DIN 18088-4

ICS 27.180

Tragstrukturen für Windenergieanlagen und Plattformen – Teil 4: Baugrund und Gründungselemente

Structures for wind turbines and platforms –
Part 4: Soil and foundation elements

Structures d'aérogénérateurs et de plates-formes –
Partie 4: Terrain et éléments de la fondation

Gesamtumfang 33 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

© DIN Deutsches Institut für Normung e. V. ist Inhaber aller ausschließlichen Rechte weltweit – alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und welchem Verfahren, sind weltweit DIN e. V. vorbehalten.
Alleinverkauf der Normen durch Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin

Preisgruppe 15
www.din.de
www.beuth.de
2882950

BEST BeuthStandardsCollection - Stand 2019-01

Inhalt

Seite

Vorwort ... 4

1 Anwendungsbereich ... 5

2 Normative Verweisungen ... 5

3 Begriffe ... 5

4 Symbole und Abkürzungen ... 7

5 Grundlagen der geotechnischen Bemessung ... 7
5.1 Allgemeines ... 7
5.2 Geotechnische Kategorien ... 7
5.3 Bemessungssituationen ... 8
5.4 Einwirkungen ... 8
5.5 Geometrische Vorgaben/Kolkbildung ... 8
5.6 Nachweis der Grenzzustände ... 9
5.7 „Statische und dynamische“ Baugrundkennwerte ... 9

6 Baugrunderkundung und -untersuchung ... 9
6.1 Allgemeines ... 9
6.2 Planung von Baugrunduntersuchungen ... 9
6.2.1 Voruntersuchung ... 9
6.2.2 Hauptuntersuchung ... 10
6.2.3 Baugrunduntersuchung für Einzelbauwerke ... 10
6.3 Geologische Erkundung mit geophysikalischen Verfahren für Offshore-Windenergieanlagen und -Plattformen ... 10
6.3.1 Allgemeines ... 10
6.3.2 Echolotvermessung (Fächerecholot) ... 10
6.3.3 Seitensichtsonar-Untersuchungen ... 10
6.3.4 Seismische Untersuchungen ... 11
6.4 Probenentnahme ... 11
6.5 Felduntersuchungen ... 11
6.6 Laborversuche ... 11

7 Flächengründungen ... 12
7.1 Allgemeines ... 12
7.2 Anforderung an die Baugrundersatzfedersteifigkeit ... 12
7.3 Nachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit ... 14
7.3.1 Gesamtstandsicherheit ... 14
7.3.2 Stabilität des Meeresbodens (offshore) ... 14
7.3.3 Grundbruch- und Gleitsicherheit ... 15
7.3.4 Lage- und Kippsicherheit inklusive Auftriebssicherheit ... 15
7.4 Nachweis für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ... 15
7.4.1 Gründungsersatzfedersteifigkeiten für Lastenberechnungen ... 15
7.4.2 Setzung und Fundamentverdrehung (Schiefstellung) ... 15
7.4.3 Begrenzung der klaffenden Fuge ... 16
7.4.4 Besonderheiten bei der Bemessung – offshore ... 16
7.5 Gründung auf Baugrundverbesserungen ... 16
7.5.1 Allgemeines ... 16
7.5.2 Vorgehensweise beim Nachweis bzw. Feldversuch ... 17
7.6 Sondermaßnahmen – offshore ... 17

BEST BeuthStandardsCollection - Stand 2019-01

7.6.1 Anordnung und Wirksamkeit von Fundamentschürzen ... 17
7.6.2 Verpressen von Sohlfugen ... 17
7.6.3 Hinweise zur Bauausführung ... 17

8 Pfahlgründungen ... 18
8.1 Allgemeines ... 18
8.2 Grenzzustände ... 18
8.2.1 Nachweisformat ... 18
8.2.2 Streuungsfaktoren ... 18
8.3 Berücksichtigung besonderer Einwirkungen bei Offshore-Pfahlgründungen ... 19
8.3.1 Berücksichtigung Kolkbildung ... 19
8.3.2 Einfluss aus Installationseffekten ... 20
8.4 Ermittlung von Pfahlwiderständen ... 21
8.4.1 Allgemeines ... 21
8.4.2 Axial beanspruchte Pfähle ... 22
8.4.3 Quer zur Pfahlachse beanspruchte Pfähle ... 24
8.5 Widerstände aus Pfahlprobebelastungen ... 26
8.5.1 Statische Pfahlprobebelastungen ... 26
8.5.2 Dynamische Pfahlprobebelastungen ... 26

9 Offshore-Gründungen mit Suction Caissons ... 27
9.1 Allgemeines ... 27
9.2 Grenzzustände ... 27
9.3 Bemessungssituationen, Einwirkungen und geometrische Angaben ... 27
9.3.1 Allgemeines ... 27
9.3.2 Baugrundmodelle für Suction Caissons ... 28
9.3.3 Interaktionen im Installationsprozess ... 28
9.4 Erforderliche Untersuchungen und Nachweise für den Installationsvorgang ... 29
9.5 Nachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit ... 29
9.5.1 Allgemeines ... 29
9.5.2 Nachweismethode ... 30
9.5.3 Numerische Methoden für geotechnische Berechnungen von Suction-Caisson-Gründungen ... 30
9.6 Nachweise für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ... 31
9.6.1 Allgemeines ... 31
9.6.2 Auswirkungen zyklischer Belastungen ... 31
9.7 Bemessung der Bauteile ... 32
9.7.1 Hinweise zum Beulsicherheitsnachweis für die Installationsphase ... 32
9.7.2 Untersuchungen und Nachweise für den Deinstallationsvorgang ... 32

Literaturhinweise ... 33

BEST BeuthStandardsCollection - Stand 2019-01

Vorwort

Dieses Dokument wurde vom Arbeitsausschuss NA 005-51-07 AA „Windenergieanlagen“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)erarbeitet.

Dieses Dokument ergänzt DIN EN 1997-1, DIN EN 1997-1/NA und DIN 1054 sowie DIN EN 1997-2, DIN EN 1997-2/NA und DIN 4020 im Hinblick auf den Baugrund und die Gründung von Windenergieanlagen.

Rahmen und Aufbau dieses Dokuments orientieren sich an DIN EN 1997-1 und DIN 1054 sowie DIN EN 1997-2 und DIN 4020. Dieses Dokument enthält jedoch Prinzipien und Anwendungsregeln, die ausschließlich für Windenergieanlagen und Plattformen gelten.

Im Einzelnen werden die folgenden Sachverhalte behandelt:

— Abschnitt 6 Baugrunderkundung und Untersuchung;

— Abschnitt 7 Flächengründungen;

— Abschnitt 8 Pfahlgründungen;

— Abschnitt 9 Offshore-Gründungen mit Suction Caissons.

Alle Absätze von DIN EN 1997-1 und DIN 1054 sowie DIN EN 1997-2 und DIN 4020 gelten weiterhin, sofern sie nicht in diesem Dokument spezifiziert oder ergänzt werden.

Es ist beabsichtigt, dass diese Normenreihe zusammen mit DIN EN 1990 und den Normen DIN EN 1991 bis DIN EN 1999 sowie der Normenreihe DIN EN 61400 (VDE 0127-1) angewendet wird.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokumentes Patentrechte berühren können. DIN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

DIN 18088, *Tragstrukturen für Windenergieanlagen und Plattformen* besteht aus den folgenden Teilen:

— *Teil 1: Grundlagen und Einwirkungen*

— *Teil 2: Stahlbeton- und Spannbetontragwerke*

— *Teil 3: Stahlbauten*

— *Teil 4: Baugrund und Gründungselemente*

Ein weiterer *Teil 5: Verbindungen zwischen Stahlbauten und Stahlbeton- und Spannbetontragwerken* ist derzeit in Planung.

BEST BeuthStandardsCollection - Stand 2019-01

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für die Baugrunduntersuchung und für den Entwurf, die Berechnung und die Bemessung sowie für die geotechnischen Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit der Gründungselemente von Windenergieanlagen und Plattformen. Konstruktion, Bemessung und Ausführung der Gründungselemente für Windenergieanlagen und Plattformen richten sich nach DIN EN 1997-1 und DIN 1054.

Diese Norm gilt für Flächen- und Pfahlgründungen nach DIN EN 1997-1 und Offshore-Gründungen mit Suction Caissons..

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN 1054:2010-12, *Baugrund — Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau — Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1*

DIN 4019:2015-05, *Baugrund — Setzungsberechnungen*

DIN 4020, *Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke — Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-2*

DIN 4084:2009-01, *Baugrund — Geländebruchberechnungen*

DIN 18088-1:2019-01, *Tragstrukturen für Windenergieanlagen und Plattformen — Teil 1: Grundlagen und Einwirkungen*

DIN EN 1997-1:2009-09, *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik — Teil 1: Allgemeine Regeln; Deutsche Fassung EN 1997-1:2004 + AC:2009*

DIN EN 1997-1/NA, *Nationaler Anhang — National festgelegte Parameter — Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik — Teil 1: Allgemeine Regeln*

DIN EN 1997-2:2010-10, *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 1997-2/NA, *Nationaler Anhang — National festgelegte Parameter — Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik — Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds*

DIN EN 1998 (alle Teile), *Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben*

DIN EN 61400-2, *Windenergieanlagen — Teil 2: Anforderungen für kleine Windenergieanlagen*

DIN EN ISO 22475-1:2007-01, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Probenentnahmeverfahren und Grundwassermessungen — Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung (ISO 22475-1:2006); Deutsche Fassung EN ISO 22475-1:2006*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach DIN EN 1997-1:2009-09, DIN EN 1997-2 und DIN 18088-1 sowie die folgenden Begriffe.

BEST BeuthStandardsCollection - Stand 2019-01

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

— IEC Electropedia: verfügbar unter http://www.electropedia.org/

— ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter http://www.iso.org/obp

3.1
Installationsdruck
abgesenkter veränderlicher Wasserdruck innerhalb des Caissons während des Installationsprozesses

3.2
Schürze
(en: skirt)
zylindrische Stahl- oder Betonschale, die teilweise oder vollständig in den Baugrund eindringt.

Anmerkung 1 zum Begriff: Es wird in äußere und innere Schürzen unterschieden.

Anmerkung 2 zum Begriff: Äußere Schürzen bei Suction Caissons haben i. A. den gleichen Umfang wie der Deckel; innere Schürzen teilen die umschlossene Fläche in Teilflächen (en: compartments).

3.3
Suction Caisson
zylindrische Stahl- oder Betonschale mit Deckel, die unter Nutzung von Eigengewicht und Unterdruck statisch in den Baugrund eingedrückt wird

3.4
Suction Anchor
Suction Caisson für vorwiegende Zugbeanspruchung

3.5
Suction Pile
schlanker Suction Caisson mit Abmessungen Länge/Durchmesser > 5

3.6
zyklische/dynamische Systemantworten
Systemantworten, die sich dadurch unterscheiden, dass bei den dynamischen Systemantworten die Massenkräfte zu berücksichtigen sind, wogegen diese bei den zyklischen Systemantworten vernachlässigt werden dürfen

3.7
Kavitationsdruck
Summe aus Atmosphärendruck und dem hydrostatischen Wasserdruck in der entsprechenden Tiefe

3.8
Spudcan
Fuß des Beines eines Hubschiffes (Jackup-Vessel)

Anmerkung 1 zum Begriff: Es sind auch Hubschiffe mit Beinen ohne Fuß im Einsatz.

3.9
Jacking
Vorgang, bei dem das Hubschiff seine Beine auf den Seeboden drückt und auf Arbeitshöhe verfährt bzw. wieder in den schwimmenden Zustand verfährt und die Beine aus dem Seeboden zieht

BEST BeuthStandardsCollection - Stand 2019-01

3.10
Footprint
Vertiefung im Seeboden, die sich nach dem Herausziehen der Beine eines Hubschiffes einstellt

3.11
Monitoring
systematische, andauernd wiederholte und unmittelbare Erfassung physikalischer Zustandsgrößen durch technische Messsysteme oder andere Beobachtungssysteme

4 Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Symbole und Abkürzungen nach DIN EN 1997-1 und DIN EN 1997-2.

5 Grundlagen der geotechnischen Bemessung

5.1 Allgemeines

Da der Erfahrungsschatz ausgeführter Offshore-Windenergieanlagenprojekte noch sehr eingeschränkt ist, sind bei der Planung alle nach DIN EN 1997-1 erforderlichen Grenzzustände nachzuweisen.

Die Gründungselemente der Offshore-Windenergieanlagen und der Plattformen sind anhand geeigneter repräsentativer Messgrößen direkt oder indirekt so zu überwachen, dass für die Standsicherheit ungünstige Abweichungen der relevanten Einflussgrößen von den Ansatzwerten (Einwirkungen und Widerstände) zur Nachweisführung erkannt werden (monitoring).

Werden bei der Nachweisführung für die Gründungselemente Vorgehensweisen und Verfahren zur Berücksichtigung zyklischer Einwirkungen verwendet, die nicht durch hinreichende Erfahrungen abgesichert sind, ist das diesbezügliche Verhalten der Gründungselemente wie oben beschrieben zu überwachen (Monitoring).

Soweit die Ergebnisse von Sicherheitsnachweisen für Offshore-Windenergieanlagen und Plattformen nicht zweifelsfrei sind und für das jeweils behandelte Problem nicht dementsprechend hinreichende Sicherheitsreserven des Objekts gezeigt werden, ist anstelle des rechnerischen Nachweises der Grenzzustände nach DIN-EN-1997-1:2009-09, 2.4 die Beobachtungsmethode nach DIN EN 1997-1:2009-09, 2.7, anzuwenden.

Für Sondergründungen sind neben den Nachweisen für den Endzustand die in Abschnitt 9 definierten, während der Herstellung maßgeblichen Grenzzustände zu untersuchen.

5.2 Geotechnische Kategorien

Hinsichtlich der Mindestanforderungen an Umfang und Qualität geotechnischer Untersuchungen, Standsicherheitsnachweisen und der Bauausführung sind die Gründungen von Windenergieanlagen sowohl offshore als auch onshore und die Gründungen von Offshore-Plattformen in die Geotechnische Kategorie 3 (GK 3) nach DIN EN 1997-1 bzw. DIN 1054 einzustufen.

Soweit nicht die Baugrundverhältnisse für sich genommen eine Einstufung in die Geotechnische Kategorie 3 erfordern, dürfen Gründungen von Onshore-Windenergieanlagen in die Geotechnische Kategorie 2 (GK 2) eingestuft werden, soweit eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

— Windenergieanlagen, deren überstrichene Rotorfläche $\leq 200\ m^2$ und deren erzeugte Spannung unter 1 000 V Wechselspannung bzw. 1 500 V Gleichspannung liegt, z. B. Kleinwindenergieanlagen nach DIN EN 61400-2 (VDE 0127-2);

— Flächengründungen direkt auf Fels oder felsähnlichem Boden, wobei ein qualifiziert eingebautes, maximal 1 m mächtiges Polster aus Schotter oder Sand-Kies-Gemisch vorhanden sein darf.

BEST BeuthStandardsCollection - Stand 2019-01

Bei Windenergieanlagen der Geotechnischen Kategorie 3 sind für die Festlegung der standortbezogenen Baugrunderkundung und der rechnerischen Nachweisführung vertiefte Erfahrungen auf diesem Gebiet der Geotechnik erforderlich.

5.3 Bemessungssituationen

Für die Nachweise sind die Bemessungssituationen BS-P, BS-T oder BS-A nach DIN 1054:2010-12, 2.2 A (4), in den Einwirkungskombinationen nach DIN 18088-1:2019-01, Abschnitt 8, nach Anhang A zuzuordnen.

5.4 Einwirkungen

Die Einwirkungen, Einwirkungskombinationen und Lastfälle sind entsprechend den Vorgaben nach DIN 18088-1:2019-01, Abschnitt 8, zu berücksichtigen.

Bei Offshore-Windenergieanlagen und Plattformen ist zur Untersuchung der potentiellen Tragfähigkeitsminderung eines zyklisch belasteten Gründungssystems das in DIN 18088-1:2019-01, Anhang B, definierte Sturmereignis anzuwenden.

Zur Erfassung der Auswirkung von zyklischen Beanspruchungen darf angenommen werden, dass die Belastungsfolge unterschiedlicher zyklischer Amplituden keinen Einfluss auf die akkumulierten Verformungen und die Degradation der Tragfähigkeit am Ende einer Belastungsphase hat. Es dürfen Einstufen-Kollektive in Form äquivalenter Lastzyklen mit konstanter Amplitude und Periodendauer aus Lasten unterschiedlicher zyklischer Sohlspannungen, Biegemomente oder Verformungen der Gründungskörper abgeleitet werden. Die Angemessenheit der Vereinfachung ist unter Berücksichtigung des gewählten Nachweisverfahrens und der für Standort und Gründungselement spezifischen Randbedingungen darzulegen. Hinweise zur Ableitung eines Einstufen-Kollektives enthält EA-Pfähle:2012-01 [1], 13.4.2.

Da eine kombinierte Einwirkung aus Meeresströmung und Wellen eine Vergrößerung der hydrodynamischen Belastung an Gründungen zur Folge hat, siehe z. B. [2], sind die beiden Einwirkungen bei der Untersuchung der Kolksicherheit in ungünstiger Kombination zu berücksichtigen.

Festlegungen für Windenergieanlagen im Erdbebengebiet sind in DIN 18088-1 angegeben.

5.5 Geometrische Vorgaben/Kolkbildung

Bei der Planung und dem Betrieb von Offshore-Windenergieanlagen und Plattformen ist die Kolksicherheit mit mindestens einer der zwei nachfolgenden Methoden nachzuweisen bzw. sicherzustellen:

— Konservative Bemessung der Gründung unter Einrechnung der zu erwartenden maximalen Kolktiefe;

— Planung und Ausführung von Kolkschutzmaßnahmen an der Gründung.

Der Meeresboden im Bereich um die Gründung ist zu überwachen. Dabei sind Maßnahmen zur Vermeidung nicht zulässiger weiterer Kolkbildungen vorzusehen und bei Erfordernis zu ergreifen.

Für eine Abschätzung des Kolkbildungspotentials bzw. der Materialeignung zum Kolkschutz darf z. B. das Diagramm „Conceptual Model for Scour Development“ in [3] verwendet werden.

Die Wirksamkeit einer vorgesehenen Kolkschutzmaßnahme ist im Labor unter standortspezifischen hydraulischen Randbedingungen durch Modellversuche nachzuweisen. Soweit hinreichende Erfahrungen unter ähnlichen hydraulischen und gründungstechnischen Randbedingungen vorliegen, darf auf Modellversuche im Labor verzichtet werden.

Bei Verwendung eines mineralischen Kolkschutzes ist die Stabilität der als Kolkschutz geplanten Schutz- und Filterschicht gegen Kolkbildung sicherzustellen. Hierbei ist der Nachweis gegen hydraulischen Materialtransport (z. B. innere Erosion nach DIN EN 1997-1) zu führen.

BEST BeuthStandardsCollection - Stand 2019-01

Zur Berücksichtigung von Kolkbildungen bei Pfahlgründungen sind die Festlegungen im Abschnitt 8 einzuhalten.

5.6 Nachweis der Grenzzustände

In DIN 18088-1:2019-01, Tabelle 4, sind für Onshore-Windenergieanlagen drei Lastniveaus unter Betriebsbedingungen für den Nachweis der Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit definiert.

In DIN 18088-1:2019-01, Anhang B, ist für die Gründungen von Offshore-Windenergieanlagen und Plattformen zusätzlich der Lastfall „Parken 35-h–Sturm“ für Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsuntersuchungen eingeführt für die Untersuchung bzw. den geotechnischen Nachweis der potenziellen Tragfähigkeitsreduzierung und Verformungsakkumulation eines zyklisch belasteten Gründungssystems während eines Sturmereignisses mit einer Wiederkehrperiode von 50 Jahren und einer geparkten Anlage.

Die inneren Grenzzustände von Gründungselementen sind nach DIN 18088-2 bzw. DIN 18088-3 nachzuweisen.

5.7 „Statische und dynamische“ Baugrundkennwerte

Die bei der Ermittlung der Gründungsersatzfedersteifigkeiten erforderlichen geotechnischen Kennwerte sind durch Labor- oder Feldversuche zu bestimmen.

Diese sind für die jeweiligen Baugrundverhältnisse und abhängig vom herrschenden Spannungszustand und vom zu erwartenden Verzerrungsniveau zu ermitteln.

Zur Berücksichtigung der komplexen Abhängigkeit der geotechnischen Kennwerte vom Spannungs- und Verzerrungszustand in der Entwurfspraxis mit vereinfachten Verfahren werden der derzeit geläufigen Praxis entsprechend die Begrifflichkeiten „statische“ und „dynamische“ geotechnischen Kennwerte bzw. Gründungsersatzfedersteifigkeiten weiterhin verwendet. Beim Nachweis einer „dynamischen“ Gründungsersatzfedersteifigkeit kann dabei dann vereinfachend das Lastniveau D.3 (nach DIN 18088-1:2019-01, Tabelle 4) zugrunde gelegt werden. Im Vergleich dazu darf für den Nachweis einer „statischen“ Gründungsersatzfedersteifigkeit vereinfachend das Lastniveau D.1 angenommen werden.

6 Baugrunderkundung und -untersuchung

6.1 Allgemeines

Bei Bauwerken unter erheblicher zyklischer Belastung ist darzustellen, wie das Baugrundverhalten unter zyklischer Belastung für den Gründungsvorschlag im Zuge der Planung berücksichtigt wird.

6.2 Planung von Baugrunduntersuchungen

6.2.1 Voruntersuchung

In einer Voruntersuchung sind bei Offshore-Windenergieanlagen an mindestens 10 % der Standorte Baugrundaufschlüsse durchzuführen. Art und Lage der Baugrundaufschlüsse sind unter Berücksichtigung sonstiger geologischer Erkenntnisse wie z. B. der Ergebnisse von geophysikalischen Untersuchungen nach 6.3 und repräsentativ für die Fläche des Baufeldes festzulegen. Dabei ist sicherzustellen, dass durch eine ausreichende Anzahl von Bohrungen repräsentative Bodenproben gewonnen werden. Hierfür ist Sachkunde und Erfahrung auf dem Gebiet der Geotechnik erforderlich.

Die Anzahl und Aufschlusstiefe der direkten und indirekten Baugrundaufschlüsse müssen ausreichend sein, um die im Rahmen der Vorentwurfsplanung vorgesehenen Gründungsvarianten bearbeiten zu können. Die Aufschlusstiefe ist unter Berücksichtigung von DIN EN 1997-2:2010-10, B.3, festzulegen.

Bei Pfählen mit einer überwiegenden horizontalen Bodenbeanspruchung darf die Aufschlusstiefe unter Pfahlfuß auf das 1,5-fache des Pfahldurchmessers begrenzt werden.

BEST BeuthStandardsCollection - Stand 2019-01

Sondergründungen mit Suction Caissons sind abhängig von der überwiegenden Art der Bodenbeanspruchung in diesem Zusammenhang wie Pfahl- oder Flächengründungen zu behandeln.

6.2.2 Hauptuntersuchung

Für Offshore-Windenergieanlagen ist in der Regel im Anschluss an die Voruntersuchung nach 6.2.1 mindestens ein Aufschluss je Windenergieanlagenstandort auszuführen. Bei Anlagen mit flächigen Gründungsformen bzw. Gründungsformen mit großem Abstand der Gründungselemente, sind in der Regel weitere Baugrundaufschlüsse auszuführen. Art, Anzahl und Anordnung der Aufschlüsse sind vom geotechnischen Sachverständigen festzulegen.

Onshore-Windenergieanlagen sind im Rahmen der Hauptuntersuchung mit mindestens drei Baugrundaufschlüssen je Fundament zu erkunden, wobei mindestens ein direkter Baugrundaufschluss auszuführen ist. Kleinrammbohrungen als direkte Aufschlüsse sind nur in nichtbindigen Böden zulässig, sofern sie in Kombination mit ergänzenden Sondierungen ausgeführt werden.

Die Abstände der Untersuchungspunkte und Tiefen der Aufschlüsse sind unter Berücksichtigung von DIN EN 1997-2:2010-10, B.3, festzulegen. Für Pfähle mit überwiegend horizontaler Bodenbeanspruchung und für Sondergründungen mit Suction Caissons gelten die Festlegungen nach 6.2.1.

6.2.3 Baugrunduntersuchung für Einzelbauwerke

Bei Einzelbauwerken wie Offshore-Plattformen ist die Zusammenlegung von Vor- und Hauptuntersuchung in einer Untersuchungskampagne zulässig. Es sind mindestens vier Baugrundaufschlüsse auszuführen. Die Eckpunkte des Grundrisses sind bevorzugt zu belegen, Extrapolationen sind zu vermeiden. Von diesen Baugrundaufschlüssen ist mindestens einer als direkter Aufschluss mit Probenentnahme auszuführen. Der direkte Aufschluss ist auch zur Validierung der indirekten Aufschlüsse erforderlich.

6.3 Geologische Erkundung mit geophysikalischen Verfahren für Offshore-Windenergieanlagen und -Plattformen

6.3.1 Allgemeines

Geophysikalische Untersuchungen wie Fächerecholotvermessung, Seitensichtsonar- und seismische Aufnahmen sind zur flächenmäßigen Erfassung der Baugrundverhältnisse im Planungsgebiet und entlang der Kabeltrassen geeignet, sofern sie die geplanten Standorte der Windenergieanlagen und Plattformen entsprechend berücksichtigen. Die Ergebnisse der Erkundungsarbeiten sind im Rahmen des Geotechnischen Untersuchungsberichts zu dokumentieren

6.3.2 Echolotvermessung (Fächerecholot)

Die Echolotvermessung muss eine flächendeckende Übersicht über die bathymetrischen Verhältnisse des Windparks ermöglichen. Die Positionierung muss besser als 5 m + 5 % der Wassertiefe betragen. Die Genauigkeit für reduzierte Tiefen muss den Vorgaben nach IHO (2008) [4] für Order 1b Surveys entsprechen.

6.3.3 Seitensichtsonar-Untersuchungen

Seitensichtsonar-Untersuchungen müssen einen flächendeckenden Überblick über die vorkommenden Sedimenttypen und -strukturen an der Meeresbodenoberfläche ermöglichen. Zur Verifizierung der Sedimenttypen sind Greiferproben zu entnehmen oder Unterwasser-Videoaufnahmen durchzuführen. Es sind Systeme zu verwenden, welche die Erkennung von Objekten mit einer Kantenlänge von 1 m ermöglichen. Für geschleppte Systeme ist eine Positionierungsgenauigkeit des Vermessungsgerätes gegenüber dem Schiff von besser als 10 m sicherzustellen.

BEST BeuthStandardsCollection - Stand 2019-01

6.3.4 Seismische Untersuchungen

Seismische Untersuchungen müssen einen flächendeckenden Überblick über den Untergrundaufbau im Planungsgebiet des Windparks ermöglichen. Das umfasst die Abbildung von Schichtgrenzen im Baugrund und die Detektion von Einlagerungen.

Es ist eine rasterförmige Erkundung des Offshore-Baufeldes durchzuführen. Ein Linienabstand des Rasters von 500 m in Längs- und Querrichtung wird empfohlen; ein maximaler Abstand von 1 000 m darf nicht überschritten werden.

Es sind Impulsquellen, Resonanzquellen oder alternative Systeme mit mindestens vergleichbarer Leistung und hinreichender Signaleindringung zu verwenden. Das Empfangssystem muss in seiner Empfangscharakteristik (Frequenzbereich) mit den verwendeten seismischen Quellen kompatibel sein. Das Mess- und Datenerfassungssystem ist so zu wählen, dass eine Erkundung des Untergrundaufbaus bis zu der nach 6.2.1 festgelegten Aufschlusstiefe erreicht wird. Dabei ist eine vertikale Auflösung von mindestens 1 m sicherzustellen.

Zur Ergebnisdarstellung sind die Laufzeiten der seismischen Wellen mit Hilfe eines Geschwindigkeitsmodells in Tiefen umzurechnen.

6.4 Probenentnahme

Die Häufigkeit der Probenentnahme ist in Abhängigkeit der angetroffenen Baugrundschichtung nach DIN 4020 festzulegen.

Die Bohrverfahren und die Entnahmegeräte für Böden müssen der Entnahmekategorie A nach DIN EN ISO 22475-1:2007-01 entsprechen und sind so auszuwählen, dass bei bindigen Böden Bodenproben möglichst der Güteklasse 1, mindestens aber der Güteklasse 2 gewonnen werden können.

Bei nichtbindigen Böden müssen mindestens Bodenproben der Güteklasse 4 gewonnen werden, die hinsichtlich ihrer Zusammensetzung unverändert sind.

Die Bohrverfahren für Fels und verfestigte Böden sind so auszuwählen, dass mit einem Verfahren der Entnahmekategorie A nach DIN EN ISO 22475-1 Bohrkerne mindestens der Güteklasse 2 gewonnen werden können.

Für bodenmechanische Laborversuche an homogenen bindigen Bodenproben und für felsmechanische Laborversuche an Fels ist ein Probendurchmesser von mindestens $D = 100$ mm einzuhalten.

6.5 Felduntersuchungen

Für Felduntersuchungen sind die Festlegungen nach DIN EN 1997-2 einzuhalten.

Die Vermessung von Aufschlüssen in offener See erfolgt nach IHO (2008) [4].

6.6 Laborversuche

Für Laborversuche sind die Festlegungen nach DIN EN 1997-2 einzuhalten.

Die Art und der Umfang der durchzuführenden zyklischen bzw. dynamischen Laborversuche richten sich nach dem gewählten Nachweiskonzept. Sie sind so auszuführen, dass sie repräsentativ für den gesamten zyklischen Beanspruchungsbereich hinsichtlich Größe und Zyklenzahl sind. Hinweise hierzu sind z. B. in EA-Pfähle:2012-01 [1] zu finden. Planung, Durchführung und Auswertung sind im Rahmen des Geotechnischen Entwurfsberichtes zu dokumentieren.

BEST BeuthStandardsCollection - Stand 2019-01

7 Flächengründungen

7.1 Allgemeines

Die geotechnische Bemessung für Flächengründungen ist in DIN EN 1997-1:2009-09, Abschnitt 6, mit der nationalen Ergänzung DIN 1054:2010-12 festgelegt. Diese Festlegungen gelten auch für die Flächengründungen von Onshore- bzw. Offshore-Windenergieanlagen sowie Plattformen und werden durch die nachfolgenden Festlegungen in diesem Abschnitt ergänzt.

7.2 Anforderung an die Baugrundersatzfedersteifigkeit

Baugrundersatzmodelle dürfen als nichtlineare Einzelfeder dargestellt werden. Eine Linearisierung für vorgegebene Lastniveaus der Modellparameter ist zulässig.

Zur Berücksichtigung der boden- bzw. schichtbezogenen Streuung der geotechnischen Kenngrößen, die zur Ermittlung der Baugrundersatzsteifigkeitsparameter verwendet werden, sind obere und untere Grenzwerte der Ersatzsteifigkeitsparameter zu ermitteln und in den Nachweisen und Berechnungen zu berücksichtigen.

Bei der Bestimmung der Ersatzdrehfedersteifigkeit darf die Betrachtung der Baugrundverhältnisse bei Kreis-Ringfundamenten in der Regel auf eine Tiefe entsprechend dem einfachen Fundamentdurchmesser D ab Unterkante Fundament beschränkt werden, bei aufgelösten Strukturen sind individuelle Untersuchungen durchzuführen. Sind unterhalb dieser Einflusstiefe stark zusammendrückbare Schichten vorhanden, muss deren Einfluss auf die Ermittlung der Ersatzfedersteifigkeit untersucht werden.

Zur vereinfachten Ermittlung der Baugrundersatzfedersteifigkeiten dürfen statische Modelle verwendet werden.

Wegen der Abhängigkeit der Modellparameter vom Spannungs- und Verzerrungszustand, vom Beanspruchungsniveau und weil diese Größen an jedem Punkt unterhalb der Flach- bzw. Flächengründung bis hin zur Grenztiefe unterschiedlich sind, darf die Berücksichtigung dieser Abhängigkeiten mit Hilfe von FEM-Berechnungen unter Verwendung geeigneter Stoffgesetze für die genannten Abhängigkeiten erfolgen.

Nicht aufgelöste Gründungskörper (z. B. quadratische und polygonale) dürfen zur Ermittlung von Ersatzfedersteifigkeiten in flächengleiche Kreisfundamente umgerechnet werden.

Soweit bei Onshore-Windenergieanlagen die folgenden Voraussetzungen erfüllt sind:

— für den Leistungstyp der Anlage und die grundsätzliche Art der Gründungsverhältnisse liegen praktische Erfahrungen vor oder es wurden für diese Randbedingungen genauere den oben definierten Anforderungen entsprechende Musternachweise durchgeführt;

— die Ersatzdrehfedersteifigkeiten stellen eine Abschätzung zur „weichen Seite“ dar und zur Erfassung der „steifen Seite“ wird eine feste Lagerung berücksichtigt;

— nachfolgender Ansatz gilt, wenn keine klaffende Fuge in der Fundamentsohle auftritt. Für den Fall mit klaffender Fuge ist dieser Ansatz nur unter Berücksichtigung der verringerten Kontaktfläche zulässig;

kann zur Abschätzung einer resultierenden „dynamischen“ Ersatzdrehfedersteifigkeit auf der „weichen Seite“ vereinfacht wie folgt vorgegangen werden:

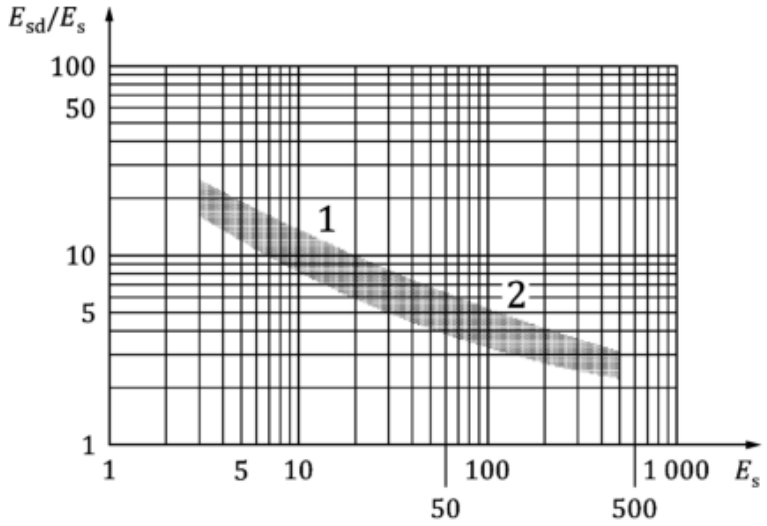
— Entsprechend dem Ergebnis der Baugrunduntersuchungen werden charakteristische Steifemoduln zur Abschätzung der Setzungen unter ständigen und quasi-ständigen (Lastniveau D.3) Lasten bis in eine dem Durchmesser der Gründung entsprechende Tiefe ermittelt. Unter Verwendung der einzelnen Steifemoduln $E_{s,i}$ kann vereinfacht mit Hilfe der Korrelation in den DGGT-Empfehlungen des Arbeits-

BEST BeuthStandardsCollection - Stand 2019-01

kreises 1.4 „Baugrunddynamik“ (2018) [5] (siehe Bild 1) der „dynamische“ Steifemodul $E_{sd,i}$ und anschließend der „dynamische“ Schubmodul mit

$$G_{d,i} = 0{,}5 \cdot E_{sd\,i} \cdot (1 - 2v)/(1 - v) \quad (1)$$

für einzelne Bodenschichten (i = 1 bis n) abgeschätzt werden. Bei der Anwendung dieser Korrelation ist die Obergrenze des Verhältnisses E_{sd}/E_s in der Regel auf 10 zu begrenzen.



Legende

1 bindig
2 nicht bindig

Bild 1 — Normierter dynamischer Steifemodul E_{sd} in Abhängigkeit vom statischen Steifemodul E_s, DGGT-Empfehlungen des Arbeitskreises 1.4 „Baugrunddynamik“ [5] (2018)

— Für den Fall, dass die dynamischen Schubmoduln einzelner Bodenschichten $G_{max,i}$ im Rahmen seismischer Felduntersuchungen bei sehr geringer Scherdehnung ermittelt werden, sind diese Werte zur Berücksichtigung der größeren Scherdehnungen im Baugrund unter Betrieb näherungsweise um 50 % ($G_{d,i} = 0{,}5 \cdot G_{max,i}$) abzumindern, soweit keine anlagen- und baugrundspezifische Ermittlung der Scherdehnung vorgenommen wird.

— Bei homogenem Baugrund (n = 1) darf die dynamische Ersatzdrehfedersteifigkeit $K_{\varphi,d}$ eines Kreisfundamentes vereinfacht abgeschätzt werden mit

$$K_{\phi,d} = \frac{8 \cdot G_d \cdot R^3}{3\,(1 - v)} \quad (2)$$

Dabei ist

R der Radius des Kreisfundamentes bzw. Ersatzradius aus dem flächengleichen Kreisfundament für den quadratischen, polygonalen Gründungskörper ist.

— Bei geschichtetem Baugrund (n > 1) darf die resultierende dynamische Ersatzdrehfedersteifigkeit $K_{\varphi,d}$ eines Kreisfundamentes nach DIN 4019 vereinfacht abgeschätzt werden mit

BEST BeuthStandardsCollection - Stand 2019-01

$$K_{\phi,\mathrm{d}} = \frac{5{,}57 \cdot R^3}{\frac{f_{\mathrm{a,1}}}{E^*_{\mathrm{d,1}}} + \sum_{\mathrm{i}=2}^{n} \frac{f_{\mathrm{a,i}} - f_{\mathrm{a,i-1}}}{E^*_{\mathrm{d,i}}}} \tag{3}$$

Dabei ist

$$E^*_{\mathrm{d,i}} = E_{\mathrm{sd,i}} \cdot \frac{1 - 2\nu_{\mathrm{i}}}{(1 - \nu_{\mathrm{i}})^2} \tag{4}$$

$f_{\mathrm{a,i}}$ der Verdrehungsbeiwert, der nach DIN 4019:2015-05, Anhang C, ermittelt wird. Dabei darf für Kreisfundamente und polygonale Gründungskörper näherungsweise das Diagramm mit $a = b = 1{,}77 \cdot R$ zur Bestimmung des Verdrehungsbeiwertes für einzelne Bodenschichten $f_{\mathrm{a,i}}$ verwendet werden.

Die Kenngrößen G und E dürfen lediglich für eine Poissonzahl von $\nu \leq 0{,}4$ aus dem Steifemodul nach der Elastizitätstheorie abgeleitet werden.

Wenn innerhalb der Einflusstiefe eine sehr weiche Bodenschicht ansteht, ist dieses vereinfachte Verfahren nicht oder nur mit weiterführenden Nachweisen anwendbar.

In den DGGT-Empfehlungen des Arbeitskreises 1.4 „Baugrunddynamik“ [5] sind weitere Ansätze zur Ermittlung der Ersatzdrehfedersteifigkeit für Fundamente angegeben. Sie dürfen bei einer vertieften Untersuchung angesetzt werden.

Für eine realitätsnähere Ermittlung des dynamischen Schubmoduls von Böden bei unterschiedlichen Scherdehnungen sind in den DGGT-Empfehlungen des Arbeitskreises 1.4 „Baugrunddynamik“ [5] dynamische Feld- und Laborversuchstechniken beschrieben, die bei der Ermittlung der dynamischen Ersatzdrehfedersteifigkeit verwendet werden dürfen.

Für die Bemessung der Gründungen von Offshore-Windenergieanlagen und Plattformen müssen dynamische geotechnische Kennwerte mit dynamischen Feld- und Laborversuchen nach den DGGT-Empfehlungen des Arbeitskreises 1.4 „Baugrunddynamik“ [5] anlage- und bodenspezifisch ermittelt werden.

Die Zulässigkeit einer Vernachlässigung von Porenwasserdruckakkumulationen in den Berechnungen unter zyklischer Beanspruchung ist z. B. durch Laborversuche unter projektspezifischen Randbedingungen zu untersuchen und zu begründen. Dafür darf die volumetrische zyklische Schubverzerrungsgrenze γ_{tv} in Vucetic (1994) [6] bzw. DGGT-Empfehlungen des Arbeitskreises 1.4 „Baugrunddynamik“ [5] (2018) als Kriterium angesetzt werden ($\gamma < \gamma_{\mathrm{tv}}$).

7.3 Nachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit

7.3.1 Gesamtstandsicherheit

Der Nachweis der Gesamtstandsicherheit für die Flach- bzw. Flächengründungen von Windenergieanlagen ist nach DIN EN 1997-1:2009-09, 6.5.1, und DIN 1054 zu führen.

7.3.2 Stabilität des Meeresbodens (offshore)

Die Beständigkeit des Baugrundsystems am Meeresboden ist zu untersuchen und zu bewerten. Im Einzelnen sind zu betrachten:

— die potenzielle Reduktion der Stabilität des Meeresbodens durch äußere Einflüsse wie Strömungs- und Wellenbeanspruchung, beeinflusst durch die Unterstruktur, Erdbebeneinwirkung, Offshore-Operationen etc.;

BEST BeuthStandardsCollection - Stand 2019-01

— die potenzielle ungünstige Veränderung der Geometrie des Meeresbodens durch Einflüsse wie Erosion (Kolkbildung) und Suffosion;

— die potenzielle Veränderung der Anordnung der Gründungselemente durch Einflüsse wie zyklisches Kriechen des Bodens, akkumulierte Verformung;

— die potenzielle ungünstige Veränderung der mechanischen Eigenschaften des Bodens durch Porenwasserdruckakkumulation bzw. Bodenverflüssigung und Entfestigung.

7.3.3 Grundbruch- und Gleitsicherheit

Der Nachweis der Grundbruchsicherheit für die Gründungen von Windenergieanlagen ist nach DIN EN 1997-1:2009-09, 6.5.2, und DIN 1054 für die Einwirkungen der Bemessungssituationen BS-P, BS-T und BS-A zu führen (siehe auch 5.4).

Bei der Berücksichtigung von Porenwasserunterdrücken bei Offshore-Windenergieanlagen und Plattformen auf der Entlastungsseite sowie bei der Ermittlung undränierter Scherfestigkeiten, muss der Kavitationsdruck berücksichtigt werden. Hierbei ist nachzuweisen, dass der Boden für die betrachtete Belastungsdauer ausreichend undräniert ist.

7.3.4 Lage- und Kippsicherheit inklusive Auftriebssicherheit

Der Nachweis der Lage- bzw. Kippsicherheit für die Gründungen von Windenergieanlagen ist nach DIN EN 1997-1:2009-09, 2.4.7.2, sowie DIN 1054:2010-12, 6.5.4 A (3), zu führen.

7.4 Nachweis für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

7.4.1 Gründungsersatzfedersteifigkeiten für Lastenberechnungen

Die Ermittlung der Gründungsersatzfedersteifigkeiten darf nach dem vereinfachten Verfahren in 7.2 vorgenommen werden, wenn der Einfluss der verringerten Kontaktfläche auf der Fundamentsohle unter entsprechenden Lastkombinationen mit berücksichtigt wird. Liegt bei Kreis- und Kreisringfundamenten ($r' = R_i/R_a$) die Ausmittigkeit e zwischen $r_{e1} = 0{,}25 \cdot R_a \cdot (1 + r'^2)$ (nur Druckspannung) und $r_{e2} = 0{,}59 \cdot R_a \cdot (1 - r'^4)(1 - r'^3)$ (Klaffen bis zum Schwerpunkt) darf der effektive Radius R_a' näherungsweise als die Hälfte der mit dem Baugrund in Kontakt befindlichen Breite c bestimmt werden. Die Breite c darf mithilfe des Diagramms in Bild 12 des Kapitels 3.1 des Grundbau-Taschenbuches (Teil 3: Gründungen und geotechnische Bauwerke, 7. Auflage) [7] ermittelt werden.

7.4.2 Setzung und Fundamentverdrehung (Schiefstellung)

Die zulässige Setzung bzw. Verdrehung des Fundamentes ist unter Berücksichtigung aller für die Windenergieanlagen maßgeblichen Belange der Bemessung und des Betriebs (wie. z. B. der Lastenermittlung) festzulegen und vom Anlagenhersteller anzugeben. Die in DIN 18088-1 angegebenen Mindestanforderungen sind einzuhalten.

Die Setzung bzw. die statische Fundamentverdrehung von Onshore-Windenergieanlagen ist mit den ungünstigsten aller möglichen Einwirkungskombinationen unter ständigen und quasi-ständigen (Lastniveau D.3) Einwirkungen mit Berücksichtigung der statischen Baugrundsteifigkeiten zu bestimmen. Zur Abschätzung der Langzeitverformungen infolge zyklischer Beanspruchung für Offshore-Windenergieanlagen und Plattformen sind bodenspezifische Untersuchungen durchzuführen.

Liegen keine solchen zyklischen Untersuchungsergebnisse vor, darf für die Flach- bzw. Flächengründungen von Onshore-Windenergieanlagen die Zusatzsetzung s infolge zyklischer Einwirkung als Annäherung für nichtbindige Böden mit Hilfe der Modell-Versuchsergebnisse z. B. nach Hettler (1981) [8], für normalkonsolidierte bindige Böden anhand der empirischen Beziehung z. B. nach Yasuhara & Andersen (1991) [9], abgeschätzt werden.

BEST BeuthStandardsCollection - Stand 2019-01

Nach derzeitigem Erkenntnisstand kann bei Onshore-Windenergieanlagen auf den Nachweis der Langzeitverformung aus zyklischer Belastung dann verzichtet werden, wenn die entsprechenden Bedingungen nach 7.4.3 eingehalten werden.

7.4.3 Begrenzung der klaffenden Fuge

Infolge der aus ständigen und quasi-ständigen (Lastniveau D.3) Einwirkungen resultierenden charakteristischen Beanspruchung, siehe DIN 18088-1, darf in der Gründungssohle von Onshore-Windenergieanlagen bei bindigen und nichtbindigen Böden keine klaffende Fuge auftreten.

Eine klaffende Fuge unter ständigen und quasi-ständigen Lasten (Lastniveau D.3) darf nur dann zugelassen werden, wenn die nachfolgenden Bedingungen eingehalten sind:

— die Gründungsersatzfedersteifigkeit wurde unter Zugrundelegung der durch in-situ -Messungen ermittelten Baugrundsteifigkeiten abgeschätzt;

— die Steifigkeitsermittlung berücksichtigt den Verlust an der Kontaktfläche in der Sohle;

— die Kriterien der Gebrauchstauglichkeit sind nicht sensitiv im Hinblick auf den Kontaktverlust in der Sohle;

— es liegt ein genügend tiefer Grundwasserspiegel vor, sodass Pump- und Erosionseffekte ausgeschlossen sind;

— der Baugrund ist nicht anfällig gegen einen Steifigkeits- oder Festigkeitsverlust auf Grund der zyklischen Beanspruchung.

Infolge der aus den Einwirkungen der Bemessungssituationen BS-P und BS-T resultierenden charakteristischen Beanspruchung (Lastniveau D.1) in der Sohlfläche ist bei Onshore-Windenergieanlagen ein Klaffen der Sohlfuge höchstens bis zum Schwerpunkt der Sohlfläche zulässig.

Eine klaffende Fuge muss für Offshore-Windenergieanlagen und Plattformen in den Bemessungssituationen BS-P und BS-T vermieden werden, wenn keine ausreichend tiefe Schürze am Fundamentrand vorgesehen ist.

7.4.4 Besonderheiten bei der Bemessung – offshore

Der Einfluss zyklischer Belastungsgeschichte, wie z. B. eine Rückdrehung des Fundamentes nach Durchlaufen der Spitzenphasen, ist durch numerische Studien oder Feldversuche standort- bzw. bodenspezifisch zu untersuchen und darf dann bei der Prognose der Setzungen bzw. Schiefstellungen berücksichtigt werden.

7.5 Gründung auf Baugrundverbesserungen

7.5.1 Allgemeines

Zur Vergrößerung der Gründungsersatzdrehfedersteifigkeit ist es erfahrungsgemäß ausreichend, Baugrundverbesserungsmaßnahmen bis zur Tiefe entsprechend dem einfachen Fundamentdurchmesser unter der Gründungssohle durchzuführen. Bei tiefer reichenden Weichschichten richtet sich die Tiefe der Baugrundverbesserungsmaßnahmen nach dem aus geotechnischer Sicht erforderlichen Baugrundbereich.

Baugrundverbesserungen sind bei Flächengründungen für Offshore-Windenergieanlagen und Plattformen notwendig, wenn der Meeresboden geneigt oder uneben ist oder wenn die obere Deckschicht aus gering tragfähigen Böden besteht. Die Bodeneigenschaften des verbesserten Baugrundes sind konservativ und in jeweils ungünstigster Kombination in den Nachweisen zu berücksichtigen. Zur Sicherstellung des Langzeitverhaltens der Maßnahmen sind Modellversuche oder in-situ-Versuche durchzuführen.

BEST BeuthStandardsCollection - Stand 2019-01

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：https://d.book118.com/696035041114010113