

CLUB APOLLO 13, AUFGABE 4

Konstruktion von Windenergieanlagen

Aufgrund der globalen Klimaveränderung und der daraus resultierenden Forderung nach erneuerbarer Energie erfährt die Stromerzeugung durch Nutzung der Windkraft großes Interesse. Zur Zeit verlagert sich der Ausbau der Windenergie immer weiter auf den Meeresbereich (Offshore), da die Onshore-Standorte (also an Land) annähernd vollständig ausgenutzt sind. Im Offshore-Bereich stehen große Flächen mit einem höheren und gleichmäßigeren Windangebot als auf dem Festland zur Verfügung. Dadurch können an solchen Standorten deutlich höhere Energieerträge erzielt werden.

Am Institut für Stahlbau der Leibniz Universität Hannover forschen die Bauingenieure an der Optimierung und Bemessung von Offshore-Windenergieanlagen. Die dynamischen Beanspruchungen in Form von Wind und Wellen erfordern eine differenzierte Betrachtung und Untersuchung der Gründung sowie der Tragstruktur. Die Ingenieure beschäftigen sich unter anderem mit der Optimierung von Schweißnähten und -prozessen, unterschiedlichen Gründungskonzepten und der Turmstruktur. Mit dieser Aufgabe wollen wir euch einen kleinen Einblick in die Arbeit des Bauingenieurs geben und euch an die Besonderheiten von Offshore-Windenergieanlagen und deren Bemessung heranzuführen. Falls ihr Spaß an der Aufgabe und Interesse am Studium des Bauingenieurwesens habt, erhaltet ihr weiterführende Informationen auf der Homepage der Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie www.fbg.uni-hannover.de oder auf der Homepage des Instituts für Stahlbau www.stahlbau.uni-hannover.de.



Abbildung 1: Offshore-Windenergieanlagen im Windpark Alpha Ventus

a) Grundlagenteil (10 Punkte): Gründungsarten für Offshore-Windenergieanlagen

In der Regel kann eine Offshore-Windenergieanlage in die Teilbereiche **Gondel**, **Tragstruktur**, **Unterkonstruktion** und **Gründung** eingeteilt werden.

Derzeit gibt es unterschiedliche Unterkonstruktionskonzepte, die eine Verbindung zwischen Verankerung im Meeresgrund und aufgehender Turmkonstruktion ermöglichen. In Abbildung 2 sind vier mögliche Gründungskonzepte dargestellt.

Aufgaben:

1. Benennt und beschreibt kurz die einzelnen Unterkonstruktionen.
2. Was sind die Vor- und Nachteile der einzelnen Gründungsarten?
3. Wo liegen die Anwendungsgrenzen der Konstruktionen, z.B. Wassertiefe, Art des Meeresgrundes? Wo ist welche Konstruktion am besten geeignet?

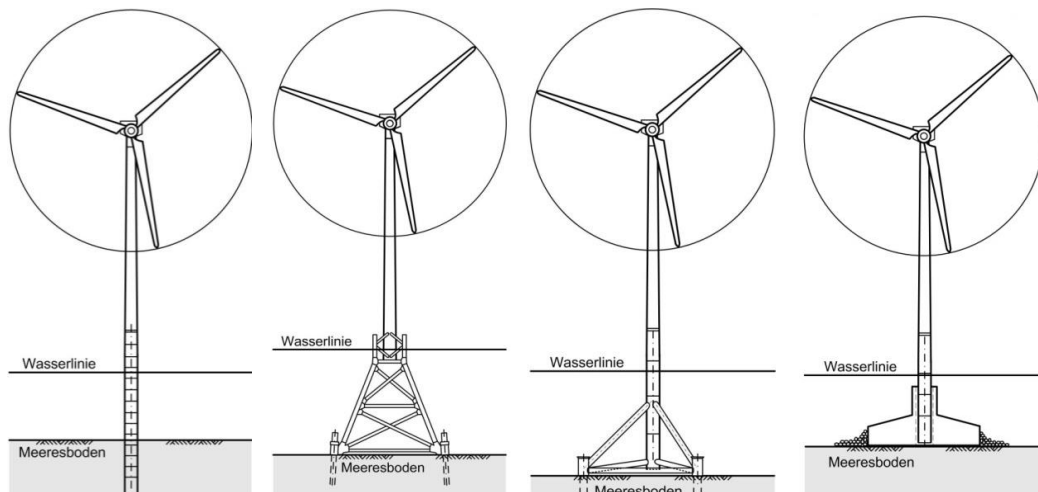


Abbildung 2: Gründungskonzepte für Offshore-Windenergieanlagen

b) Mittlerer Teil (10 Punkte): Axiale Beanspruchung von Offshore-Windenergieanlagen

Nachdem ihr euch mit der Unterkonstruktion beschäftigt habt, soll im Weiteren die Tragstruktur, bestehend aus mehreren Turmelementen, untersucht werden. Die Belastung, resultierend aus dem Eigengewicht der Gondel und den darin befindlichen Maschinenelementen, muss über den Turm in den Baugrund abgeleitet werden. Durch diese **axiale Belastung** kann ein Beulen der Turmschale, wie beispielhaft in Abbildung 3 dargestellt, hervorgerufen werden.

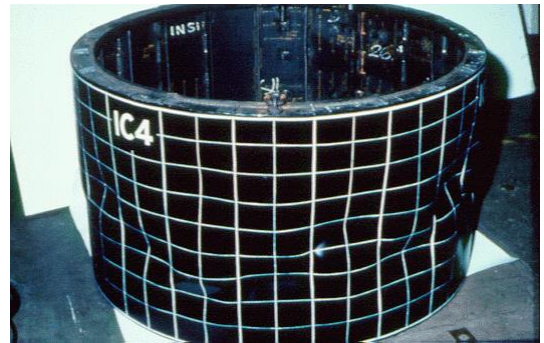


Abbildung 3: Beispiel für Schalenbeulen

Aufgabe des Bauingenieurs ist es, die Turmkonstruktion so auszubilden, dass dieser Versagensfall nicht eintritt. Der dafür erforderliche Nachweis beinhaltet einen Vergleich von einwirkenden Kräften mit dem Widerstand des Bauteils. In Abbildung 4 ist vereinfachend eine axiale Belastung der Rohre mit der Kraft $F_v = 6075kN$ (Gewichtskraft der Gondel) dargestellt. Der Widerstand, hier **reale Grenzbeulspannung** genannt, sei gegeben durch $\sigma_{xS,R,d} = 322,73N/mm^2$. (Die Indizes stehen für xS = Spannung in x-Richtung (axial), R = Widerstand, d = Design Bemessungswert (d.h. unter Berücksichtigung eines Teilsicherheitsbeiwertes))

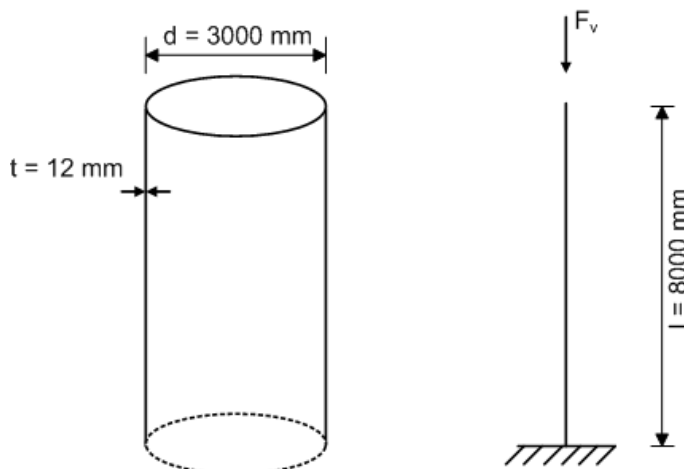


Abbildung 4: Geometrie und axiale Belastung eines Rohrelementes

$$\max \sigma_x = \frac{F_v}{2 * \pi * r * t}$$

Nachweis: $\frac{\max \sigma_x}{\sigma_{xS,R,d}} \leq 1$

Folgende Aufgabenteile sind unter Zuhilfenahme von Abbildung 4 zu lösen:

1. Beschreibt zunächst den Aufbau eines Stahlrohrturmes. (Woraus besteht dieser? Wie sind die Turmelemente miteinander verbunden?)
2. Berechnet für die oben angegebenen Werte die maximale Spannung $\max \sigma_x$, die auf ein Rohrelement einwirkt.
3. Führt den Nachweis durch, dass kein Versagen auftritt, indem ihr Einwirkung und Widerstand gegenüberstellt.
4. Überlegt euch, welche weiteren Parameter und Eigenschaften das Beulverhalten beeinflussen.

c) Für Profis (10 Punkte): Weitergehende Bemessung einer Offshore-Windenergieanlage

In Aufgabenteil b) wurde vereinfachend angenommen, dass der Turm der Windenergieanlage nur durch eine axiale Last resultierend aus dem Eigengewicht der Gondel beansprucht wurde. Überlegt nun, welchen Belastungen eine Windenergieanlage im Offshore- Bereich noch ausgesetzt ist. Für diese weiteren Lasten soll nun der **Beulnachweis** durchgeführt werden. Anstatt der axialen Last muss im zu erbringenden Beulnachweis das Moment M eingesetzt werden.



Abbildung 5: Beispiel für Schalenbeulen bei einer Windenergieanlage

Folgende Aufgaben sind unter Zuhilfenahme von Abbildung 6 zu lösen:

1. Beschreibt, was ein Moment ist und wie die **Momentenlinie** für einen eingespannten Kragerarm mit der Belastung $F_h = 300kN$ aussieht, siehe Abbildung 6.
2. Führt den Beulnachweis mit dem zuvor bestimmten Moment und der unter b) gegebenen Grenzbeulspannung durch.
3. Was passiert, wenn das betrachtete Rohrelement bei gleichbleibender Einwirkung höher gebaut wird?
4. Welche Belastung ist rein rechnerisch kritischer (horizontal oder vertikal)? Welche Kräfte sind in der Realität maßgebend bei der Bemessung einer OWEA?

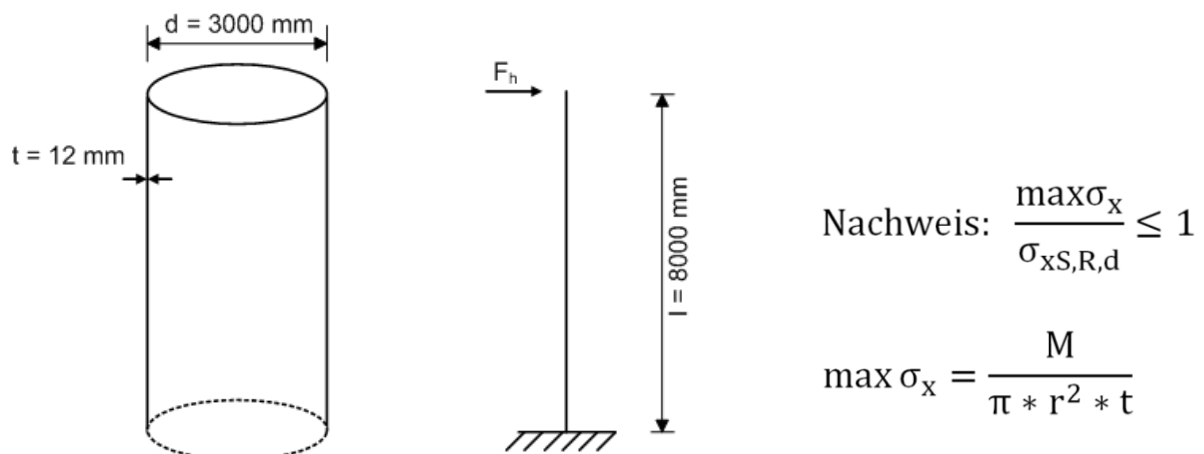


Abbildung 6: Geometrie und horizontale Belastung eines Rohrelementes

Viel Erfolg bei der vierten und letzten Aufgabe in diesem Wettbewerb!

Allgemeine Hinweise

Einsendeschluss: Sonntag, 7. Februar 2016, 19:59 Uhr.

Gebt eure Lösungen über das Portal von uniKIK ab: <http://www.unikik-portal.de/portal>

Zulässige Dateiformate sind: PDF für die zusammengeschriebene Lösung (mit eingebetteten Bildern) sowie unter Windows gängige Videoformate, die sich ohne Installation von zusätzlicher Software abspielen lassen, z. B. mp4.

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 sicher zu gehen, dass eure Dateien wirklich fehlerfrei und für die Korrektoren/-innen 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!

Gebt eure Lösungen auch dann ab, wenn ihr nicht alle Fragen beantworten konntet!

Die Teilnahmebedingungen und weitere Informationen findet ihr unter: <http://www.unikik.de/apollo13>.
Der Rechtsweg ist ausgeschlossen.