



Waveloads

Prof. Dr.-Ing. Friedrich Klinger
Prof. Dr.-Ing. Günther Schmidt-Gönner

Inhaltsverzeichnis

1. Motivation	2
Ausgangslage	2
1.2. Ziele der Arbeit.....	3
2. Wellentheorien / Handrechnungen	3
2.1. Wellenkräfte auf zylindrische Körper	4
3. Beispielhafter Vergleich Handrechnung mit WaveLoads:	4
4. Belastung der Einzelzylinder laut WaveLoads	5
4.1. Auftretende Belastungen	5
4.2. Belastung der Pfähle.....	7
5. Zusammenfassung und Ausblick.....	9
6. Autoren	9
7. Quellen	10

Waveloads

Prof. Dr.-Ing. Friedrich Klinger
Prof. Dr.-Ing. Günther Schmidt-Gönner

1. Motivation

Im Kyoto – Protokoll wurde das Ziel festgesetzt den CO₂ Ausstoß im Zeitraum von 2008 - 2012 um 21% zu senken. Der Windenergie spielt hierbei eine bedeutende Rolle, da sie die Energie vollkommen emissionslos zur Verfügung stellt.

Um die gesteckten Ziele mit Hilfe der Windenergie zu erreichen, muss man also neue Standorte erschließen. Die Nordsee bietet sich hier für die BRD besonders an, da die vorherrschenden Windverhältnisse für einen hohen Energieertrag sorgen.

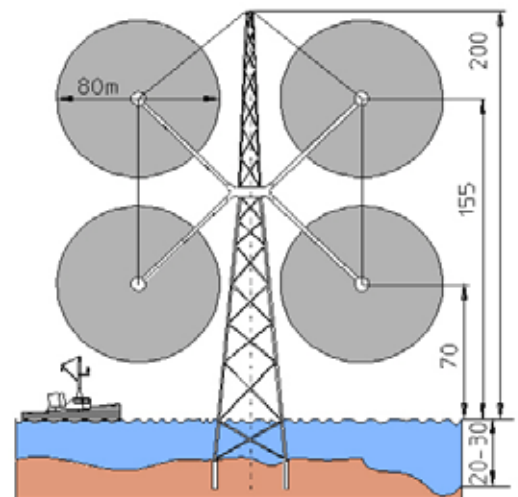
Die Belastungen, denen Offshore-WEA ausgesetzt sind, werden an der Nordsee vor allem durch Wellen und Wind bestimmt. Die Berechnung der Wellenlasten erfordert eine vertiefte Kenntnis über die verschiedenen Wellentheorien und ist nicht nur höchst kompliziert, sondern auch sehr zeitaufwendig. Aus diesem Grund wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes an der Universität Hannover das Programm „Waveloads“ entwickelt.

Das Programm ermittelt die Belastung aus Wellen auf beliebige, aus Zylindern zusammengesetzten, Offshore- Konstruktionen. Der Vorteil der Anwendung des Programms besteht darin, dass es den Arbeitsaufwand des Ingenieurs bei Planung und Konstruktion von Offshore- Windenergieanlagen erheblich reduziert.

1.1. Ausgangslage

Es existiert ein Konzept für einen Fachwerkurm mit 4 Diagonalen Auslegern an einem Drehgestell und Seilbabspannungen der Ausleger. Bei dem Projekt handelt es sich zur Zeit noch um eine Machbarkeitsstudie.

Bei der Planung der Windenergieanlage gibt es zur Zeit, neben der Beanspruchung des unteren Turmgestells durch Wellenlasten, noch Probleme bei der Entwicklung des Drehgestells, der Fundamentierung und der Montage der Anlage.



Waveloads

Prof. Dr.-Ing. Friedrich Klinger
Prof. Dr.-Ing. Günther Schmidt-Gönner

1.2. Ziele der Arbeit

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Beanspruchung von Offshore- Windenergieanlagen durch Wellenlasten, sowie mit der Optimierung der Fachwerkkonstruktion des unteren Turmgestells, mit dem Ziel, die Rohrquerschnitte und die Ausfachungen der Konstruktion so zu optimieren, dass die Wellenbelastung möglichst gering wird, ohne die Stabilität zu gefährden.

Zur Ermittlung der Wellenlasten soll das Programm „Waveloads“ getestet werden. Um die Ergebnisse von „Waveloads“ beurteilen zu können werden die Ergebnisse des Programms mit denen einer Handrechnung verglichen. Durch Variation der Parameter wie Zylinderdurchmesser, Wellenperiode, etc. werden die maßgebende Einflussgrößen ermittelt und die Auswirkung auf die Belastung der Konstruktion gezeigt.

2. Wellentheorien / Handrechnungen

Wellentheorien dienen dazu, idealisierte Wasserwellen mathematisch zu beschreiben, hierzu werden Wellenparameter benötigt, diese sind Abbildung 1 dargestellt. Die klassischen Wellentheorien sind periodisch, Wellenform und Kinematik wiederholt sich alle T Sekunden, außerdem können nur monochromatische Wellen, d.h. Wellen, die nur eine einzige Frequenz besitzen, betrachtet werden. Die einzelnen Wellentheorien unterscheiden sich nur bezüglich ihrer Randbedingungen an der freien Oberfläche. Die Gültigkeit aller Wellentheorien endet dort, wo Wellen mit bestimmter Höhe und Frequenz nicht mehr möglich sind, weil sie ihre Grenzsteilheit überschreiten und vorher brechen.

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen linearen und nicht linearen Wellentheorien.

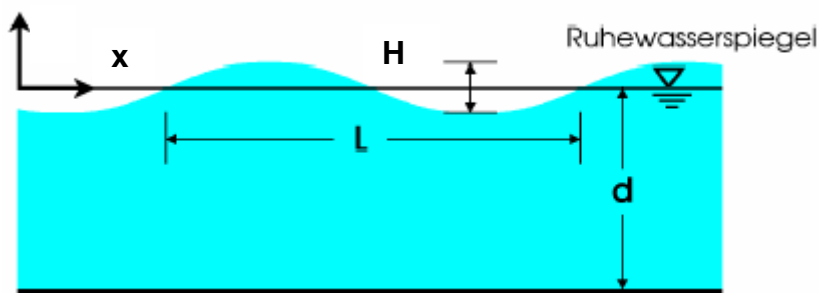


Abbildung 1 Darstellung von Wellenparametern

Waveloads

Prof. Dr.-Ing. Friedrich Klinger
Prof. Dr.-Ing. Günther Schmidt-Göner

2.1. Wellenkräfte auf zylindrische Körper

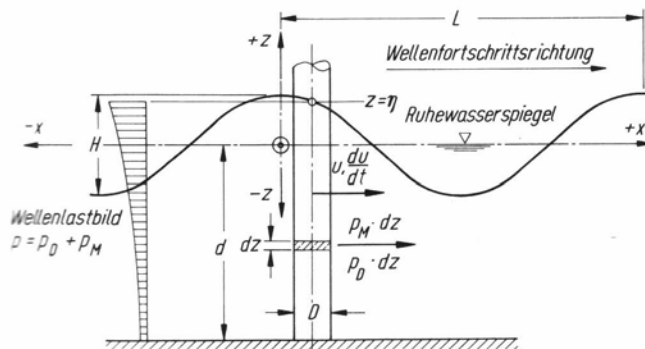


Abbildung 2 Beispielhafte Darstellung eines Wellenlastbildes auf eine zylindrische Struktur (nach Morrison)

3. Beispielhafter Vergleich Handrechnung mit WaveLoads:

Betrachtete Größe ist hierbei die durch die Wellen seitlich auf einen gegebenen Zylinder wirkende Kraft F_x . Ihre Wirkrichtung entspricht der in Abbildung 2 angegebenen x-Richtung.

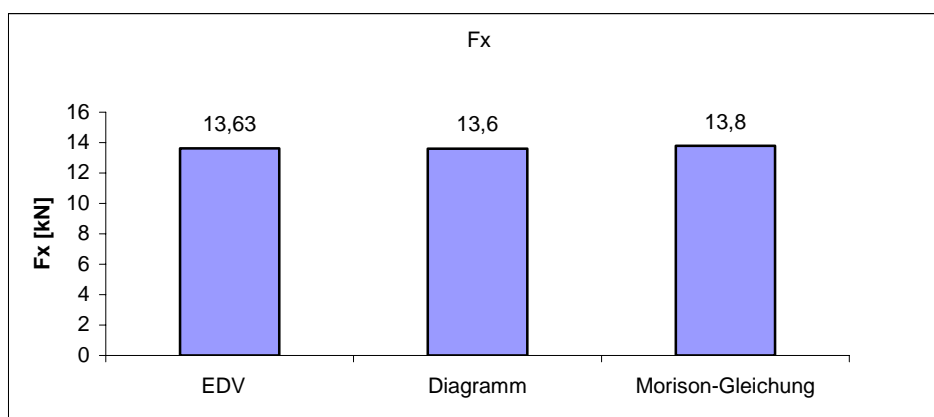


Abbildung 3 Vergleich Handrechnung- EDV-Rechnung

Die Abweichung zwischen der Handrechnung und der elektronischen Berechnung ist vernachlässigbar. Aus diesem Grund scheint es gerechtfertigt, die Ergebnisse von „Waveloads“ als brauchbar einzustufen und auch in den weiteren Berechnungen von der Genauigkeit der Ergebnisse auszugehen.

Waveloads

Prof. Dr.-Ing. Friedrich Klinger
Prof. Dr.-Ing. Günther Schmidt-Gönner

4. Belastung der Einzelzylinder laut WaveLoads

4.1. Auftretende Belastungen

4.1.1. Wellenlasten in Abhängigkeit vom Durchmesser der Zylinderstruktur

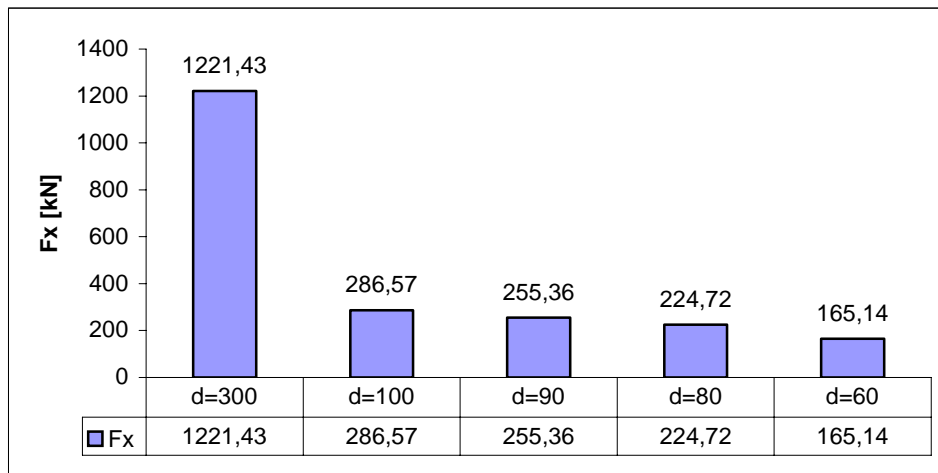


Abbildung 4 Wellenlasten bei Variation des Durchmessers

4.1.2. Wellenlasten bei Variation der Neigungsrichtung

Ein Zylinder mit einem Winkel α gegen die Vertikale, erhält eine geringere Belastung, wenn die Neigung der Welle entgegen geht ($-\alpha$), als ein Zylinder, der in Wellenverlaufsrichtung ($+\alpha$) geneigt ist.

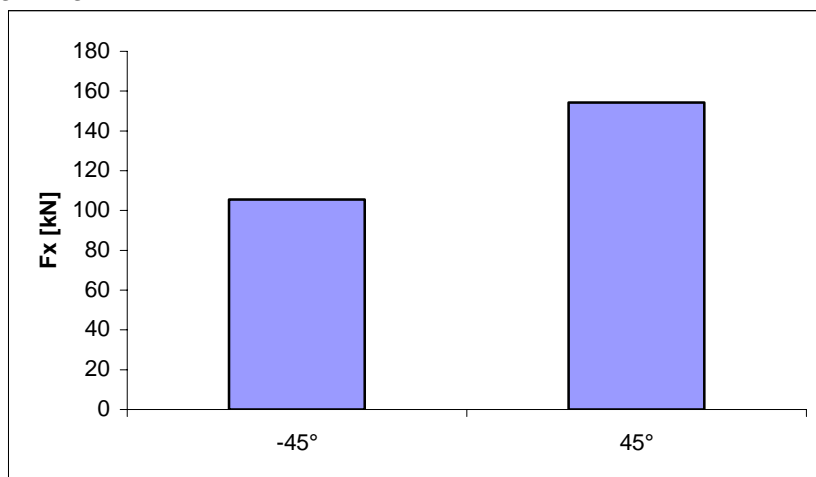


Abbildung 5 Wellenlasten bei Variation der Neigungsrichtung

Dies ist dadurch zu erklären, dass der Zylinder mit positiver Neigung im oberen Bereich, dort wo die Wellenkräfte am größten sind, mehr Angriffsraum bietet. Bei geringen Neigungen, wie dies bei der WEA der Fall ist, ist die Abweichung allerdings sehr gering.

Waveloads

Prof. Dr.-Ing. Friedrich Klinger
Prof. Dr.-Ing. Günther Schmidt-Göner

4.1.3. Wellenlasten bei Variation der Wellenhöhe

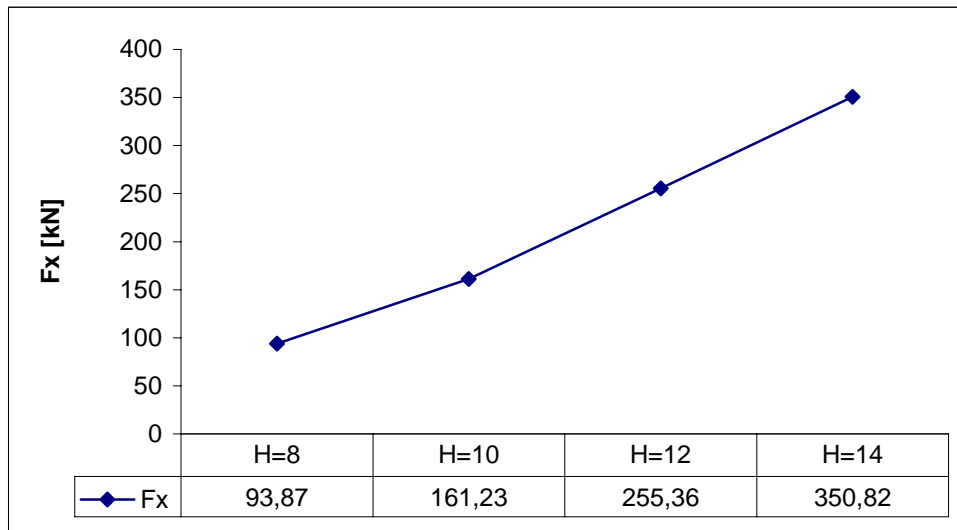


Abbildung 6 Einfluss der Wellenhöhe auf die Gesamtlast

Erwartungsgemäß nimmt die Belastung mit der Wellenhöhe zu. Allerdings lässt sich nicht jeder Wellenperiode und jeder Wassertiefe eine beliebige Wellenhöhe zuordnen. Bei unsinnigen Zuordnungen, hier beispielsweise eine Wellenhöhe von 20 Metern, führt das Programm zwar eine Berechnung durch, in den Ergebnisdateien stehen aber keine Werte, sondern eine Fehlermeldung, leider wird der Grund der Fehlermeldung nicht angezeigt.

4.1.4. Wellenlasten bei Variation der Wassertiefe

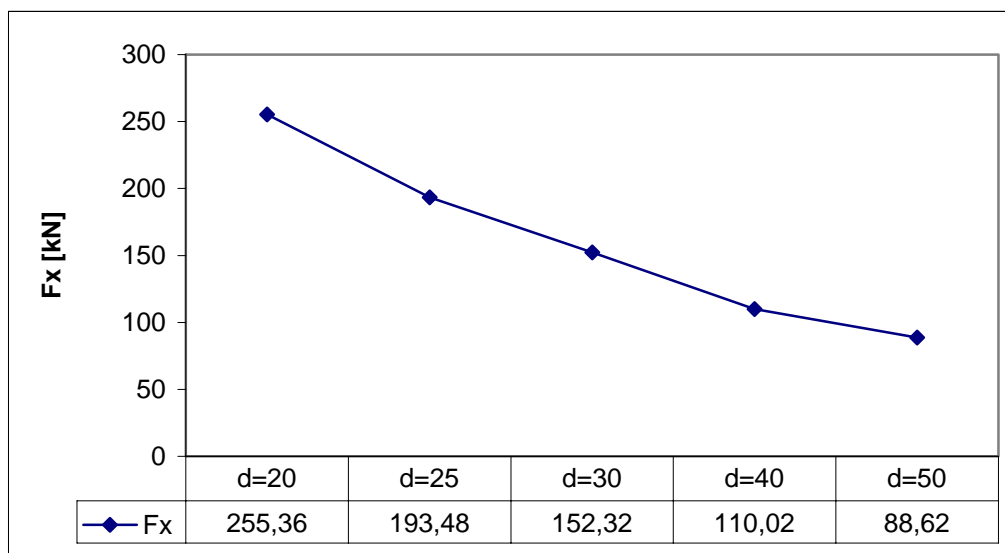


Abbildung 7 Einfluss der Wassertiefe auf die Gesamtlast.

Um eine realistische Aussage zu treffen wurden die z-Koordinaten des Zylinders (Höhe im Wasser) beibehalten, so dass die Oberkante des Zylinders immer 10 Meter über dem Wasserspiegel liegt, der letzte Zylinder also 30 Meter über dem Meeresboden schwebt.

Waveloads

Prof. Dr.-Ing. Friedrich Klinger
Prof. Dr.-Ing. Günther Schmidt-Gönner

Abbildung 7 zeigt, dass eine geringere Wassertiefe eine größere Gesamtbelastung verursacht. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei geringeren Wassertiefen, weniger Wassermenge zur Verfügung steht, um die Wellengeschwindigkeit zu bremsen.

4.2. Belastung der Pfähle

Parameter	Wert
Wellenparameter	
Wellenhöhe	12,0 [m]
Wellenperiode	13 [s]
Wassertiefe	20,0 [m]
Strömung	0 [m/s]
Dämpfung	0,3
Strukturparameter	
Radius Zylinder	0,45 [m]
Radius Aussteifung	0,20 [m]
hydrodynamischer Koeffizient c_d	0,6 []
hydrodynamischer Koeffizient c_m	1,5 []

Tabelle 4.2-1 Eingangparameter zur Ermittlung der Wellenlasten

Für die oben ermittelten Parameter wurde für die stehenden Zylinder folgende Belastung ermittelt:

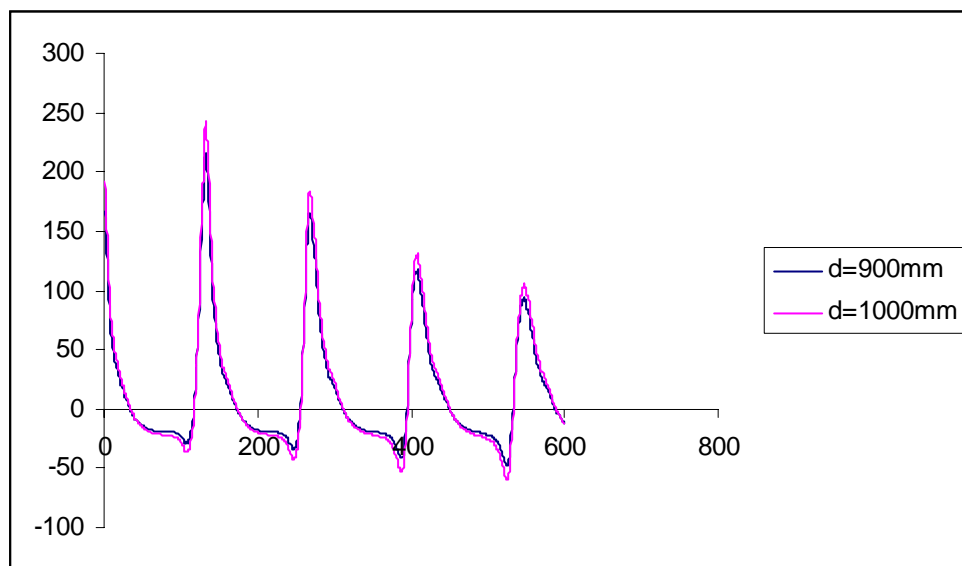


Abbildung 8 Gesamtbelastung Pfähle --- t in 1/10 s

Waveloads

Prof. Dr.-Ing. Friedrich Klinger
Prof. Dr.-Ing. Günther Schmidt-Gönner

Ungünstige Lasten auf vertikale Stäbe

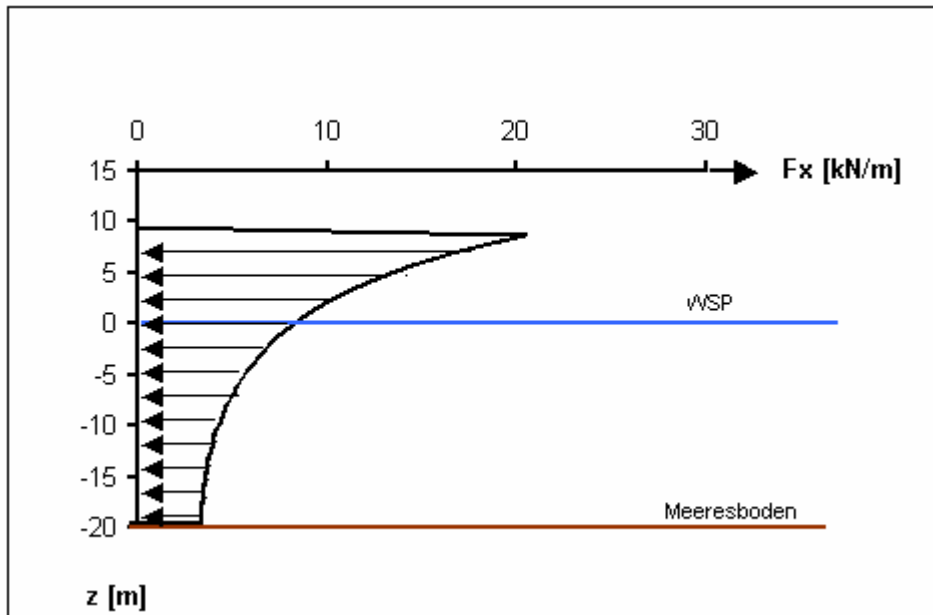


Abbildung 9 Belastung Pfähle $d= 900\text{mm}$ $F_{x,ges} = 216 \text{ kN}$

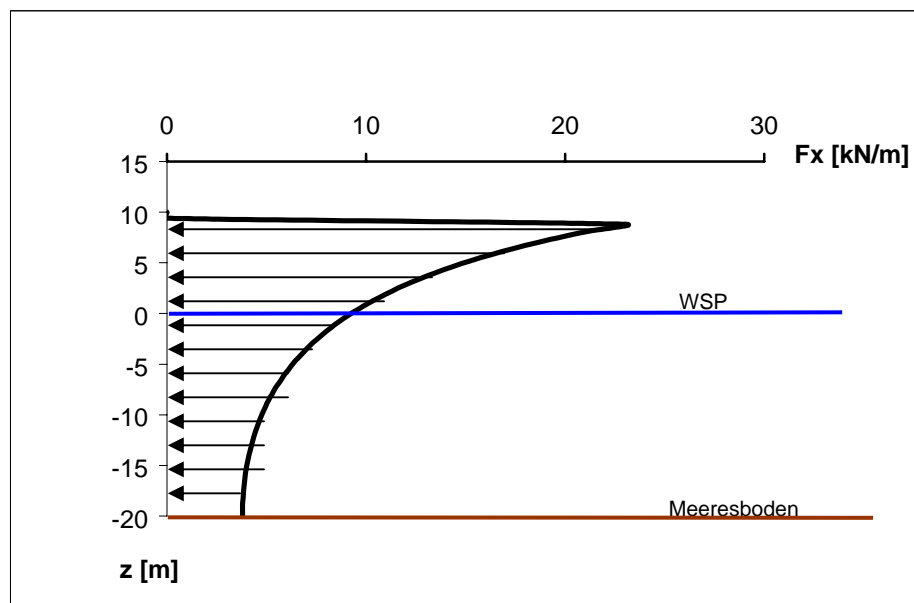


Abbildung 10 Belastung Pfähle $d= 1000\text{mm}$ $F_{x,ges} = 242 \text{ kN}$



Waveloads

Prof. Dr.-Ing. Friedrich Klinger
Prof. Dr.-Ing. Günther Schmidt-Gönner

5. Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem Programm „WaveLoad“ der Universität Hannover wurden Wellenlasten für eine Offshore – Konstruktion berechnet. Zuerst wurde durch Vergleiche der Ergebnisse des Programms mit den Ergebnissen einer Handrechnung die Übereinstimmung mit der Theorie festgestellt. Parameterstudien mit Wellenhöhe, Wassertiefe Rohrdurchmesser etc. ergaben realistische bzw. ungünstige Annahmen für die Bauteillasten. Die Lastergebnisse wurden für die Berechnung der Struktur nochmals vereinfacht und damit Spannungsanalysen durchgeführt und eine Auslegung der Konstruktion vorgenommen.

Die Arbeit zeigt, dass mit dem Programm WaveLoad realistische Wellenlasten für Off-Shore-Konstruktionen ermittelt werden können, und damit die Realisierung einer Multigenerator-Anlage ein weiteres Stück näher rückt.

6. Autoren

Projektleiter

Prof. Dr.-Ing. Friedrich Klinger
Fachbereich: Maschinenbau
E-Mail: f.klinger@zip.uni-sb.de
Tel. 049-681-302-6120
Fax 049-681-302-6121

Mitarbeiter

Dipl.-Ing. Stefan Balzert
Dipl.-Ing. Marc Brestrich
Prof. Dr.-Ing. Günther Schmidt-Gönner
E-Mail: i.wagner@zip.uni-sb.de
Tel. 049-681-302-6120
Fax 049-681-302-6121



Waveloads

Prof. Dr.-Ing. Friedrich Klinger
Prof. Dr.-Ing. Günther Schmidt-Gönner

7. Quellen

1. J. P. Molly
Technical Trends in Wind Turbine Development
DEWI Magazine, february 2002
www.dewi.de
2. Bundesverband Windenergie
Wind Turbine Market surveys 2002 and earlier
www.wind-energie.de
3. Erneuerbare Energien
Wind Turbine Market surveys 2002 and earlier