

Technische Spezifikation

Geotechnischer Entwurfsbericht

Herausgeber ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Deutschland
Telefon: +49 4941 927-0 ▪ Telefax: +49 4941 927-109
E-Mail: info@enercon.de ▪ Internet: http://www.enercon.de
Geschäftsführer: Momme Janssen, Jost Backhaus, Dr. Martin Prillmann, Jörg Scholle
Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 411
Ust.Id.-Nr.: DE 181 977 360

Urheberrechtshinweis Die Inhalte dieses Dokuments sind urheberrechtlich sowie hinsichtlich der sonstigen geistigen Eigentumsrechte durch nationale und internationale Gesetze und Verträge geschützt. Die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments liegen bei der ENERCON GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.

Die ENERCON GmbH räumt dem Verwender das Recht ein, zu Informationszwecken für den eigenen, rein unternehmensinternen Gebrauch Kopien und Abschriften dieses Dokuments zu erstellen; weitergehende Nutzungsrechte werden dem Verwender durch die Bereitstellung dieses Dokuments nicht eingeräumt. Jegliche sonstige Vervielfältigung, Veränderung, Verbreitung, Veröffentlichung, Weitergabe, Überlassung an Dritte und/oder Verwertung der Inhalte dieses Dokuments ist – auch auszugsweise – ohne vorherige, ausdrückliche und schriftliche Zustimmung der ENERCON GmbH untersagt, sofern und soweit nicht zwingende gesetzliche Vorschriften ein Solches gestatten.

Dem Verwender ist es untersagt, für das in diesem Dokument wiedergegebene Know-how oder Teile davon gewerbliche Schutzrechte gleich welcher Art anzumelden.

Sofern und soweit die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments nicht bei der ENERCON GmbH liegen, hat der Verwender die Nutzungsbestimmungen des jeweiligen Rechteinhabers zu beachten.

Geschützte Marken Alle in diesem Dokument ggf. genannten Marken- und Warenzeichen sind geistiges Eigentum der jeweiligen eingetragenen Inhaber; die Bestimmungen des anwendbaren Kennzeichen- und Markenrechts gelten uneingeschränkt.

Änderungsvorbehalt Die ENERCON GmbH behält sich vor, dieses Dokument und den darin beschriebenen Gegenstand jederzeit ohne Vorankündigung zu ändern, insbesondere zu verbessern und zu erweitern, sofern und soweit vertragliche Vereinbarungen oder gesetzliche Vorgaben dem nicht entgegenstehen.

Dokumentinformation

Dokument-ID	D02109818/7.0-de		
Vermerk	Originaldokument		
Vertraulichkeit	NUR ZUR PROJEKT-INTERNEN VERWENDUNG		
Datum	Sprache	DCC	Werk / Abteilung
2021-06-02	de	EC	ENERCON PLM GmbH / Civil Engineering

Mitgeltende Dokumente

Der aufgeführte Dokumenttitel ist der Titel des Sprachoriginals, ggf. ergänzt um eine Übersetzung dieses Titels in Klammern. Die Titel von übergeordneten Normen und Richtlinien werden im Sprachoriginal oder in der englischen Übersetzung angegeben. Die Dokument-ID bezeichnet stets das Sprachoriginal. Enthält die Dokument-ID keinen Revisionsstand, gilt der jeweils neueste Revisionsstand des Dokuments. Diese Liste enthält ggf. Dokumente zu optionalen Komponenten.

Übergeordnete Normen und Richtlinien

Dokument-ID	Dokument
DGGT EA-Pfähle	Empfehlungen des Arbeitskreises "Pfähle"
DIBt 2012	Richtlinie für Windenergieanlagen, Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung, Fassung Oktober 2012, Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Berlin
DIN 4019:2015	Baugrund - Setzungsberechnungen
DIN 4023:2006	Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Zeichnerische Darstellung der Ergebnisse von Bohrungen und sonstigen direkten Aufschlüssen
DIN 4084:2009	Baugrund - Geländebruchberechnungen
DIN 4095:1990	Baugrund; Dränung zum Schutz baulicher Anlagen; Planung, Bemessung und Ausrüstung
DIN EN 1997-1:2014	Eurocode 7 - Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln
DIN EN 1997-2:2010	Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds; Deutsche Fassung EN 1997-2:2007 + AC:2010
DIN EN 1998-1:2010	Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten; Deutsche Fassung EN 1998-1:2004 + AC:2009
DIN EN 206:2017	Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Deutsche Fassung EN 206:2013+A1:2016
DIN EN ISO 22475-1:2007	Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Probenentnahmeverfahren und Grundwassermessungen - Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung (ISO 22475-1:2006); Deutsche Fassung EN ISO 22475-1:2006
DIN EN ISO 22476-1:2013	Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Felduntersuchungen - Teil 1: Drucksondierungen mit elektrischen Messwertaufnehmern und Messeinrichtungen für den Porenwasserdruck (ISO 22476-1:2012 + Cor. 1:2013); Deutsche Fassung EN ISO 22476-1:2012 + AC:2013
DIN EN ISO 22476-10:2018	Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Felduntersuchungen - Teil 10: Gewichtssondierung (ISO 22476-10:2017); Deutsche Fassung EN ISO 22476-10:2017
DIN EN ISO 22476-11:2017	Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Felduntersuchungen - Teil 11: Flachdilatometerversuch (ISO 22476-11:2017); Deutsche Fassung EN ISO 22476-11:2017

Dokument-ID	Dokument
DIN EN ISO 22476-12:2009	Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Felduntersuchungen - Teil 12: Drucksondierungen mit mechanischen Messwertaufnehmern (ISO 22476-12:2009); Deutsche Fassung EN ISO 22476-12:2009
DIN EN ISO 22476-2:2012	Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Felduntersuchungen - Teil 2: Rammsondierungen (ISO 22476-2:2005 + Amd 1:2011); Deutsche Fassung EN ISO 22476-2:2005 + A1:2011
DIN EN ISO 22476-3:2012	Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Felduntersuchungen - Teil 3: Standard Penetration Test (ISO 22476-3:2005 + Amd 1:2011); Deutsche Fassung EN ISO 22476-3:2005 + A1:2011
DIN EN ISO 22476-4:2013	Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Felduntersuchungen - Teil 4: Presiometerversuch nach Ménard (ISO 22476-4:2012); Deutsche Fassung EN ISO 22476-4:2012
DIN EN ISO 22476-5:2013	Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Felduntersuchungen - Teil 5: Versuch mit dem flexiblen Dilatometer (ISO 22476-5:2012); Deutsche Fassung EN ISO 22476-5:2012
DIN EN ISO 22476-7:2013	Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Felduntersuchungen - Teil 7: Seitendruckversuch (ISO 22476-7:2012); Deutsche Fassung EN ISO 22476-7:2012
DIN EN ISO 22476-9:2021	Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Felduntersuchungen - Teil 9: Flügelscherversuche (FVT und FVT-F) (ISO 22476-9:2020); Deutsche Fassung EN ISO 22476-9:2020
EN ISO 14688-1:2018	Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 1: Benennung und Beschreibung (ISO 14688-1:2017)
EN ISO 14688-2:2018	Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 2: Grundlagen für Bodenklassifizierungen (ISO 14688-2:2017)

Zugehörige Dokumente

Dokument-ID	Dokument
D02108181	Technische Beschreibung Messung des spezifischen Erdwiderstands
D02108194	Prüfprotokoll Messung des spezifischen Erdwiderstands
PM-CE-SP651	Spezifikation Anheben der Gründungsebene

Inhaltsverzeichnis

	Abkürzungsverzeichnis	8
1	Geltungsbereich	9
2	Ausführung	10
	2.1 Baugrunduntersuchungen	10
	2.1.1 Planung der geotechnischen Untersuchungen	10
	2.1.1.1 Zugang zum Baufeld	10
	2.1.1.2 Historische Recherche	10
	2.1.1.3 Ortsbesichtigung	10
	2.1.1.4 Kampfmittelfreiheit	10
	2.1.1.5 Medienfreiheit	11
	2.1.1.6 Erdbebenzone	11
	2.1.2 Felduntersuchungen	11
	2.1.2.1 Baugrundaufschlussbohrungen	11
	2.1.2.2 Sondierungen	12
	2.1.2.3 Schürfe	12
	2.1.2.4 Geophysikalische Messverfahren	13
	2.1.2.5 Spezifischer Erdwiderstand	13
	2.1.3 Bodenmechanische und chemische Laborversuche	13
	2.1.3.1 Bodenmechanische Laborversuche	13
	2.1.3.2 Betonaggressivität	14
	2.1.3.3 Chemische Umweltuntersuchungen	14
	2.2 Geotechnische Berechnungen	15
	2.2.1 Vorbemerkungen	15
	2.2.1.1 Flachgründung ohne Belastung aus Auftrieb	15
	2.2.1.2 Flachgründung mit Belastung aus Auftrieb bzw. Teilauftrieb	15
	2.2.1.3 Tiefgründung mit Belastung aus Auftrieb bzw. Teilauftrieb	16
	2.2.2 Setzungsberechnungen	16
	2.2.3 Drehfedersteifigkeit k_{ϕ}	17
	2.2.4 Standsicherheit von Böschungen und Hängen	18
	2.2.5 Kippen, Gleiten und klaffende Fuge	18
	2.3 Gründungsempfehlung	18
	2.3.1 Flachgründung	18
	2.3.1.1 Lastfall „ohne Auftrieb“	19
	2.3.1.2 Lastfall „mit Auftrieb“ bzw. „mit Teilauftrieb“	19
	2.3.2 Tiefgründung	19
	2.4 Herstellung der Baugrube	20
	2.5 Wasserhaltung	20
	2.6 Drucklose Drainage	20

2.7	Erdarbeiten	20
2.7.1	Bodenaustausch	20
2.7.2	Baugrubenverfüllung	21
2.7.3	Erdauflast	21
2.7.4	Baugrundverbesserung	21
2.8	Auswirkungen des Frischbetoneigengewichts bei Tiefgründungen	21
3	Qualitätssicherung	22
4	Dokumentation	23
4.1	Darstellung der Untersuchungsergebnisse	23
4.2	Beizufügende Dokumentation	23

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzungen

CPT	Cone penetration test (Drucksondierung)
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
DPH	Dynamic probing heavy (Rammsondierung mit schwerer Rammsonde)
DPL	Dynamic probing light (Rammsondierung mit leichter Rammsonde)
DPM	Dynamic probing medium (Rammsondierung mit mittelschwerer Rammsonde)
GK	Geotechnische Kategorie
GOK	Geländeoberkante
SKW	Schwerkraftwagen
WEA	Windenergieanlage

Größen, Einheiten, Formeln

Hz	Hertz
-----------	-------

1 Geltungsbereich

Die vorliegende Spezifikation gilt für die geotechnische Untersuchung des Baufelds von ENERCON Windenergieanlagen und ergänzt und/oder erläutert die geltenden Normen und Richtlinien für die Erstellung eines geotechnischen Entwurfsberichts (im Folgenden „Gutachten“) für ENERCON Windenergieanlagen.

Für die Planung und Ausführung sind die nationalen und internationalen Normen und Regelwerke in ihrer jeweils gültigen Fassung zu beachten, insbesondere:

- Richtlinie für Windenergieanlagen des Deutschen Instituts für Bautechnik, (DIBt)
- DIN 4019
- DIN 4023
- DIN 4084
- DIN 4095
- DIN EN 1997
- DIN EN 1998-1
- DIN EN 206
- DIN EN ISO 22475-1
- DIN EN ISO 22476
- EN ISO 14688

Daneben sind die unter Mitgeltende Dokumente aufgeführten Dokumente heranzuziehen.

Die Anforderungen und Hinweise in der vorliegenden Spezifikation sind vom projektverantwortlichen geotechnischen Sachverständigen zu berücksichtigen. Die aufgeführten Punkte haben keinen Anspruch auf Vollständigkeit und sind im Einzelfall vom geotechnischen Sachverständigen zu bewerten.

In begründeten Fällen kann von dieser Spezifikation abgewichen werden. Dies ist im Vorfeld mit der entsprechenden ENERCON Fachabteilung abzustimmen und zusätzlich schriftlich im Gutachten zu begründen.

Schnittstellen zu Zuwegungen und Kranstellflächen

Der Einfluss der Herstellung und der Nutzung der Kranstellfläche auf die Gründung der WEA ist zu begutachten. Bei Auftreten von negativer Mantelreibung und Seitendruck auf Bauwerkspfähle sind entsprechende Vorgaben zur statischen Berücksichtigung zu geben.

Erforderliche Informationen zur Kranstellfläche sind den ENERCON Spezifikationen für Zuwegungen und Baustellenflächen für den entsprechenden WEA-Typ zu entnehmen.

2 Ausführung

2.1 Baugrunduntersuchungen

2.1.1 Planung der geotechnischen Untersuchungen

Die Planung und der Umfang der Baugrunduntersuchung müssen entsprechend der Erstellung eines geotechnischen Entwurfsberichts der Geotechnischen Kategorie 3 festgelegt und ausgeführt werden. Offene Fragen oder Hinweise für weitere Erkundungen sind im Gutachten zu vermeiden. Gegebenenfalls sind während der Erstellung weitere Erkundungen mit ENERCON und dem Auftraggeber abzustimmen und zeitnah durchzuführen.

2.1.1.1 Zugang zum Baufeld

Die auszuführenden Erkundungsarbeiten sind rechtzeitig mit der ENERCON Projektleitung abzustimmen, um den Zugang zum Erkundungsgebiet sicherzustellen. Es ist mit der Projektleitung abzustimmen, ob bzw. in welcher Weise eine Auspflockung (Markierung) des Baufelds erforderlich ist.

2.1.1.2 Historische Recherche

Der geotechnische Sachverständige hat sich mit Hilfe von Recherchearbeit über die Baugrundsituation im Untersuchungsgebiet im Vorfeld zu informieren.

Folgende Informationen sind mindestens einzuholen:

- Handelt es sich um natürlich gewachsenen Baugrund oder um anthropogene Auffüllung?
- Liegt der Standort auf umwelttechnisch vorbelastetem Gebiet bzw. wird er von Boden- oder Grundwasserverunreinigungen beeinflusst (Altlasten)?
- Liegt der Standort in einer Wasserschutzzone? Die Kategorie der Wasserschutzzone ist anzugeben.
- Liegt das Untersuchungsgebiet in einem Bergbaugebiet? Ist dies der Fall, sind aktive und stillgelegte Stollen im Fundamenteinflussbereich ($\approx 2x$ Fundamentdurchmesser) im Schnitt und in der Draufsicht darzustellen. Der Einfluss der Stollen auf das Fundament ist zu beschreiben. Zu berücksichtigende Werte sind die prognostizierte Übertagesenkung, die Senkungsgeschwindigkeiten, die Senkungsdauer und die zu erwartenden Senkungsneigungen. Zusätzlich ist eine Stellungnahme des Bergbauamts einzuholen.

2.1.1.3 Ortsbesichtigung

Der geotechnische Sachverständige hat sich mit den örtlichen Gegebenheiten vertraut zu machen. Auf eine Ortsbesichtigung sollte nur in Ausnahmefällen verzichtet werden. Morphologisch anspruchsvolle Standorte sind zwingend vor Ort zu besichtigen.

2.1.1.4 Kampfmittelfreiheit

Im Vorfeld der Untersuchungen ist vom Bauherrn bei den zuständigen Stellen eine Kampfmittelfreigabe einzuholen und dem geotechnischen Sachverständigen zu übergeben.

Für den Fall, dass zur Erteilung einer Kampfmittelfreigabe weitere Untersuchungen (Bohrungen) zur Kampfmittelfreiheit notwendig werden, sind diese mit dem geotechnischen Sachverständigen abzustimmen, um Auswirkungen auf die Gründung der WEA abzuschätzen.

2.1.1.5 Medienfreiheit

Der geotechnische Sachverständige hat sich vor Durchführung der Erkundungsarbeiten über das Vorhandensein von erdverlegten Kabeln und Rohren bei den örtlichen und über-regionalen Versorgungsträgern zu informieren.

2.1.1.6 Erdbebenzone

Der geotechnische Sachverständiger hat zu prüfen, ob der WEA-Standort in einem Erdbebengebiet liegt. Liegt der Standort gemäß DIN EN 1998-1 in einem Erdbebengebiet, so sind die Erdbebenzone, die Baugrundklasse, die Untergrundklasse sowie ggf. die maximal zu erwartende Horizontalbeschleunigung anzugeben.

2.1.2 Felduntersuchungen

2.1.2.1 Baugrundaufschlussbohrungen

Es sind direkte Baugrundaufschlüsse gemäß DIN EN ISO 22475-1 in ausreichender Anzahl auszuführen (siehe Tab. 1, S. 11). Das Bohrverfahren und der Bohrdurchmesser sind den erwarteten Baugrundverhältnisse anzupassen.

Die Tiefe der Bohrungen ist so zu wählen, dass alle setzungs- und standsicherheitsrelevanten Bodenschichten erfasst werden. Die geplante Aufschlusstiefe in Lockersedimenten darf jedoch nicht weniger als 10 m unter GOK betragen. Werden bei der Ausführung geringere Tiefen erreicht (Hindernisse, Geräteauslastung), ist zu prüfen, ob die erhaltenen Informationen ausreichen oder ob weitere Bohrungen ggf. mit Änderung des gewählten Verfahrens erforderlich sind.

Bei Festgestein kann die Bohrtiefe in das Gestein ebenfalls reduziert werden. Gegebenenfalls kann auf Festgesteinsbohrungen vollständig verzichtet werden. Dies gilt, sofern der geotechnische Sachverständige die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit plausibel nachweisen kann (z. B. durch indirekte Aufschlussverfahren, örtliche Erfahrung).

Die Mindestanzahl der Bohrungen richtet sich nach der Größe des Fundaments. Hierbei sollte zur besseren Kalibrierung mindestens eine Bohrung im Nahbereich (≈ 2 m Abstand) einer Drucksondierung abgeteuft werden. Der Abstand zum Fundamentrand sollte 2 m nicht überschreiten.

Tab. 1: Mindestanzahl und Anordnung der Bohrungen

Fundamentdurchmesser D	Anzahl	Anordnung
< 20 m	1	im Nahbereich einer CPT (≈ 2 m Abstand)
≥ 20 m	2	1x Fundamentrand Richtung Kranstellfläche 1x gegenüberliegender Fundamentrand
≥ 25 m	3	1x Fundamentrand Richtung Kranstellfläche restliche Bohrungen gleichmäßig über den Fundamentrand verteilen (120°)

Von den Baugrundaufschlussbohrungen sind farbige Bohrsäulenprofile gemäß DIN 4023 / EN ISO 14688 dem Gutachten beizufügen. Bei der Darstellung der Bohrergebnisse sind die Bodenarten voll ausgeschrieben anzuführen. Die Bodenfeuchte und die angetroffenen Grundwasserstände sind anzugeben. Die Hinweise der DIN EN ISO 22475-1 sind zu beachten.

2.1.2.2 Sondierungen

Ergänzend zu den direkten Baugrundaufschlussbohrungen sind an jedem Standort Sondierungen (indirekte Aufschlüsse) nach DIN EN ISO 22476 durchzuführen.

Drucksondierungen (CPT) sind aufgrund der größeren Aussagekraft gegenüber Rammsondierungen zu bevorzugen. Zur Dimensionierung von Pfahltragfähigkeiten oder Baugrundverbesserungen (z. B. Rüttelstopfsäulen) ist die Durchführung von Drucksondierungen zwingend erforderlich.

Die Tiefe der Drucksondierungen ist so zu wählen, dass alle setzungs- und standsicherheitsrelevanten Bodenschichten erfasst werden. Die geplante Aufschlusstiefe unter GOK darf jedoch nicht weniger als 1,5x Fundamentdurchmesser betragen. Werden bei der Ausführung geringere Tiefen erreicht (Hindernisse, Auslastung), ist zu prüfen, ob die erhaltenen Informationen ausreichen oder ob weitere Untersuchungen erforderlich sind.

Tab. 2: Mindestanzahl und Anordnung der Drucksondierungen

Fundamentdurchmesser D	Anzahl	Anordnung
< 20 m	3	1x Fundamentrand Richtung Kranstellfläche restliche Ansatzpunkte gleichmäßig über den Fundamentrand verteilen (120°)
≥ 20 m	4	1x Fundamentrand Richtung Kranstellfläche restliche Ansatzpunkte gleichmäßig über den Fundamentrand verteilen (90°)

Bei der Darstellung der Drucksondierungsergebnisse sind neben dem Spitzendruck auch die Mantelreibung, das Reibungsverhältnis sowie die Neigung anzugeben.

Bei der Planung der Baugrunduntersuchung ist zu prüfen, ob der Einsatz spezieller Drucksondierspitzen (z. B. CPT-U) sinnvoll ist.

In begründeten Fällen sind in Absprache mit ENERCON Rammsondierungen mit der schweren Rammsonde (DPH) nach DIN EN ISO 22476-2 durchzuführen. Leichte und mittelschwere Rammsondierungen (DPL und DPM) sind nicht zulässig.

Die Anzahl der Ansatzpunkte der Rammsondierungen (DPH) entsprechen den Angaben in Tab. 2, S. 12.

2.1.2.3 Schürfe

Bei geringmächtigen Bodenschichten über Festgestein oder zur Klärung der Grundwassersituation können Schürfe nach DIN EN 1997-2 und DIN EN ISO 22475-1 angelegt und ausgewertet werden. Dem Baugrundgutachten sind Fotos der Schürfe und des Baggerguts beizulegen.

Tab. 3: Mindestanzahl und Anordnung der Schürfe

Fundamentdurchmesser D	Anzahl	Anordnung
< 20 m	2	≈1 m vom Fundamentrand
≥ 20 m	3	≈1 m vom Fundamentrand

Von den Schürfen sind farbige Bohrsäulenprofile gemäß DIN 4023 / EN ISO 14688 dem Baugrundgutachten beizufügen. Bei der Darstellung der Ergebnisse sind die Bodenarten voll ausgeschrieben anzuführen. Die Bodenfeuchte und der angetroffene Grundwasserstand sind anzugeben. Die Hinweise der DIN EN ISO 22475-1 sind zu beachten.

2.1.2.4 Geophysikalische Messverfahren

Geophysikalische Messverfahren können ergänzend zu den Baugrundaufschlussbohrungen und den Sondierungen ausgeführt werden. Sie eignen sich besonders, um Aussagen über den Flächenaufbau des Untergrunds und über Inhomogenitäten zu erhalten.

Geophysikalische Messungen sollten in Betracht gezogen werden, wenn Verdacht auf folgende Fälle besteht:

- Verkarstungen, Dolinen, Hohlräumen, Erdfällen
- Störungs- und Klüftzonen im Festgestein
- Moorkörper oder Toteislöcher in Lockersedimenten

Sollen über geophysikalische Untersuchungen Steifemodule, Schubmodule und/oder Querdehnzahlen ermittelt werden, ist das angewandte Verfahren mit ENERCON abzustimmen. Die Eignung des Verfahrens für die jeweils anstehenden Böden ist nachzuweisen.

2.1.2.5 Spezifischer Erdwiderstand

Zur Auslegung der Erdungsanlage ist an allen Fundamentstandorten der spezifische Erdwiderstand ρ_s mittels Wenner-Verfahren zu messen. Die Messung des spezifischen Erdwiderstands ist gemäß den ENERCON Dokumenten D02108181 „Technische Beschreibung Messung des spezifischen Erdwiderstands“ und D02108194 „Prüfprotokoll Messung des spezifischen Erdwiderstands“ durchzuführen und zu protokollieren. Das Ergebnis ist dem Gutachten anzuhängen.

2.1.3 Bodenmechanische und chemische Laborversuche

2.1.3.1 Bodenmechanische Laborversuche

Aufgrund der Einstufung von WEA in die Geotechnische Kategorie 3 (GK 3) sind die für die Beurteilung und Berechnung erforderlichen Baugrundkenngrößen versuchstechnisch und/oder mit Hilfe von Korrelationen zu bestimmen. Eine Festlegung der Bodenkennwerte über Literaturangaben ist nicht zulässig.

Zur Bestimmung der Bodenkennwerte sind u. a. folgende Untersuchungen in den maßgebenden Bodenschichten vorzunehmen und zu dokumentieren, sofern keine Bodenkennwerte korreliert werden können.

Tab. 4: Laboruntersuchungen zu Ermittlung der Bodenkennwerte

Bodenkennwert	Untersuchung
Wichte γ/γ'	Dichtebestimmung
Reibungswinkel φ'	Scherversuche, Triaxialversuche
Kohäsion c'	Scherversuche, Triaxialversuche
undrainierte Scherfestigkeit c_u	Flügelsondierungen, Triaxialversuche
stat. Steifemodul $E_{s,stat}$	Oedometerversuch, Triaxialversuche
dyn. Steifemodul $E_{s,dyn}$	Zyklische Triaxialversuche

Zur Festlegung der Bodenart sind ggf. folgende weiteren Untersuchungen erforderlich:

- Sieb- und Schlämmanalyse
- Ggf. Scherversuche
- Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenzen

- Bestimmung des natürlichen Wassergehaltes
- Bestimmung des organischen Anteils
- Einaxiale Druckversuche (Festgestein)

Die vorgenannten Untersuchungen haben keinen Anspruch auf Vollständigkeit und sind bei Bedarf vom geotechnischen Sachverständigen projektspezifisch zu erweitern.

Die nachfolgend aufgeführten, geforderten Bodenkennwerte sind für alle Bodenschichten tabellarisch anzugeben.

- Wichte γ/γ' [kN/m³]
- Reibungswinkel ϕ' [°]
- Kohäsion c' [kN/m²]
- undrainierte Scherfestigkeit c_u [kN/m²]
- Querdehnzahl ν [-]
- stat. Steifemodul $E_{s,stat}$ [MN/m²]
- dyn. Steifemodul $E_{s,dyn}$ [MN/m²]

Die Boden- und Festgesteinsarten sind gemäß ihrer Lösbarkeit zu klassifizieren. Für die anstehenden Böden sind Homogenbereiche festzulegen. Die Anzahl der Homogenbereiche sollte so gering wie möglich gehalten werden. Die Homogenbereiche sind mit Tiefenangaben bezogen auf Meter unter GOK tabellarisch aufzuführen. Für die einzelnen Homogenbereiche sind Einsatzgeräte zum Lösen und Abbauen anzugeben.

2.1.3.2 Betonaggressivität

Das Grundwasser ist nach DIN 4030 / DIN EN 206 gemäß seiner Betonaggressivität für den Fundamentkörper und ggf. die Tiefgründung einzustufen.

Ferner ist eine Bestimmung des Eisengehalts im Grundwasser durchzuführen.

Die Beprobung ist an jedem Standort durchzuführen. Aufgrund örtlicher Gegebenheiten kann von dieser Regelung in Absprache mit der ENERCON Fachabteilung abgewichen werden.

In jedem Fall ist eine Aussage zur Betonaggressivität vom geotechnischen Sachverständigen zu treffen. Ohne eine entsprechende Angabe ist eine Freigabe der Betonrezeptur nicht möglich.

Die Ergebnisse der Grundwasseranalysen mit dem Probenahmeprotokoll sind dem geotechnischen Entwurfsbericht beizufügen.

2.1.3.3 Chemische Umweltuntersuchungen

Bei Verdacht auf kontaminierte Bodenschichten oder sulfatsaure Böden sind nach Rücksprache mit ENERCON ggf. weitere umweltschutztechnische Untersuchungen durchzuführen und geeignete Gegenmaßnahmen vorzuschlagen.

Die Ergebnisse von chemischen Analysen sind in einem separaten Bericht darzustellen. Die Probenahmeprotokolle und Prüfberichte der Laboranalysen sind dem Bericht beizufügen.

2.2 Geotechnische Berechnungen

2.2.1 Vorbemerkungen

ENERCON verfügt über typengeprüfte Fundamente. Über die Typenprüfung sind die Fundamentgeometrie sowie die auftretenden Lasten festgelegt. Die maßgebenden Fundamentlasten sind dem Fundamentdatenblatt des jeweiligen WEA-Typs zu entnehmen.

Bei den Fundamenten handelt es sich um Kreisringfundamente. Die geotechnischen Nachweise sind entsprechend für Kreisringfundamente zu führen. In den Fundamentdatenblättern ist jeweils der Außen- und Innendurchmesser angegeben. Bei Stahlturnmfundamenten ist als Innendurchmesser der Durchmesser der kompressiblen Weichschicht anzusetzen.

Gründungsebene

Die Gründungsebene ist auf dem Fundamentdatenblatt angegeben. Sie ergibt sich aus der Fundamenthöhe abzüglich der Differenz Fundamentoberkante – GOK. Bei geneigter Baufläche ist die Geländehöhe im Mittelpunkt der WEA maßgebend anzusetzen. Ein Anheben der Gründungsebene kann bei in den Baugrund eingelassenen Fundamenten aus geotechnischer Sicht sinnvoll und ausführbar sein. Um die Gültigkeit der Typenprüfung und Baugenehmigung nicht zu verletzen und die Auswirkungen auf weitere Gewerke zu prüfen, darf eine Anhebung der Gründungsebene nur nach Freigabe durch ENERCON erfolgen. Weitere Hinweise zum Anheben der Gründungsebene gibt das Dokument PM-CE-SP651 „Spezifikation Anheben der Gründungsebene“.

Bei einer Veränderung der gemäß Typenprüfung angegebenen Höhe der Gründungsebene ist die Bezugsebene GOK für den Auftrieb nicht mehr gültig. Der zulässige Grundwasserstand für das Fundament ergibt sich dann aus dem Abstand der Fundamentoberkante zu der in der Typenprüfung festgelegten Geländeoberkante. Ein Herabsetzen der Gründungsebene innerhalb des Grundwassers über das in der Typenprüfung angegebene Maß hinaus ist nicht ohne Weiteres möglich. Hierzu sind weitere statische Nachweise zu führen.

Fundamenttypen gemäß Typenprüfung

Gemäß Typenprüfung werden folgende Fundamenttypen unterschieden:

1. Flachgründung ohne Belastung aus Auftrieb
2. Flachgründung mit Belastung aus Auftrieb bzw. Teilauftrieb
3. Tiefgründung mit Belastung aus Auftrieb bzw. Teilauftrieb

2.2.1.1 **Flachgründung ohne Belastung aus Auftrieb**

Eine Auftriebswirkung durch Grundwasser/Stauwasser ist gemäß Typenprüfung nicht zulässig. Der Bemessungswasserstand muss während der gesamten Lebensdauer der WEA dauerhaft unterhalb der Gründungsebene liegen.

Für die geotechnischen Nachweise sind die im Fundamentdatenblatt angegebenen charakteristischen Lastfälle bzw. die Bemessungswerte der Lastfälle heranzuziehen.

2.2.1.2 **Flachgründung mit Belastung aus Auftrieb bzw. Teilauftrieb**

Bei diesem Fundamenttyp ist eine Auftriebswirkung bis zu dem in den Fundamentplänen angegebenen Grundwasserstand nachgewiesen. Eine Auftriebswirkung muss jedoch nicht zwingend vorhanden sein.

In den Fundamentdatenblättern sind Vertikallasten F_z für die Lastfälle „ohne Auftrieb“ und „mit Auftrieb“ angeben. Bei dem Lastfall „ohne Auftrieb“ wurde ein Bemessungswasserstand unterhalb der Gründungsebene angesetzt. Bei dem Lastfall „mit Auftrieb“ wurde Auftrieb bis zur Geländeoberkante (GOK) angesetzt. Die geotechnischen Nachweise sind für jeweils beide Lastfälle zu führen. Bei einer Veränderung der gemäß Typenprüfung angegebenen Höhe der Gründungsebene ist die Bezugsebene GOK für den Auftrieb nicht mehr gültig. Der zulässige Grundwasserstand für das Fundament ergibt sich dann aus dem Abstand der Fundamentoberkante zu der in der Typenprüfung festgelegten Geländeoberkante.

2.2.1.3 Tiefgründung mit Belastung aus Auftrieb bzw. Teilauftrieb

Bei dem Tiefgründungsfundament sind die unter Kap. 2.2.1.2, S. 15 beschriebenen Auftriebsbelastungen bereits durch die Fundamentstatik abgedeckt.

Für die Pfahlvorbemessung durch den geotechnischen Sachverständigen sind die im Fundamentdatenblatt für die verschiedenen Pfahlvarianten angegebenen Druck- und Zuglasten der Bemessungslasten zu verwenden. Die angegebenen Bemessungslasten beinhalten alle erforderlichen Teilsicherheitswerte. Aus diesem Grund sind bei der Vorbemessung die Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen auf $\gamma_G = \gamma_Q = 1,0$ zu setzen.

Für alle Fundamenttypen sind in der Typenprüfung keine Verkehrslasten auf dem Fundament statisch berücksichtigt. Das Überfahren, das Parken, sowie das Lagern von Lasten ist somit nicht zulässig.

Die Erdüberdeckung auf dem Fundament ist in der Typenprüfung statisch berücksichtigt. Die geforderte Erdauflast ist dauerhaft herzustellen.

2.2.2 Setzungsberechnungen

Die Setzungsberechnungen sind für jeden im Fundamentdatenblatt aufgeführten Lastfall (charakteristische Werte maßgebend) durchzuführen. Bei Ausführung des Fundamenttyps „Flach mit Auftrieb“ sind die Berechnungen dabei jeweils für die Lastfälle „mit“ und „ohne Auftrieb“ durchzuführen. Für die Berechnung sind in allen betrachteten Lastfällen die statischen Bodenkennwerte anzusetzen.

Die auf dem Fundamentdatenblatt angegeben maximalen Setzungsdifferenzen beziehen sich auf Fundamentaußenkante.

Zur Berechnung der zulässigen Schiefstellung der WEA sind Steifemodulwerte zu verwenden. Eine Berechnung mit Elastizitätswerten und Querdehnzahl ist nicht empfehlenswert.

Ferner sind die in den Fundamentdatenblättern der WEA angegebenen Dimensionen und Lastangaben unverändert zu verwenden. Eine Reduzierung der Werte ist nicht zulässig. Sofern ein Herausziehen der WEA geplant ist, ist die geänderte Gründungsebene entsprechend zu berücksichtigen.

Bei der Berechnung der Setzungsdifferenzen ist inhomogener Baugrund sowie der Einfluss des auftretenden Moments zu berücksichtigen.

Extremlastfall

Bei dem Extremlastfall DLC 6.2 bzw. N/A/T handelt es sich um einen außergewöhnlichen Lastfall, der nur kurzzeitig wirkt (Windböen). Die nur kurzzeitige Einwirkung der Last kann bei der Ermittlung der Setzungsdifferenzen auf bindigem Boden berücksichtigt werden. Eine Zeit-Setzungs-Betrachtung führt zu einer deutlichen Reduzierung der Setzungswerte. Eine Reduzierung der im Extremlastfall nach DIN 4019 ermittelten Setzungswerte um 25 % kann aufgrund des kurzfristigen Ereignisses aus Sicht von ENERCON auch ohne aufwendige Zeit-Setzungs-Berechnung pauschal angesetzt werden.

Ob dieser pauschale Ansatz übernommen werden kann, ist abhängig vom Baugrund und liegt im Ermessen und in der Verantwortung des geotechnischen Sachverständigen. Im Bedarfsfall kann ENERCON eine Zeit-Setzungs-Berechnung vom geotechnischen Sachverständigen zur Bestätigung anfordern.

Bei rolligen Böden und den damit verbundenen Sofortsetzung bei Lasterhöhung sind die im Extremlastfall 6.2 nach DIN 4019 ermittelten Setzungswerte ohne eine Zeit-Setzungs-Betrachtung nicht zu reduzieren. Berücksichtigt werden können hingegen die durch die Vertikallasten im Lastfall 1.0 bzw. DLC D.3 auftretenden Sofortsetzungen, ohne Berücksichtigung des auftretenden Momentes. Die ermittelten Setzungen im Extremlastfall können um den Betrag reduziert werden. Dieses Vorgehen ist ebenfalls projektspezifisch vom verantwortlichen geotechnischen Sachverständigen zu verifizieren.

2.2.3 Drehfedersteifigkeit k_{ϕ}

Zur Vermeidung von Schwingungsresonanzen des Turms beim Zusammenwirken von Fundament und Baugrund darf die geforderte Drehfedersteifigkeit k_{ϕ} nicht unterschritten werden. Die einzuhaltende Drehfedersteifigkeit ist dem jeweiligen Fundamentdatenblatt zu entnehmen. Der Nachweis ist bei geschichtetem Baugrund für alle relevanten Schichten nachvollziehbar zu führen.

Hinweis zur Berechnung der Drehfedersteifigkeit über die geschlossene Formel

Grundlage der Berechnungen ist die Formel auf dem Fundamentdatenblatt:

$$k_{phi} = E_s * \frac{4}{3} * r^3 * \frac{1 - \nu - 2 * \nu^2}{(1 + \nu) * (1 - \nu)^2}$$

Für tiefere Schichten wird r als der zugehörige Ersatzradius betrachtet. Die Vergrößerung des Ersatzradius ergibt sich aus dem Reibungswinkel über die Höhe der betrachteten Bodenschicht.

Die Nachweisführung der Drehfedersteifigkeit ist schichtenbezogen auszuwerten und tabellarisch aufzuführen.

Die Rechenansätze für die Berechnung der dynamischen Drehfedersteifigkeit bei ENERCON haben gezeigt, dass eine hohe Übereinstimmung mit den tatsächlichen Gegebenheiten vorliegt.

Bei einer Berechnung der dynamischen Drehfedersteifigkeit auf Grundlage des Schubmoduls G_{dyn} ist die dynamische Schubverzerrungsamplitude zu berücksichtigen. Der Abminderungsfaktor liegt im Bereich für $\gamma=10^{-3}$ bei $\approx 0,3$.

Hinweis zur Berechnung der Drehfedersteifigkeit über das Moment

Die Berechnung der Setzungsdifferenzen ist mit den statischen bzw. dynamischen Steifemodulwerten sowie unter Berücksichtigung des zugehörigen Moments durchzuführen. Alle setzungsempfindlichen Bodenschichten sind zu berücksichtigen.

Der für die Bemessung der Drehfedersteifigkeiten maßgebende Lastfall ist DLC D.3 (Produktion). Die Drehfedersteifigkeiten sind unter Berücksichtigung der wirkenden Vertikallast und dem wirkenden Moment zu bestimmen.

Grundlage der Berechnungen ist die Formel:

$$k_{phi} = \frac{M [\text{kNm}]}{\alpha [\text{rad}]}$$

$$\alpha = \frac{ds}{d}$$

M = Moment

ds = Setzungsdifferenz beim wirkenden Moment und Vertikallast

d = Fundamentdurchmesser

Die Laständerungen im Produktionsbetrieb einer Windenergieanlage liegt im Frequenzbereich < 2 Hz. Es handelt sich somit nicht um eine dynamische Belastung des Baugrunds, sondern um eine länger andauernde zyklische Belastung.

Die in der Literatur angegebenden dynamische Steifemodulwerte, sowie die angegebenden Erhöhungswerte zur Umrechnung von statischen Steifemodulwerten auf dynamische Steifemodulwerte sind für diese zyklischen Frequenzbereiche somit nicht gültig. Die für die Berechnung der dynamischen Drehfedersteifigkeit verwendeten Steifemodulwerte sind entsprechend vorsichtig zu wählen.

Der Nachweis der Drehfedersteifigkeit bei Tiefgründungen ist vom Aufsteller der Pfahlstatik am Gesamtsystem zu führen. Ein Nachweis durch den geotechnischen Sachverständigen ist nicht erforderlich.

2.2.4 Standsicherheit von Böschungen und Hängen

Bei Fundamenten im Einflussbereich oberhalb einer Böschung ist die Standsicherheit der Böschung nach DIN 4084 / DIN EN 1997-1 nachzuweisen.

2.2.5 Kippen, Gleiten und klaffende Fuge

Die geotechnischen Nachweise für Kippen, Gleiten und die klaffende Fuge sind bereits durch die Fundamentstatik abgedeckt. Um die Gültigkeit der geotechnischen Berechnung zu wahren, dürfen keine Maßnahmen ausgeführt werden, die zu einer Veränderung der Vertikal- und Horizontallasten führen.

Eine unzulässige Veränderung der Vertikallasten erfolgt z. B. bei Auftriebswirkung durch Wasser bei dem Fundamenttyp „ohne Auftrieb“ oder bei nicht ausreichender Erdauflast. Eine unzulässige Veränderung der Horizontallasten kann ebenfalls durch ein Anheben der Gründungsebene ohne Prüfung der Windgeschwindigkeiten und Turbulenzen erfolgen.

Der Nachweis für das Gleiten wurde mit einem Reibungswinkel von 20° geführt. Der geotechnische Sachverständige hat zu bestätigen, dass der Reibungswinkel von 20° nicht unterschritten wird.

2.3 Gründungsempfehlung

2.3.1 Flachgründung

Bei Flachgründungen sind grundsätzlich die rechnerischen Nachweise für die Standsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit zu führen. Die zulässigen Bodenpressungen sind auf den Datenblättern angegeben. Es sind grundsätzlich alle im Fundamentdatenblatt angegebenen Lastfälle zu untersuchen.

Die maximal zulässige Bodenpressung und die zu erwartenden Setzungen sind anzugeben und die setzungsbedingte Schiefstellung ist der maximal erlaubten Schiefstellung für die gesamte Lebensdauer von min. 20 Jahren gegenüberzustellen.

Bei nicht ausreichend tragfähigem Baugrund sind Vorschläge zu erforderlichen Bodenverbesserungs- oder Bodenaustauschmaßnahmen zu unterbreiten.

2.3.1.1 Lastfall „ohne Auftrieb“

Der Fundamenttyp „Flachgründung ohne Auftrieb“ darf nur ausgeführt werden, wenn eine ausreichende Durchlässigkeit in Gründungsebene gegeben ist, die Ausführung einer drucklosen Drainage möglich ist oder die Gründungsebene auf GOK und somit außerhalb des Grundwassereinflusses liegt. Andere Möglichkeiten zur Reduzierung des Wasseranfalls (z. B. Verfüllung des Arbeitsraums mit stark bindigem Material, Einbau von Folien und anderen Wassersperren) in Gründungsebene sind von ENERCON ausgeschlossen, können jedoch ergänzend ausgeführt werden.

Es ist sicherzustellen, dass der höchste anzunehmende Grundwasserstand die Gründungsebene nicht übersteigt. Insbesondere zu folgenden Punkten ist im Gutachten eine Aussage zu treffen:

- Innerhalb der Lebensdauer der WEA darf sich kein Stauwasserspiegel bilden (Badewanneneffekt).
- Der Durchlässigkeitsbeiwert k_f muss innerhalb der gesamten Gründungsebene ausreichend hoch sein, um eine sofortige Versickerung von anfallendem Niederschlagswasser gewährleisten zu können.
- Ausführungsmöglichkeit einer drucklosen Drainage. Die Drainage ist für die vollständige Lebensdauer der WEA wartungsfrei auszulegen.
- Bei Ausführung einer drucklosen Drainage: Topographische Gegebenheiten im Umfeld des Standorts.

2.3.1.2 Lastfall „mit Auftrieb“ bzw. „mit Teilauftrieb“

Bei Fundamenten im Lastfall „mit Auftrieb“ ist der max. Wasserstand (Bemessungswasserstand) anzugeben. Es ist zu beachten, dass Wasserstände über GOK nicht erlaubt sind.

2.3.2 Tiefgründung

Es sind alle auf dem Fundamentdatenblatt aufgeführten Pfahltypen zu untersuchen und vergleichend aufzuführen. Die Eignung und Nichteignung bzw. Gründungsrisiken der Pfahlsysteme sind zu erläutern. Abschließend ist eine Aussage über das favorisierte Pfahlsystem für den jeweiligen Standort zu treffen. Die in DGGT EA-Pfähle angegebenen Einbindetiefen für die Pfahlsysteme sind zu berücksichtigen. Abweichungen sind zu begründen.

Nachfolgend sind die erforderlichen Angaben aufgeführt:

- Pfahlquerschnitt
- Absetztiefe, anzugeben in Meter unter GOK
- Einbringverfahren
- Abschätzung der Ausführbarkeit (z. B. Einschätzung der Rammarbeit, Gesteinsblöcke im Untergrund)
- Ermittelte, aufnehmbare Pfahllasten (Druck- und Zuglasten)
- Horizontaler Bettungsverlauf entlang des Pfahls (Regelprofil)
- Negative Mantelreibung
- Seitendruck und Auflast auf geneigte Pfähle

2.4 Herstellung der Baugrube

Für die Herstellung der Baugrube sind standortbezogene Hinweise zu geben. Der für die anstehenden Böden max. zulässige Böschungswinkel ist anzugeben. Es sind zudem Angaben zur Sicherung der Böschung und der Baugrubensohle zu machen. Bei bereits aufgeweichten Böden oder unregelmäßiger Baugrubensohle sind Maßnahmen vor Einbringen der Sauberkeitsschicht vorzuschlagen.

2.5 Wasserhaltung

Wird eine Wasserhaltung zur Trockenhaltung der Baugrube während des Fundamentbaus erforderlich, so sind geeignete Verfahren anzugeben und zu beschreiben. Die zu erwartende Wassermenge ist abzuschätzen.

Bei gespanntem Grundwasser ist ein hydraulischer Grundbruchnachweis zu führen. Besteht Gefahr eines hydraulischen Grundbruchs in der Baugrube sind geeignete Gegenmaßnahmen anzugeben.

2.6 Drucklose Drainage

Bei Fundamenten ohne Auftriebswirkung kann ggf. temporär anfallendes Schichten- und Oberflächenwasser mittels einer drucklosen Drainage (ohne Pumpe) entwässert werden. Bei der Planung und Ausführung der Drainage ist die DIN 4095 zu berücksichtigen. Die Drainage hat sicherzustellen, dass zu keiner Zeit eine Auftriebswirkung durch Schichtenwasser und Stauwasser auf das Fundament wirkt. Aktive Drainagen sind nicht zulässig.

Bei Ausführung einer drucklosen Drainage ist eine Dränschicht unterhalb des Fundaments einzuplanen. Diese muss so hergestellt werden, dass sie keinen Einfluss auf die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der Windenergieanlage hat. Der Auslauf muss frostfrei enden.

Die Planung und Sicherstellung der dauerhaften Funktionalität der Drainageanlage ist durch den Eigentümer der Windenergieanlage sicherzustellen. Die Ausführung der Drainage ist schriftlich durch den Ausführungsplaner freizugeben.

2.7 Erdarbeiten

In der Baugrubensohle anstehende, nicht tragfähige bzw. aufgeweichte bindige Bodenschichten sind gegen kornabgestuftes Material auszutauschen. Lockere rollige Bodenschichten sind nachzuverdichten. Die Baugrubensohle ist vor dem weiteren Verfüllen von einem geotechnischen Sachverständigen abzunehmen und schriftlich freizugeben.

Im Bodengutachten ist eine erste Einschätzung über die Eignung der Aushubböden zum Wiedereinbau als Baugrubenverfüllung bzw. als Erdauflast anzugeben. Insbesondere ist eine Aussage über die Eignung zum verdichteten Wiedereinbau im Bereich zwischen Kranstellfläche und Fundament zu treffen. Die Einschätzungen sind bei der Abnahme der Baugrubensohle zu verifizieren und schriftlich freizugeben.

2.7.1 Bodenaustausch

Ist ein Bodenaustausch erforderlich, sind Empfehlungen zum Austauschmaterial, Verdichtungsgrad und zur Ausführung anzugeben. Grundsätzlich ist das Bodenaustauschmaterial lagenweise verdichtet einzubauen. Ein Einbau von Ziegelbruch (Rotstein-Material) und anderem mürben Material unterhalb des Fundaments ist unzulässig. Weitere Hinweise können der entsprechenden ENERCON Spezifikation entnommen werden.

2.7.2 Baugrubenverfüllung

Hinweise zur Baugrubenverfüllung können der entsprechenden ENERCON Spezifikation entnommen werden. Die Baugrube muss mit verdichtbarem Bodenmaterial aufgefüllt werden.

Zwischen Kranstellfläche und Fundament ist im Verfüllbereich des Fundaments die SKW-Befahrbarkeit während der gesamten Betriebszeit sicherzustellen.

2.7.3 Erdauflast

Die Erdauflast auf dem Fundamentsporn ist dauerhaft und erosionssicher mit einer gemäß Typenprüfung festgelegten Wichte herzustellen. Die erforderliche Mindestwichte für die Erdauflast ist auf den Fundamentdatenblättern und auf den Schalplänen angegeben. Bei einer erhöhten Auflast (z. B. durch Aufbau der Kranstellfläche auf dem Fundament) ist eine gesonderte Stellungnahme seitens ENERCON erforderlich (siehe auch Kap. 2.2.1.2, S. 15).

Die Auflast ist statisch erforderlich. Die Eignung des verwendeten Materials ist vom geotechnischen Sachverständigen sicherzustellen und schriftlich zu bestätigen.

Bei herausgezogenen Fundamenten hat der geotechnische Sachverständige den erforderlichen Abstand der Böschungsoberkante zum Fundamentrand anzugeben. Bei erosionsanfälligen Bodenmaterial ist ggf. ein Überstand erforderlich, um die vollständige Auflast auf dem Fundament zu gewährleisten.

2.7.4 Baugrundverbesserung

Zur nachträglichen Prüfung einer Baugrundverbesserung sind die Art der Prüfung, die zu kontrollierenden Kenngrößen, die Prüfpositionen, die Prüfhäufigkeit und die Annahmekriterien vor Ausführung der Prüfungen durch den geotechnischen Sachverständigen festzulegen und im Gutachten zu vermerken. Weitere Hinweise sind der entsprechenden ENERCON Spezifikation zu entnehmen.

2.8 Auswirkungen des Frischbetoneigengewichts bei Tiefgründungen

Der Baugrund darf während der Betonage keine Muldenbildung (Setzungsdifferenz > 1 cm) erfahren. Bei der Ermittlung der Setzungen ist die Vorbelastung durch den Erdaushub zu berücksichtigen. Die zulässigen Betonierhöhen bei abschnittsweiser Betonage sind gemäß Fundamentstatik vorgegeben und den ENERCON Schalplänen zu entnehmen.

3 Qualitätssicherung

Die Baugrubensohle sowie etwaige weitere Bodenverbesserungs- bzw. Austauschmaßnahmen (insbesondere die zugehörigen statischen Nachweise und Herstellprotokolle) sind vom verantwortlichen geotechnischen Sachverständigen abzunehmen und schriftlich freizugeben.

Bei der Ausführung besonderer Maßnahmen wie z. B. dem Verfüllen von Hohlräumen sind die Arbeiten vom geotechnischen Sachverständigen zu überwachen und nach Abschluss gesondert schriftlich freizugeben.

Bei Tiefgründungen sind die Ramm-/Herstellprotokolle der Bauwerkspfähle auf Übereinstimmung mit dem Gutachten durch den geotechnischen Sachverständigen zu überprüfen. Die Rammprotokolle und die Integritätstestergebnisse sind zu beurteilen. Die Tiefgründung ist schriftlich freizugeben.

4 Dokumentation

4.1 Darstellung der Untersuchungsergebnisse

Der geotechnische Entwurfsbericht mit sämtlichen Anhängen ist ENERCON farbig und in digitaler Form als einzelne Datei zur Verfügung zu stellen. Die Dateigröße sollte 10 MB nicht überschreiten. Zur weiteren Bearbeitung ist das Baugrundgutachten frühzeitig zu erstellen und bei ENERCON einzureichen. Der Fertigstellungstermin wird im Liefervertrag geregelt. Unabhängig davon sollte das Baugrundgutachten möglichst 16 Wochen vor Baubeginn eingereicht werden.

Das Untersuchungsgebiet ist in einem Übersichtplan darzustellen, aus dem die überregionale Lage ersichtlich ist. Die Standortkoordinaten sind auf dem Plan oder im Berichtsteil anzugeben.

Die Ansatzpunkte der Bohrungen und Sondierungen sind auf einem gesonderten Lageplan kenntlich zu machen. Dies gilt für jeden Standort.

Die Ansatzpunkte sind höhenmäßig einzumessen und auf Höhe GOK im Fundamentmittelpunkt mit $\pm 0,0$ m zu beziehen. Die Höhen sind auf den Bohr- bzw. Sondierprofilen anzugeben. Gegebenenfalls ist die Topographie in 1-2 Geländeschnitten graphisch darzustellen.

Eine aussagekräftige Fotodokumentation der örtlichen Gegebenheiten ist beizufügen.

Die angewendeten Untersuchungsverfahren und -geräte sind anzugeben, um mögliche Abweichungen und Fehlerquellen zu dokumentieren.

4.2 Beizufügende Dokumentation

Folgende Dokumentation ist dem Gutachten beizufügen:

- Farbige Bohrsäulenprofile gemäß DIN 4023 / EN ISO 14688 von Baugrundaufschlussbohrungen und Schürfen (Bodenarten sind voll auszuschreiben)
- Drucksondierungsergebnisse inkl. Spitzendruck, Mantelreibung, Reibungsverhältnis und Neigung
- Ausgefülltes Protokoll der Messung des Spezifischen Erdwiderstands
- Dokumentation über die Bestimmung der Bodenkennwerte
- Ergebnisse der Grundwasseranalysen inkl. Probenahmeprotokoll
- Ergebnisse chemischer Umweltuntersuchungen (als separater Bericht) sowie Probenahmeprotokolle und Prüfberichte der Laboranalysen (falls durchgeführt)
- Schriftliche Begründung bei Abweichungen von der Spezifikation (nur in begründeten Fällen und nach Abstimmung mit der ENERCON Fachabteilung)