



Abbildung 1: Kranschiff Thialf
(Quelle: DOTI)

Tragstrukturen von Offshore-Anlagen

Windenergieanlagen auf hoher See und bei Wassertiefen von über 30 Metern zu gründen, erfordert spezielle Anforderungen an die Technik. Ein Überblick.

Die Tragstruktur einer Offshore-Windenergieanlage (OWEA) beinhaltet alle bautechnischen Komponenten von dem oberen Ende des Turmes bis zum unteren Ende der Gründungspfähle, die in den Meeresboden reichen. Abbildung 3 zeigt die einzelnen Komponenten einer OWEA gemäß dem Standard „Konstruktive Ausführung von OWEA“ des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH). Die Tragstruktur einer OWEA teilt sich in den Turm und die Unterstruktur einschließlich der Gründungselemente auf. Dominierend bei OWEA ist mit 79 % aller bisherigen Tragstrukturen die Stahlbauweise. Lediglich bei 21 % der bisher installierten Tragstrukturen wurde eine Unterstruktur in Massivbauweise erstellt.

Die meisten der in der deutschen See geplanten Offshore-Windparks liegen außerhalb der 12-Seemeilenzone in der deutschen Ausschließlichen Wirtschaftzone (AWZ). Abbildung 2 zeigt die Lage der AWZ der Bundesrepublik in Nord- und Ostsee. Die Wassertiefen in der AWZ der Nordsee sind in weiten Bereichen größer als 30 m. Im Vergleich zu den Wassertiefen bestehender Windparks in Europa sind die Wassertiefen deutscher Windparks deutlich größer. Erfahrungen anderer Länder in Europa bezüglich der Wahl optimaler Tragstrukturen sind daher für Deutschland nur bedingt übertragbar.

Als Türme für OWEA sind bisher ausschließlich stählerne Rohrkonstruktionen eingesetzt worden. Die Wahl der Unterstruktur hängt maßgeblich von folgenden Parametern ab:

- Anlagengröße
- Wassertiefe
- Bodenverhältnisse
- Transport- und Montagekonzept

Dieser Beitrag stellt mögliche Unterstrukturvarianten in Stahlbau- und in Massivbauweise vor.

Türme für Offshore-Windenergieanlagen

Während onshore verschiedene Turmbauarten in Stahl- oder Spannbetonbauweise miteinander konkurrieren, dominiert offshore eindeutig der Stahlrohrturm. Er ist vergleichsweise leicht – auch für Transport und Montage – und, wenn die Turmfertigung in küstennahen Fertigungsstätten erfolgt, entfallen auch die sonst wegen des Transportes über die Straßen erforderlichen Beschränkungen des Turmdurchmessers. Je nach Montagekonzept werden die Türme im Ganzen oder in Segmenten montiert. Die einzelnen Segmente werden mit Ringflanschverbindungen verschraubt.

Abbildung 4 zeigt die Positionierung des anzuschließenden oberen Turmsegments. Die Ringflansche werden mit hochfesten, vorgespannten Schrauben (HV-Garnituren) mit Nenndurchmessern von 36 bis 64 mm verbunden. Als Alternative zu klassischen Stahlurmsektionen werden am Institut für Stahlbau Sandwichstrukturen untersucht, die aus doppelschaligen Stahlwandungen und einem Kern aus Mörtel oder Elastomer bestehen.

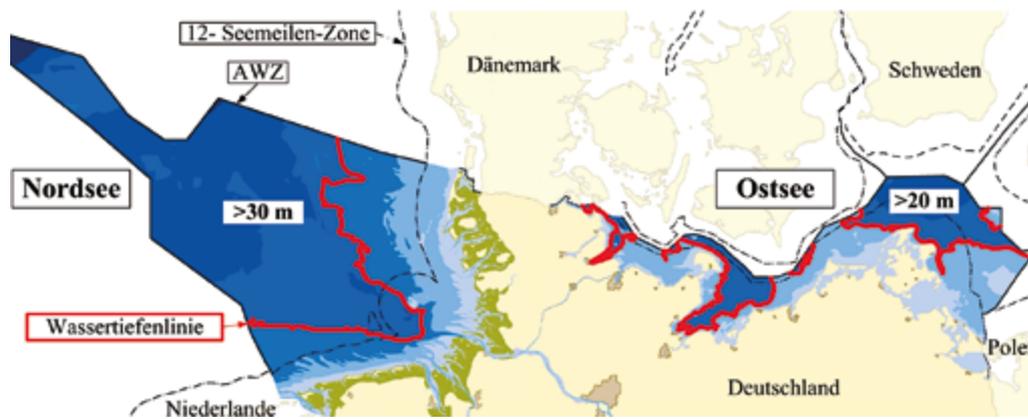


Abbildung 2: Wassertiefen in Nord- und Ostsee (Kartenmaterial: BSH, Zeichnung: Institut für Stahlbau)



Abbildung 4: Stahlturmmontage (Foto: Vestas, Europe)

Unterstrukturen in Stahlbauweise

Zurzeit werden für OWEA überwiegend stählerne Unterstrukturen in unterschiedlichen Varianten eingesetzt. Sie bieten aufgrund ihres ausgewogenen Verhältnisses zwischen Gesamtgewicht und Tragfähigkeit große Vorteile beim Transport und der Montage. Auch der Rückbau und die Verwertung nach Ablauf der Lebensdauer von mindestens 20 Jahren stellen unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit Vorteile dar. Des Weiteren lassen sich stählerne Unterstrukturen mit vergleichsweise einfachen Mitteln auf geänderte statische und dynamische Erfordernisse anpassen.

Die meisten in Betrieb befindlichen OWEA sind mit Monopiles gegründet. Bei diesem für geringe bis mittlere Wassertiefen (etwa bis 25 m) geeigneten Konzept handelt es sich um ein in den Meeresgrund gerammtes oder gebohrtes Stahlrohr mit Außendurchmessern von vier bis sechs Metern. Die Wanddicke der Gründungsrohre liegt je nach Außendurchmesser zwischen 40 und 100 mm. Entsprechend den Erfordernissen der statischen, dynamischen sowie der ermüdungstechnischen Auslegung der Stahlkonstruktionen werden Monopile-Gründungen bis zu 60 m in den Meeresboden gerammt.

Die Verbindung der aufgehenden Turmstruktur erfolgt mit Hilfe eines stählernen Übergangsstückes. Dieses Übergangsstück, das mit einer hybriden Stahl-Mörtel-Stahl-Steck-

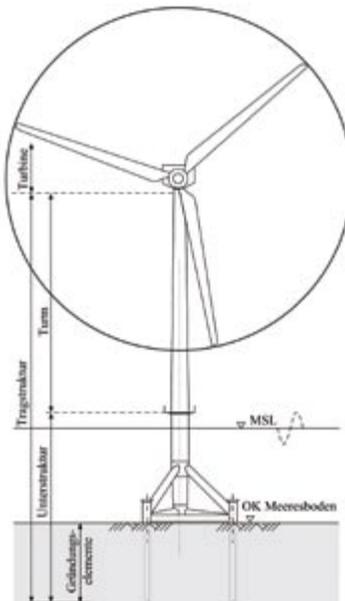


Abbildung 3: Komponenten einer Offshore-WEA nach BSH-Standard

verbindung, dem Grouted Joint, auf den Monopiles gesetzt wird, dient gleichzeitig zum Ausgleich von Schiefstellungen aus dem Rammprozess des Monopiles. Das Design dieses „Grouted Joint“ ist gegenwärtig Gegenstand einer internationalen Debatte. Da vereinzelt Schäden aufgetreten sind, wird an mehreren Stellen in Europa zu diesem Thema geforscht. Ein vom Bundesumweltministerium gefördertes Projekt wird am Institut für Stahlbau durchgeführt.

Mit zunehmender Wassertiefe müssen aus statischen Gründen die Durchmesser der Monopiles vergrößert werden. Die Grenzen liegen hier zurzeit etwa bei 6 m, weil größere Rammrohre noch nicht verfügbar sind. Monopiles eignen sich vor allem für sandige, fest gelagerte Böden. Beim Design ist die Kolkbildung zu berücksichtigen. Mit Kolk werden Vertiefungen am Meeresgrund bezeichnet, die im Laufe der Zeit infolge der Strömung entstehen. Der Kolkbildung kann entweder durch zusätzliche Schutzmaßnahmen am Meeresgrund oder durch Berücksichtigung einer größeren Kraglänge bei der Bemessung Rechnung getragen werden. In beiden Fällen hat die Kolkbildung erhebliche Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit von Monopile-Gründungen.

Für mittlere bis große Wassertiefen (25 m bis 50 m) eignen sich aufgelöste Unterstrukturen; auch fachwerkartige Unterstrukturen genannt. Sie zeichnen sich durch vergleichsweise hohe Steifigkeiten bezogen auf ihr Gewicht aus. Aufgelöste Strukturen können als Dreibeine (Tripod), Gittermaststrukturen (Jackets) oder Tripiles ausgeführt werden.

Für mittlere bis große Wassertiefen (25 m bis 50 m) eignen sich aufgelöste Unterstrukturen; auch fachwerkartige Unterstrukturen genannt. Sie zeichnen sich durch vergleichsweise hohe Steifigkeiten bezogen auf ihr Gewicht aus. Aufgelöste Strukturen können als Dreibeine (Tripod), Gittermaststrukturen (Jackets) oder Tripiles ausgeführt werden.

Für eine Energieversorgung mit Weitblick
PROKON - Über 15 Jahre Erfahrung im Bereich Erneuerbarer Energien

- **Windparks:** Planung, Finanzierung und Betrieb aus einer Hand
- **Geldanlagen** in Genussrechte mit einer derzeitigen **Verzinsung** von 8 % pro Jahr⁽¹⁾
- **Sicherheit** durch breite Streuung des Anlegerkapitals auf 31 Windparks mit 229 Windkraftanlagen in 5 Bundesländern



Mehr Infos unter
www.prokon.net

Oder rufen Sie uns an:
 (0 48 21) 68 55 300

⁽¹⁾ Die Verzinsung ist in den Genussrechtsbedingungen geregelt und beträgt aktuell 8 % p. a.



Abbildung 5: Gründungskonzepte für OWEA in Stahlbauweise (Quellen: DOTI, BARD)

Jackets (siehe Abbildung 5, Mitte) setzen sich aus Gurt- und Strebenrohren mit einem Durchmesser Verhältnis von ca. 2:1 zusammen. Die Knotenpunkte zwischen Gurt und Strebe können als geschweißte Doppel-K-Knoten hergestellt werden. Alternativ ist der Einsatz von seriengefertigten Gussknoten möglich. Die Fußpunkte des Jackets werden ebenfalls über Grouted Joints mit in den Meeresboden eingerammten Pfählen kraftschlüssig verbunden.

Alternativ zu feingliedrigen Jackets kann die aufgelöste Struktur als Tripod (siehe Abbildung 5, links) hergestellt werden. Vom Turmhauptrohr gehen unter einem Winkel von 120° zueinander drei Streben, bestehend aus oberer und unterer Strebe mit einem Durchmesser von bis zu 2 m ab. Auf Höhe des Meeresbodens treffen oberes und unteres Strebenrohr aufeinander und werden an eine Stahlhülse angeschlossen. Die räumliche Tragwirkung des Tripods wird durch die Verbindung der drei Hülsen mit einer Mud-Strebe hergestellt. Die Hülsen dienen als Rammführung für die Gründungspfähle im Meeresboden.

Zu den aufgelösten Strukturen zählt auch das innovative Konzept des Tripiles (siehe Abbildung 5, rechts) der BARD Holding GmbH. Bei diesem Gründungskonzept werden Gründungspfähle mit einem Durchmesser von bis zu 3 m mittels einer Rammshablone in den Meeresboden abgeteuft. Die Gründungspfähle enden oberhalb der Ruhewasserslinie. Die Verbindung der drei Gründungspfähle erfolgt mit einem Stützkeuz, bei dem es sich um einen aus Dickblechen zusammengeschweißten Stahlknoten mit einer Masse von ca. 490 Tonnen handelt. Für die in der deutschen Ausschließlichen Wirtschaftzone geplanten Windparks liegen die größten Wassertiefen bei 40 m. Dafür sind fest mit dem Meeresboden verbundene Tragstrukturen sinnvoll und wirtschaftlich. Bei größeren Wassertiefen kommen als Alternative schwimmende Tragstrukturen in Betracht.

Im Spätsommer 2009 wurde 12 km vor der Küste Norwegens die erste schwimmende OWEA in einer Wassertiefe von 220 m installiert (www.statoil.com). Die Schwimmstabilität der Anlagen wird über einen Stahlschwimmkörper mit Betonfüllung realisiert. Die Länge des Schwimmkörpers beträgt ca. 100 m. Nachdem der Schwimmkörper an seinen Installationsort liegend eingeschwommen wurde, erfolgte die Aufrichtung, die Ballastierung des Schwimmkörpers mit Beton sowie die Befestigung mittels drei am Meeresboden verankerter, nicht vorgespannter Stahlkabel. Der Turm der OWEA wird über eine geschraubte Ringflanschverbindung an den Schwimmkörper angeschlossen.

Aufgelöste Strukturen

Im Vergleich zum Monopile ist der Schweißaufwand bei aufgelösten Strukturen deutlich höher. Der Anschluss der Streben an die Gurte bzw. die Hülsen oder das Hauptrohr erfolgt über mehrlagige geschweißte V-Nähte. Insbesondere

beim Tripod oder dem Tripile erfordern die vorliegenden Blechdicken mehrlagige Schweißnähte, die einen hohen Vorbereitungsgrad erfordern.

Das Gesamtgewicht einer OWEA mit stählerner Tragstruktur liegt zwischen 1.000 bis 1.500 Tonnen je nach Anlagentyp und Unterstruktur. Die Fertigung der Einzelbauteile wie Gründungspfähle und Turmsegmenten erfolgt werkseitig an Land. Serienfertigungsprozesse ermöglichen bei den Stahlbauteilen ein hohes Maß an Qualität, bei gleichzeitig geringen Arbeits- und Materialkosten.

Die Vormontage der Einzelbauteile, also Gründungsstruktur, Turmschüsse, Gondel und Rotor, erfolgt landseitig. Eine Gesamtmontage aller Bauteile zur Gesamtstruktur ist aufgrund der Gewichtsbegrenzung der Transportschiffe nicht möglich. Nach der Vormontage erfolgt der Transport der Bauteile ins Baufeld. Für den Transport werden Spezialschiffe eingesetzt. Im Fall vom Offshore-Testfeld „alphaventus“ musste eine Entfernung zwischen Vormontageplatz und Baufeld von knapp 50 km überwunden werden. Die Installation der Gründungsstruktur und der Einbau der Komponenten erfolgt bauseits mittels Jack-Up-Barges, Spezialschiffen die sich mit Stelzen auf dem Meeresgrund abstützen können. Dadurch kann während des Installationsprozesses von einem festen Stand ausgegangen werden. Neben großen Lasten, die die Jack-Up-Barges tragen müssen, sind bei der Auswahl der Errichterschiffe die Wassertiefen zu berücksichtigen. Viele auf dem Markt verfügbare Errichterschiffe sind für die in der Nordsee vorhandenen Wassertiefen ungeeignet. Zudem müssen die auf den Barges installierten Kräne über hohe Hubhöhen und Hublasten verfügen, um die Gondeln und Turmsegmente in großen Höhen installieren zu können. Geeignete Jack-Up-Barges sind weltweit nur in geringer Anzahl vorhanden, was sich in den Kosten widerspiegelt. Mit 100.000 bis 200.000 Euro Tagessatz ist das Errichterschiff ein wesentlicher Faktor in der Kalkulation des Offshore-Projektes.

Beim Offshore-Windpark „alpha-ventus“ konnte auf vorhandene Jack-Up-Barges zurückgegriffen werden. Dabei wurden für die Gründungsstrukturen der jeweils sechs Multibrid 5000 (Gondelmass mit Rotor und Nabe: 309 Tonnen) und REpower 5M (Gondelmass mit Rotor und Nabe: 410 Tonnen) unterschiedliche Errichterboote eingesetzt.

Aufgrund der hohen Gondellasten der REpower 5M konnten die für die Multibrid-Anlage eingesetzten Schiffe nicht verwendet werden, so dass hier die „Thialf“ zum Einsatz kam (siehe Abbildung 1). Mit einer Gesamtladekapazität von mehr als 14.000 Tonnen war das Errichterschiff „Thialf“ eigentlich überdimensioniert.

Erste Erfahrungen aus dem Offshore Windpark „alpha-ventus“ zeigen, dass neben einer ausgereiften Anlagentechnik der OWEA ebenfalls Transport und Installation entscheidend für den erfolgreichen Abschluss des Projektes sind. Auf die Montageeinheiten abgestimmte Errichterschiffe und zeitlich optimierte Installationsprozesse erfordern eine ganzheitliche

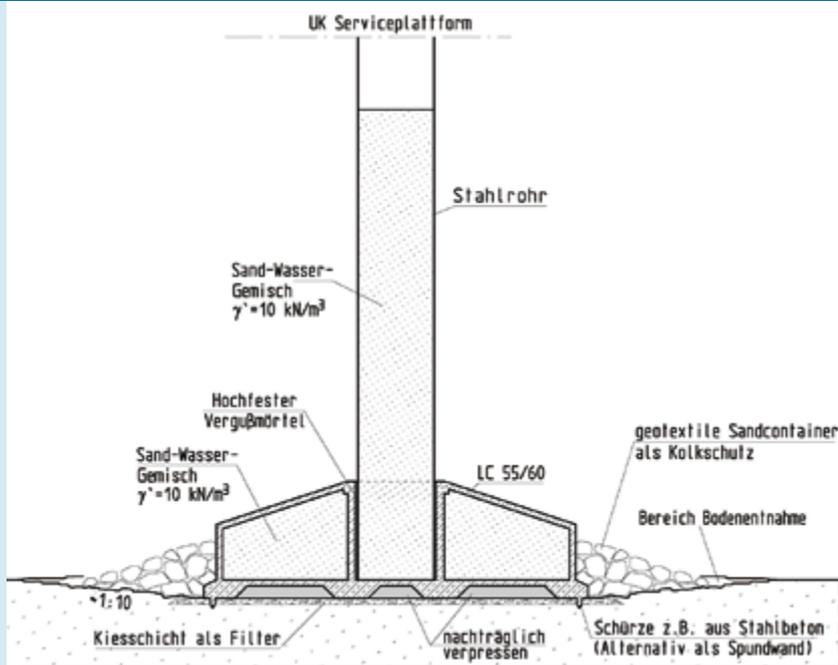


Abbildung 6: Hybride Schwergewichtsgründung aus hochfestem Leichtbeton; © grbv Ingenieure im Bauwesen GmbH & Co. KG



Abbildung 7: Schwergewichtsgründungen für den Offshore-Windpark „Thornton Bank“ (Quelle: C-Power)

Betrachtungsweise des Baus von Offshore-Windenergieanlagen. Dies wird bei zukünftigen Offshore-Projekten zu kürzeren Bauzeiten und reduzierten Kosten führen.

Die ganzheitliche Betrachtung von Installation und Montage hat bei der Firma BARD Holding GmbH, Emden, zum Bau eines eigenen Errichterschiffes geführt. Die Jack-Up-Barge „Wind Lift I“ (siehe ERNEUERBARE ENERGIEN 08/2009, Seite 16) wurde entsprechend den Anforderungen der BARD Holding GmbH entwickelt und gebaut. „Wind Lift I“ wird im Offshore-Windpark „Bard I“ das erste Mal zum Einsatz kommen.

Unterstrukturen in Massivbauweise

Neben Unterstrukturen aus Stahl werden für OWEA auch Gründungskörper aus Beton eingesetzt. Unterstrukturen aus Beton für OWEA weisen vergleichsweise geringe Material- und Herstellungskosten auf. Zudem besteht durch den Einsatz von Serien- und Fertigteilproduktionen ein erhebliches Potenzial zur Kostenoptimierung. Demgegenüber stehen

jedoch die erheblich größeren Eigengewichtslasten solcher Gründungskörper. Diese betragen häufig zwischen ca. 3.000 und 5.000 Tonnen und sind somit um ein Vielfaches höher als bei Stahlunterstrukturen.

Durch das hohe Eigengewicht entstehen hohe Anforderungen an den Herstellungsort und insbesondere an die Offshore-Logistik (Transport und Installation). Für das Heben und Senken sowie für den Offshore-Transport solcher hohen Lasten stehen derzeit nur sehr wenige Offshore-Geräte zur Verfügung. Diese sind zudem einer weltweiten Nachfrage unterworfen.

Unterstrukturen aus Beton können an Land, auf einem Schwimmponton oder in einem Dock hergestellt werden. Bei der Herstellung an Land ist im Regelfall darauf zu achten, dass der anstehende Baugrund in der Lage ist, die hohen Eigengewichtslasten aufzunehmen. Gegebenenfalls sind Bereiche der Herstellungsflächen zu verstärken. Der Beton-gründungskörper kann zum Beispiel durch Schwerlastmodultransporter an die Kaikante oder auf eine schwimmende Einheit verbracht werden (Abb. 7).

CATCH THE SUN!

MiniTec

MiniTec Solar thermal Turnkey production with up to date laserwelding

MiniTec GmbH & Co KG · MiniTec Allee 1 · D-66901 Schönenberg-Kbg.
Tel. +49 (0) 63 73 - 81 27 - 0 · Fax +49 (0) 63 73 - 81 27 - 20
email: info@minitec.de · www.minitec.de



Abbildung 8: Entwurf eines Beton-Monopiles von Ballast Nedam

Wird die Herstellung direkt auf einem Schwimmponon vorgenommen, so sind die unterschiedlichen Belastungssituationen durch den Baufortschritt beim Nachweis einer ausreichenden Schwimmstabilität zu berücksichtigen. Zudem sind Einflüsse aus Wellen und Tidenhub zu beachten.

Soll der Gründungkörper vom Herstellungsort zur Offshore-Lokation selbst schwimmend transportiert und dort auf den Seeboden abgesenkt werden, so bietet es sich an, diesen in einem Schwimm- oder Trockendock herzustellen.

Nicht selbst schwimmende Gründungkörper werden durch Schwimmkräne oder Schwerlastschiffe transportiert. Schwimmkräne bieten den Vorteil, dass diese den Gründungkörper an der Offshore-Lokation sehr genau positionieren und kontrolliert absenken können.

Alternativ kann der Transport auch durch Schwerlastschiffe vorgenommen werden, welche oftmals in der Lage sind, mehrere Gründungkörper gleichzeitig zur Offshore-Lokation zu transportieren. Verfügt ein Schwerlastschiff zusätzlich über eine ausreichende Hebevorrichtung, so kann die Installation auch direkt vom Transportschiff aus vorgenommen werden. Andererseits kann auch ein Schwimmkran vor Ort die Gründungkörper vom Transportschiff übernehmen und anschließend installieren.

Montage ohne Schwerlastkräne

Beim Verschleppen von schwimmfähigen Gründungkörpern kann vollständig auf den Einsatz von teuren Offshore-Schwerlastkränen verzichtet werden. Durch mehrere Schlepper können die Gründungkörper vom Herstellungsort zur Offshore-Lokation verschleppt werden. Durch eine sternförmige Anordnung der Schlepper an der Lokation wird dann der Gründungkörper positioniert und durch Wasserballastierung abgesenkt. Nach dem Absetzen auf dem Meeresboden wird im Regelfall der Gründungkörper für den endgültigen Zustand mit einem Sand-Wasser-Gemisch ballastiert.

Unterstrukturen aus Beton werden im Regelfall flach auf dem Meeresboden abgesetzt (Flachgründung). Unabhängig vom Herstellungs- und Transportvorgang muss bei einer Flachgründung im Regelfall der Seeboden vorbereitet werden. Hierzu sind nicht ausreichend tragfähige Bodenschichten im Bereich des Seebodens entweder abzutragen oder durch Baugrundverbesserungen zu ertüchtigen. Als ebene Aufstandsfläche und zur Vermeidung von Erosionen sollte an der Aufsetzfläche des Gründungkörpers eine Kies- bzw. Filterschicht aufgebracht werden.

Nach dem Absetzen eines flach gegründeten Fundamentkörpers ist der umliegende Seeboden gegen Auskolkung zu sichern. Hierzu können zum Beispiel mit Sand gefüllte Geotextilien eingesetzt werden. Das Logistikkonzept für das in Abbildung 6 dargestellte hybride Schwergewichtsfundament sieht dabei vor, dass der Betonkörper in einem Schwimm- oder Trockendock hergestellt wird. Nach dem kontrollierten Aufschwimmen im Dock soll dieser an Schwerlastpontons befestigt und aus dem Dock zu einer nahe liegenden Kai-



Ohne Visionen und Herzblut gäbe es nur den Wind

Die erfolgreichsten Projekte haben ganz bodenständige Wurzeln. Seit über zehn Jahren erzeugen wir Energie mit der Kraft der Natur. Energie aus der Heimat, für eine sichere Zukunft. Unternehmensgruppe Dezentrale Energie: Dienstleistungsunternehmen mit den Kernkompetenzen Projektierung, Finanzierung, Bau, Verwaltung und Betrieb von Wind-, Solar- und anderen regenerativen Energieanlagen.

Alte Feldmühle 10 | D-31535 Neustadt a. Rbge.
Tel. 0 50 34 - 95 91 30 | Fax 0 50 34 - 95 91 33
www.dezentrale-energie.de



Foto: photocase.de, cydonna



kante geschleppt werden. Dort kann der aufgehende Stahlrohrschicht in das Betonfundament gestellt, ausgerichtet und der Zwischenraum zwischen Stahl und Beton mit Hochleistungsbeton ausgefüllt („vergroutet“) werden. Das hybride Fundament soll zur Offshore-Lokation verschleppt werden. Die notwendige Schwimmstabilität während des Transports wird dabei durch die Schwerlastpontons hergestellt. An der Lokation wird das Fundament kontrolliert abgesenkt. Nach dem Absetzen und dem endgültigen Ballastieren für den Endzustand ist der Kolkschutz zu applizieren. Die Größe der erforderlichen Kolkschutzmaßnahme kann vorab durch numerische Untersuchungen abgeschätzt, dann experimentell verifiziert und festgelegt werden.

Neuentwicklungen finden derzeit überwiegend vor dem Hintergrund einer Spezialisierung und Optimierung der Offshore-Logistik durch einzelne Firmen statt. So verfolgt beispielsweise die Ed. Züblin AG ein Logistikkonzept, bei dem die Betonunterkonstruktion einschließlich Schaft und Anlage komplett transportiert und installiert werden soll. Hierzu wird ein „Spezialcarrier“ entwickelt, der durch Halbtauchertechnik deutlich höhere Seetauglichkeit aufweisen soll als bekannte Schwerlastschwimmkräne.

Das Konzept eines vorgespannten Beton-Monopiles wird derzeit von Ballast Nedam verfolgt und entwickelt. Dieses sieht vor, landseitig einen Beton-Monopile aus Fertigteilringelementen zusammensetzen und diesen in Längsrichtung vorzuspannen. Der Monopile soll dann selbst schwimmend zur Offshore-Lokation verschleppt und dort von einem Schwerlastkran übernommen werden. Dieser nimmt den Beton-Monopile auf, richtet ihn aus und führt einen Bohrkopf durch den inneren Hohlraum zum Baugrund. Durch den Bohreinsatz wird der Baugrund im Bereich der Monopilespitze aufgebohrt und der Monopile bis zur erforderlichen Einbindetiefe nachgeführt (s. Abb. 8).

Zusammenfassung

Die Anforderungen an die Offshore-Windenergieanlagen sind vielfältig. Neben ausgereiften, möglichst wartungsfreien und zuverlässigen Turbinen sind insbesondere die Gründungsstrukturen für die „Offshore“-Bedingungen

auszulegen. Im Rahmen dieses Beitrags wurden verschiedene Gründungskonzepte aus Stahl und Beton für Offshore-Windenergieanlagen vorgestellt und die für die jeweilige Konstruktionsart geeigneten Wassertiefenbereiche und technischen Besonderheiten vorgestellt. Unabhängig vom Material lassen sich die bisherigen als auch die innovativen Konzepte an die Offshore gestellten Bedingungen anpassen. Grundsätzlich sind aus Sicht der Autoren neben der zuverlässigen technischen Auslegung der Konstruktion zusätzlich die Installations- und Montagekonzepte der Gründungsstrukturen bereits während des Design-Prozesses zu beachten. Die empfohlene ganzheitliche Betrachtungsweise der Offshore-Bauweise einschließlich der Rückbaukosten wird zu optimierten Bauprozessen und letztendlich wirtschaftlich optimierten Tragstrukturen für Offshore-Windparks führen. Das neue Tragstruktur-Testzentrum des IWES (Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik) an der Leibniz Universität Hannover und die damit verbundenen ForWind-Institute der Fakultät „Bauingenieurwesen und Geodäsie“ werden diesen Prozess nachhaltig unterstützen. 

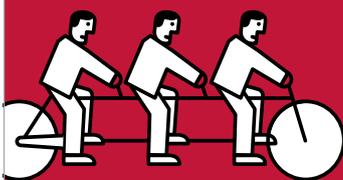
Prof. Dr. Peter Schaumann ¹
Stephan Lochte-Holtgreven ²

Leibniz Universität Hannover
Institut für Stahlbau
www.stahlbau.uni-hannover.de

Dr. Joachim Göhlmann ³

grbv Ingenieure im Bauwesen GmbH & Co. KG
www.grbv.de





Geht einem mal die Puste aus, sind ja noch zwei andere da ...

SSB Pitchsysteme mit 3-fach redundantem Aufbau sorgen für höchste Betriebssicherheit, auch in Notsituationen.



SSB Wind Systems

www.ssb.eu | SSB. Erfahrung bewegt.

