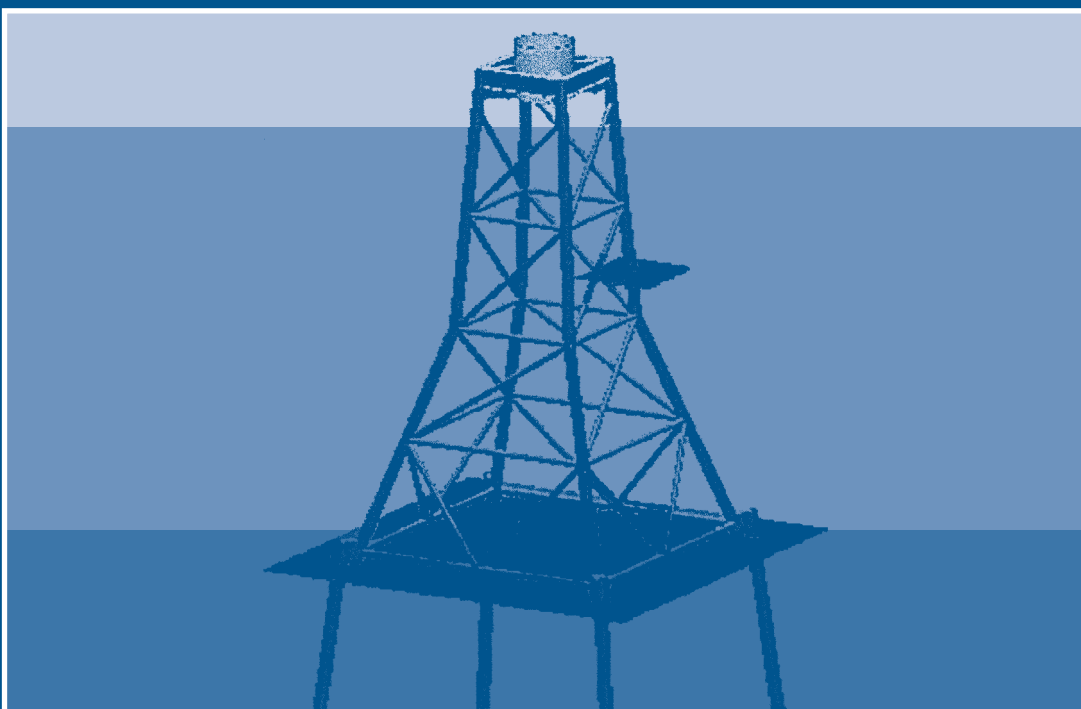
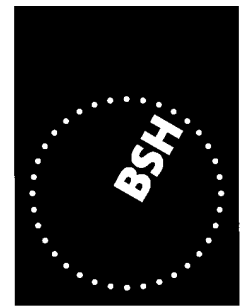


BUNDESAMT FÜR
SEESCHIFFFAHRT
UND
HYDROGRAPHIE

Standard Baugrunderkundung

**Mindestanforderungen für Gründungen
von Offshore-Windenergieanlagen**





BUNDESAMT FÜR
SEESCHIFFFAHRT
UND
HYDROGRAPHIE

Standard Baugrunderkundung

Mindestanforderungen für die Gründung von Offshore-Windenergieanlagen (WEA) und die Verlegung der stromabführenden Kabel

Stand: 1. August 2003

Herausgegeben vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH),
unter Mitwirkung von:

Dr. Roland Atzler

Nautik Nord GmbH, Pohnsdorf

Dr. Alexander Bartholomä

Forschungsinstitut Senckenberg am Meer,
Wilhelmshaven

Prof. Dipl.-Ing. Horst Bellmer

Prof. Bellmer Ingenieurgruppe GmbH, Bremen

Dipl.-Ing. Jost Bergmann

Det Norske Veritas, Hamburg

Dipl.-Ing. Ulrich Hachmann

Germanischer Lloyd Offshore and Industrial
Services GmbH, Hamburg

Prof. Dr.-Ing. Harry Harder

Institut für Geotechnik, Hochschule Bremen

Dipl.-Ing. Marcus Klose

Germanischer Lloyd WindEnergie GmbH, Hamburg

Dr. habil. Wolfram Lemke

Institut für Ostseeforschung, Rostock-Warnemünde

Dr.-Ing. Kerstin Lesny

Institut für Grundbau und Bodenmechanik,
Universität Duisburg-Essen

Dr. Klaus Michels

OSAE Offshore Survey and Engineering,
Gesellschaft für Seevermessung mbH, Bremen

Peter Petersen, M.Sc.

Det Norske Veritas, Hellerup (Dänemark)

Dr. Lutz Reinhard

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe,
Hannover

Prof. Dr.-Ing. Werner Richwien

Institut für Grundbau und Bodenmechanik,
Universität Duisburg-Essen

Knut Ronold, Ph.D.

Det Norske Veritas, Høvik (Norwegen)

Dr. Klaus Schwarzer

Institut für Geowissenschaften, Universität Kiel

Prof. Dr. Volkhard Spiess

Fachbereich Geowissenschaften, Universität Bremen

Dr. Hansjörg Streif

Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung,
Hannover

Dipl.-Ing. Jörn Uecker

IMS Ingenieurgesellschaft, Hamburg

© Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)
Hamburg und Rostock 2003
www.bsh.de

BSH-Nr. 7004

Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieses Werkes darf ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung des BSH reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Inhalt

Abschnitt A	Einführung	7
A.1	Vorbemerkung	7
A.2	Allgemeines	7
A.3	Standard der Baugrunduntersuchung für Offshore-WEA	8
A.4	Abweichungen vom Standard	11
A.5	Fortschreibung	11
Abschnitt B	Mindestanforderungen an die geologisch-geophysikalische Erkundung	13
B.1	Allgemeines	13
B.2	Qualitätssicherung	14
B.3	Zeitlicher Ablauf	14
B.4	Zielsetzung	14
	B.4.1 Vorerkundungsphase	14
	B.4.2 Planungsphase	15
	B.4.3 Überwachungsphase	15
B.5	Technische Anleitung	15
B.6	Kabeltrassen	21
B.7	Geologischer Bericht	21
	B.7.1 Zweck	21
	B.7.2 Inhalt	21
	B.7.3 Vorgaben	21

Abschnitt C	Mindestanforderungen an die geotechnischen Untersuchungen als Planungs- und Entwurfsgrundlage für Offshore-WEA	22
C.1	Allgemeines	22
C.2	Qualitätssicherung	22
C.3	Anforderungen an Felduntersuchungen	22
C.3.1	Bohrungen und Sondierungen	22
C.3.2	Felduntersuchungen für Pfahlgründungen	23
C.3.3	Felduntersuchungen für Schwergewichtsgründungen	24
C.3.4	Anforderungen an Bodenprobenentnahmen	25
C.4	Anforderungen an Laboruntersuchungen	26
C.4.1	Laboruntersuchungen an Bord der Erkundungsschiffe	26
C.4.2	Laborversuche an Land	26
C.5	Baugrunduntersuchungsbericht	29
C.5.1	Inhalt des Baugrunduntersuchungsberichts	29
C.5.2	Wiedergabe der Ergebnisse von Feld- und Laborversuchen	30
C.5.2.1	Felduntersuchungen	30
C.5.2.2	Laborversuche	30
C.5.3	Zusammenfassung aller Untersuchungsergebnisse (Baugrundbeschreibung)	30
C.5.4	Generelle Baugrundbeurteilung	30
C.6	Baugrund- und Gründungsgutachten	31
C.6.1	Inhalte von Baugrund- und Gründungsgutachten	31
C.6.2	Aussagen von Baugrund- und Gründungsgutachten	31
C.7	Ergänzende Untersuchungen (Ausschreibungsphase)	32
C.8	Baubegleitende Untersuchungen (Bauausführungsphase)	32
C.9	Betriebsbegleitende Untersuchungen (Betriebsphase)	32
C.10	Literatur	33

Abbildungsverzeichnis

Abb. A.1	Übersicht über die einzelnen Phasen und ihrer jeweiligen Erkundungsmaßnahmen	9
Abb. C.1	Zyklischer direkter Scherversuch	29
Abb. C.2	Zyklischer Kompressionsversuch	29
Abb. C.3	Zyklischer Triaxialversuch	29

Tabellenverzeichnis

Tabelle A.1	Art und Mindestumfang der Erkundung für die Planungs-, Bau- und Betriebsphase	10
Tabelle B.1	Anforderung an die Echolotvermessung (Vermessungslot, Fächerecholot)	16
Tabelle B.2	Anforderungen an die Seitensichtsonar-Untersuchungen	17
Tabelle B.3	Anforderungen an die seismischen Untersuchungen	18
Tabelle B.4	Anforderungen an Bohrungen	19
Tabelle B.5	Anforderungen an Magnetometer bzw. aktive Metall-Detektionssysteme (empfohlen)	19
Tabelle B.6	Anforderungen an die geologisch-geophysikalischen Untersuchungen für Kabeltrassen	20
Tabelle C.1	Felduntersuchungen für Pfahlgründungen	23
Tabelle C.2	Aufschlusstiefe und Probenentnahme bei Felduntersuchungen für Pfahlgründungen (Mindestumfang)	24
Tabelle C.3	Aufschlusstiefe und Probenentnahme bei Felduntersuchungen für Schwergewichtsgründungen (Mindestumfang)	25
Tabelle C.4	Laborversuche zur Beurteilung nicht-bindiger Böden	27
Tabelle C.5	Laborversuche zur Beurteilung bindiger Böden	28

Abschnitt A Einführung

A.1 Vorbemerkung

Im Rahmen der Genehmigungsverfahren zur Errichtung von Offshore-Windenergieanlagen (WEA) in der Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) haben die Antragsteller den Nachweis der baulichen Anlagensicherheit im Sinne der Anwendung und Einhaltung der allgemeinen Regeln der Technik zu führen (vgl. § 5 Absatz 2 Seeanlagenverordnung (SeeAnIV)). Für die Durchführung von Baugrunderkundungen als bautechnische Vorbereitung der Gründungsarbeiten für Offshore-WEA bestanden bisher Standards einzelner Klassifikationsgesellschaften sowie eine Reihe von einzelnen Fachvorschlägen, die aber zumindest partiell voneinander abwichen. Da bei den Unternehmen auf der einen Seite wegen der Kostenintensität derartiger Maßnahmen eine Diskussion über das Spannungsverhältnis von Wirtschaftlichkeit und Sicherheit stattfand und auf der anderen Seite die Genehmigungsbehörde einen Zustand der Anlagensicherheit je nach verwendetem Standard nicht für verantwortlich erachtet, ist unter Moderation und Federführung des BSH der vorliegende Standard entwickelt worden, der nunmehr als technischer Standard im Sinne des § 4 Absatz 2 SeeAnIV eingeführt und in Genehmigungen nach SeeAnIV vorgeschrieben wird. Die Vereinheitlichung dient der Rechts- und Investitionssicherheit und stellt einen wichtigen Bestandteil einer der Gleichbehandlung verpflichteten Baugenehmigungsbehörde bei Entscheidung über den Antrag auf Errichtung von Offshore-WEA dar.

Mit dem vorliegenden Standard der Baugrunderkundung für Offshore-WEA gibt die Genehmigungsbehörde verbindliche Mindestanforderungen heraus, die konkrete Vorgaben für die geologisch-geophysikalische und geotechnische Baugrunderkundung enthalten. Dieser Standard beruht auf der Grundlage eines fundierten Vorschlags einer Expertengruppe aus Ingenieuren und Geowissenschaftlern verschiedener Hochschulen, Behörden, Firmen und Klassifizierungsgesellschaften. Er trägt u. a. den bisherigen Erfahrungen zur Errichtung von Offshore-WEA, die bislang im europäischen Ausland (Dänemark und Schweden)

gesammelt wurden, ebenso Rechnung wie den vorläufigen Ergebnissen der Forschungsgruppe Offshore-WEA „Gigawind“, die aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) finanziert werden. Insofern stellt er die gegenwärtigen thematischen und technischen Mindestanforderungen an Baugrunduntersuchungen für Offshore-WEA bzw. deren Gründung dar.

Es wird darauf hingewiesen, dass dieser Standard das Ergebnis einer überaus engagierten und in hohem Maß sachverständig geführten Diskussion ist. Soweit einige Auffassungen und Vorstellungen, die im Rahmen des Entscheidungsfindungsprozesses zur Diskussion gestellt wurden, keine Berücksichtigung gefunden haben, spricht dies nicht gegen die einzelne sachverständige Auffassung. Vielmehr hat sich die in dieser Weise beratene Genehmigungsbehörde für eine von mehreren möglichen Lösungen entschieden oder Alternativen zugelassen, die für das Verfahren als angemessen angesehen werden.

Der vorliegende Standard versteht sich als dynamisches Werk; d. h., dass neue Erfahrungen und Erkenntnisse, von denen mutmaßlich eine Vielzahl in naher Zukunft gemacht werden, beobachtet und bei entsprechendem Bedarf in das Werk eingearbeitet werden.

A.2 Allgemeines

Die Errichtung von WEA als Offshore-Bauwerke gehört zu den Baumaßnahmen mit einem hohen geotechnischen Schwierigkeitsgrad. Neben den Aspekten der Konstruktion und Lastfälle spielen die Baugrundverhältnisse eine entscheidende Rolle. Entgegen landläufiger Meinung stellt der Meeresboden in der AWZ von Nord- und Ostsee keinen homogenen Sedimentkörper dar, sondern kann sowohl regional als auch lokal sehr heterogen aufgebaut sein. Im Gegensatz zur eigentlichen Konstruktion aus Stahl oder Beton können die Materialeigenschaften des Baugrundes nicht an das Bauwerk angepasst werden. Aus diesem Grund ist eine genaue Kenntnis der geologischen Verhältnisse und geotechnischen Eigen-

schaften des Untergrunds zwingend erforderlich, um eine erfolgreiche Realisierung von Offshore-Windparks sicherzustellen.

Die Entwicklung einer geologischen Modellvorstellung über den Aufbau des Meeresbodens ist Grundlage für die anschließenden Phasen der Standorterkundung, Planung und Bauausführung. Durch einen erhöhten Aufwand bei der geologisch-geophysikalischen Erkundung können der Erkundungsaufwand in der Planungsphase u. U. reduziert und Alternativstandorte für Offshore-WEA in Seegebieten mit ungünstigem Baugrund identifiziert werden.

Der Entwurf der Gründungskonstruktionen erfordert dann ausreichend detaillierte Erkenntnisse zum Baugrund und seinen geotechnischen Parametern am Standort jeder Anlage. Dazu sind stets Baugrunduntersuchungen in einem Umfang durchzuführen, mit

dem alle planungsrelevanten Eigenschaften des jeweils anstehenden Baugrunds rechtzeitig vor der Errichtung der Anlage bestimmt werden. Eine geotechnische Standorterkundung und -beurteilung durch qualifizierte Sachverständige ist deshalb zwingend geboten.

Der vorliegende Standard enthält ein nach Art und Umfang abgestuftes Baugrunduntersuchungsprogramm für die Planung und Errichtung von Offshore-WEA, das auf die Anforderungen der einzelnen Planungs- und Bauphasen abgestimmt ist und einen Mindestumfang definiert.

Die Einbindung der zweckmäßigen Phasen der Baugrunduntersuchung und -begutachtung in den Planungs- und Genehmigungsprozess von Offshore-WEA ist in Abb. A.1 tabellarisch skizziert.

Es werden die folgenden Phasen unterschieden:

• Vorarbeiten	⇒	Geologischer Vorbericht
• Vorerkundung des Gebiets	⇒	Geologischer Bericht
• Erkundung der Standorte	⇒	Baugrunduntersuchungsbericht Fortschreibung des Geologischen Berichts
• Entwurf der Gründungskonstruktion	⇒	Baugrund- und Gründungsgutachten
• Ausschreibung der Gründungsarbeiten		
• Bauausführung der Gründungsarbeiten	⇒	Protokolle und Auswertungen
• Überwachung der Gründungsarbeiten	⇒	Ergebnisberichte und Bewertungen
• Überwachung des Anlagenbetriebs	⇒	Ergebnisberichte und Bewertungen

A.3 Standard der Baugrunduntersuchung für Offshore-WEA

Der Standard der Baugrunduntersuchung basiert auf geologisch-geophysikalischen und geotechnischen Feld- und Laboruntersuchungen. Er ist insgesamt auf das geplante Gründungskonzept abzustimmen, wobei die Schwierigkeiten der Gründungskonstruktion einerseits und der Baugrund- und sonstigen Randbedingungen andererseits angemessen zu berücksichtigen sind. Baugrunduntersuchungen sind stets in einem solchen Umfang durchzuführen, dass alle planungsrelevanten Eigenschaften des jeweils anstehenden

Baugrunds rechtzeitig vor der Errichtung der Anlage bestimmt werden. Es werden die folgenden Methoden unterschieden:

- geophysikalische und
- geotechnische Untersuchungsmethoden.

Geophysikalische Methoden sind indirekte Methoden (Sonare, Seismik, Echolote, etc.). Geotechnische Methoden umfassen direkte Aufschlüsse, vornehmlich zur Gewinnung von Bodenproben (Bohrungen) und indirekte Aufschlüsse (Sondierungen) sowie Feldversuche wie Flügelsondierungen, Seitendrucksondie-

Maßnahmen der geologischen und der geotechnischen Erkundung und Untersuchung	Struktur der geologischen und geotechnischen Bearbeitung	Aktivitäten des Antragstellers	Entscheidungen des BSH
Auswertung vorhandener Unterlagen	Geologischer Vorbericht	Vorplanung des Windparks	
Geophysikalische Erkundung Geotechnische Vorerkundung (Bohrungen u/o Sondierungen)	Geologischer Bericht	Vorentwurf der Anlagen	
Standorterkundungen (Bohrungen u/o Sondierungen) Geotechnische Laboruntersuchungen Geotechnische Felduntersuchungen	Baugrunduntersuchungsbericht Baugrundgutachten Gründungsgutachten Geotechnische Standsicherheits- und Gebrauchsfähigkeitsnachweise	Bauantrag	Erteilen oder Versagen der Baugenehmigung (u. U. mit Auflagen)
(Ergänzende Erkundung und Untersuchung)	(Ergänzungsgutachten)	Planung mit Entwurf der Anlagen-gründung Geotechnische Prüfung Ausschreibungsentwurf Ausschreibung Ausführungsentwurf Abschluss der geotechnischen Prüfung	
Baubegleitende Untersuchungen	Ergebnisberichte und Bewertungen	Realisierung mit begleitender Prüfung	Erteilen oder Versagen der Betriebserlaubnis (u. U. mit Auflagen)
Betriebsbegleitende Untersuchungen (Geotechnische Überwachung)	Ergebnisberichte und Bewertungen	Antrag auf Betriebserlaubnis Betrieb	Aufrechterhaltung oder Entzug der Betriebserlaubnis

Abb. A.1: Übersicht über die einzelnen Phasen und ihrer jeweiligen Erkundungsmaßnahmen.

Tabelle A.1: Art und Mindestumfang der Erkundung für die Planungs-, Bau- und Betriebsphase.

	Phase	Zweck und Ziel der Erkundung	Art der Erkundung
1	Vorerkundung des Gebiets	<ul style="list-style-type: none"> • Standortwahl und Vorplanung der Bauwerke • Die Vorerkundung dient der Entscheidung darüber, ob die geplanten Bauwerke eines Windparks im Hinblick auf die Baugrundverhältnisse errichtet werden können und ggf. welche generellen Anforderungen für die Gründungskonzepte, die Konstruktion und die Bauausführung wesentlich und welche Maßnahmen der Standorterkundung notwendig sind. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sichtung, Aus- und Bewertung vorhandener Unterlagen • geophysikalische Erkundung im gesamten Bereich des Windparks • stichprobenartige Erkundung durch indirekte und direkte Aufschlüsse (grobes Raster über das Windparkareal) • stichprobenartige Feststellung der maßgebenden Baugrundkennwerte und -eigenschaften
2	Erkundung der Standorte	<ul style="list-style-type: none"> • Der Umfang der Baugrunderkundung und –untersuchung und die Auswahl der Untersuchungsmethoden wird durch Art, Größe und Bedeutung der WEA-Konstruktion, die Gleichförmigkeit des Baugrundaufbaus, der Morphologie des Meeresbodens und der anstehenden Bodenarten bestimmt. • Die untersuchte Fläche muss möglichen Planabweichungen der Bauwerkspositionen Rechnung tragen. • Baugrundaufbau und charakteristische Bodenkennwerte müssen für jeden Einzelstandort individuell angegeben werden. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sichtung und Bewertung vorhandener Unterlagen • Geophysikalische Standorterkundung • Direkte Aufschlüsse durch Bohrungen an den Standorten der Anlagen • Indirekte Aufschlüsse durch Sondierungen an den Standorten der Anlagen • Laboruntersuchungen an Bodenproben der Standorte
3	Entwurf der Gründungskonstruktion	<ul style="list-style-type: none"> • Entwurf des Bauwerks • Die erforderlichen Untersuchungen hängen von der Gründungsart ab. Sie müssen durch Art und Umfang geeignet sein, alle Abmessungen der Gründung festzulegen und alle Nachweise der Standsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit zu führen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ergänzende direkte Aufschlüsse an den Standorten der Gründungselemente • Ergänzende indirekte Aufschlüsse an den Standorten der Gründungselemente • Laboruntersuchungen an Bodenproben der Standorte
4	Ausschreibung der Gründungsarbeiten	<ul style="list-style-type: none"> • Eindeutige und vollständige Beschreibung der erforderlichen Gründungsarbeiten im Leistungsverzeichnis. 	<ul style="list-style-type: none"> • u.U. Feldversuche wie Proberammungen und Pfahlprobebelastungen
5	Bauausführung der Gründungsarbeiten	<ul style="list-style-type: none"> • Herstellung der Gründungselemente 	<ul style="list-style-type: none"> • Rammprotokoll bzw. Rammbericht, Herstellbericht bei Ortbetonpfählen • Verformungsmessungen • Porenwasserüberdruckmessungen

	Phase	Zweck und Ziel der Erkundung	Art der Erkundung
5	Bauausführung der Gründungsarbeiten (Forts.)	<ul style="list-style-type: none"> • Überprüfung der Baugrundverhältnisse hinsichtlich Übereinstimmung mit Entwurf; Überwachung der Herstellung des Gründungskörpers; Überwachung von Entwicklung und Abbau von Porenwasserüberdrücken; Überwachung der Setzungen und Schiefstellungen des Gründungskörpers. 	
6	Überwachung des Anlagenbetriebs	<ul style="list-style-type: none"> • Kontrolle des Bauwerksverhaltens unter Gebrauchslasten • Es soll die Möglichkeit geschaffen werden, bei vom Entwurf abweichendem Verhalten rechtzeitig Gegenmaßnahmen treffen zu können. • Überwachung der Sedimentdynamik im Bereich der windpark-internen und externen Kabeltrassen 	<ul style="list-style-type: none"> • Verformungsmessungen an ausgewählten Anlagen innerhalb des Parks • Überwachung der Kolkbildung in regelmäßigen Zeitabständen an jeder Gründung

rungen im Bohrloch sowie Proberammungen oder Pfahlprobelastungen.

Bodenkenngrößen werden in der Regel durch Laborversuche, seltener durch Feldversuche bestimmt. Art und Umfang der Erkundungen für die einzelnen Planungs- und Bauphasen sind in Tabelle A.1 zusammengestellt.

Das in dieser Richtlinie dargestellte Konzept definiert einen Mindestumfang der Untersuchungen für den Regelfall.

Eine Anforderungsgrundlage für Baugrunduntersuchungen für Offshore-WEA ist DIN 4020 (Entwurf 2002). Daneben finden sich Anforderungen an die Baugrunduntersuchungen in den einschlägigen Normen für Offshore-Bauwerke (Det Norske Veritas Classification A/S, 1992; Det Norske Veritas, 2003; American Petroleum Institute, 1993; Germanischer Lloyd, 1999). Der vorliegende Standard für Baugrunduntersuchungen nimmt Bezug auf diese Regelwerke.

Die Mindestanforderungen an die Baugrunduntersuchung, teils abgestimmt auf die jeweilige Grün-

dungsart, werden in den Abschnitten B und C spezifiziert.

A.4 Abweichungen vom Standard

Der ausführende Sachverständige für Grundbau und Bodenmechanik kann bei der Genehmigungsbehörde einen begründeten Antrag auf Abweichungen einreichen, wenn im Verlauf der Erkundungsmaßnahmen die Ergebnisse zeigen, dass standortbedingt oder aus anderen Gründen Teile des Erkundungsprogramm unzureichend, unentbehrlich oder aus nachvollziehbaren Gründen nicht in der vorgeschlagenen Weise oder nur unter Einsatz unverhältnismäßiger Mittel durchführbar sind. Die Genehmigungsbehörde behält sich vor, das Erkundungsprogramm allgemein oder im Einzelfall anzupassen.

A.5 Fortschreibung

Der vorliegende Standard stellt den gegenwärtigen Stand des Wissens und der Technik im Bereich von

Baugrunderkundungen für Offshore-WEA dar. Da insbesondere bei der künftigen Realisierung von Projekten neue Erkenntnisse gesammelt werden und ebenso technische Weiterentwicklungen zu erwarten sind, kann dieser Standard kein statisches Produkt sein, sondern muss in angemessenen Zeitintervallen der fortschreitenden Entwicklung angepasst werden.

Um sicherzustellen, dass neu gewonnene Erkenntnisse aus der Praxis in künftige Fortschreibungen des Standards einfließen, wird darum gebeten, konstruktive Anmerkungen und Vorschläge an folgende Adresse zu richten:

Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
Dr. Manfred Zeiler
Bernhard-Nocht-Straße 78
20359 Hamburg
Tel.: (040) 31 90-35 21
Fax: (040) 31 90-50 00
E-Mail: manfred.zeiler@bsh.de

Stichwort: Standard Baugrunderkundung
(Offshore-WEA)

Abschnitt B Mindestanforderung an die geologisch- geophysikalische Erkundung

B.1 Allgemeines

Die geologisch-geophysikalische Erkundung ist eine fundamentale Voraussetzung für die Identifizierung von Bodenarten (Sedimenttypen), Quantifizierung ihrer Eigenschaften und Bewertung ihrer Eignung für Baumaßnahmen. Sie bedient sich moderner, leistungsfähiger hydroakustischer Verfahren, deren Ergebnisse anhand von direkten Verfahren (Bohrungen) verifiziert werden müssen. Aufgrund der mangelnden Zugänglichkeit des Meeresbodens stellen hydroakustische Verfahren eine sehr effiziente Methode dar, um in kurzer Zeit einen Gesamtüberblick über die Untergrundverhältnisse zu erlangen und damit die Sedimentverteilung und tektonischen Elemente in einer Weise zu erfassen, die es z.B. erlaubt, Risikoareale zu identifizieren.

Die geologisch-geophysikalische Erkundung kann bei fachgerechter Ausführung dazu beitragen, Anzahl und Lokationen von Bohrungen zu optimieren und bei homogenen Lagerungsverhältnissen die Kosten für weitere Bohrungen und Drucksondierungen zu reduzieren.

Aufgrund fehlender Normen und Vorschriften für die geologisch-geophysikalische Erkundung im marinen Bereich werden mit diesem Standard detaillierte Vorgaben festgeschrieben, die fachgerechte geowissenschaftliche Erkundungsarbeiten sicherstellen und durch kumulative Zusammenführung der gewonnenen Informationen zur erfolgreichen Realisierung von Offshore-WEA beitragen sollen.

Die geologisch-geophysikalischen Erkundungsarbeiten gliedern sich in drei Phasen:

Die **Vorerkundung** soll die generelle Eignung eines Gebietes nachweisen und anhand von einer hinreichenden Zahl von Übersichtsprofilen eine detaillierte geologische Interpretation auf den Skalen des Windparkareals von einigen Kilometern erlauben.

Die **Standorterkundung** soll kleinskalige, auf wenigen Metern bis 10er Metern die lokalen Verhältnisse an allen WEA-Standorten liefern, eine Risikoanalyse erlauben und ggf. eine Verlegung bzw. Optimierung einzelner WEA-Standorte unterstützen.

In der **Überwachungsphase** sind nach Errichtung der Anlagen die einzelnen Standorte im Hinblick auf die mögliche Bildung von Kolken bzw. die parkinterne Verkabelung auf ein mögliches Freilegen durch die sedimentdynamische Prozesse zu überwachen. Hier ist der Einsatz geophysikalischer Verfahren wie z. B. leistungsfähiger, dem Stand der Technik entsprechender Echolote und Seitensichtsonare vorzusehen, um den lokalen Einfluss der Bauwerke auf den Meeresboden in ausreichender Form zu erfassen. Die Ergebnisse sind in einem Überwachungsbericht der Genehmigungsbehörde vorzulegen.

B.2 Qualitätssicherung

- Die Bearbeiter haben eine ausreichend hohe Qualifikation und belegbare Erfahrungen nachzuweisen. Ihre Namen sind im Geologischen Bericht aufzuführen.
- Die Daten und deren Auswertung müssen richtig und überprüfbar sein.
- Es sind Messprotokolle zu führen; darin sind u. a. die äußeren Bedingungen während der Aufnahmen (z. B. Wind- und Seegangsverhältnisse, Schichtung des Wasserkörpers, Algenblüte), Schiff, Messgeräte, Messkonfiguration und Bearbeiter festzuhalten.
- Die Positions- und Tiefengenauigkeit hat sich nach den Vorgaben der International Hydrographic Organization, IHO Standards for Hydrographic Surveys, Order 1 Surveys zu richten. Detailanforderungen sind den Tabellen B.1, B.2 und B.6 zu entnehmen.
- Die Messbedingungen müssen den geforderten Qualitätsstandard uneingeschränkt sicherstellen. Nach bisherigen Erfahrungen ist bei einem Seegang ≥ 5 keine ausreichende Datenqualität mehr gewährleistet.
- Der Aufbau des Meeresbodens soll im Planungsgebiet bis zur Gründungstiefe plus 20 m mit geeig-

neten geophysikalischen Messverfahren erfasst werden. In Bereichen mit Gas- oder Beckeneffekt, wo seismische Verfahren (teilweise) versagen, ist mit repräsentativen Bohrungen der geologische Aufbau ausreichend zu erfassen.

- Die Ergebnisse der geophysikalischen Untersuchungen müssen anhand von Bohrungen überprüft werden. Die seismischen Einheiten sind mit den lithologischen Bodenprofilen zusammenzuführen.
- Es wird oberflächennah eine Mindestauflösung von 1 m gefordert.
- Die Rohdaten sollen möglichst in digitaler Form gespeichert werden. Die Auswertung ist als Geologischer Bericht vorzulegen, der die Ergebnisse der geophysikalischen und geologischen Aufnahmen zusammenführt und bewertet. Das Kartenmaterial (Lage der Profile und Bohrungen, Profilschnitte, etc.) ist in jedem Fall digital im GIS- oder CAD-Format abzugeben.
- Die langfristige Datenarchivierung obliegt dem Antragsteller.

B.3 Zeitlicher Ablauf

1. Es ist eine detaillierte Literaturrecherche zu erstellen, die alle verfügbaren und relevanten Informationen über Wassertiefen, geologische und hydrographische Verhältnisse, bereits vorhandene Kabel und Pipelines, sonstige Bauwerke, Fischereiaktivitäten, Schifffahrt, Freizeitaktivitäten, Schutz- und Sperrgebiete im Gebiet der geplanten WEA und in ihrer Umgebung enthält. Die Literaturrecherche muss als Geologischer Vorbericht vor Erteilen einer Genehmigung vorgelegt werden. In der Regel ist er in den Antragsunterlagen und – falls gefordert – in überarbeiteter Form in der Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) enthalten.
2. Bathymetrische und geophysikalische Untersuchungen (Echolotvermessung und Seitensichtsonar-Aufnahmen) sind vor Erteilen einer Genehmigung (im Zusammenhang mit der Umweltverträglichkeitsstudie) durchzuführen. Diese Untersuchungen können in der Regel mit der seismi-

sehen Übersichtsaufnahme des Planungsgebiets verknüpft werden, so dass bereits vor Erteilen der Genehmigung erste Detailinformationen über den Baugrund vorliegen.

3. Repräsentative Bohrungen zur Kalibrierung der seismischen Ergebnisse müssen durchgeführt werden. Diese können in begründeten Ausnahmefällen auch erst nach der Erteilung einer Genehmigung ausgeführt werden. Sie werden nach Art und Umfang zweckmäßig mit der geotechnischen Vorerkundung abgestimmt.
4. In jedem Fall ist sicherzustellen, dass vor Beginn der Planungsphase eine vollständige geophysikalische Aufnahme durchgeführt wird und repräsentative Bohrungen niedergebracht werden.
5. Der Geologische Bericht ist der Genehmigungsbehörde nach Abschluss aller Untersuchungen der Vorerkundungsphase mit dem Bauantrag vorzulegen.
6. Evtl. ergänzende geophysikalische und geologische Ergebnisse aus der Planungsphase sind als Nachtrag an den Geologischen Bericht anzuhängen und der Genehmigungsbehörde mit dem Antrag auf Betriebsgenehmigung vorzulegen.
7. Die Ergebnisse der geologisch-geophysikalischen Arbeiten der Überwachungsphase sind als Überwachungsbericht vorzulegen.

B.4 Zielsetzung

B.4.1 Vorerkundungsphase

Die Vorerkundung dient der detaillierten Aufnahme des Planungsgebietes hinsichtlich der lithologischen und tektonischen Strukturen und allgemeinen Lageverhältnisse sowie der Bewertung des Baugrunds aus geologischer Sicht. Die geophysikalischen Profile sollen die einzelnen Standorte für WEA überdecken. Es sollen neben geologischen Einheiten auch

Hindernisse wie Wracks, Munitionsreste und Seekabel, die nicht in den Seekarten eingetragen sind, dokumentiert werden.

B.4.2 Planungsphase

Sofern sich während der Planungsphase Abweichungen von den Erkenntnissen aus der Vorerkundungsphase ergeben, die ein Versetzen der Bauwerke nötig machen, sind die neuen Standorte anhand zusätzlicher geophysikalischer Aufnahmen und Bohrungen hinsichtlich ihrer geologischen Eignung zu überprüfen.

B.4.3 Überwachungsphase

Nach ihrer Errichtung ist der Meeresboden im Bereich der Bauwerke auf die Bildung von Kolken und die Kabeltrassen auf ein mögliches Freilegen der Leitungen zu überwachen. Außerdem ist der Zustand von Sicherungsmaßnahmen wie z. B. Steinschüttungen in Form von sog. „Gravel Bags“ zu überwachen.

In den ersten beiden Jahren nach Errichtung sind Überwachungen zweimal pro Jahr durchzuführen, nämlich im Frühjahr (unmittelbar nach der Sturmperiode) und Spätsommer. Die geophysikalischen Ergebnisse sind dem geologischen Bericht anzuhängen und in einem Überwachungsbericht zusammenzufassen, der bis Ende des Kalenderjahres der Genehmigungsbehörde zur Prüfung vorzulegen ist. Nach zwei Jahren kann voraussichtlich eine Überwachung (im Frühjahr) pro Jahr ausreichend sein; nach vier Jahren können größere Überwachungsintervalle beantragt werden.

B.5 Technische Anleitung

In den nachfolgenden Tabellen B.1 bis B.6 sind Ziele, Umfang, Zeitrahmen, Methoden und Ergebnisdarstellung mit allen geforderten technischen Details für die jeweiligen Verfahren dargestellt und geben einen zusammenfassenden Überblick über die Anforderungen an die geologisch-geophysikalischen Untersuchungen während der Vorerkundungs-, Planungs- und Überwachungsphase.

Tabelle B.1: Anforderung an die Echolotvermessung (Vermessungslot, Fächerecholot).

	Vorerkundung/Planungsphase	Überwachung der Betriebsphase
Ziele	<ul style="list-style-type: none"> • Überblick über die bathymetrischen Verhältnisse 	<ul style="list-style-type: none"> • Erfassung der lokalen Tiefenänderungen (mögliche Kolkbildung)
Umfang	<ul style="list-style-type: none"> • Jeden WEA-Standort mindestens einmal überdecken • Größter Profilabstand jedoch 500 m 	<ul style="list-style-type: none"> • Entlang der WEA-Standorte (beidseitige Längsprofile) • Mindestens 200 m auf jeder Seite
Zeitraumen	<ul style="list-style-type: none"> • Einmalig 	<ul style="list-style-type: none"> • Die ersten 2 Jahre nach Fertigstellung 2 mal pro Jahr jeweils im Frühjahr und Spätsommer zur Erfassung der Sedimentdynamik in der sturmreichen und ruhigen Jahreszeit. • Anschließend jährlich einmal. • Wurde während der Vorerkundung/Planungsphase ein Vermessungslot (Single Beam) eingesetzt, ist eine Referenzmessung mit Fächerecholot vor Errichtung der Anlagen durchzuführen
Methode	<ul style="list-style-type: none"> • Vermessungslot (Single Beam) bei relativ ebenem Meeresboden oder Fächerecholot (Multi-Beam) bei unruhigem Meeresboden • Positionierung besser 5 m + 5% der Wassertiefe* • Genauigkeit für reduzierte Tiefen nach IHO Standards for Hydrographic Surveys, Order 1 Surveys (~0.75 m)* 	<ul style="list-style-type: none"> • Fächerecholot (Multi-Beam) • Positionierung besser als 2 m • Genauigkeit für reduzierte Tiefen nach IHO Standards for Hydrographic Surveys, Order 1 Surveys (~0.75 m)
Ergebnisdarstellung	<ul style="list-style-type: none"> • Bathymetrische Karte der vermessenen Bereiche • Wassertiefen müssen Wasserschalllaufzeitbereinigt und auf SKN bezogen dargestellt werden (Beschriftung) • Daten sind zusätzlich in digitaler Form abzuliefern 	<ul style="list-style-type: none"> • Bathymetrische Karte der vermessenen Bereiche • Wassertiefen müssen Wasserschalllaufzeitbereinigt und auf SKN bezogen dargestellt werden (Beschriftung) • Daten sind zusätzlich in digitaler Form abzuliefern

*International Hydrographic Organization, IHO Standards for Hydrographic Surveys, Order 1 Surveys, Special Publication No 44, 4th Edition, April 1998.

Tabelle B.2: Anforderung an die Seitensichtsonar (SSS)-Untersuchungen.

	Vorerkundung/Planungsphase	Überwachung der Betriebsphase
Ziele	<ul style="list-style-type: none"> • Überblick über die vorkommenden Sedimenttypen und –strukturen. • Verifizierung bzw. Kalibrierung der Interpretation durch Greiferproben („ground truthing“) 	<ul style="list-style-type: none"> • Flächendeckende Kartierung der vorkommenden Bodenarten und Sedimentstrukturen • Erfassung von Erosionsflächen bzw. Kolken und Hindernissen. • Verifizierung bzw. Kalibrierung der Interpretation durch Greiferproben („ground truthing“)
Umfang	<ul style="list-style-type: none"> • Jeden WEA-Standort mindestens einmal überdecken • Größter Profilabstand bei homogenem Meeresboden 500 m • In Gebieten mit heterogener Sedimentbedeckung flächendeckend 	<ul style="list-style-type: none"> • Flächendeckend
Zeitraumen	<ul style="list-style-type: none"> • Einmalig 	<ul style="list-style-type: none"> • Die ersten 2 Jahre nach Fertigstellung 2 mal pro Jahr jeweils im Frühjahr und Spätsommer zur Erfassung der Sedimentdynamik in der sturmreichen und ruhigen Jahreszeit. • Anschließend jährlich einmal.
Methode	<ul style="list-style-type: none"> • Frequenz 100 kHz oder höher • Messbereich maximal 2 x 100 m • Erkennung von Objekten ≥ 2 m Kantlänge* • Analoge oder digitale Aufzeichnung • Fahrgeschwindigkeit max. 4 Knoten • Positionierung des Gerätes besser 10 m • Analoge Aufzeichnung kontinuierlich markiert mit Frequenz, Bereich (Range), Position, Zeit und Datum 	<ul style="list-style-type: none"> • Frequenz 100 kHz oder höher • Messbereich maximal 2 x 75 m • Erkennung von Objekten ≥ 2 m Kantlänge* • Digitale <u>und</u> analoge Aufzeichnung • Fahrgeschwindigkeit max. 4 Knoten • Positionierung des Gerätes besser 10 m • Analoge Aufzeichnung kontinuierlich markiert mit Frequenz, Bereich (Range), Position, Zeit und Datum
Ergebnisdarstellung	<ul style="list-style-type: none"> • Karte mit Interpretation der Seitensichtsonarprofile • digitales SSS-Mosaik der Profile (empfohlen) 	<ul style="list-style-type: none"> • digitales SSS-Mosaik der Profile • Karte mit Interpretation der Seitensichtsonarprofile

*International Hydrographic Organization, IHO Standards for Hydrographic Surveys, Order 1 Surveys, Special Publication No 44, 4th Edition, April 1998.

Tabelle B.3: Anforderung an die seismischen Untersuchungen.

	Vorerkundung	Planungsphase
Ziele	<ul style="list-style-type: none"> Erfassung von Art und Lage geologischer Einheiten 	<ul style="list-style-type: none"> Erfassung von Art und Lage geologischer Einheiten (falls ein Versetzen der WEA notwendig)
Umfang	<ul style="list-style-type: none"> Jeden WEA-Standort mindestens einmal überdecken Größter (Längs-)Profilabstand jedoch 500 m Für Querprofile max. Abstand 2000 m 	<ul style="list-style-type: none"> Daten aus Vorerkundung sind zu berücksichtigen! <i>Obligatorisch</i>: 1 Längs- und 1 Querprofil über jeden Standort <i>Empfohlen</i>: Längsprofile im Abstand von 10 m über die Gesamtbreite der Gründung und 1 Querprofil
Zeitraumen	<ul style="list-style-type: none"> Einmalig 	<ul style="list-style-type: none"> Einmalig
Methode	<ul style="list-style-type: none"> Boomer oder alternative Systeme mit vergleichbarer oder besserer Leistung und hinreichender Signaleindringung, Auflösung oberflächennah mindestens 1 m Evtl. ergänzend Subbottom-Profiler oder Chirp Sonar für oberflächennahe Bereiche (z.B. entlang der geplanten Kabeltrassen), Auflösung mindestens 0,5 m Fahrtgeschwindigkeit: max. 4 kn Einsatz bis Seegang max. 4 	<ul style="list-style-type: none"> Boomer oder alternative Systeme mit vergleichbarer oder besserer Leistung und hinreichender Signaleindringung, Auflösung oberflächennah mindestens 1 m Evtl. ergänzend Subbottom-Profiler oder Chirp Sonar für oberflächennahe Bereiche (z.B. entlang der geplanten Kabeltrassen), Auflösung mindestens 0,5 m Fahrtgeschwindigkeit: max. 4 kn Einsatz bis Seegang max. 4
Ergebnisdarstellung	<ul style="list-style-type: none"> Profile mit Interpretation Karte mit räumlicher Lage der Grenzflächen zwischen geologischen Einheiten und Strukturelementen (z.B. Isolinienplan) 	<ul style="list-style-type: none"> Profile mit Interpretation Karte mit räumlicher Lage der Grenzflächen zwischen geologischen Einheiten und Strukturelementen (z.B. Isolinienplan)

Tabelle B.4: Anforderung an Bohrungen.

	Planung
Ziele	<ul style="list-style-type: none"> • Verifizierung bzw. Kalibrierung der Ergebnisse aus den seismischen Untersuchungen
Umfang	<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl und Lokationen der Bohrungen sind auf der Basis der geophysikalischen Ergebnisse festzulegen • Als Richtwert für die Anzahl der Bohrungen ist ein Wert von 10% der WEA-Standorte anzunehmen. • Sämtliche seismischen Einheiten innerhalb der geforderten Signaleindringung sind zu erfassen.
Zeitraumen	<ul style="list-style-type: none"> • Nach Notwendigkeit
Methode	<ul style="list-style-type: none"> • Bohrverfahren zur Gewinnung geeigneten Materials für die notwendigen Laboruntersuchungen • Vibrokernverfahren (bei Kabeltrassen)
Ergebnisdarstellung	<ul style="list-style-type: none"> • Kerne: Schichtverzeichnis nach DIN • Laborbericht

Anmerkungen:

- Vor dem Einsatz von Kerngeräten wird aus Sicherheitsgründen eine Untersuchung der Bohrlokalität mit einem Magnetometer oder aktiven Metall-Detektionssystem empfohlen.
- Umfang, Zeitrahmen und Methode sind mit dem Sachverständigen für Grundbau und Bodenmechanik abzustimmen!

Tabelle B.5: Anforderungen an Magnetometer bzw. aktive Metall-Detektionssysteme (empfohlen).

	Vorerkundung
Ziele	<ul style="list-style-type: none"> • Prinzipieller Test des Untersuchungsgebietes auf Wracks, aktive und inaktive Kabel, Munition und sonstige Metallteile
Umfang	<ul style="list-style-type: none"> • Nach Notwendigkeit gemäß den Ergebnissen der Schreibtischstudie • In jedem Fall in Munitionsgebieten
Zeitraumen	<ul style="list-style-type: none"> • Nach Notwendigkeit
Methode	<ul style="list-style-type: none"> • Magnetometer • Aktives Metall-Detektionssystem
Ergebnisdarstellung	<ul style="list-style-type: none"> • Karte mit den Untersuchungsergebnissen

Tabelle B.6: Anforderungen an die geologisch-geophysikalischen Untersuchungen für Kabeltrassen.

	Vorerkundung/Planung	Überwachung
Ziele	<ul style="list-style-type: none"> • Erfassung der geplanten Kabeltrasse hinsichtlich Bathymetrie und Morphologie • Kartierung von Wracks, sonstigen Hindernissen und Munitionsvorkommen • Untersuchung der Sedimentzusammensetzung, der geologischen Lagerungsverhältnisse und der geotechnischen Eigenschaften des oberen Meeresbodens • Exakte Positionierung bereits vorhandener Kabel und Pipelines • Festlegung der tatsächlichen Verlegeroute und Kabellänge 	<ul style="list-style-type: none"> • Erfassung eines möglichen Freilegens der Leitung • Kontrolle von Steinschüttungen oder vergleichbaren Vorgaben zur Sicherung der Kabel
Umfang	<ul style="list-style-type: none"> • Flächendeckende Vermessung eines 500 m breiten Korridors um die geplante Kabeltrasse mit Seitensichtsonar und Multibeam. • Untersuchung der geplanten Kabeltrasse mit geologischen, geophysikalischen und geotechnischen Methoden. 	<ul style="list-style-type: none"> • Vermessung der gesamten Kabeltrassen
Zeitraumen	<ul style="list-style-type: none"> • Einmalig 	<ul style="list-style-type: none"> • In den ersten Jahren einmal pro Jahr
Methoden	<ul style="list-style-type: none"> • Multibeam; Positionierung besser als 2 m, Genauigkeit für reduzierte Tiefen nach IHO Standards for Hydrographic Surveys, Order 1 Surveys (~0.75 m)[*] • Seitensichtsonar; Frequenz 100 kHz oder höher; Messbereich max. 2 x 100 m; Erkennung von Objekten >2 m Kantenlänge*; digitale u/o analoge Aufzeichnung; Fahrgeschwindigkeit max. 4 kn; Positionierung des Gerätes besser als 10 m; analoge Aufzeichnung markiert mit Frequenz, Bereich, Position, Zeit, Datum • Subbottom-Profilier, Chirp Sonar oder alternative Systeme mit vergleichbarer oder besserer Leistung • Eine Drucksondierung (CPT) pro km Kabeltrasse bis in die geplante Verlegetiefe des Kabels, bei unklaren Lagerungsverhältnissen der Sedimente ggf. häufiger • Magnetometer oder aktives Metall-Detektionssystem 	<ul style="list-style-type: none"> • Cable Tracking System oder geeignetes anderes Verfahren bei Kabel unter Sedimentbedeckung • Ggf. Multibeam; Positionierung besser als 2 m, Genauigkeit für reduzierte Tiefen nach IHO Standards for Hydrographic Surveys, Order 1 Surveys (~0.75 m)[*] • Ggf. Seitensichtsonar; Frequenz 100 kHz oder höher; Messbereich max. 2 x 100 m; Erkennung von Objekten >2 m Kantenlänge*; digitale oder analoge Aufzeichnung; Fahrgeschwindigkeit max. 4 kn; Positionierung des Gerätes besser als 10 m; analoge Aufzeichnung markiert mit Frequenz, Bereich, Position, Zeit, Datum
Ergebnisdarstellung	<ul style="list-style-type: none"> • Kartographische Darstellung (Maßstab 1:5000 oder größer) sämtlicher Ergebnisse der Vermessung 	<ul style="list-style-type: none"> • Kartographische Darstellung (Maßstab 1:5000 oder größer) sämtlicher Ergebnisse der Vermessung

^{*}International Hydrographic Organization, IHO Standards for Hydrographic Surveys, Order 1 Surveys, Special Publication No 44, 4th Edition, April 1998.

B.6 Kabeltrassen

Für die Kabeltrassen gelten hinsichtlich der horizontalen Abdeckung und Eindringtiefe des Erkundungsgebietes andere Anforderungen. Für das Erreichen der geforderten Verlegetiefe sind die Spülbarkeit bzw. Festigkeit des Untergrunds von besonderem Interesse. Nach derzeitigem Stand der Technik werden die Kabel im Sediment eingespült oder eingegraben; ist ein Einspülen oder Eingraben nicht möglich, müssen sie durch entsprechenden Maßnahmen wie z. B. Steinschüttungen in Form von sog. „Gravel Bags“ bedeckt sein. Daher ist in der Überwachungsphase der Bedeckungsgrad und -zustand in geeigneter Weise zu kontrollieren. In Tabelle B.6 sind die technischen Detailanforderungen aufgelistet.

B.7 Geologischer Bericht

B.7.1 Zweck

Im Geologischen Bericht sind die Ergebnisse der geophysikalischen Aufnahme und Bohrergebnisse zusammenzuführen und zu bewerten. Der Bericht stellt die Grundlage für die weitere Planung dar und enthält eine modellhafte Beschreibung des geologischen Untergrunds, auf dem die Bauwerke errichtet werden sollen. Er ist ingenieurgeologisch auszurichten und soll mit dem geotechnischen Bericht eine fachlich fundierte Informations- und Datengrundlage für die Verifizierung der geplanten Standorte und für die Auswahl der geeigneten Fundamenttypen darstellen.

B.7.2 Inhalt

Der Geologische Bericht enthält mindestens folgende Angaben:

- kurze Projektbeschreibung,
- Ziel der Untersuchungen,
- durchführendes Büro und beteiligte Mitarbeiter,
- Zeitraum der Arbeiten auf See und im Labor,

- Beschreibung aller verwendeten Messsysteme und -geräte,
- relevante Angaben aus den Messprotokollen wie z. B. äußere Bedingungen, Schallprofile im Wasser, etc.,
- Datenprozessierung,
- Datenauswertung (z. B. Angabe der verwendeten Schallgeschwindigkeiten im Sediment),
- Gegenüberstellung von akustischer Beschreibung der Sedimenteinheiten mit lithologischer Beschreibung aus den Schichtverzeichnissen (z. B. in Form einer Tabelle),
- Lage der Profile und Bohrungen, Schichtverzeichnisse nach DIN, Korngrößenanalysen und andere geotechnische Parameter – soweit ermittelt – nach DIN (ggf. im Anhang),
- Darstellung der Ergebnisse in Kartenform (Aufsicht und Profile) im geeigneten Maßstab,
- Bewertung der Ergebnisse,
- Zusammenfassung und
- CD mit digitaler Kartendarstellung in CAD- oder GIS-Format.

B.7.3 Vorgaben

Referenzsystem: World Geodetic System 1984 (WGS 84)

Projektion: Gauß-Krüger (GK) oder Universal Transverse Mercator (UTM)

Tiefenangaben: bezogen auf Seekartennull (SKN)

Abschnitt C

Mindestanforderungen an die geotechnischen Untersuchungen als Planungs- und Entwurfsgrundlage für Offshore-WEA

Richtlinien durchzuführen, soweit nicht möglich, in weitestgehender Anlehnung daran (s. C.10 Literatur).

Die Mindestanforderungen an die Feld- und Laboruntersuchungen im Rahmen der Entwurfs- und Ausschreibungsphase, abgestimmt auf die jeweilige Gründungsart, werden im Folgenden näher spezifiziert.

C.1 Allgemeines

Offshore-Bauwerke werden nach DIN 1054 (2003) und DIN 4020 (Entwurf 2002) in die geotechnische Kategorie 3 für Baumaßnahmen mit einem hohen Schwierigkeitsgrad eingestuft, d. h. schwierige Konstruktion und/oder schwierige Baugrundverhältnisse sowie ungewöhnliche Lastfälle.

C.2 Qualitätssicherung

Für die Planung und Durchführung der Baugrunderkundung und -untersuchung sowie für die Gründungsplanung und -ausführung ist ein

- ausgewiesener Sachverständiger für Grundbau und Bodenmechanik
- mit belegbaren Erfahrungen von entsprechend schwierigen Baumaßnahmen

einzuschalten. Zu den Aufgaben des Sachverständigen gehört

- die Aufstellung des Baugrunduntersuchungskonzepts,
- die Veranlassung der Baugrunderkundung und -untersuchung,
- die Überwachung der Baugrunderkundung und -untersuchung,
- die Darstellung der Ergebnisse in Baugrunduntersuchungsberichten und
- die Ausarbeitung der Baugrund- und Gründungsgutachten.

Planung, Durchführung, Dokumentation und Auswertung der Feld- und Laboruntersuchungen sind grundsätzlich nach den einschlägigen DIN-Normen und

C.3 Anforderungen an Felduntersuchungen

C.3.1 Bohrungen und Sondierungen

Bohrungen sind grundsätzlich nach DIN 4021 (1990) durchzuführen. Bei Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung gekernter Bodenproben sind Schichtenverzeichnisse nach DIN 4022 Teil 1 (1987), mit durchgehender Gewinnung gekernter Bodenproben nach DIN 4022 Teil 3 (1982) zu führen.

Mit den Drucksondierungen (Cone Penetration Test, CPT) werden der Sondierspitzendruck und die lokale Mantelreibung gemessen. Spezielle Sonden können zusätzlich den Porenwasserdruck u messen (CPTu). Regelungen zu Durchführung und Auswertung von Drucksondierungen sind in DIN 4094 Teil 1 (2002) enthalten. Drucksondierungen sind immer in Verbindung mit mindestens einer Bohrung durchzuführen, um die Ergebnisse der Sondierung anhand der Bohrung kalibrieren zu können.

Die Bohrlochrammsondierung (BDP), früher Standard Penetration Test (SPT) bezeichnet, ist eine Rammsondierung im Bohrloch. Bei Durchführung nach ASTM D 1586–99 (1999) werden aus nichtbindigen und bindigen Böden Proben durch Einrammen eines Entnahmestützens gewonnen und die dafür erforderliche Schlagzahl gemessen. Nach DIN 4094 Teil 2 (Entwurf 2002) ist der Entnahmestutzen durch eine Kegelspitze ersetzt, es können keine Bodenproben entnommen werden.

Tabelle C.1: Felduntersuchungen für Pfahlgründungen.

Art der Pfahlgründung	Umfang der Aufschlüsse
Monopile Tripod Jacket	<ul style="list-style-type: none"> • Sofern nicht anhand der Ergebnisse der geophysikalischen Erkundung und der Drucksondierungen an anderer Lokation zweckmäßiger festzulegen, wird je eine Bohrung in den Ecken des Windparkareals (meistens vier Ecken) sowie eine Bohrung in seiner Mitte angeordnet. • Bei großen Abmessungen des Windparks sind Zwischenbohrungen so anzuordnen, dass ca. 10 % der Standorte erfasst werden (Richtwert). • Eine Drucksondierung pro Fundamentstandort. Bei Tripod- oder Jacket-Gründungen ist eine Drucksondierung pro Fundamentfuß durchzuführen, wenn ungünstige oder stark inhomogene Baugrundverhältnisse dies erfordern (Beurteilung z.B. anhand der geophysikalischen Standorterkundung). • Zur Kalibrierung der Drucksondierungen ist es erforderlich, dass jeweils eine Drucksondierung in der Nähe jeder Bohrung durchgeführt wird.

C.3.2 Felduntersuchungen für Pfahlgründungen

Für Pfahlgründungen müssen durch die Baugrunderkundung mindestens die Parameter für folgende Nachweise ermittelt werden:

- die Pfahlgrenztragfähigkeit bei axialer Zug- und Druckbelastung,
- die Last-Verformungs-Beziehung für axiale und für horizontale Belastung (Bettung),
- der während der Rammung zu erwartende Pfahlwiderstand, Rammhindernisse und
- der Grundbruchwiderstand eventuell erforderlicher „Mudmats“ einer Jacketgründung.

In Abhängigkeit von den verschiedenen Arten der Pfahlgründungen ist dazu der in Tabelle C.1 angegebene Mindestumfang an Bohrungen und Sondierungen erforderlich.

Sind bindige Bodenschichten aufgrund ihrer Lage und Mächtigkeit für die Bemessung der Gründung von Bedeutung, oder bestehen stark inhomogene oder anderweitig ungünstige Baugrundverhältnisse, wird das Mindestprogramm gemäß Tab. C.1 je nach Erfordernis durch zusätzliche Kernbohrungen an einigen oder an allen Fundamentstandorten ergänzt, um die für die Bemessung der Gründung erforderlichen bodenmechani-

schen Parameter mit ausreichender Zuverlässigkeit festlegen zu können. Den Umfang der zusätzlichen Erkundungen legt der Baugrundsachverständige im Einzelfall unter Berücksichtigung der Geologie und der Homogenität des anstehenden Baugrunds in Abstimmung mit dem Entwurfsingenieur der Gründung fest.

Zur Festlegung der Aufschlusstiefe und der Häufigkeit der Probenentnahme gelten die Anhaltswerte in Tabelle C.2 (in Anlehnung an Fugro-McClelland Ltd., 1993; McClelland & Reifel, 1986; American Petroleum Institute, 1982; Det Norske Veritas Classification A/S, 1992; Classification A/S 2003; DIN 4020, Entwurf 2002).

Das Baugrunduntersuchungsprogramm entsprechend Tabelle C.2 kennzeichnet den erforderlichen Mindestumfang. Die Ergebnisse der Bohrungen und Sondierungen müssen gemeinsam mit den Ergebnissen der geologisch-geophysikalischen Untersuchungen eine eindeutige Bewertung der Baugrundeigenschaften und somit die Bemessung der Gründungskonstruktion ermöglichen.

Bohrungen und Sondierungen müssen sachverständig überwacht werden, und der vor Ort verantwortliche Sachverständige für Grundbau und Bodenmechanik muss entscheiden, ob zum Erreichen dieses Ziels zu-

Tabelle C.2: Aufschlusstiefe und Probenentnahme bei Felduntersuchungen für Pfahlgründungen (Mindestumfang).

Aufschlussart	Aufschlusstiefe	Probenentnahme
Bohrung	<ul style="list-style-type: none"> • Bei überwiegend horizontaler Belastung bis zu einem Pfahldurchmesser unter Pfahlfuß • Bei überwiegend vertikaler Belastung bis zum zwei- bis dreifachen des Pfahldurchmessers unter Pfahlfuß 	<ul style="list-style-type: none"> • Bis 12 m unter Meeresboden alle 1 m • darüber hinaus bis in eine Tiefe von ca. 60 m mindestens alle 3 m • ab 60 m Tiefe alle 8 m, • mindestens eine Probe aus jeder Bodenschicht
Drucksondierung	<ul style="list-style-type: none"> • Kontinuierliche Drucksondierung • Bei überwiegend horizontaler Belastung bis zu einem Pfahldurchmesser unter Pfahlfuß und bis zur Erkundungstiefe für die Kalibrierbohrungen. • Bei überwiegend vertikaler Belastung bis zum zwei- bis dreifachen des Pfahldurchmessers unter Pfahlfuß. • <i>Kann die erforderliche Aufschlusstiefe durch eine kontinuierliche Drucksondierung nicht erreicht werden, so ist vorzubohren und die Sondierung von der Bohrlochsohle aus fortzusetzen!</i> 	

sätzliche Untersuchungen erforderlich sind. Ggf. sind weitere oder andere Erkundungen nach seiner Anweisung auszuführen. Dies ist insbesondere bei inhomogenem Baugrundaufbau zu erwarten.

C.3.3 Felduntersuchungen für Schwergewichtsgründungen

Für Schwergewichtsgründungen müssen durch die Baugrunderkundung mindestens die Parameter für folgende Nachweise ermittelt werden:

- Grundbruchwiderstand unter aus mittiger und geeigneter Belastung,
- Gleitwiderstand,
- Setzungen und Schiefstellungen der Gründung und
- Eindringwiderstand von Schürzen.

Hierzu ist regelhaft folgender Mindestumfang an Bohrungen und Sondierungen erforderlich:

- Eine Drucksondierung (CPT) pro Fundamentstandort.
- Bohrungen werden nach Art, Umfang und Lokation mit der geologisch-geophysikalischen Vorerkundung abgestimmt. Die Anordnung in jeder Ecke (meistens vier Ecken) eines Windparks sowie in der Mitte des Areals ist geotechnisch zweckmäßig, soweit nicht Erkenntnisse aus vorliegenden Erkundungen eine andere Anordnung erfordern oder nahelegen. Bei sehr großen Abmessungen des Windparks sind Zwischenbohrungen anzuordnen. Als Richtwert sind 10% der Anzahl der WEA anzusehen.
- Zur sicheren Kalibrierung der Drucksondierungen ist jede Bohrung neben einer Drucksondierung durchzuführen.

Sind bindige Bodenschichten aufgrund ihrer Lage und Mächtigkeit für die Bemessung der Gründung von Bedeutung oder bestehen stark inhomogene oder anderweitig ungünstige Baugrundverhältnisse, wird das Mindestprogramm je nach Erfordernis durch zusätzliche Kernbohrungen ergänzt, um die für die Bemessung

der Gründung erforderlichen bodenmechanischen Parameter mit ausreichender Zuverlässigkeit festlegen zu können. Den Umfang der zusätzlichen Erkundungen legt der Baugrundsachverständige im Einzelfall unter Berücksichtigung der Geologie und der Uniformität des anstehenden Baugrunds in Abstimmung mit dem Entwurfsingenieur der Gründung fest.

In bindigen Böden sind die Drucksondierungen ggf. durch Messung des Porenwasserüberdrucks (CPTu) und die Bohrungen ggf. durch Flügelsondenversuche im Bohrloch zu ergänzen. Darüber hinaus können je nach den spezifischen Anforderungen an die Gründung Plattendruckversuche oder Bohrlochaufweitungsversuche erforderlich werden.

Für die Aufschlusstiefe und Häufigkeit der Probenentnahme gelten die Anhaltswerte in Tabelle C.4 (in Anlehnung an Fugro-McClelland Ltd., 1993; Det Norske Veritas Classification A/S, 1992; DIN 4020, Entwurf 2002).

Das Baugrunduntersuchungsprogramm entsprechend Tabelle C.3 kennzeichnet den erforderlichen Mindestumfang. Die Ergebnisse der Bohrungen und Sondierungen müssen gemeinsam mit den Ergebnissen der

geologisch-geophysikalischen Untersuchungen eine eindeutige Bewertung der Baugrundeigenschaften und somit die Bemessung der Gründungskonstruktion ermöglichen.

Bohrungen und Sondierungen müssen sachverständig überwacht werden, und der vor Ort verantwortliche Sachverständige für Grundbau und Bodenmechanik muss entscheiden, ob zum Erreichen dieses Ziels zusätzliche Untersuchungen erforderlich sind. Ggf. sind weitere oder andere Erkundungen nach seiner Anweisung auszuführen.

Dies ist insbesondere bei inhomogenem Baugrundaufbau zu erwarten.

C.3.4 Anforderungen an Bodenprobenentnahmen

Die Bohrverfahren sind so auszuwählen, dass Bodenproben mindestens der Güteklasse 2 (GK 2) nach DIN 4021 (1990) gewonnen werden können. Die entnommenen Bodenproben müssen also mindestens hinsichtlich ihrer Zusammensetzung, bei bindigen Böden auch ihres Wassergehalts und ihrer Dichte, unverän-

Tabelle C.3: Aufschlusstiefe und Probenentnahme bei Felduntersuchungen für Schwergewichtsgründungen (Mindestumfang).

Aufschlussart	Aufschlusstiefe	Probenentnahme
Bohrung	<ul style="list-style-type: none"> Mindestens bis zu einer Tiefe, die dem Fundamentdurchmesser bzw. der längeren Fundamentseite entspricht 	<ul style="list-style-type: none"> Bis 12 m unter Meeresboden alle 1 m darüber hinaus mindestens alle 3 m mindestens eine Probe aus jeder Bodenschicht
Drucksondierung	<ul style="list-style-type: none"> Kontinuierliche Drucksondierung bis zu einer Tiefe, die dem Fundamentdurchmesser bzw. der längeren Fundamentseite entspricht und bis zur erforderlichen Erkundungstiefe für die Kalibrierbohrungen Kann die erforderliche Aufschlusstiefe durch eine kontinuierliche Drucksondierung nicht erreicht werden, so ist vorzubohren und die Sondierung von der Bohrlochsohle aus fortzusetzen. 	

dert sein. Kann mit den zur Verfügung stehenden Bohrverfahren GK 2 nicht erreicht werden, besteht die Möglichkeit, aus der Bohrlochsohle Sonderproben nach DIN 4021 (1990) zu entnehmen (in der Regel in bindigen Böden).

Die Verfahren zur Gewinnung der Bodenproben in der geforderten Qualität sind auf die anstehenden Böden abzustimmen. In DIN 4021 (1990) ist eine Übersicht über geeignete Bohrverfahren an Land gegeben. Die im Offshorebereich üblichen Bohrverfahren können Mc-Clelland & Reifel (1986) entnommen werden.

Zur Gewinnung von Sonderproben werden im Allgemeinen Entnahmestutzen eingesetzt, die auf die Sohle des Bohrlochs aufgesetzt und in den Baugrund gerammt (Rammkern) oder gleichmäßig eingedrückt (Druckkern) werden. Grundsätzlich ist darauf zu achten, dass diese Entnahmestutzen in einwandfreiem Zustand sind, insbesondere dürfen ihre Schneiden nicht stumpf und deformiert sein. Rammkernproben sind nach allgemeiner Erfahrung stärker gestört als Druckkernproben. Ein speziell zur Entnahme von Meeresbodenproben entwickeltes Gerät ist der „Seafloor Jack“, mit dem zugleich auch Sondierungen durchgeführt werden können.

Für die Entnahme von Bodenproben in bindigen und nichtbindigen Böden sind erfahrungsgemäß dünnwandige, offene Entnahmegeräte geeignet („Thin Wall Tube Sampler“), in weichen bindigen Schichten sind Entnahmegeräte mit innenliegenden Hülssen („Liner“) zu verwenden.

Bei der Probenentnahme ist darauf zu achten, dass Probenqualität, Probenanzahl, Probengröße und Probenmenge für die Laborversuche ausreichend sind. Es wird empfohlen, Bohrkerndurchmesser von 100 mm anzustreben. Mindestanforderungen sind:

- bei Druckkernproben ein Mindestdurchmesser von 70 mm,
- bei Rammkernproben ein Mindestdurchmesser von 80 mm,
- bei Sonderproben ein Mindestdurchmesser von 114 mm.

Weitere Anforderungen sind DIN 4021 (1990) zu entnehmen.

Nach Möglichkeit ist eine größere Anzahl an Bodenproben zu entnehmen als für die Laborversuche voraussichtlich benötigt wird.

C.4 Anforderungen an Laboruntersuchungen

C.4.1 Laboruntersuchungen an Bord der Erkundungsschiffe

Es wird empfohlen, bereits an Bord der Untersuchungsschiffe in beschränktem Umfang Laborversuche (z. B. Bestimmung der undrännierten Scherfestigkeit, Dichte und des Wassergehalts) durchzuführen. Zwar können einige Versuche wie die Bestimmung der Korngrößenverteilung von feinkörnigen Böden auf einem Schiff wegen der Beeinflussung durch Seegang und Vibration schwieriger als in Laboren an Land oder evtl. gar nicht durchgeführt werden. Dennoch geben die vor Ort durchgeführten Laborversuche Hinweise für die Auswahl und den Umfang weiterer Felduntersuchungen, die dann ohne großen Zeitverlust durchgeführt werden können.

C.4.2 Laborversuche an Land

In den Tabellen C.4 und C.5 sind die Laborversuche zusammengestellt, die zur Zustandsbeschreibung sowie zur Bestimmung der erforderlichen bodenmechanischen Rechenwerte geeignet sind. Welche Versuche im Einzelfall durchzuführen sind, entscheidet der verantwortliche Sachverständige für Grundbau und Bodenmechanik.

Zur Untersuchung des Einflusses zyklischer Spannungsänderungen im Boden aus Wellen, Strömungen und Wind (vgl. Germanischer Lloyd, 1999) sind zyklische Triaxialversuche oder zyklische direkte Scherverversuche bzw. zyklische Kompressionsversuche für die maßgeblich an der Lastabtragung beteiligten Bodenschichten durchzuführen (Abb. C.1 bis C.3).

Tabelle C.4: Laborversuche zur Beurteilung nichtbindiger Böden.

Versuchsart	Norm	Güteklasse der Probe (DIN 4021)	Bodenmechanische Kenngröße
Klassifikation und Zustandsbeschreibung			
Korngrößenverteilung	DIN 18123 (1996)	mind. Güteklasse 4	Ungleichförmigkeitsgrad, Krümmungszahl (DIN 18196, 1988)
Lagerungsdichte	DIN 18126 (1996)	mind. Güteklasse 2	lockerste und dichteste Lagerung
Wichte	DIN 18125 Teil 1 (1997)	mind. Güteklasse 4, zur Bestimmung des Porenanteils mind. Güteklasse 2	Wichte, Wichte unter Auftrieb
Kalkgehaltsbestimmung	DIN 18129 (1996)	mind. Güteklasse 4 (5)	Kalkgehalt
Formänderungsverhalten			
Kompressionsversuch (Oedometertest)	DIN 18135 (Entwurf 1999)	Güteklasse 4, jedoch Einbau der Probe mit im Feld bestimmter Anfangsdichte	Steifemodul, Konsolidierungsbeiwert, Kriechbeiwert, abgeleitet: Wasserdurchlässigkeitsbeiwert
dränier- und un-dränier- Triaxialversuche	DIN 18137 Teil 2 (1990)	Güteklasse 1, aber auch aufbereitete Probenkörper	Scherspannungs-Scherdehnungskurven, Volumendehnung und axiale Deformation
Festigkeit			
direkter Scherversuch	DIN 18137 Teil 3 (1990)	Güteklasse 1, aber auch aufbereitete Probenkörper	Reibungswinkel ϕ' ($c' = 0$)
dränier- und un-dränier- Triaxialversuche	DIN 18137 Teil 2 (1990)	Güteklasse 1, aber auch aufbereitete Probenkörper	Reibungswinkel ϕ' ($c' = 0$)

Tabelle C.5: Laborversuche zur Beurteilung bindiger Böden.

Versuchsart	Norm	Güteklasse der Probe (DIN 4021)	Bodenmechanische Kenngröße
Klassifikation und Zustandsbeschreibung			
Korngrößenverteilung	DIN 18123 (1996)	mind. Güteklasse 4	Ungleichförmigkeitsgrad, Krümmungszahl
Wassergehalt	DIN 18121 Teil 1 (1998) DIN 18121 Teil 2 (2001)	mind. Güteklasse 3	Wassergehalt des Bodens
Wasserdurchlässigkeit	DIN 18130 Teil 1 (1998)	mind. Güteklasse 2, Güteklasse 4, wenn im Proctorgerät auf vorgeschriebene bzw. erforderliche Dichte gebracht	Wasserdurchlässigkeitsbeiwert
Wichte	DIN 18125 Teil 1 (1997)	mind. Güteklasse 4, zur Bestimmung des Porenanteils mind. Güteklasse 2	Wichte, Wichte unter Auftrieb
Konsistenzgrenzen	DIN 18122 Teil 1 (1997) DIN 18122 Teil 2 (2000)	mind. Güteklasse 4	Fließ- und Ausrollgrenze, Schrumpfgrenze, Plastizitätszahl, Konsistenzzahl
Formänderungsverhalten			
Kompressionsversuch (Oedometertest)	DIN 18135 (1999)	Güteklasse 1	Steifemodul, Vorbelastung des Bodens, Konsolidierungsbeiwert, Kriechbeiwert, Wasserdurchlässigkeitsbeiwert
undränderte Triaxialversuche	DIN 18137 Teil 2 (1990)	Güteklasse 1, aber auch aufbereitete Probenkörper	Scherspannungs-Scherdehnungskurven; Volumendehnung und axiale Deformation
Festigkeit			
Laborflügelsondenversuch	für Laborversuche z. Zt. nicht geregelt	möglichst Güteklasse 1, aber auch gestörte Proben geeignet	undränderte Scherfestigkeit c_u
direkter Scherversuch	DIN 18137 Teil 3 (1990)	Güteklasse 1, aber auch aufbereitete Probenkörper	wirksamer Reibungswinkel φ' , wirksame Kohäsion c'
undränderte Triaxialversuche	DIN 18137 Teil 2 (1990)	Güteklasse 1, aber auch aufbereitete Probenkörper	Scherparameter in Abhängigkeit von der Versuchsart UU-Versuch: c_u, φ_u CU-Versuch: c', φ' CCV-Versuch: c', φ'

Aus den Ergebnissen dieser Laborversuche ist eine Prognose abzuleiten, inwieweit eine Änderung der Festigkeit bzw. der Steifigkeit des Bodens infolge zyklischer Belastung zu erwarten ist.

Weiterhin ist – soweit erforderlich – das Verflüssigungspotential („Liquefaction“) der anstehenden Böden zu untersuchen.

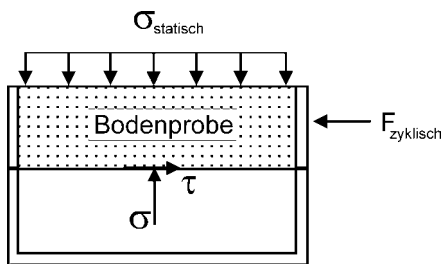


Abb. C.1: Zyklischer direkter Scherversuch.

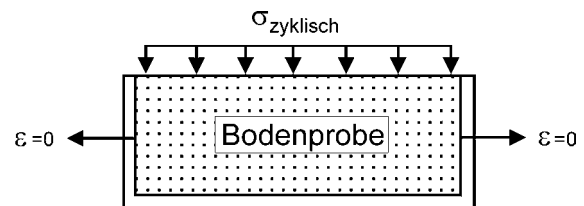


Abb. C.2: Zyklischer Kompressionsversuch.

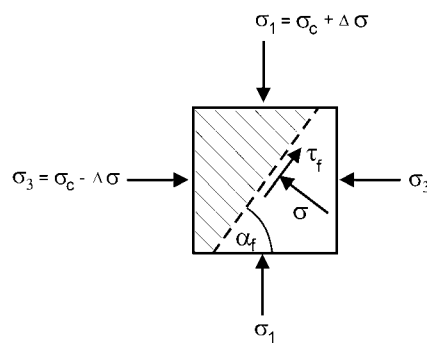
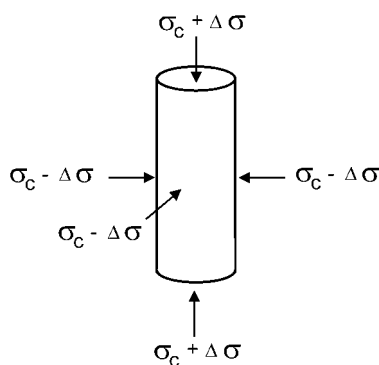


Abb. C.3: Zyklischer Triaxialversuch.

C.5 Baugrunduntersuchungsbericht

C.5.1 Inhalt des Baugrunduntersuchungsberichts

Der Baugrunduntersuchungsbericht muss außer einer präzisen Angabe des Untersuchungsziels sowie einer Dokumentation der zur Verfügung gestellten Unterlagen über das Bauwerk mindestens enthalten:

- die Ergebnisse der Bohrungen und Sondierungen, die Ergebnisse der Laborversuche und ggf. durchgeführter Modellversuche,
 - eine übersichtliche Zusammenstellung der Versuchsergebnisse,
 - eine zusammenfassende Beschreibung des Baugrunds und
 - eine generelle Baugrundbeurteilung.
- generelle Angaben zur Bauaufgabe,
 - Angaben zu den allgemeinen geologischen Verhältnissen,

C.5.2 Wiedergabe der Ergebnisse von Feld- und Laborversuchen

C.5.2.1 Felduntersuchungen

Die genaue Lage der ausgeführten Bodenaufschlüsse und der Felduntersuchungen ist in einem maßstäblichen Plan, der auch die geplanten Bauwerksumrisse enthält, einzutragen. Dabei sollen auch Bezugsmaße auf unveränderliche Festpunkte oder Bezugslinien angegeben werden. Der Zeitpunkt der Ausführung der Arbeiten und besondere Feststellungen bei der Bohrüberwachung sind zu vermerken.

Die angewandten Aufschluss- und Sondierverfahren sind im Baugrunduntersuchungsbericht zu erläutern, bei genormten Verfahren reicht der Bezug auf die jeweilige Norm. Muss von einem genormten Verfahren abgewichen werden, so ist dies zu begründen und die Vorgehensweise zu beschreiben.

Sofern dem Baugrunduntersuchungsbericht die Schichtenverzeichnisse der Bohrungen nach DIN 4022 nicht beigefügt werden, ist darauf zu verweisen, dass und wo diese eingesehen werden können. Letzteres gilt auch für die entnommenen Bodenproben.

Bei Entnahme von gekernten Bodenproben sollten auch Farbfotos dieser Bohrkernbeigefügt werden. Die Farbfotos ersetzen nicht die Ansprache und Beurteilung der Bodenproben durch den Sachverständigen im Labor.

Die Ergebnisse von Sondierungen sind unter Beachtung von DIN 4094, Teil 1 bis 5, zu dokumentieren. Es empfiehlt sich, die Ergebnisse von Sondierungen neben lokal zugeordneten Bohrprofilen aufzutragen, und zwar unter Verwendung eines allgemein gültigen Bezugssystems für die Höhenangaben (d. h. Seekartennull, SKN).

C.5.2.2 Laborversuche

Die Ergebnisse von Laborversuchen sollen nach Bodenkennwerten (z. B. Körnungslinien, Ergebnissen der

Kompressionsversuche, Ergebnisse der Scherversuche) geordnet vollständig dokumentiert und beschrieben werden, um jedem Leser eine Interpretation der Ergebnisse zu ermöglichen. Die jeweils angewendeten Versuchsanordnungen sind zu beschreiben. Sofern die Versuche genormt sind, reicht der Bezug auf die jeweilige Norm.

Die Ergebnisse von Kompressionsversuchen sind stets als Drucksetzungslinien und als Zeitsetzungslinien darzustellen, die Laststufen und die Konsolidierungsdauern sind anzugeben. Zur Dokumentation der Ergebnisse gehört auch die Angabe von Geräteabmessungen und Art des Einbaus des Bodens in die Geräte.

Die Ergebnisse von Scherversuchen sind in Übereinstimmung mit den einschlägigen Normen darzustellen.

Die Ergebnisse der Laborversuche werden schließlich in Tabellenform geordnet nach Bohrungen, Entnahmetiefe und Probennummer zusammengestellt.

C.5.3 Zusammenfassung aller Untersuchungsergebnisse (Baugrundbeschreibung)

Die Ergebnisse der Feld- und Laborversuche werden im Baugrunduntersuchungsbericht zu einer Beschreibung des Baugrunds zusammengefasst. Körnungslinien werden zu Körnungsbändern der Hauptbodenarten zusammengefasst. Für die Hauptbodenarten werden Bandbreiten und charakteristische Werte der bodenmechanischen Parameter angegeben.

C.5.4 Generelle Baugrundbeurteilung

Die generelle Baugrundbeurteilung enthält eine Bewertung der angetroffenen Baugrundsituation im Hinblick auf ihre qualitative Eignung zur Gründung von Offshore-WEA sowohl im Hinblick auf die Tragfähigkeit als auch auf die Herstellbarkeit bei unterschiedlichen Gründungskonzepten.

C.6 Baugrund- und Gründungsgutachten

C.6.1 Inhalte von Baugrund- und Gründungsgutachten

Baugrund- und Gründungsgutachten müssen mindestens enthalten:

- die geologisch/geotechnische Standortbeschreibung,
- die wesentlichen Bauwerksdaten als Gründungskriterien,
- die Baugrundbeurteilung in Bezug auf die konkrete Baumaßnahme,
- die Festlegung der charakteristischen Bodenkennwerte und erforderlichenfalls auch der Berechnungsverfahren,
- sofern erforderlich, Angaben zu Rammhindernissen bzw. zu geeigneten Verfahren der Einbringung von Pfählen und Schürzen,
- die Darstellung der Gründungsmöglichkeiten mit ihrer geotechnischen Bewertung,
- den Gründungsvorschlag mit den Ergebnissen zu gehöriger erdstatischer Überschlagsberechnungen bzw. Setzungsberechnungen und
- ggf. Angaben zur Erdbebengefahr.

C.6.2 Aussagen von Baugrund- und Gründungsgutachten

Die im Baugrunduntersuchungsbericht und im (ggf. fortgeschriebenen) Geologischen Bericht zusammengestellten Ergebnisse bilden die Grundlage für das vom Baugrundsachverständigen aufzustellende Baugrund- und Gründungsgutachten.

Es umfasst eine zusammenfassende Beschreibung des geologischen Aufbaus, der Eigenschaften der festgestellten Bodenschichten und deren bodenphysikalischen Kennzahlen sowie die Beurteilung des Baugrunds sowohl in statisch-konstruktiver als auch in erdbau- bzw. spezialtiefbautechnischer Hinsicht. Dazu gehören unbedingt Angaben über die Korngrößenverteilungen, die Lagerungsdichte der nichtbindigen Böden, die Zustandsform der bindigen Böden und die Be-

urteilung der im Baugrunduntersuchungsbericht angegebenen Scherparameter und Steifezahlen im Hinblick auf die Aufgabenstellung.

Im Baugrund- und Gründungsgutachten werden die für die erdstatischen Berechnungen maßgebenden charakteristischen Bodenparameter, mindestens die Wichten, die Steifemoduln und die Scherparameter festgelegt. Soweit erforderlich, stimmt der Baugrundsachverständige diese Werte vorher mit dem Bauherrn, mit dem Entwurfsbearbeiter, mit der zuständigen Bauaufsichtsbehörde bzw. mit der Prüfinstanz, u. U. auch mit der bauausführenden Firma unter Berücksichtigung der Aufgabe und der Erfordernisse ab.

In das Baugrund- und Gründungsgutachten sind Angaben zur Klassifikation der Bodenarten in Bodengruppen nach DIN 18196 und in Bodenklassen nach DIN 18300 aufzunehmen.

In Erdbebengebieten gehört die Angabe der anzusetzenden Erschütterungszahlen zur Aufgabe des Baugrundsachverständigen, erforderlichenfalls in Zusammenarbeit mit einem Sachkundigen für das betreffende Gebiet.

Gegenstand des Baugrund- und Gründungsgutachtens ist auch die Beurteilung des Baugrunds hinsichtlich des Einbringens von Pfählen und Schürzen. Sofern der Umfang der durchgeführten Untersuchungen diese Bewertung nicht zulässt, ist dies ausdrücklich zu vermerken, und es sind entsprechende ergänzende Untersuchungen vorzuschlagen, die zu einem späteren Zeitpunkt durchzuführen sind.

Schließlich gehört zum Baugrund- und Gründungsgutachten die Bewertung der Gefahr von Rammhindernissen. Dabei sind neben den Ergebnissen von Bohrungen und Sondierungen insbesondere auch die Erkenntnisse aus der geologisch-geophysikalischen Untersuchung heranzuziehen.

C.7 Ergänzende Untersuchungen (Ausschreibungsphase)

Als Ergebnis der Entwurfsarbeiten, der geotechnischen Prüfung des Gründungsentwurfes oder der Ausschreibung, insbesondere bei Sondervorschlägen, können ergänzende Erkundungen oder Feldversuche wie Proberammungen oder Probelastungen erforderlich werden.

Hierfür gelten dieselben Grundsätze wie für die Standorterkundung.

C.8 Baubegleitende Untersuchungen (Bauausführungsphase)

Die geotechnischen Elemente der Bauausführung sind nach den üblichen Regeln zu überwachen und zu überprüfen, die Ergebnisse sind zu protokollieren und in Ergebnisberichten vom Sachverständigen für Grundbau und Bodenmechanik zu bewerten (Abnahme).

C.9 Betriebsbegleitende Untersuchungen (Betriebsphase)

Soweit Elemente der Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise nicht durch vorherige Untersuchung auf dem Wege der Berechnung oder der Bauteilprüfung oder durch nachprüfbar belegte besondere oder allgemeine Erfahrung abgesichert sind, sind geeignete messtechnische Überwachungseinrichtungen vorzusehen und in Betrieb zu nehmen.

Das messtechnische Überwachungskonzept ist dann Bestandteil des Standsicherheitsnachweises und ist notwendiges Element der betriebsbegleitenden Untersuchungen. Die Messergebnisse sind in regelmäßigen Abständen vom Sachverständigen für Grundbau und Bodenmechanik daraufhin zu beurteilen, ob die Anlage sich dem Entwurf entsprechend verhält. Art und Umfang der Untersuchungen und zeitliche Abstände sowie Toleranzen werden vom Sachverständigen für Grundbau und Bodenmechanik in Abstimmung mit dem Bauherrn, dem Entwurfsbearbeiter, der zuständigen Bauaufsichtsbehörde bzw. der Prüfinstanz, u. U. auch mit der bauausführenden Firma unter Berücksichtigung der Aufgabe und der Erfordernisse festgelegt. Die Messergebnisse und ihre Bewertungen durch den Sachverständigen sind der Genehmigungsbehörde turnusgemäß vorzulegen.

C.10 Literatur

- American Petroleum Institute, API (1982): Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms. API RP 2A, 13th Edition, Dallas.
- ASTM D 1586-99 (1999): Standard Test Method for Penetration Test and Split-barrel Sampling of Soils. American Society for Testing and Materials.
- Det Norske Veritas, DNV (2003): Design of Offshore Wind Turbine Structures, Offshore Standard Draft, Høvik, Norway. Det Norske Veritas Classification A/S (1992): Foundations. Classification Notes No. 30.4, Høvik.
- DIN 1054 (2003): Baugrund; Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau.
- DIN EN 1536 (1999): Bohrpfähle; Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau).
- DIN 4014 (1990): Bohrpfähle; Herstellung, Bemessung und Tragverhalten.
- DIN 4020 (Entwurf 2002): Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke.
- DIN 4021 (1990): Baugrund; Aufschluss durch Schürfe und Bohrungen sowie Entnahme von Proben.
- DIN 4022 Teil 1 (1987): Baugrund und Grundwasser; Benennen und Beschreiben von Boden und Fels – Schichtenverzeichnis für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben im Boden und im Fels.
- DIN 4022 Teil 3 (1982): Baugrund und Grundwasser; Benennen und Beschreiben von Boden und Fels – Schichtenverzeichnis für Bohrungen mit durchgehender Gewinnung von gekernten Proben im Boden (Lockergestein).
- DIN 4026 (1975): Rammpfähle; Herstellung, Bemessung und zulässige Belastung.
- DIN 4094 Teil 1 (2002): Baugrund; Felduntersuchungen – Drucksondierungen.
- DIN 4094 Teil 2 (Entwurf 2002): Baugrund; Felduntersuchungen – Bohrlochrammsondierung.
- DIN 4094 Teil 3 (2002): Baugrund; Felduntersuchungen – Rammsondierungen.
- DIN 4094 Teil 4 (2002): Baugrund; Felduntersuchungen – Flügelscherversuche.
- DIN 4094 Teil 5 (2001): Baugrund; Felduntersuchungen – Bohrlochaufweitungsversuche.
- DIN 18121 Teil 1 (1998): Untersuchung von Bodenproben; Wassergehalt – Bestimmung durch Ofentrocknung.
- DIN 18121 Teil 2 (2001): Untersuchung von Bodenproben; Wassergehalt – Bestimmung durch Schnellverfahren.
- DIN 18122 Teil 1 (1997): Baugrund – Untersuchung von Bodenproben; Zustandsgrenzen (Konsistenzgrenzen) – Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenze.
- DIN 18122 Teil 2 (2000): Baugrund – Untersuchung von Bodenproben; Zustandsgrenzen (Konsistenzgrenzen) – Bestimmung der Schrumpfgrenze.
- DIN 18123 (1996): Baugrund – Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung der Korngrößenverteilung.
- DIN 18125 Teil 1 (1997): Baugrund – Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung der Dichte des Bodens – Laborversuche.
- DIN 18126 (1996): Baugrund – Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung der Dichte nichtbindiger Böden bei lockerster und dichtester Lagerung.
- DIN 18129 (1996): Baugrund – Untersuchung von Bodenproben; Kalkgehaltsbestimmung.
- DIN 18130 Teil 1 (1998): Baugrund – Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts – Laborversuche.
- DIN 18135 (Entwurf 1999): Baugrund – Untersuchung von Bodenproben; Eindimensionaler Kompressionsversuch.
- DIN 18137 Teil 2 (1990): Baugrund – Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung der Scherfestigkeit – Triaxialversuch.
- DIN 18137 Teil 3 (1990): Baugrund – Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung der Scherfestigkeit – direkter Scherversuch.
- DIN 18196 (1988): Erd- und Grundbau; Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke.
- DIN 18300 (2000): VOB Verdingungsordnung für Bauleistungen Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV), Erdarbeiten.
- EAU (1996): Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“ Häfen und Wasserstraßen, 9. Auflage, Ernst und Sohn, Berlin.
- Fugro-McClelland Ltd. (1993): UK Offshore Site Investigation and Foundation Practices, FML Report No. 92/2549-1(03). In: Health and Safety Executive (1993): Offshore Technology Report – OTO 93024, Sheffield.
- Germanischer Lloyd, GL (1999): Rules and Regulations – IV – Non-Marine Technology – Part 2 – Offshore Wind Energy Converters (GLOWE) und Rules for Classification and Construction – III – Offshore Technology – Part 2 – Offshore Installations (GLOT), Hamburg.
- McClelland, B. & Reifel, M. D. (1986): Planning and Design of Fixed Offshore Platforms. Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York.
- Wiemann, J.; Lesny, K. & Richwien, W. (2002): Gründung von Offshore-Windenergieanlagen – Gründungskonzepte und geotechnische Grundlagen. Mitteilungen aus dem Fachgebiet Grundbau und Bodenmechanik, Heft 29, Herausgeber Prof. Dr.-Ing. W. Richwien, Verlag Glückauf, Essen.