

Mindestanforderungen an die Baugrunderkundung

Dr.-Ing. Kerstin Lesny, Prof. Dr.-Ing. Werner Richwien

Universität Duisburg–Essen, Institut für Grundbau, Bodenmechanik, Felsmechanik und Tunnelbau

Kurzfassung

Offshore Bauwerke sind meist relativ einfache Strukturen, sie werden allerdings im Gegensatz zu vielen Bauwerken an Land überwiegend durch nichtständige Lasten beansprucht, die zudem auch noch aus unterschiedlichen Richtungen angreifen. Dementsprechend komplex ist die Einleitung der Bauwerkslasten in den Gründungsboden, und die Bemessung der Gründung setzt eine möglichst realitätsnahe Erfassung der Baugrundreaktionen über die Bauwerkslebensdauer voraus.

Dies muss bereits bei der Durchführung von geophysikalischen, insbesondere aber von geotechnischen Baugrunderkundungen wie Bohrungen, Sondierungen und bodenmechanischen Laborversuchen berücksichtigt werden.

Der Beitrag diskutiert die wesentlichen Anforderungen an Planung und Ausführung geotechnischer Baugrunderkundungen für Offshore–Windenergieanlagen. Er fasst die Ergebnisse des Forschungsprojekts Gigawind zu der Entwurfsbearbeitung von Offshore–Windenergieanlagen zusammen, die im Detail in Wiemann et al. (2002) behandelt sind. Die Ergebnisse dieses Forschungsprojekts wurden in dem im Sommer 2003 vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) herausgegebenen Merkblatt „Standard Baugrunderkundung, Mindestanforderungen für Gründungen von Offshore–Windenergieanlagen“, BSH–Nr. 7004, berücksichtigt. Dort ist auch der Mindestumfang geophysikalischer Baugrunderkundungen definiert, die aber nicht Gegenstand des vorliegenden Beitrags sind.

1 Phasen der Baugrunderkundung

Baugrunderkundungen für Offshore–Windenergieanlagen beginnen in der Regel mit einer Vorerkundung der Standorte im Rahmen der Vorplanung. Sofern verfügbar können hierzu auch vorhandene Unterlagen ausgewertet werden. Mindestens erforderlich sind darüber hinaus geophysikalische Erkundungen, die allerdings meist nur zusammen mit stichprobenartig angesetzten geotechnischen Vorerkundungen (Bohrungen und/oder Sondierungen) für die Vorbemessung von Gründungen hinreichende bodenmechanische Parameter liefern. Die Ergebnisse von geophysikalischen Erkundungen und ergänzenden geotechnischen Vorerkundungen werden in der in Abb. 1 dargestellten Systematik der Baugrunderkundungen nach BSH (2003) in einem Geologischen Bericht zusammengefasst, der Grundlage für den Vorentwurf der Anlage ist. Dieser Vorentwurf seinerseits ist dann Grundlage für den Bauantrag, der dem BSH zur Entscheidung über die Baugenehmigung vorgelegt wird. Eine Bemessung der Gründung auf Basis des Geologischen Berichts ist nicht möglich.

Maßnahmen der geol. und geotechn. 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 Erkundung (Bohrungen und/oder Sondierungen)	Geologischer Bericht	Vorentwurf der Anlagen	
		Bauantrag	Erteilen oder Versagen der Baugenehmigung (u. U. mit Auflagen)
Standorterkundungen (Bohrungen und/oder Sondierungen) Geotechnische Laboruntersuchungen Geotechnische Felduntersuchungen	Baugrunduntersuchungsbericht Baugrundgutachten Gründungsgutachten	Planung mit Entwurf der Anlagengründung	
	Geotechnische Standsicherheits- und Gebrauchsfähigkeitsnachweise	Geotechnische Prüfung	
		Ausschreibungsentwurf	
		Ausschreibung	
(Ergänzende Erkundung und Untersuchung)	(Ergänzungsgutachten)	Ausführungsentwurf	
		Abschluss der geotechnischen Prüfung	
Baubegleitende Untersuchungen	Ergebnisberichte und Bewertungen	Realisierung mit begleitender Prüfung	
		Antrag auf Betriebserlaubnis	Erteilen oder Versagen der Betriebserlaubnis (u. U. mit Auflagen)
Betriebsbegleitende Untersuchungen (Geotechnische Überwachung)	Ergebnisberichte und Bewertungen	Betrieb	Aufrechterhaltung oder Entzug der Betriebserlaubnis

Abb. 1: Phasen der Realisierung eines Offshore-Windparks und zugehörige Baugrunderkundungen (nach BSH, 2003)

Für eine Bemessung der Gründung sind Bohrungen und Sondierungen am jeweiligen Standort einer Windenergieanlage vorzunehmen. Grundsätzliches Ziel der Bohrungen und Sondierungen ist die Erkundung der lokal anstehenden Bodenarten, ihrer Schichtenfolge und ihrer Eigenschaften sowie die Gewinnung von Bodenproben für Laborversuche. Anzahl und Tiefe von Bohrungen und Sondierungen sind so festzulegen, dass der Baugrund in allen für die Gründungsbemessung relevanten Eigenschaften erfasst wird. Bereits aus dieser stark verallgemeinerten Feststellung lässt sich ableiten, dass die Festlegung von Art, Anzahl und Tiefe der lokal durchzuführenden Baugrunderkundungen nur von dem für die Bemessung der Gründung verantwortlichen Ingenieur zu leisten ist. Ihm kommt auch bei der Durchführung der Baugrunderkundungen und Auswertung der Ergebnisse eine entscheidende Bedeutung zu. Zu seinen Aufgaben gehören:

- die Aufstellung des Konzepts der Baugrunderkundungen
- die Veranlassung der Baugrunderkundungen
- ihre Überwachung
- die Darstellung der Ergebnisse im Baugrunduntersuchungsbericht und schließlich
- die Ausarbeitung des Baugrund- und Gründungsgutachtens

Es sollte selbstverständlich sein, dass mit diesen Aufgaben nur ein ausgewiesener Sachverständiger für Grundbau und Bodenmechanik mit nachweisbaren Erfahrungen bei entsprechend schwierigen Bauaufgaben betraut wird. Dies sollte vor allem im Interesse des jeweiligen Antragstellers sein, der nur so sicherstellen kann, dass die zeitaufwändigen und teuren Baugrunderkundungen auf See zielgerichtet genau den Umfang haben, der für eine technisch einwandfreie und zugleich wirtschaftliche Bemessung der Gründung erforderlich ist.

Nicht unmittelbar zu den Baugrunderkundungen zählen bau- und betriebsbegleitende Untersuchungen, wie Rammprotokolle, Bauwerksmessungen usw., mit denen sich kontrollieren lässt, ob der Baugrund die Eigenschaften gemäß den Erkundungen tatsächlich hat und sich einzelne Bauteile, aber auch die gesamte Struktur dem Entwurf entsprechend verhält.

2 Art und Umfang der Baugrunderkundungen

2.1 Allgemeine Grundsätze

Bohrungen sind grundsätzlich nach DIN 4021 (1990) durchzuführen, Schichtenverzeichnisse sind nach DIN 4022 (1987) anzulegen.

Sondierungen für Offshore-Windenergieanlagen sind stets Drucksondierungen (Cone Penetration Test, CPT) nach DIN 4094, Teil 1 (2002), mit denen Sondierspitzen- und lokale Mantelreibung über die Sondiertiefe kontinuierlich aufgezeichnet werden. In speziellen Fällen können Drucksondierungen mit Messung des Porenwasserüberdrucks (CPTU) zweckmäßig sein, etwa zur Bewertung des Grads der Überkonsolidierung bindiger Böden. Drucksondierungen sind immer in Verbindung mit mindestens einer Bohrung durchzuführen, nur dann können die Ergebnisse der Sondierung anhand der Bohrung kalibriert werden und sind damit aussagefähig.

Bohrungen werden offshore mit einem Bohrschiff (Abb. 2) oder einer Hubinsel ausgeführt. Die Kosten sind im Falle der Hubinsel in der Regel deutlich höher als im Falle des Bohrschiffes, dafür ist aber zumindest der Bohrvorgang weitgehend unabhängig von der Witterung möglich. Allerdings sind Hubinseln beim Versetzen von Bohrpunkt zu Bohrpunkt meist stärker von Witterungseinflüssen abhängig.

Drucksondierungen werden meist mit Sondiereinrichtungen ausgeführt, deren Ballastblock (Seabed Reaction and Re-Entry Frame in Abb. 2) auf dem Meeresboden abgesetzt wird. Je nach Lagerungsdichte des anstehenden Baugrunds ist die Sondiertiefe durch die Masse des Ballastblocks begrenzt, z. B. üblich sind Blockmassen von 16 t und 20 t.

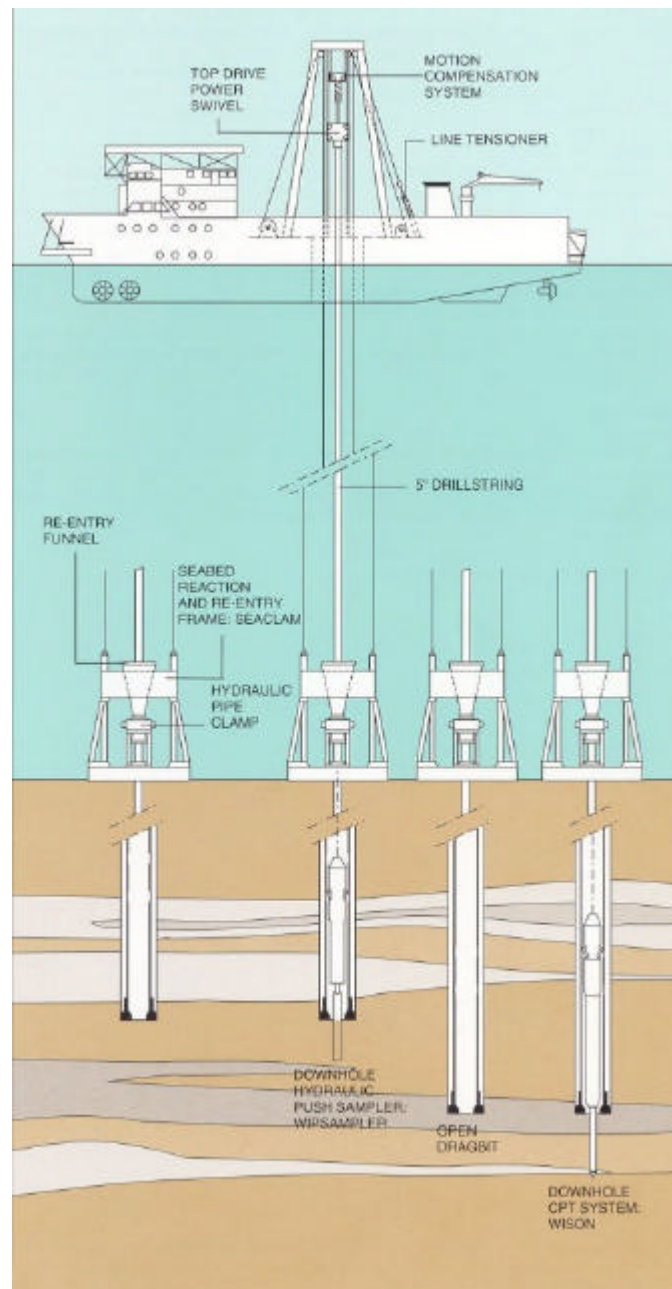


Abb. 2: Schematische Darstellung von Bohrung, Probeentnahme und Sondierung von einem Bohrschiff aus (Fugro, 2002)

Anstelle von Drucksondierungen können auch Bohrlochrammsondierungen nach DIN 4094, Teil 2 (2003) (früher Standard Penetration Test) eingesetzt werden, mit denen zwar große Tiefen entsprechend der Bohrtiefe erreicht werden, deren Aussagefähigkeit aber bei Weitem nicht an diejenige von Drucksondierungen heranreicht. Außerdem können Bohrlochrammsondierungen nicht von Bohrungen unabhängig ausgeführt werden.

Die Kosten für die Baustelleneinrichtung und die Vorhaltekosten für Offshore Bohrungen und Sondierungen sind hoch, das Wetterrisiko kann zu unerwarteten Ausfallzeiten selbst in den Jahreszeiten führen, die gemeinhin als ruhig gelten. Insofern ist es zwingend erforderlich, dass Bohrungen und Sondierungen durchgehend überwacht werden, damit je Standort nur die jeweils erforderlichen Untersuchungen in der erforderlichen Tiefe ausgeführt werden, aber auch nicht weniger. Ein späteres Nachholen von ausgelassenen oder nicht tief genug geführten Bohrungen und Sondierungen ist wirtschaftlich nicht zu vertreten.

Bereits auf der Grundlage der geophysikalischen und geotechnischen Untersuchungen und des darauf beruhenden Geologischen Berichts können im Vorentwurf bestimmte Gründungen aus technischen Erwägungen definitiv ausgeschlossen werden.

Bohrungen und Sondierungen müssen dann nach Art, Anzahl und Tiefe so ausgewählt werden, dass für die jeweils verbleibenden Gründungsarten alle erforderlichen bodenmechanischen Kennwerte eindeutig bestimmt werden können.

2.2 Felduntersuchungen für Pfahlgründungen

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

- Pfahltragfähigkeit bei axialem Druck und Zug
- Last-Verformungsbeziehung für axiale und horizontale Belastung
- Pfahlwiderstand bei der Einbringung
- Rammhindernisse
- Grundbruchwiderstand der Bodenarten an der Gewässersohle (für die Auslegung von mudmats)

Nach BSH (2003) sind zur Ermittlung dieser Planungsgrundlagen mindestens eine Bohrung an den Ecken des Windparks und eine in der Mitte erforderlich, zusätzlich Zwischenbohrungen, mit denen etwa 10% der Standorte erfasst werden. An den einzelnen Standorten sind diese Erkundungen durch je eine Drucksondierung, bei Tripod- und Jacketgründungen je eine Drucksondierung pro Fundamentfuß zu ergänzen, sofern stark unterschiedliche Baugrundverhältnisse erwartet werden müssen. Die Drucksondierungen sollten durch benachbarte Bohrungen kalibriert werden.

Die Bohrtiefe muss bei überwiegend lotrechter Belastung der Pfähle mindestens bis zum zwei- bis dreifachen des Pfahldurchmessers unter die Pfahlfußebene reichen, im Falle überwiegend horizontaler Belastung reicht etwa ein Pfahldurchmesser.

Bis 12 m unter dem Meeresboden ist je Bohrmeter eine Sonderprobe zu entnehmen, bis in Tiefen von rd. 60 m eine Sonderprobe je drei Bohrmeter, mindestens jedoch eine Probe aus jeder Bodenschicht.

Die Sondierungen haben die gleiche Tiefe wie die Bohrungen. Wird diese Aufschlusstiefe nicht erreicht, muss vorgebohrt und in der Bohrung die Sondierung neu angesetzt werden.

Der vorgenannte Untersuchungsumfang ist im Merkblatt BSH (2003) als Mindestumfang definiert. Der vor Ort verantwortliche Sachverständige für Grundbau und Bodenmechanik muss anhand der Erkenntnisse und unter Einbeziehung der Ergebnisse der geologischen sowie geophysikalischen Erkundungen entscheiden, ob weitere Untersuchungen notwendig sind. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn stark inhomogene Baugrundverhältnisse vorliegen oder bindige Bodenschichten aufgrund ihrer Lage und Mächtigkeit für die Bemessung der Gründung bedeutsam sind.

2.3 Felduntersuchungen für Schwergewichtsgründungen

Im Falle von Schwergewichtsgründungen sind die erforderlichen Parameter für folgende Nachweise zu ermitteln:

- Grundbruchwiderstand
- Gleitwiderstand
- Setzung und Setzungsdifferenzen
- Eindringwiderstand von Kolkschutzschürzen

Der Mindestumfang der Baugrunduntersuchungen pro Fundamentstandort ist nach BSH (2003) wie folgt festgelegt:

- Eine kontinuierliche Drucksondierung pro Fundamentstandort, Kalibrierung anhand einer Bohrung
- Bohrungen zur Erkundung der Schichtenfolge des gesamten Areals wie bei Pfahlgründungen

Bohrungen sollen mindestens in eine Tiefe geführt werden, die dem Fundamentdurchmesser bzw. der größten Fundamentabmessung entspricht, die Probenentnahme erfolgt wie bei den Pfahlgründungen. Die erforderliche Tiefe der Sondierungen entspricht der Tiefe der Bohrungen.

Auch hier gilt, dass die Bohr- und Sondierarbeiten von dem verantwortlichen Sachverständigen für Grundbau und Bodenmechanik überwacht werden müssen und dieser hat auch vor Ort die letztgültige Entscheidung hinsichtlich des Umfangs von Bohrungen und Sondierungen zu treffen. Dabei sollte der vorgenannte Umfang nicht unterschritten werden.

3 Laboruntersuchungen

3.1 Standardversuche

Die Laboruntersuchungen dienen der Charakterisierung der anstehenden Bodenarten einerseits und der Ermittlung der Bodenparameter, die im Rahmen der erdstatischen Nachweise für die Bemessung der Gründung und für die Vorhersage des Betriebsverhaltens benötigt werden.

Zu den Versuchen zur Charakterisierung bzw. Klassifizierung der anstehenden Bodenarten zählen die Ermittlung der Korngrößenverteilung, des Wassergehalts, der Lagerungsdichte bzw. der Konsistenz, der Wichte und ggf. im Boden enthaltener Inhaltsstoffe, die das Materialverhalten prägen wie z. B. der Kalkgehalt oder der Anteil organischer Bestandteile. Selbst wenn die Ergebnisse im Einzelfall weniger exakt als in einem Labor an Land ausfallen, sollten doch einige dieser Versuche und darüber hinaus ggf. auch die Bestimmung der undrainierten Scherfestigkeit bohrbegleitend bereits auf dem Schiff durchgeführt werden. Die Ergebnisse unterstützen dann die Entscheidung des überwachenden Sachverständigen für Grundbau und Bodenmechanik hinsichtlich des erforderlichen Untersuchungsumfangs.

Die Versuche, mit denen das Formänderungsverhalten und die Festigkeit der anstehenden Böden untersucht und die erforderlichen Bodenparameter für die Bemessung der Gründung ermittelt werden, müssen in gut ausgerüsteten und erfahrenen bodenmechanischen Labors, und somit an Land, durchgeführt werden. Während des Bohrens ist entscheidend, dass aus allen relevanten Bodenarten Bodenproben in der erforderlichen Güte und Menge bzw. Größe entnommen und für den Transport in das Labor fachgerecht versiegelt und verpackt werden. Ein Bohrkerndurchmesser von ca. 100 mm ist daher anzustreben. Nach BSH (2003) ist der Durchmesser bei Druckkernproben auf mindestens 70 mm, bei Rammkernproben auf mindestens 80 mm und bei Sonderproben auf mindestens 114 mm festgelegt.

Das Formänderungsverhalten bindiger wie nichtbindiger Böden kann im Kompressionsversuch nach DIN 18135 (E 1999) untersucht werden. Proben nichtbindiger Böden werden in der Regel nicht mit der für die Versuchsdurchführung erforderlichen Güte erbohrt, es müssen dann im Versuch gestörte Bodenproben verwendet werden. Diese sind allerdings mit der in den Sondierungen nachgewiesenen Anfangsdichte in das Versuchsgerät einzubauen. Wichtig sind neben dem Steifemodul vor allem die Kennwerte Konsolidierungsbeiwert und Kriechbeiwert, die den zeitlichen Verlauf der Setzungen beschreiben.

Auch für die labormäßige Bestimmung der Festigkeit werden Bodenproben höchster Güte benötigt, die aus nichtbindigen Böden meist nicht zu gewinnen sind. Hier muss dann ebenfalls auf gestörte, mit gezielter Lagerungsdichte eingebaute Bodenproben zurückgegriffen werden.

Mit dem direkten Scherversuch nach DIN 18137, Teil 3 (2002) werden vorzugsweise die wirksamen Scherparameter ϕ' und c' ermittelt, mit dem Triaxialversuch nach DIN 18137, Teil 2 (1990) können auch die undrainierten Scherparameter ϕ_u und c_u bestimmt werden und es kann zusätzlich das Formänderungsverhalten analysiert werden. Die Laborflügelsondierung dient der Bestimmung der undrainierten Scherfestigkeit c_u . Dieser Versuch ist jedoch nur für weiche bindige Böden geeignet.

3.2 Zyklische Elementversuche

Für die Beurteilung des Betriebsverhaltens sind nicht nur monotone Spannungsänderungen zu untersuchen, sondern auch solche mit Belastungsumkehr. Aus diesen "zyklischen Elementversuchen" können die Eingangswerte für die Berücksichtigung solcher Phänomene wie „ratcheting“ (zyklisches Kriechen), zyklische Entfestigung und zyklische Verfestigung innerhalb der Gründungsbemessung abgeleitet werden (vgl. Wang, 2000).

Ratcheting beschreibt dabei die Akkumulation plastischer Deformationen unter zyklischer Belastung. Dieses Phänomen lässt sich in verschiedenen Ausprägungen beobachten. Bei dem so genannten schrittweisen Versagen (Abb. 3a) nimmt der Anteil plastischer Deformationen proportional oder gar überproportional mit der Anzahl der Belastungszyklen zu, es kommt bald zu einem Versagen der Gründungsstruktur (Kollaps).

Bei der Beruhigung nehmen die plastischen Formänderungen nur noch unterproportional zu (Abb. 3b). Versagen tritt erst nach einer großen Anzahl von Lastzyklen durch Verlust der Gebrauchstauglichkeit auf (Abb. 3d). Bei dem eher bei Metallen, weniger bei Böden zu beobachtenden „shakedown“ wachsen die plastischen Formänderungen nach einer begrenzten Anzahl von Lastzyklen nicht weiter an (Abb. 3c). Das System hat sich eingespielt (Abb. 3d), die Formänderungen sind entweder rein elastisch oder alternierend plastisch, was jedoch eine Ermüdung des Materials hervorrufen kann. Die im Versuch festgestellten akkumulierten Formänderungen müssen über die Betriebsdauer der Gründungsstruktur hochgerechnet werden, um zu beurteilen, ob sie noch hinnehmbar sind.

Demgegenüber beschreiben die Begriffe zyklische Ver- und Entfestigung („cyclic hardening“, „cyclic softening“) die Änderung der Festigkeit des Bodens, also einer Materialeigenschaft. Zyklische Verfestigung führt zu einer Erhöhung der Festigkeit, damit einhergehend ist stets eine Abnahme des Zuwachses plastischer Deformationen während des ratcheting-Prozesses zu beobachten. Zyklische Entfestigung führt zu einer Abnahme der Festigkeit, der ratcheting-Prozess beschleunigt sich. Insbesondere locker gelagerte nichtbindige und normalkonsolidierte bindige Böden neigen zur Verfestigung, während bei dicht gelagerten nichtbindigen und überkonsolidierten bindigen Böden eine Entfestigung beobachtet werden kann.

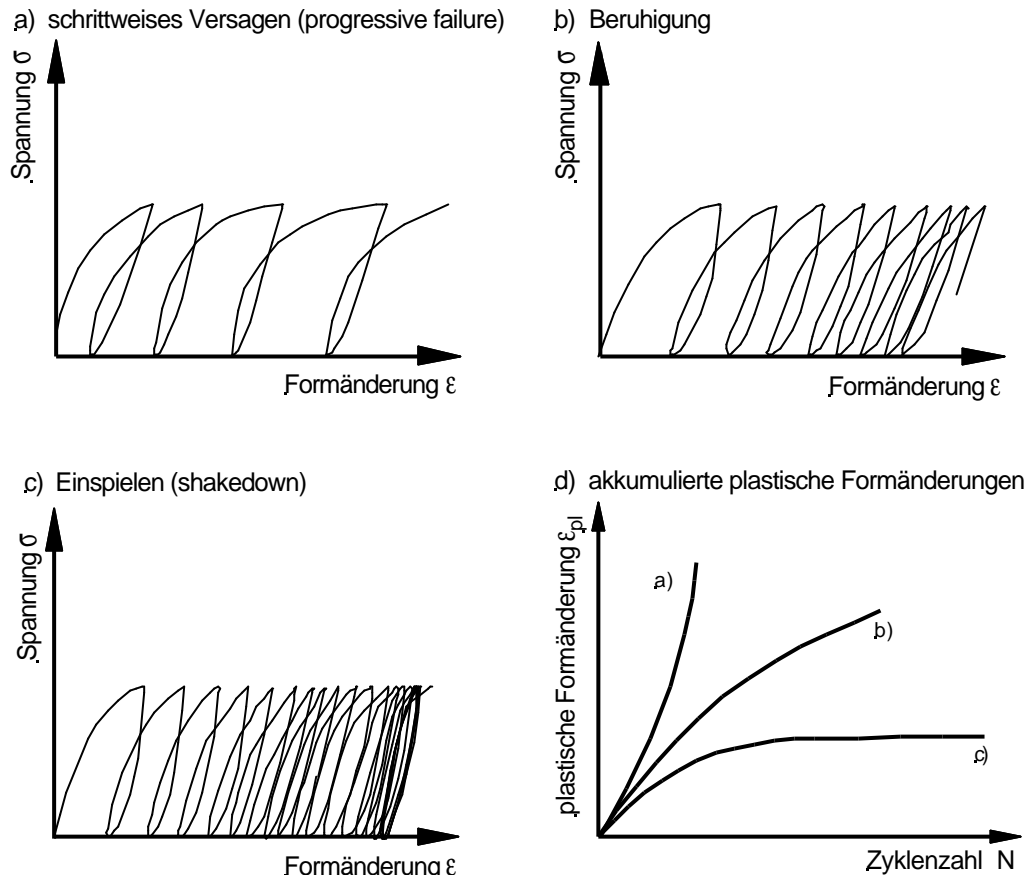
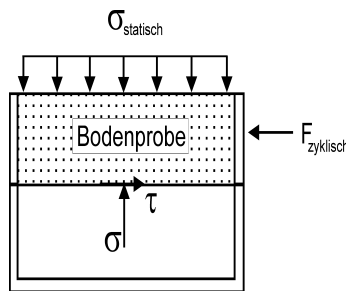


Abb. 3: Formen des so genannten „ratchetings“

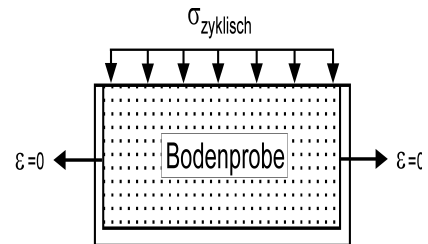
Das Verhalten des Bodens unter zyklischen Lasten hängt von einer Reihe von Faktoren ab, die bei der Durchführung des Elementversuchs im Labor beachtet werden müssen. So ist die Belastungsabfolge (Zyklenzahl, aufgebrauchte Spannungs- bzw. Scheramplituden, Schwell- oder Wechselbeanspruchung) auf die realen Verhältnisse abzustimmen. Maßgebend sind dafür nicht die äußeren Lasten auf die Gründungsstruktur, sondern der Spannungszustand im Boden im lastabtragenden Bereich. Eine ganz entscheidende Rolle spielt dabei das zyklische Belastungsverhältnis, also das Verhältnis der Scherspannungsamplitude zur Scherfestigkeit. Diese Größe ist maßgebend für die Empfindlichkeit des Bodens gegenüber zyklischer Belastung.

Als zyklische Elementversuche kommen je nach Aufgabenstellung der zyklische direkte Scherversuch, der zyklische Kompressionsversuch oder der zyklische Triaxialversuch in Betracht. Das Prinzip der Versuche ist in Abb. 4 dargestellt.

a) direkter Scherversuch



b) Kompressionsversuch



c) Triaxialversuch

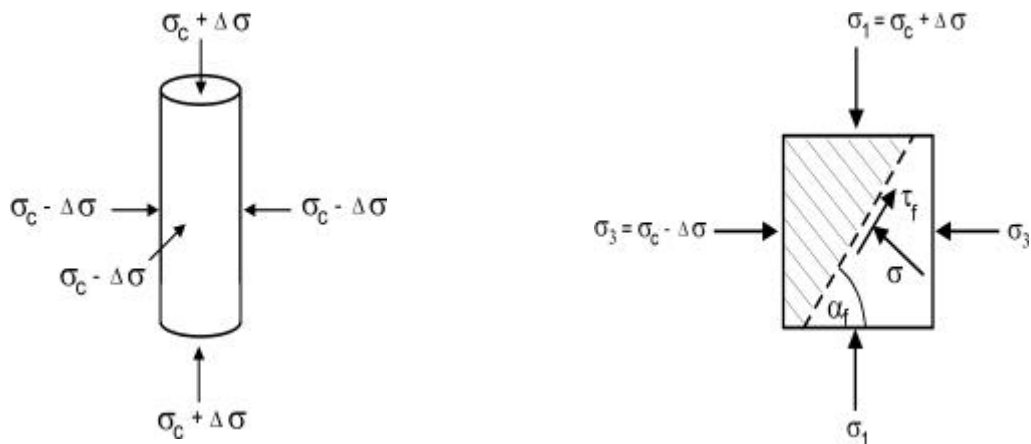


Abb. 4: Prinzip zyklischer Elementversuche (Wiemann et al., 2002)

Zeigen die Ergebnisse der zyklischen Elementversuche eine entsprechende Sensitivität des Bodens gegenüber zyklischen Belastungen, so muss geprüft werden, inwieweit das Betriebsverhalten des Systems Gründungselement–Boden dadurch beeinträchtigt ist. Die numerische Modellierung unter Ansatz adäquater Stoffgesetze ist eine Möglichkeit, dies bereits in der Planungsphase zu untersuchen. Sie ist jedoch aufwändig und erfordert stets eine Validierung an den realen Verhältnissen. In der Regel wird es also erforderlich sein, durch anders gewählte Bauteilabmessungen das zyklische Spannungsniveau so zu beeinflussen, dass eine Beruhigung nach Abb. 3b oder ein Einspielen nach Abb. 3c erwartet werden kann.

Unverzichtbar ist damit aber die messtechnische Überwachung des Bauwerks während des Betriebs (vgl. Abb. 1), um insbesondere einem Verlust der Gebrauchstauglichkeit durch entsprechende bauliche Maßnahmen rechtzeitig gegensteuern zu können.

4 Baugrunduntersuchungsbericht / Baugrund- und Gründungsgutachten

Die allgemeinen geologischen Verhältnisse sowie die Ergebnisse der Feld- und Laborversuche werden im Baugrunduntersuchungsbericht zusammengestellt. Auf dieser Basis erfolgt eine zusammenfassende Beschreibung des Baugrunds sowie eine generelle Baugrundbeurteilung. Hierbei wird der Baugrund lediglich hinsichtlich seiner qualitativen Eignung zur Gründung von Offshore-Windenergieanlagen in Bezug auf seine Tragfähigkeit und die Machbarkeit verschiedener Gründungskonzepte bewertet.

Der Baugrunduntersuchungsbericht bildet zusammen mit dem geologischen Bericht die Grundlage für das Baugrund- und Gründungsgutachten, das von dem Sachverständigen für Grundbau- und Bodenmechanik verfasst wird.

Das Baugrund- und Gründungsgutachten beinhaltet eine Beschreibung des geologischen Aufbaus, der Eigenschaften der anstehenden Bodenschichten und ihrer bodenphysikalischen Kennzahlen. Anhand dieser Ergebnisse wird der Baugrund in statisch-konstruktiver Hinsicht beurteilt. Hierzu gehört auch die Angabe der für die erdstatischen Berechnungen erforderlichen charakteristischen Bodenparameter.

Das Baugrund- und Gründungsgutachten geht zudem auf die Herstellbarkeit der konkret geplanten Gründung ein. Dazu gehören z. B. Ausführungen zur Einbringbarkeit von Pfählen und Schürzen oder zu der Gefahr von Rammhindernissen bzw. zur Rammbarkeit der anstehenden Böden.

5 Literatur

- | | |
|--------------------------|---|
| BSH (2003) | Standard Baugrunderkundung- Mindestanforderungen für Gründungen von Offshore-Windenergieanlagen, BSH-Nr. 7004 |
| DIN 4021 (1990) | Aufschluss durch Schürfe und Bohrungen sowie Entnahme von Proben; Normenausschuss Bauwesen im Deutschen Institut für Normung e. V., Berlin |
| DIN 4022 Teil 1 (1987) | Baugrund und Grundwasser; Benennen und Beschreiben von Boden und Fels; Schichtenverzeichnis für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernteten Proben im Boden und im Fels |
| DIN 4094 Teil 1 (2002) | Felduntersuchungen, Drucksondierungen; Normenausschuss Bauwesen im Deutschen Institut für Normung e. V., Berlin |
| DIN 4094 Teil 2 (2003) | Felduntersuchungen, Bohrlochrammsondierungen; Normenausschuss Bauwesen im Deutschen Institut für Normung e. V., Berlin |
| Entwurf DIN 18135 (1999) | Eindimensionaler Kompressionsversuch; Normenausschuss Bauwesen im Deutschen Institut für Normung e. V., Berlin |
| DIN 18137 Teil 2 (1990) | Bestimmung der Scherfestigkeit, Triaxialversuch; Normenausschuss Bauwesen im Deutschen Institut für Normung e. V., Berlin |
| DIN 18137 Teil 3 (2002) | Bestimmung der Scherfestigkeit, Direkter Scherversuch; Normenausschuss Bauwesen im Deutschen Institut für Normung e. V., Berlin |
| Fugro (2002) | Offshore Drilling and Sampling, Informationsblatt, Fugro Limited UK |

- Wang, Z. (2000) Behaviour of Soils and Foundation Structures under Cyclic Loads; Mitteilungen aus dem Fachgebiet Grundbau und Bodenmechanik der Universität Essen, Heft 25, Hrsg.: Prof. Dr.-Ing. W. Richwien, Verlag Glückauf, Essen
- Wiemann, J.;
Lesny, K.; Rich-
wien, W. (2002) Gründungen von Offshore – Windenergieanlagen – Gründungskonzepte und geotechnische Grundlagen. Mitteilungen aus dem Fachgebiet Grundbau und Bodenmechanik der Universität Essen, Heft 29, Hrsg.: Prof. Dr.-Ing. W. Richwien, Verlag Glückauf, Essen