

BIG B4NG Challenge, 21. Wettbewerb
Aufgabe 2

SFB 1463 – Offshore Megastrukturen
Strömungs- und Wellenlasten auf Offshore-Windenergieanlagen

Hintergrund

Deutschland und viele weitere Länder haben sich im Pariser Klimaabkommen im Jahr 2015 gemeinsam dazu verpflichtet, die Erderwärmung auf deutlich unter 2° C zu begrenzen, um den Meeresspiegelanstieg und alle weiteren nachteiligen Auswirkungen des Klimawandels einzuschränken. Insbesondere die Energiewende, also die Erzeugung von Strom aus regenerativen Quellen anstatt aus der Verbrennung von fossilen Brennstoffen, ist ein wichtiger Bestandteil dieses Vorhabens. Solche regenerativen Quellen sind momentan hauptsächlich Solarenergie (Photovoltaik) und Windenergie. Insbesondere in der Offshore-Windenergie hat Deutschland eine Vorreiterrolle inne und hat schon vor mehr als 10 Jahren begonnen, Offshore-Windparks in Nord- und Ostsee zu errichten. Gegenüber Windenergieanlagen auf dem Land haben die Offshore-Anlagen den Vorteil, dass auf dem Meer ein größeres Platzangebot vorhanden ist und der Wind stärker und kontinuierlicher weht. Aufgrund dessen werden Offshore-Windenergieanlagen immer größer, was Ingenieurinnen und Ingenieure aller Fachrichtungen vor wachsende Herausforderungen stellt. Im Sonderforschungsbereich 1463 „Offshore Megastrukturen“ werden solche Mega-Offshore-Windenergieanlagen der Zukunft von einem interdisziplinären Team aus verschiedenen Ingenieursdisziplinen (Bauingenieurwesen, Maschinenbau etc.) gemeinsam erforscht. In dieser Aufgabe der BIG B4NG Challenge geht es um die Belastung der Windenergieanlagen durch Strömung und Wellen. Die Berechnung dieser Lasten ist eine der wichtigsten Grundlagen für die Planung einer Offshore-Windenergieanlage, denn auf dieser Basis werden viele weitere Berechnungen für die Bemessung der Anlage durchgeführt, wie z. B. die Verankerungstiefe im Boden oder die Dicke des Stahlturms.



Abbildung 1: Offshore-Windpark (Quelle: pixabay.com)

Mit der Aufgabe können wir euch nur einen kleinen Teil der Ingenieurleistungen zeigen, die beim Bau einer Offshore-Windenergieanlage benötigt werden. Wenn ihr Spaß an der Aufgabe hattet und mehr über den Entwurf von Offshore-Windenergieanlagen wissen möchtet, findet ihr auf der Homepage des Sonderforschungsbereichs (sfb1463.uni-hannover.de) und der Homepage der Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie (fbg.uni-hannover.de) weiterführende Informationen.

Grundlagenteil (10 Punkte): Grundlagen und Unterkonstruktionen von Offshore-Windenergieanlagen

Eine Offshore-Windenergieanlage besteht aus verschiedenen Bauteilen wie z. B. Nabe, Rotorblättern und Turm/Tragstruktur. Die Verbindung vom Turm zur Gründung am/im Meeresboden wird durch eine Unterkonstruktion hergestellt, die den Lasten aus Wellen und Strömungen ausgesetzt ist. Die wachsenden Größen und Anforderungen von Windenergieanlagen auf dem Meer führten in den letzten Jahren zu einer Fokussierung auf zwei Arten von Unterkonstruktionen: Monopiles und Jackets. Weitere Unterkonstruktionen wie z. B. Tripiles oder Tripods werden inzwischen kaum noch verwendet.

Aufgaben:

1. Recherchiert die Dimensionen (Rotorlänge, Nabengewicht, Turmhöhe, Fundamenttyp) von Offshore-Windenergieanlagen und vergleicht kurz aktuell gebaute/im Bau befindliche Anlagen mit älteren Anlagen (z. B. Windpark Alpha ventus).
2. Beschreibt den Unterschied zwischen einem Jacket und einem Monopile. Nennt jeweils drei Vor- und drei Nachteile der beiden Unterkonstruktionen.
3. Welche Anwendungsgrenzen haben Jackets und Monopiles, z. B. Wassertiefe und Beschaffenheit des Meeresbodens?

Mittlerer Teil (10 Punkte): Strömungsbelastung auf einen Monopile

Ebbe und Flut, also die Schwankung des Wasserspiegels auf dem Meer, sind in Deutschland insbesondere an der Nordsee deutlich zu beobachten. Aber die Auswirkungen dieser Schwankungen sind nicht nur am Strand zu sehen, sondern wirken sich auch in Bereichen des Meeres aus, die weiter vom Festland entfernt sind. Hier treten durch Ebbe und Flut Strömungen auf, die Belastungen auf die Unterkonstruktion aufbringen können.

Aufgabe der Bauingenieurin oder des Bauingenieurs ist es, diese Belastungen zu berechnen, sodass auf dieser Basis weitere Bemessungen durchgeführt werden können. Strömungsbelastungen können mittels einer Standardformel bestimmt werden, die einen empirischen Beiwert C_d beinhaltet. Dieser Beiwert hängt von vielen verschiedenen Faktoren ab, z. B. von der Form der Unterkonstruktion und der Rauigkeit der Oberfläche. Nach der Berechnung der Strömungslast auf einen Monopile soll überprüft werden, ob die Tragfähigkeit der Gründungskonstruktion (zulässiges Einspannmoment $M_{zul} = 5000 \text{ kNm}$) ausreicht. Beachtet die folgende Skizze und die Formeln.

$$\text{Strömungskraft: } F_s = \frac{1}{2} C_D \rho D v_s^2 d$$

$$\text{Nachweis: } \frac{M_s}{M_{zul}} \leq 1$$

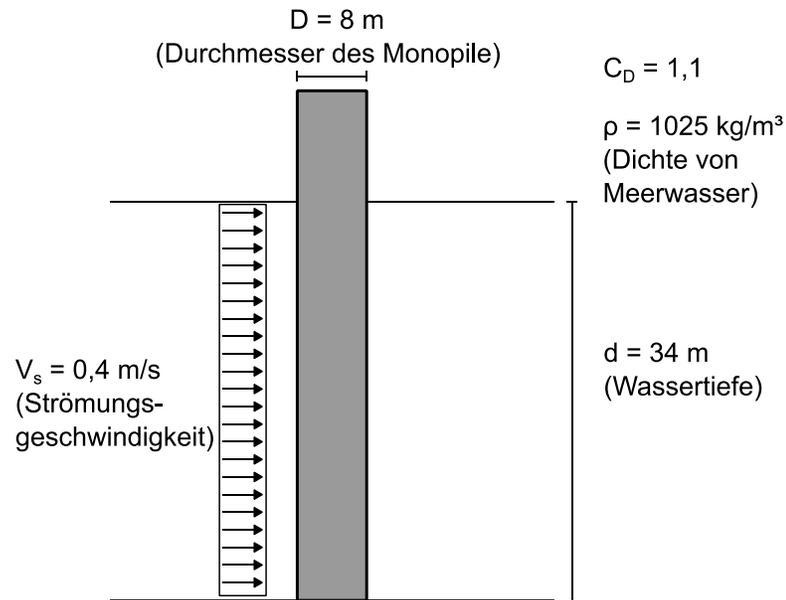


Abbildung 2: Skizze der Strömungsbelastung eines Monopiles

Aufgaben:

1. Recherchiert allgemein, was ein empirischer Beiwert ist und wie dieser bestimmt wird.
2. Welche Strömungskraft wirkt auf den Monopile? Der Bauingenieur bzw. die Bauingenieurin spricht hier von „Strömungslast“.
3. Beschreibt, was ein Einspannmoment ist. Berechnet das Moment, welches auf die Gründung wirkt. Bestimmt dazu den Angriffspunkt der Strömungslast, die als konstante Gleichlast angenähert werden kann.
4. Führt den Nachweis durch, dass die Gründung nicht unter der Strömungsbelastung versagt.

Für Profis (10 Punkte): Wellenbelastung auf einen Monopile

Maßgebender für die Bemessung einer Anlage sind in vielen Fällen die Wellenlasten, da insbesondere bei Stürmen hohe Wellen in der Nordsee entstehen können. Zur Berechnung der Wellenlasten auf eine Struktur wird die Berechnungsformel für die Strömungslast um einen zweiten Term ergänzt, der die Trägheit des Wassers über den empirischen Beiwert C_M berücksichtigt. Auch in diesem Fall soll berechnet werden, ob die Gründung tragfähig genug ist.

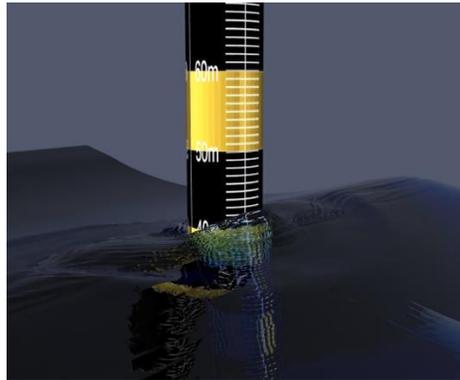


Abbildung 3: Ausschnitt aus einer Computersimulation eines Monopiles in Wellen zur Berechnung der Wellenlast (Quelle: BlueC GmbH)

Wellenlasten können jedoch nicht als Gleichlasten angenähert werden, da Wellen die meiste Energie an der Wasseroberfläche besitzen und die Energie (und damit auch die wirkende Kraft) mit zunehmender Wassertiefe abnimmt. Diese Last kann durch eine lineare Dreieckslast angenähert werden.

$$\text{Wellenkraft: } F_W = C_M \rho \frac{\pi D^2}{4} a_w + \frac{1}{2} C_D \rho D v_w^2$$

$$\text{Nachweis: } \frac{M_W}{M_{zul}} \leq 1$$

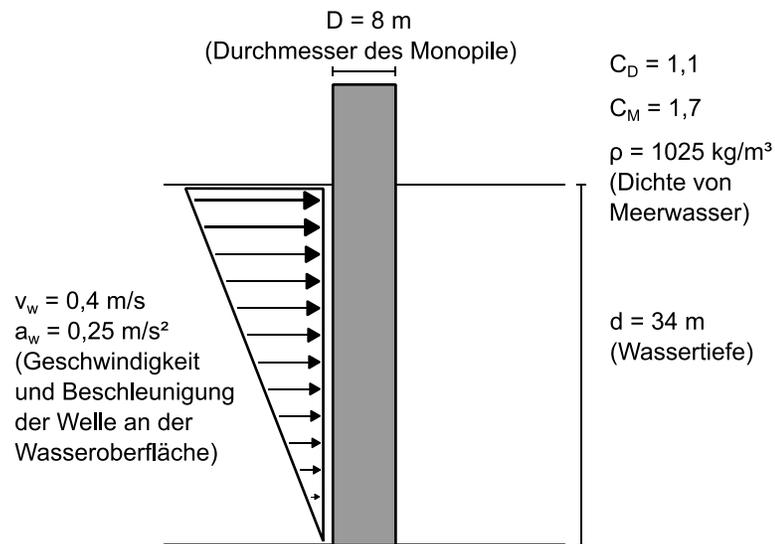


Abbildung 4: Skizze der Wellenbelastung eines Monopiles

Aufgaben:

1. Berechnet die Wellenkraft auf den Monopile an der Wasseroberfläche. **Achtung:** In diesem Fall ist die Einheit des Ergebnisses N/m (Kraft pro Länge), da ihr die Linienbelastung an der Wasseroberfläche ausrechnet. Dies ist auch daran sichtbar, dass in der Formel für die Strömungskraft in Teil 2 noch mit der Wassertiefe multipliziert wird, bei der Wellenkraft jedoch nicht.
2. Berechnet die Wellenkraft auf das gesamte Monopile (dieses Mal in N) unter der Annahme, dass die Last linear verteilt ist (siehe Skizze). Hinweis: Nutzt dazu den Flächeninhalt des eingezeichneten Dreiecks.
3. Wo liegt der Angriffspunkt dieser Gesamtkraft? Nutzt diesen Angriffspunkt zur Berechnung des Moments, welches auf die Gründung wirkt. Hinweis: Nutzt den Schwerpunkt des Dreiecks.
4. Weist nach, dass die Gründung auch die Belastung aus Wellen tragen kann. Verwendet dazu den zulässigen Wert aus Teil 2.
5. Überlegt euch, wie die Formel zur Berechnung der einwirkenden Kraft auf den Monopile bei einer gleichzeitigen Belastung aus Wellen und Strömungen aussehen müsste.

Viel Erfolg bei der Bearbeitung der zweiten Aufgabe!

Allgemeine Hinweise

Einsendeschluss: Sonntag, 05. Dezember 2021, 19:59 Uhr.

Gebt eure Lösungen über unser Portal ab: <https://unikik-portal.de/anmeldungen/users/login>

Das zulässige Dateiformat für die zusammengeschriebene Lösung (mit eingebetteten Bildern) ist PDF.

Die Dateien sollten nicht größer als 7,5 MB sein (die Dateien können gezippt sein)! Bitte gebt auch euren Teamnamen, die Namen der Gruppenmitglieder sowie deren Schulen an. Bitte benennt eure hochgeladenen Dateien nach dem Gruppennamen.

ACHTUNG bei Zip-Dateien! Um sicherzugehen, dass eure Dateien wirklich fehlerfrei und für die Korrektorinnen und Korrektoren zu öffnen sind, solltet ihr eure Zip-Dateien etc. noch mal von eurem Account herunterladen und öffnen. Dateien, die sich nicht öffnen lassen, können nicht bewertet werden!

Die Teilnahmebedingungen und weitere Informationen findet ihr unter:

www.uni-hannover.de/bigbangchallenge

Der Rechtsweg ist ausgeschlossen.