

DIN 18088-4**DIN**

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)

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

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 Pfalachse beanspruchte Pfähle	24
8.5	Widerstände aus Pfahlprobelbelastungen	26
8.5.1	Statische Pfahlprobelbelastungen.....	26
8.5.2	Dynamische Pfahlprobelbelastungen	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

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.

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.

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 Massenkkräfte 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

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 $\leq 200 \text{ m}^2$ 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.

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 Kalksicherheit 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 Kalksicherheit mit mindestens einer der zwei nachfolgenden Methoden nachzuweisen bzw. sicherzustellen:

- Konservative Bemessung der Gründung unter Einrechnung der zu erwartenden maximalen Kolkttiefe;
- Planung und Ausführung von Kalkschutzmaßnahmen an der Gründung.

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

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

Die Wirksamkeit einer vorgesehenen Kalkschutzmaßnahme 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 Kalkschutzes ist die Stabilität der als Kalkschutz geplanten Schutz- und Filterschicht gegen Kalkbildung sicherzustellen. Hierbei ist der Nachweis gegen hydraulischen Materialtransport (z. B. innere Erosion nach DIN EN 1997-1) zu führen.

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.

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.