfolgenden tabellarischen Zusammenstellung hervor:

Fundamente mit Auftrieb [4]

Lastzusammenstellung Eigengewicht aus Fundament und Lasten aus WEA (FmA)

Loads at bottom of foundation Lasten an Unterkante Fundament						
From foundation body / Aus Fundament						
Self-weight of foundation Eigengewicht Fundament	$E_{G,1}$		20459			[kN]
Self-weight of covering soil Eigengewicht Auffüllung	$E_{G,1}$		16877			[kN]
Buoyancy Auftrieb	$E_{G,2}$		-12073			[kN]
Live load top at top of foundation Verkehrslast an Oberkante Fundament	$E_{G,1}$		2737			[kN]
From WTG / Aus WEA						
Design state Designzustand	E_k resp. E_d E_k bzw. E_d	Vertical force Vertikalkraft		Bending moment Biegemoment [kNm]	Horizontal force Horizontalkraft [kN]	Torsional moment Torsionsmoment [kNm]
		max. [kN]	min. [kN]			
Normal / Extreme (ULS) Normal / Extrem (ULS)	design	8688	5792	174241	1341	630
	characteristic	6436		131110	993	467
Normal / Extreme (ULS) Normal / Extrem (ULS)	design	8420	5513	59977	380	12985
	characteristic	6237		46470	281	9619
Normal / Extreme (ULS) Normal / Extrem (ULS)	design	8939	5959	162213	1447	3502
	characteristic	6621		122200	1072	2594
Rare / BS-P (SLS) Selten / BS-P (SLS)	characteristic	6436		131096	993	467
Rare / BS-A (SLS) Selten / BS-A (SLS)	characteristic	6178		158221	1243	6698
Quasi-permanent (SLS) Quasi-ständig (SLS)	characteristic	6880		105910	850	3036

Fundamente ohne Auftrieb [5]

Lastzusammenstellung Eigengewicht aus Fundament und Lasten aus WEA (FoA)

Loads at bottom of foundation <i>Lasten an Unterkante Fundament</i>						
From foundation body / Aus Fundament						
Self-weight of foundation <i>Eigengewicht Fundament</i>	EG _k	18001		[kN]		
Self-weight of covering soil <i>Eigengewicht Auffüllung</i>	EG _k	11623		[kN]		
Buoyancy <i>Auftrieb</i>	EG _k	0		[kN]		
Live load top at top of foundation <i>Verkehrslast an Oberkante Fundament</i>	EQ _k	2187		[kN]		
From WTG / Aus WEA						
Design state <i>Designzustand</i>	Ek resp. Ed <i>Ek bzw. Ed</i>	Vertical force <i>Vertikalkraft</i>		Bending moment <i>Biegemoment</i>	Horizontal force <i>Horizontalkraft</i>	Torsional moment <i>Torsionsmoment</i>
		max [kN]	min [kN]			
Normal / Extreme (ULS) <i>Normal / Extrem (ULS)</i>	design	8688	5792	174241	1341	630
	characteristic	6436		131110	993	467
Normal / Extreme (ULS) <i>Normal / Extrem (ULS)</i>	design	8420	5613	59977	380	12985
	characteristic	6237		46470	281	9619
Normal / Extreme (ULS) <i>Normal / Extrem (ULS)</i>	design	8939	5959	162213	1447	3502
	characteristic	6621		122200	1072	2594
Rare / BS-P (SLS) <i>Selten / BS-P (SLS)</i>	characteristic	6436		131096	993	467
Rare / BS-A (SLS) <i>Selten / BS-A (SLS)</i>	characteristic	6178		158221	1243	6698
Quasi-permanent (SLS) <i>Quasi-ständig (SLS)</i>	characteristic	6880		105910	850	3036

Die Anforderungen an das Setzungsverhalten und die Drehfedersteifigkeit sind wie folgt angegeben:

Anforderungen an Setzungsverhalten und Drehfedersteifigkeit [4 und5]

Proof Nachweis	Limit state Grenzrztand	Design situation Bemessungssituation	γ	Criterion Kriterium
Misalignment / Schiefstellung	SLS	Quasi-permanent Quasi-ständig	1.0	$\Delta s \leq 30 \text{ mm/m}$
Dynamic rotational spring stiffness Dynamische Drehfedersteifigkeit	SLS	Quasi-permanent Quasi-ständig	1.0	$\geq 110000 \text{ MNm/rad}$
Static rotational spring stiffness Statische Drehfedersteifigkeit	SLS	Rare Selten	1.0	$\geq 27500 \text{ MNm/rad}$

Das Vorhaben ist in die geotechnische Kategorie 3 einzustufen.

Aus geologischer Sicht liegt der geplante Windpark auf der Geest östlich oberhalb der Wesermarsch. Das Gelände weist nur ein gering ausgeprägtes Relief auf. Die Geländehöhen liegen bei ca. NHN +6,0...13,0m. Die Bauflächen werden gegenwärtig ackerbaulich genutzt. In der Nähe der neuen Anlagen befinden sich rückzubauende Altanlagen.

Der Untergrund wird entsprechend den Angaben in [4] von Schmelzwasserablagerungen über Ablagerungen der saalezeitlichen Grundmoräne (Geschiebelehm und Geschiebemergel) aufgebaut. Nur lokal war oberflächennah mit nacheiszeitlichen Torfablagerungen zu rechnen.

4. Art und Umfang der durchgeführten Untersuchungen

Zur Erkundung der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse wurden ausgeführt:

Je WEA:

- 1 Kleinrammbohrung, $\varnothing 60/30 \text{ mm}$, Verfahren gemäß DIN EN ISO 22475-1, Tabelle 1, Zeile 9, angestrebte Erkundungstiefen rd. 10...12 m, wegen hoher Festigkeit des Bau-

grunds bzw. Sondierhindernissen stw. in geringerer Tiefe von 9,4 bzw. 9,7 m abgebrochen

- ✓ 3 Drucksondierungen, CPT - DIN EN ISO 22476-1, vorgesehene Erkundungstiefe rd. 20...25 m, wegen hoher Festigkeit des Baugrunds sowie aufgrund von Sondierhindernissen vielfach bereits in geringerer Tiefe abgebrochen, bei WEA 4 deshalb zusätzliche Sondierung am Fundamentmittelpunkt

Je Kranaufstellfläche / Materiallagerfläche:

- 4 Kleinrammbohrungen à 8 m Tiefe
- 2 Sondierungen mit der Schweren Rammsonde (DPH - DIN EN ISO 22476-2) à 8 m Tiefe, teilweise wegen hoher Festigkeit des Baugrunds / Sondierhindernissen bereits in geringerer Tiefe abgebrochen

Im Bereich der auszubauenden Zuwegungen und der auszubauenden landwirtschaftlichen Wege:

- 4 Asphalt-Kernbohrungen, Ø 100 mm, Entnahme der Bohrkerne, Wiederverfüllung der Bohrlöcher mit verdichtetem Kaltmischgut
- 2 Beton-Kernbohrungen, Ø 100 mm, Entnahme der Bohrkerne, Wiederverfüllung der Bohrlöcher mit verdichtetem Kaltmischgut
- 24 Kleinrammbohrungen à 2 m Tiefe

Im Zuge der Erkundungen erfolgten:

- Benennung der durchgehenden Kernproben nach DIN 4022 / DIN EN ISO 14688-1, erdbautechnische Klassifikation gemäß DIN 18196

- Beurteilung der Lagerungsdichte anhand benachbarter Rammsondierungen und Drucksondierungen
- Horizontbezogene Entnahme von Bodenproben für bodenmechanische und abfalltechnische Untersuchungen
- Einmessung der Grundwasserstände in den unverrohrten Bohrlöchern
- Darstellung der Ergebnisse in Schichtprofilverzeichnissen gemäß DIN 4021 - 4023

Zusätzlich erfolgten auf Anforderung durch BayWa r.e. auf den hydraulisch gebundenen Tragschichten („Schotter“) der vorhandenen Wege:

- 9 Überprüfungen der Tragfähigkeit mit dem Leichten Fallplattengerät gemäß TP BF-StB 8.3 („Dynamische Plattendruckversuche“)

Sämtliche Aufschlüsse wurden mittels DGNSS-RTK-System lage- und höhenmäßig zentimetergenau eingemessen.

Zur Überprüfung der Feldansprachen wurden im bodenmechanischen Labor stichprobenartig ausgeführt:

- 45 Bestimmungen des Wassergehaltes, DIN EN ISO 17892-1
- 47 Bestimmungen der Korngrößenverteilung, Nasssiebungen, Schlämmanalysen, kombinierte Sieb- und Schlämmanalysen, DIN EN ISO 17892-4
- 12 Bestimmungen der Zustandsgrenzen, DIN 17892-12
- 3 Bestimmungen des Gehaltes an organischen Bestandteilen, Glühverlust, DIN 18128

Zur Überprüfung der Grundwasserbeschaffenheit wurden durchgeführt:

- 3 Entnahmen von Grundwasserproben mittels Direct-Push-Verfahren
- Untersuchung der Grundwasserproben auf betonschädliche Eigenschaften gemäß DIN 4030 sowie auf gelöstes Eisen

Zur Klärung der Entsorgungsmöglichkeiten von Wegedecken, Tragschichten und Böden, die voraussichtlich im Zuge der Bautätigkeit teilweise abgetragen und entsorgt werden müssen, wurden untersucht:

- 4 Asphalt-Kerne, Untersuchungsrahmen gemäß RuVA-StB (PAK und Phenolindex im Eluat) sowie Überprüfung auf etwaige Asbestanteile, Verfahren IFA 7487
- 2 Beton-Proben gemäß ErsatzbaustoffV, Untersuchungsrahmen für Recycling-Baustoffe
- 2 Proben von Schottertragschichten und 5 Boden-Mischproben, Untersuchungsrahmen gemäß ErsatzbaustoffV, Mindestuntersuchungsrahmen für Böden bei unspezifischem Verdacht

Ferner wurden für vier ausgewählte Standorte ausgeführt:

- Bestimmung der elektrischen und thermischen Leitfähigkeit des Bodens an ausgewählten Proben

Dokumentation

Lage des beurteilten Bereiches	Anlage 1
Lage der Baugrundaufschlüsse	Anlage 2
Schichtprofilverzeichnisse der Kleinrammbohrungen	Anlage 3
Diagramme der Drucksondierungen	Anlage 4
Rammdiagramme	Anlage 5
Schematische Baugrundschnitte	Anlagen 6.1 - 6.9

Bodenmechanische Laborversuche	Anlage 7
Probenliste	Anlage 8
Prüfberichte des chemischen Labors	Anlage 9
Abfalltechnische Klassifikation	Anlage 10
Messungen der elektrischen und thermischen Leitfähigkeit	Anlage 11
Dynamische Lastplattendruckversuche	Anlage 15

5. Baugrundbeurteilung

5.1 Baugrundaufbau

In den Kleinrammbohrungen wurden unter dem Mutterboden folgende Schichten vorgefunden:

- Torf (nur lokal bei WEA 5)
- Sande
- Geschiebelehm und Geschiebemergel
- Beckenschluff und Beckenton

Diese Baugrundhorizonte sind im Bereich der verschiedenen Anlagenstandorte in sehr unterschiedlichem Umfang und in unterschiedlichen Tiefenlagen verbreitet. Die jeweiligen Verhältnisse sind den schematischen Baugrundschnitten in der Anlage 6 zu entnehmen. Nachfolgend wird lediglich auf die wesentlichen bautechnischen Eigenschaften hingewiesen. Weitere Einzelheiten können den schematischen Schichtprofilverzeichnissen (Anlage 3) entnommen werden.

5.1.1 Torf

Torf wurde nur bei WEA 5 in einer Stärke von rd. 0,6 m vorgefunden. Aufgrund der geringen

Tiefenreichweite ist dieser für die Beurteilung der Gründung nicht von besonderer Bedeutung.

5.1.2 Sande

Sande sind flächenhaft in wechselhaften Stärken von mehreren Metern bis Zehnermetern verbreitet. Es handelt sich um Gemische von Feinsand und Mittelsand in unterschiedlichen Mengenanteilen. Meist sind diese schwach schluffig, teilweise schluffig. Die Lagerung ist entsprechend dem Ergebnis der Drucksondierungen überwiegend als mitteldicht bis dicht zu beurteilen. Die Sande sind gut tragfähig.

5.1.3 Geschiebelehm und Geschiebemergel

Schichten aus Geschiebelehm und Geschiebemergel liegen innerhalb der Sande in unterschiedlichen Stärken bis zu mehreren Metern vor. Die Benennung erfolgt entsprechend DIN EN ISO 14688-1 aufgrund der schwach bindigen Bodeneigenschaften als „Ton, schluffig, stark sandig bis sehr stark sandig“. Bei der Korngrößenverteilung überwiegt Sand bei Weitem (s. Anlage 7). Der Sandanteil macht größenordnungsmäßig mind. rd. 70 % aus.

Diese Böden sind nur sehr gering plastisch (überwiegend Bodengruppen ST*, SU*, nur teilweise TL). Nach den Drucksondierungen und nach den durchgeführten bodenmechanischen Laborversuchen liegen steife, zur Tiefe zunehmend halbfeste und feste Konsistenzen vor. Bei steifer Konsistenz ist die Tragfähigkeit als mäßig zu beurteilen. Halbfester und fester Geschiebelehm und Geschiebemergel sind gut tragfähig.

5.1.4 Beckenton und Beckenschluff

Einlagerungen aus Beckenton und Beckenschluff liegen lokal in Stärken zwischen wenigen Dezimetern bis zu rd. 1 m vor. Aufgrund der bodenmechanischen Eigenschaften reicht das

Spektrum dieser Böden von leicht- bis mittelplastischem, schluffigem, feinsandigem Ton bis zu sehr schwach plastischem, schwach tonigem, stark feinsandigem Schluff. Die Konsistenzen sind überwiegend steif. Bei sehr gering ausgeprägter Plastizität entsprechen die Eigenschaften einem nicht bindigen Boden mit mitteldichter Lagerung.

5.2 Erdbautechnische Klassifikation und bodenmechanische Kennwerte

Die Festlegung der bodenmechanischen Kennwerte erfolgte als „vorsichtige Schätzwerte“ i. S. von DIN 1054 unter Berücksichtigung der durchgeführten Feld- und Laborversuche mit Bezug auf die vorliegenden gründungstechnischen Fragestellungen. Die angegebenen mittleren Rechenwerte (charakteristische Werte i. S. von DIN 1054) sind daher nicht uneingeschränkt auf andere Fragestellungen übertragbar. Bei abweichenden Fragestellungen müssen diese ggf. angepasst werden.

5.2.1 Torf

Konsistenz	steif
Bodengruppen (DIN 18196)	HN - HZ
Frostempfindlichkeitsklasse (ZTVE-StB)	-
Raumgewicht, bodenfeucht [kN/m ³]	13
Raumgewicht, wassergesättigt [kN/m ³]	13
Raumgewicht, unter Auftrieb [kN/m ³]	3
Innerer Reibungswinkel [°]	17,5
Kohäsion [kN/m ²]	5
Kohäsion, undränert [kN/m ²]	10...20
Steifemoduln [MN/m ²]	0,2...0,5

5.2.2 Sande

Lagerung	locker	mitteldicht	dicht
Bodengruppen (DIN 18196)	überwiegend SE, stw. SU		
Frostempfindlichkeitsklasse (ZTVE-StB)	F 1		
Raumgewicht, bodenfeucht [kN/m ³]	18	19	20
Raumgewicht, wassergesättigt [kN/m ³]	20	21	22
Raumgewicht, unter Auftrieb [kN/m ³]	10	11	12
Innerer Reibungswinkel [°]	30	32,5	35
Steifemoduln [MN/m ²]	20...30	40...60	60...80

5.2.3 Geschiebelehm und Geschiebemergel

Konsistenz	steif	halbfest	fest
Bodengruppen [DIN 18196]	ST*, SU*, teilweise TL		
Frostempfindlichkeitsklasse (ZTVE-StB)	F 3		
Raumgewicht, bodenfeucht [kN/m ³]	21	22	22,5
Raumgewicht, wassergesättigt [kN/m ³]	21	22	22,5
Raumgewicht, unter Auftrieb [kN/m ³]	11	12	12,5
Innerer Reibungswinkel [°]	30	30	30
Kohäsion [kN/m ²]	5...10	20...40	40...60
Kohäsion, undränert [kN/m ²]	40...80	100...150	150...250
Steifemoduln [MN/m ²]	15...20	20...40	40...60

5.2.4 Beckenton und Beckenschluff

	Ton, schluffig, feinsandig	Schluff, schwach tonig, stark feinsandig
Konsistenz	steif	steif
Bodengruppen (DIN 18196)	TL - TM	UL - SU*
Raumgewicht, bodenfeucht [kN/m ³]	19,5	19,0
Raumgewicht, wassergesättigt [kN/m ³]	19,5	19,0
Raumgewicht, unter Auftrieb [kN/m ³]	9,5	9,0
Innerer Reibungswinkel [°]	22,5	27,5
Kohäsion [kN/m ²]	10...20	5...10
Kohäsion, undränert [kN/m ²]	30...50	20...30
Steifemoduln [MN/m ²]	10...15	20...30

Als Steifemoduln bei dynamischer Beanspruchung können gemäß Grundbautaschenbuch als konservativer Ansatz jeweils mind. die 3-fachen Werte veranschlagt werden.

5.3 Thermische und elektrische Bodeneigenschaften

Die Messungen sind im Detail in der Anlage 11 dokumentiert.

Es wurden gemessen:

Sande

WEA	elektrische Leitfähigkeit [mS/cm]	Permittivität [F/m]	Wärmeleitfähigkeit [W/(m x K)]	Temperaturleitfähigkeit [mm ² /s]
2	< 0,001	3,0...3,4	1,1...2,2	0,5...0,9
4	< 0,001	3,5...3,9	1,1...2,0	0,5...0,7
6	< 0,001	4,8...7,1	1,7...2,7	0,6...0,8

Geschiebelehm

WEA	elektrische Leitfähigkeit [mS/cm]	Permittivität [F/m]	Wärmeleitfähigkeit [W/(m x K)]	Temperaturleitfähigkeit [mm ² /s]
5	0,1...0,3	15,9	3,5...4,2	1,0...1,2

Die Bodentemperatur in 1 m Tiefe kann hier im Jahresmittel mit ca. 11...12° C veranschlagt werden.¹

5.4 Homogenbereiche gemäß DIN 18300

Für die Ausschreibung der Erdarbeiten sollten folgende Homogenbereiche voneinander abgegrenzt werden:

- A: Mutterboden
- B: Torf
- C: Sande
- D: Geschiebelehm und Geschiebemergel

Die Charakterisierung für Fragen des Erdbaus geht aus der Anlage 12 hervor.

5.5 Grundwasserverhältnisse

Die Sande oberhalb der Schichten aus Geschiebelehm und Geschiebemergel führen Grundwasser. Diese bauen ein gering mächtiges, oberflächennahes Grundwasserstockwerk auf. Nach unten werden diese durch die Schichten aus Geschiebelehm und Geschiebemergel begrenzt.

¹ z. Bsp. www.kachelmannwetter.com

Unterhalb der Einlagerungen aus Geschiebelehm und Geschiebemergel liegen erneut grundwasserführende Sande vor. Aus diesen fördert das benachbarte Wasserwerk Langen-Leherheide Wasser. Nach den Angaben in [4] beträgt die Ausbautiefe der Brunnen rd. 50 m. Das Bauvorhaben liegt in den Schutzzonen IIIA und IIIB des Wasserwerks.

An den Standorten der WEA wurde der Grundwasserspiegel zum Zeitpunkt der Erkundung in folgenden Tiefen festgestellt:

Standort	Grundwasserspiegel [m u. GOF]
WEA 1	1,85
WEA 2	1,70
WEA 3	1,49
WEA 4	4,80
WEA 5	0,82
WEA 6	5,50
WEA 7	3,30

Wegen der langfristig defizitären Niederschlagsentwicklung lagen zum Zeitpunkt der Baugrunduntersuchung vergleichsweise niedrige Grundwasserstände vor. Die höchsten Grundwasserstände müssen in dieser Position mind. rd. 1,0 bis 1,5 m über den gemessenen Werten erwartet werden. Diese können teilweise bis dicht unter die Geländeoberfläche ansteigen. Das Grundwasser fließt dann den in diesem Bereich vorhandenen Entwässerungsgräben zu und wird im Nahbereich der Gräben teilweise abgesenkt. Es muss überwiegend mit einem Anstieg der höchsten Grundwasserstände über die Gründungsebenen der Fundamente hinaus gerechnet werden. Es ist daher überwiegend die Fundamentvariante "mit Auftrieb" (FmA) vorzusehen.

Bei WEA 4 und WEA 6 reicht die Fundamentvariante „ohne Auftrieb“ (FoA) aus.

Entsprechend den durchgeführten Analysen ist das Grundwasser aufgrund teilweise erhöhter

Anteile an kalklösender Kohlensäure gemäß DIN 4030 als stark Beton angreifend zu beurteilen. Bei den gemessenen Konzentrationen erfolgt bei zwei von drei Proben eine Einstufung in die Expositionsklasse XA2 nach DIN 1045. Diese sollte durchgehend zugrunde gelegt werden.

Die Eisenkonzentrationen liegen zwischen 0,7 und 4,4 mg/l.

6. Gründungsberatung

6.1 Generelle Gründungsempfehlung

Der Baugrund wird von gut tragfähigen Sanden und mäßig tragfähigem Geschiebelehm und Geschiebemergel in wechselnder Verbreitung aufgebaut. Die Verhältnisse lassen durchgehend eine Flachgründung ohne etwaige Zusatzmaßnahmen, wie Baugrundverbesserung o. Ä. zu. Die Gründungsebenen liegen überwiegend auf Sand (s. Anlage 6). Lediglich bei WEA 3 und 5 erfolgt die Gründung unmittelbar auf Geschiebelehm.

Auf den Sanden sollten zur Befestigung der Arbeitsebene Schottertragschichten in einer Stärke von rd. 30 cm eingebaut werden. Der Geschiebelehm ist witterungs- und strukturempfindlich, d. h. bei Wasserzutritt muss - insbesondere bei gleichzeitiger mechanischer Beanspruchung - mit Aufweichungen gerechnet werden. Unter diesem Gesichtspunkt sollte die Schottertragschicht bei WEA 3 und 5 auf mind. rd. 50 cm verstärkt werden.

6.2 Standsicherheitsnachweise und Setzungsverhalten

Zur Beurteilung der Standsicherheit, des Setzungsverhaltens und der Drehfedersteifigkeiten wurden Grundbruch- und Setzungsberechnungen gemäß DIN 4017 unter Berücksichtigung des Teilsicherheitskonzeptes gemäß EC 7 ausgeführt. Anstelle kreisförmiger Fundamente wurden quadratische Ersatzflächen mit gleichem Trägheitsmoment veranschlagt (siehe Anla-

ge 13). Die Berechnungen erfolgten für die Bemessungssituation BS-P, da sich diese als maßgebend erwiesen hat. Für WEA 1, 2, 4, 6 und 7 wurden die Fundamentabmessungen und Lasten gemäß [4] angesetzt. Die Berechnungen für WEA 3 und 5 erfolgten anhand der Angaben in [5]. Einzelheiten der Berechnungen und die Ergebnisse gehen aus der Anlage 13 hervor. Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt:

WEA	s [cm]	DFS [MNm/rad]	μ [-]		$\Delta S/\Delta L$ [mm/m]
			Grundbruch	Gleiten	
1	1,0...4,1	69.568	0,079	0,080	0,135
2	0,9...3,2	91.022	0,052	0,080	0,100
3	0,5...2,5	108.095	0,048	0,008	0,087
4	0,8...4,0	64.358	0,158	0,067	0,152
5	0,8...3,6	75.633	0,068	0,080	0,122
6	0,8...3,5	75.006	0,157	0,067	0,129
7	0,5...2,0	139.501	0,045	0,080	0,065

Für die Ermittlung der dynamischen Drehfedersteifigkeiten können gemäß Grundbautaschenbuch als konservativer Ansatz mind. die jeweils 3-fachen Steifeziffern des Bodens für statische Belastung veranschlagt werden. Das heißt, die Drehfedersteifigkeiten für dynamische Belastung können jeweils in 3-facher Höhe der o. a. Werte für statische Belastung veranschlagt werden.

Aufgrund der Berechnungen wird Folgendes festgestellt:

Der Ausnutzungsgrad des Sohlwiderstands bezüglich der Grundbruchsicherheit liegt bei Größenordnungsmäßig lediglich $\mu = 0,05...0,16$. Der max. zulässige Wert ($\mu \leq 1,0$) wird bei Weitem nicht erreicht. Es ist daher von einer ausreichenden Grundbruchsicherheit auszugehen.

Die Sicherheit gegen Sohlgleiten ist mit $\mu = 0,07...0,08$ ebenfalls gewährleistet.

Die rechnerischen Drehfedersteifigkeiten liegen durchgehend über dem geforderten Wert von mind. 27.500 MNm/rad bei statischer Belastung und auch über dem geforderten Wert von mind. 110.000 MNm/rad bei dynamischer Belastung. Auch unter diesem Gesichtspunkt kann die Gründung als Flachgründung erfolgen.

Die rechnerischen Setzungsdifferenzen liegen ebenfalls weit unter dem max. zulässigen Wert von 3,0 mm/m.

6.3 Trockenhaltung der Baugruben

Die Gründungssohlen der Windenergieanlagen 4 und 6 liegen deutlich über den Grundwasserständen, die zum Zeitpunkt der Baugrunduntersuchung vorgelegen haben. Ein Anstieg der Grundwasserstände über die Baugrubensohle hinaus ist wenig wahrscheinlich. Dort müssen daher voraussichtlich keine Grundwasserabsenkungen durchgeführt werden.

Bei den übrigen WEA liegen die Baugrubensohlen voraussichtlich unter dem Grundwasserspiegel. Die im Baufeld anstehenden Sande neigen aufgrund ihrer enggestuften Korngrößenverteilung zu sog. „Fließsanderscheinungen“. Bei erforderlichen Absenkbeträgen von mehr als wenigen Dezimetern sind daher geschlossene Wasserhaltungen vorzusehen. Bei den festgestellten Verhältnissen kommen dafür - je nach der erforderlichen Absenktiefe - vorrangig Vakuum-Kleinbrunnen („Spülfilteranlagen“) in Frage.

Damit eine ausreichende Nachverdichtung der Aushubebenen erfolgen kann, muss die Absenkung mind. 0,5 m unter die Aushubsohlen erfolgen. Der Bemessung der Absenkungsanlagen kann ein mittlerer Durchlässigkeitsbeiwert von größenordnungsmäßig

$$k_{f, \text{cal}} = 0,5 \dots 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$

zugrunde gelegt werden.

Die Fördermengen werden voraussichtlich - je nach dem erforderlichen Absenkbetrag - in der Größenordnung von

$$Q = 20 \dots 30 \text{ m}^3/\text{h}$$

liegen. Die bauzeitliche Wasserhaltung ist genehmigungspflichtig. Hierzu muss rechtzeitig bei der zuständigen Wasserbehörde ein Wasserrechtsantrag vorgelegt werden. ✓

Sofern das Wasser nicht versickert wird, kann sich eine Enteisung als notwendig erweisen.

Im Bereich der WEA 3 und 5 liegt schwach wasserdurchlässiger Geschiebelehm vor. Anfallendes Tagwasser ist über fachgerecht ausgeführte offene Wasserhaltungen mit Pumpensämpfen und verkiesten Dränsträngen abzuführen. ✓

6.4 Aushub der Baugruben

Nach dem Abtrag des Mutterbodens fallen überwiegend Sande (Homogenbereich C) an. Eine ausreichend tiefe Absenkung des Grundwasserspiegels vorausgesetzt, können in diesen nicht verbaute Baugrubenböschungen mit einer max. Neigung von

- $\beta = 45^\circ$

hergestellt werden. ✓

Bei WEA 5 sind im Geschiebelehm mit mind. steifer Konsistenz Böschungsneigungen von

- $\beta = 60^\circ$

zulässig. ✓

Die Vorschriften und Richtlinien in DIN 4124 „Baugruben und Gräben - Böschungen, Verbau, Arbeitsraumbreiten“ sind zu beachten.

Die beim Aushub anfallenden Sande können zur Wiederverfüllung der Baugrubenseitenräume und zur Auffüllung über dem Fundament verwendet werden. Bei WEA 5 anfallender Torf ist abzufahren und ggf. im Garten- und Landschaftsbau zu verwerten. Der Torf ist wegen des zu geringen Raumgewichts nicht für die Überschüttung des Fundaments geeignet. Der dort anfallende Geschiebelehm kann im Erdbau bei Anwendungen ohne besondere Anforderungen an die Tragfähigkeit verwertet werden.

6.5 Hinweise und Empfehlungen zur Herstellung von Baustraßen und Kranaufstellflächen

Unter dem Mutterboden und vorhandenen Wegebefestigungen stehen nahezu durchgehend Sande an. Auf diesen lässt sich durch Nachverdichtung der im Straßenbau auf dem Erdplanum geforderte Verformungsmodul von mind. $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ erfahrungsgemäß erzielen.

Im Hinblick auf den zu erwartenden Schwerlastverkehr wird folgender Aufbau der Baustraßen und Kranaufstellflächen empfohlen:

- 50 cm Schottertragschicht, z.B. Sieblinienbereich 0/45 bis 0/56 mm gemäß ZTV SoB - StB, $E_{v2} \geq 120 \text{ MN/m}^2$
- Erdplanum, nachverdichtet, $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$

Dort, wo im Erdplanum Geschiebelehm festgestellt wird (Nahbereich WEA 5) sollte die Schottertragschicht auf 60 cm verstärkt werden.

Entsprechend den üblichen Angaben für Kranstellflächen zur Montage von WEA werden für die Kranfundamente vielfach aufnehmbare Sohldrücke bzw. "zulässige Bodenpressungen" in

der Größenordnung von mind. 250 kN/m² gefordert. Dies entspricht nach dem Teilsicherheitskonzept einem "Bemessungswert des Sohlwiderstandes" in der Größenordnung $\sigma_{R,d}$ = mind. rd. 350 kN/m².

Der aufnehmbare Sohldruck (bzw. der Bemessungswert) hängt außer vom Baugrundaufbau auch von den Grundwasserständen und von der Größe und Einbindetiefe der Fundamente ab. Zur Überprüfung der rechnerisch zulässigen Werte sind daher nach Angabe der Fundamentabmessungen und Lasten entsprechende Berechnungen durchzuführen.

Für den Fall, dass Schwerlastkräne auf Raupenfahrwerk eingesetzt werden - ggf. einschließlich automatisierter Sohldruckkontrolle - wurden überschlägige Berechnungen zur Abschätzung der zulässigen Sohldrücke durchgeführt (s. Anlage 14). Es wurde die Bemessungssituation BS-T zugrunde gelegt. Für Kettenbreiten von mind. rd. 1,2 m liegen die aufnehmbaren Sohldrücke bei rd. $\sigma_{0,zul.} = 200$ kN/m² für mittige und lotrechte Belastung. Sofern keine zusätzlichen Nachweise für schräge und / oder außermittige Belastung erfolgen, kann dieser Wert vereinfachend als max. zulässige Teilflächenpressung angenommen werden. Gegebenenfalls können zusätzlich lastverteilende Stahlplatten o. Ä. ausgelegt werden.

Lokal vorhandener Torf (s. WEA 5) ist auszutauschen und bis UK Schotter durch verdichteten Sand zu ersetzen.

6.6 Hinweise zum Umgang mit Abtragsmassen

6.6.1 Asphalt

Die im Bereich der Zuwegungen vorliegenden Asphaltdecken weisen nach der stichprobenartigen Überprüfung keine nennenswerten Belastungen von PAK, Phenolen oder Asbest auf (s. Anlagen 9 und 10). Es ergibt sich folgende abfalltechnische Beurteilung:

Verwertungsklasse gemäß RuVA-StB:	A
AVV-Nr.:	17 03 02
Abfallbezeichnung:	Bitumengemische mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 03 01* fallen
Einstufung:	Nicht gefährlicher Abfall
Entsorgung:	Verwertung gemäß RuVA-StB: Heißmischverfahren Entsorgung im vereinfachten Verfahren, nicht andienungspflichtig und nicht nachweispflichtig bei der NGS

6.6.2 Beton

Die örtlich vorhandenen Fahrbahndecken aus Beton sind ebenfalls nicht schadstoffbelastet. Diese werden wie folgt klassifiziert:

Einbauklasse gemäß ErsatzbaustoffV:	RC-0
AVV-Nr.:	17 01 01
Abfallbezeichnung:	Beton
Einstufung:	Nicht gefährlicher Abfall
Entsorgung:	Im vereinfachten Verfahren, nicht andienungspflichtig und nicht nachweispflichtig bei der NGS Vorzugsweise stoffliche Verwertung im Baustoff-Recycling

6.6.3 Tragschichten und natürliche Böden

Die im Bereich der Baufelder und Zuwegungen vorliegenden Bodenarten weisen nach der stichprobenartigen Überprüfung keine Schadstoffbelastungen auf (s. Anlagen 9 und 10). Der erhöhte TOC-Wert ist für Mutterboden nicht maßgebend. Es ergibt sich folgende abfalltechnische Beurteilung:

Einbauklasse gemäß

ErsatzbaustoffV: BM-0

AVV-Nr.: 17 05 04

Abfallbezeichnung: Boden und Steine mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 05 03* fallen

Einstufung: Nicht gefährlicher Abfall

Entsorgung: Im vereinfachten Verfahren, nicht andienungspflichtig und nicht nachweispflichtig bei der NGS

Vorzugsweise stoffliche Verwertung im Erdbau, Mutterboden als solchen wiederverwerten

7. Tragfähigkeit der Bestandsstraßen

Gemäß Anforderung durch BayWa r.e. wurden an diversen Positionen Untersuchungen mittels Dynamischer Plattendruckversuche durchgeführt. Die Ergebnisse gehen im Detail aus der Anlage 15 hervor. Zur Gewährleistung einer ausreichenden Tragfähigkeit für den Schwerlastverkehr sollte an Oberkante ungebundene Schichten ein Verformungsmodul von mind. $E_{v2} = 120 \text{ MN/m}^2$ bzw. $E_{vd} = \text{rd. } 60 \dots 70 \text{ MN/m}^2$ erzielt werden. Dieser wird überwiegend nicht

erreicht. Die Wege müssen daher ggf. in geringem Umfang aufgeschottert werden. Dafür sind gut abgestufte Brechkornmische, z. B. Sieblinienbereich 0/45 mm gemäß ZTV SoB-StB vorzusehen. Die Einbaustärke soll aus bautechnischen Gründen mit mind. 20 cm gewählt werden. Lokal sind aufgrund der gemessenen, geringen Tragfähigkeit Mehrstärken erforderlich. Einzelheiten gehen aus der nachfolgenden Tabelle hervor:

Messpunkt	E_{vd} [MN/m ²]	Einbaustärke [cm]
1	47,3	20
2	44,8	20
3	42,6	20
4	34,0	20
5	75,3	-
6	58,9	20
7	23,7	40
8	18,3	40
9	35,7	20

8. Schlussbemerkungen

Bei Änderungen der dieser Beurteilung zugrunde liegenden Unterlagen, Angaben oder Annahmen ist Rücksprache mit unserem Büro zu halten, da sich dann veränderte Schlussfolgerungen und Empfehlungen ergeben können. Bei etwaigen, offenen Fragen bitten wir ebenfalls um Rücksprache.



Dr. Zarske

In statischer Hinsicht geprüft



Prüfnummer

71131

pb+ Ingenieurgruppe AG
Prüfingenieure für Baustatik
Dr.-Ing. Arend + Dr.-Ing. Ritter

Henrich-Focke-Str. 13
28199 Bremen
Tel. 0421 17 46 3-0

Bremen, den

17. 06. 2024