

# **Integrale Last- und Strukturmodellierung von OWEA - Stand der Entwicklung**

Dipl.-Ing. M. Kohlmeier  
Dr.-Ing. A. Habbar  
Dr.-Ing. K. Mittendorf  
Prof. Dr.-Ing. W. Zielke

Leibniz Universität Hannover  
Institut für Strömungsmechanik  
und Elektronisches Rechnen im Bauwesen  
Appelstr. 9A, 30167 Hannover, Germany

Fon: +49 511 762-3709  
Fax: +49 511 762-3777  
E-mail: [kohlmeier@hydromech.uni-hannover.de](mailto:kohlmeier@hydromech.uni-hannover.de)  
[www.hydromech.uni-hannover.de](http://www.hydromech.uni-hannover.de)

# **Integrale Last- und Strukturmodellierung von OWEA - Stand der Entwicklung**

Martin Kohlmeier<sup>1</sup>, Abderrahmane Habbar<sup>1</sup>, Kim Mittendorf<sup>2</sup> und Werner Zielke<sup>1</sup>

*<sup>1</sup> Institut für Strömungsmechanik und Elektronisches Rechnen im Bauwesen  
Leibniz Universität Hannover, Appelstraße 9A, 30167 Hannover, Germany*

*<sup>2</sup> Maritime Systems Engineering Department, Texas A&M  
200 Seawolf Parkway, Galveston, Texas 77553, USA*

## **1. Einleitung**

Die intensive Nutzung der Offshore-Windenergie insbesondere in größeren Wassertiefen wirft eine Vielzahl zu lösender Fragestellungen auf. Die Suche nach optimalen Designkriterien ist dabei ein bedeutender Aspekt aktueller Forschung. Im Rahmen des Zentrums für Windenergieforschung ForWind werden Fragen der Offshore-Meteorologie, der Netzanbindung und der Lebensdauer von Offshore-Gründungsstrukturen untersucht. Ein wichtiges Werkzeug stellt dabei die Modellierung der Gesamtkonstruktion der Offshore-Windenergieanlage dar. Im Rahmen dieser Modellierung sollen Ergebnisse aus anderen Teilbereichen von ForWind einfließen können, um so Aspekte der Gründung, des Seegangs oder auch der Wirkung des turbulenten Windfeldes auf die Tragkonstruktion untersuchen zu können. Einige der dazu entwickelten Verfahren und deren programmtechnische Umsetzung werden im vorliegenden Beitrag vorgestellt.

## **2. Entwicklungsziele und Vorgehen**

Für die in größeren Wassertiefen gegründeten Windenergieanlagen sind neue Aspekte bei der Modellierung zu berücksichtigen. Von hohem Interesse sind dabei das Langzeitverhalten und die besonderen meteorologischen und ozeanographischen Verhältnisse. So sind im Rahmen der Untersuchung des Ermüdungsverhaltens schädigungsäquivalente Lasten zu bestimmen, die sowohl aus dem unterschiedlich stark gerichteten Seegang als auch aus dem vorliegenden turbulenten Windfeld resultieren.

Zum Zwecke der Validierung der Seegangslasten stehen Struktur- und Seegangsmessungen an den Messplattformen FINO 1 und Amrumbank West zur Verfügung. Als Simulations-

werkzeug wird für die Lastermittlung das im Rahmen von Gigawind entwickelte Lastmodul WaveLoads [1] verwendet. Für die strukturdynamische Analyse sind entsprechende Datenexportfunktionalitäten geschaffen worden, die für die Simulationsprogramme ANSYS und MSC.NASTRAN abgestimmt sind und nun entsprechende elastodynamische Analysen erlauben.

Als weiteres wichtiges Modellierungsziel sind die aeroelastischen Wechselwirkungen zwischen turbulentem Windfeld und Rotorblatt einzubeziehen, um auf dieser Basis Untersuchungen der Tragkonstruktion zu ermöglichen. Dabei sollten neben Monopile insbesondere auch aufgelöste Tragkonstruktionen wie Tripod oder Jacket Berücksichtigung finden. Mit dem Ziel einer zunächst hohen Flexibilität werden die Simulationen mit Hilfe des Mehrkörper-simulationsprogramms MSC.ADAMS unter Nutzung von Export-Funktionalitäten von Fast [2] durchgeführt. Zur Ermittlung der aerodynamischen Lasten wird das Programm AeroDyn [3] und für die Wellenlasten das Modul WaveLoads [1] in die Simulationsumgebung eingebunden. Der Ansatz einer integralen Modellierung umfasst somit folgende Software-Komponenten:

- a. AeroDyn: Aerodynamische Lasten nach Blattelement-Methode, siehe [3].
- b. WaveLoads: Wellenlasten auf hydrodynamisch transparente Strukturen basierend auf linearen oder nichtlinearen Wellentheorien, siehe [1].
- c. FAST: Mehrkörpersimulation, siehe [2], zum Zwecke des Ergebnisvergleichs, aber auch nutzbare Exportfunktionalitäten zur Erstellung von Mehrkörpermodellen für die Anwendung und Anpassung im Mehrkörpersimulationsprogramm MSC.ADAMS.

Da der Quellcode von AeroDyn und Fast zur Verfügung steht und WaveLoads eine eigene Entwicklung von Mittendorf [1] darstellt, sind alle notwendigen Modifikationen für die Anwendung im Rahmen eines integralen Konzeptes vergleichsweise einfach durchzuführen. Erstes Ziel dieses Ansatzes ist die Untersuchung von Tragstrukturentwürfen für den Offshore-Einsatz. Als zweites Ziel werden dabei Lastmodule für die jeweilige Anwendung modifiziert und somit auch weiteren interessierten Nutzern zur Verfügung gestellt werden können. Auf diese Weise werden die Entwicklungen in den anderen ForWind-Projekten unterstützt, aber auch gleichzeitig die Beteiligung bei anderen Projekten, die den Programmvergleich und die Programmweiterentwicklung zum Ziel haben wie beispielsweise „Annex XXIII“, ermöglicht.

### **3. Aktuelle Entwicklungen und Anwendungsbeispiele**

Die aktuellen Weiterentwicklungen der Simulationsmöglichkeiten lassen sich in zwei Bereiche unterteilen. Der erste Bereich bezieht sich auf die elastodynamische Analyse von wellenbelasteten Konstruktionen wie beispielsweise FINO 1, wobei das Finite-Elemente (FE) Programm ANSYS benutzt und die notwendigen Modell- und Lastdaten aus WaveLoads

generiert werden, siehe dazu auch [4]. Vergleichbare Simulationen sind nun auch unter Anwendung des FE-Programms MSC.NASTRAN durchführbar. Modale Analysen des Windmessmasts „Amrumbank West“ mit ANSYS und MSC.NASTRAN sind in den Abbildungen 1 und 2 dargestellt. In Abb. 3 sind dann die ermittelten Eigenfrequenzen gegenübergestellt.

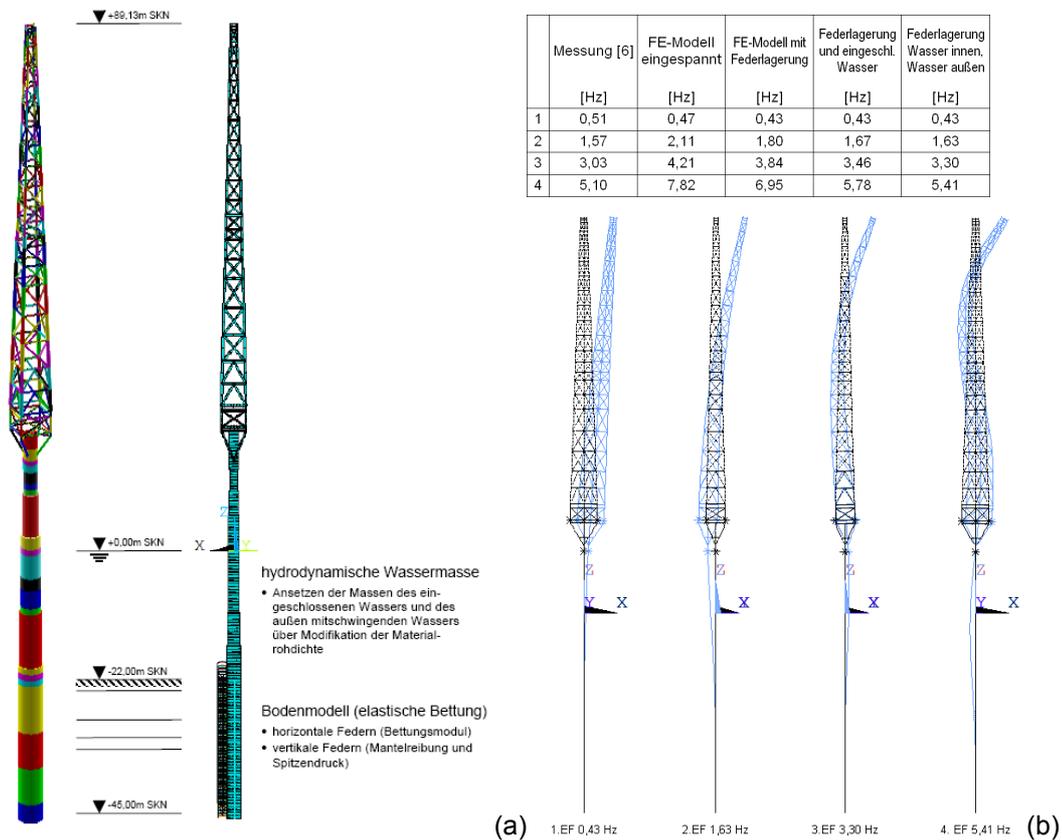


Abbildung 1: Geometrische Darstellung des Windmessmasts „Amrumbank West“ mit WaveLoads (GUI) und Datenexport zu ANSYS (a). Veränderungen der Eigenfrequenzen bezüglich der gewählten Lagerung mit ausgewählten zugehörigen Eigenformen (b) [5].

Der zweite Bereich befasst sich stärker mit der integralen Tragstrukturmodellierung. Hier werden die folgenden möglichen Ansätze verfolgt. Der erste besteht in der Betrachtung der reinen Einwirkungen aus Wind und Wellen auf die Struktur in der oben dargestellten Weise. Der zweite Ansatz verfolgt die Möglichkeit der Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen den Lasten aus Wind und Wellen mit den Komponenten Rotor, Maschinenteil und Tragstruktur im Rahmen einer Mehrkörpersimulation bestehend aus starren und flexiblen Körpern, letztere insbesondere zur Beschreibung der Rotorblätter und der Tragkonstruktion. Dabei wird die Möglichkeit gegeben, die Tragstruktur in ihrer Komplexität mittels modaler Beschreibung hinreichend genau zu erfassen und so die Simulationsdauer zu reduzieren. Die dazu

notwendige Software-Entwicklung ist in Abb. 4 schematisch dargestellt. Dieser Modellaufbau erfordert zunächst die Interaktionen der Programme MSC.ADAMS, AeroDyn und WaveLoads.

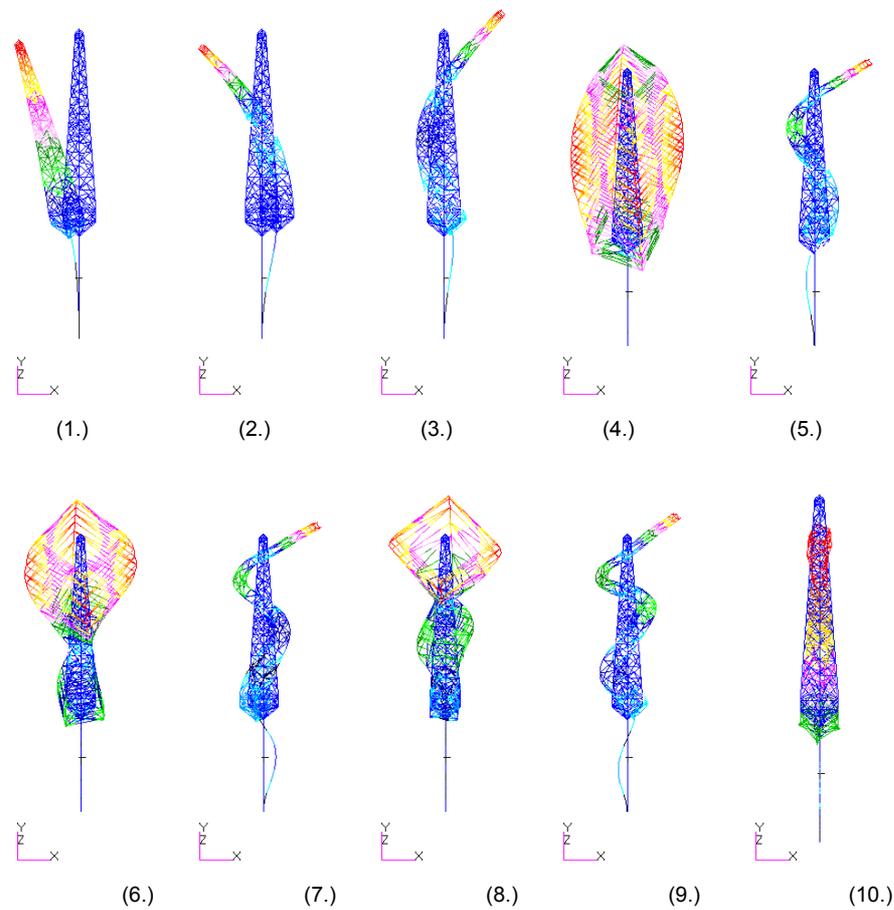


Abbildung 2: Modale Analyse des Windmessmasts "Amrumbank West" mit MSC.NASTRAN. Darstellung der ersten zehn Eigenformen.

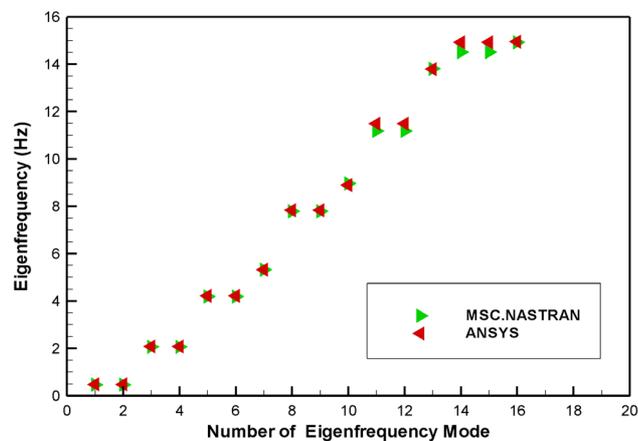


Abbildung 3: Modale Analyse des Windmessmasts "Amrumbank West". Vergleich der Eigenfrequenzen ermittelt mit MSC.NASTRAN und ANSYS.

Die Programme sind mit unterschiedlichen Programmiersprachen (Fortran 90 / C++) erstellt worden und können als dynamische Bibliothek (dll), wie in Abb. 5 dargestellt, miteinander verbunden werden. Es entsteht so ein flexibler integraler Rahmen, der die Lastmodule mit der elastodynamischen Analyse verknüpft und so eine Gesamtbetrachtung der als Teilmodule einfließenden Einzelforschungsarbeiten erlaubt. Es ergeben sich dabei folgende Untersuchungsmöglichkeiten:

- Einfluss der kleinskaligen Windturbulenz auf das Langzeitverhalten der Anlage.
- Berücksichtigung des möglicherweise bei entsprechenden Windturbulenzen ausgelösten Effekts des „dynamic stall“, insbesondere seiner Parametrisierung im aeroelastischen Modell (siehe [6]) und schließlich die Betrachtung seiner Auswirkung auf das Langzeitverhalten der Tragstruktur.
- Berechnung von Seegangslasten aus gegebenen Spektren unter Berücksichtigung der Richtungsverteilung und deren Einfluss auf die Ermüdung aufgelöster Strukturen wie etwa FINO 1 (siehe [4]).
- Betrachtung des Optimierungspotenzials bei Berücksichtigung der Korrelation zwischen Wind- und Seegangslasten in Langzeituntersuchungen.
- Einfluss der Gründung auf die Tragstrukturdynamik.

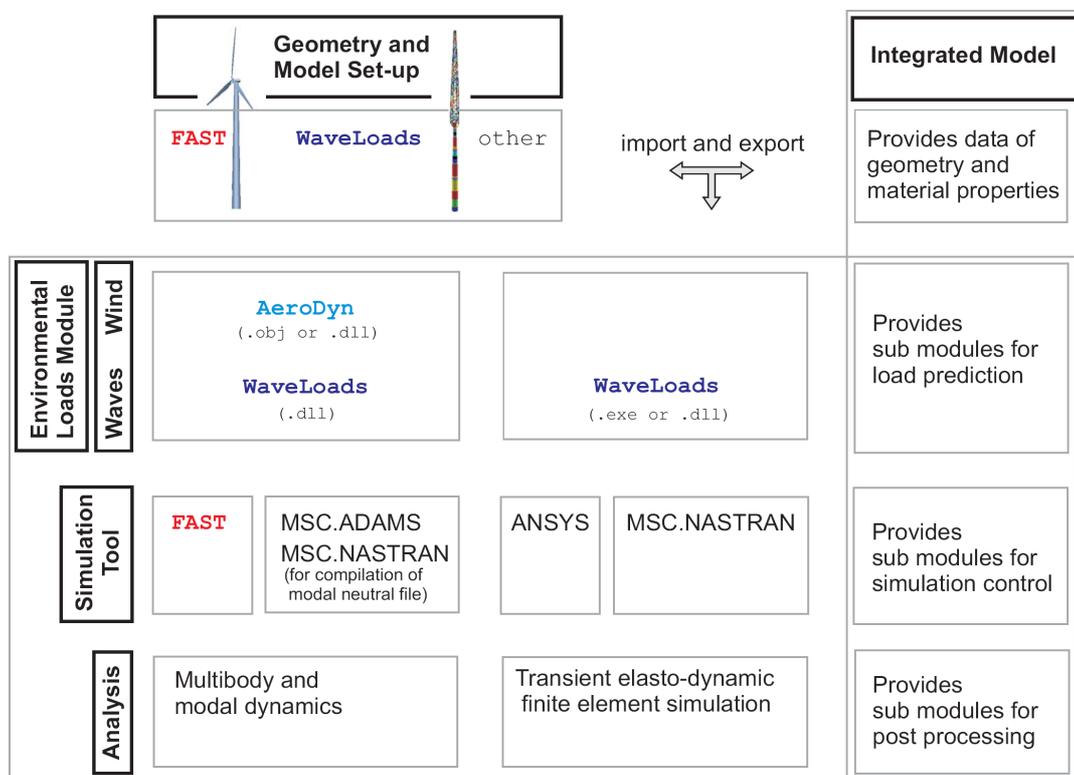


Abbildung 4: Schematische Darstellung des aktuellen Ansatzes einer integralen Modellierung.

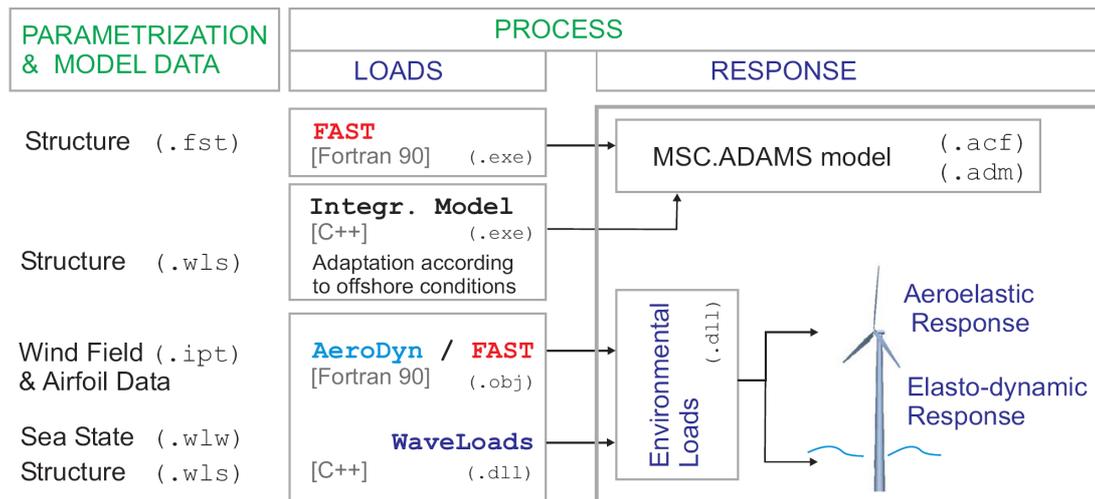


Abbildung 5: Schematische Darstellung der verwendeten Software und deren Interaktionen im Rahmen einer integralen Modellierung von Wind- und Wellenlasten auf eine OWEA.

#### 4. Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen der Gesamtmodellierung der Anlage kann eine Vielzahl von Fragestellungen erörtert werden. Dabei stellt die Optimierung möglicher Designparameter unter Berücksichtigung unterschiedlicher Tragstrukturen eine besondere Herausforderung dar, die in Kooperation mit Projektpartnern und unter Einbeziehung von realen Anlagen- und Messdaten untersucht werden sollten. Dazu wird es erforderlich sein, Steuer- und Regelungsmechanismen der Anlage in angemessenem Maße zu berücksichtigen.

#### Literatur

- [1] Mittendorf, K.: *Hydromechanical Design Parameters and Design Loads for Offshore Wind Energy Converters. Dissertation*, Institut für Strömungsmechanik, Universität Hannover, 2006
- [2] Jonkman, J. M., Buhl Jr., M. L.: *FAST User's Guide*, NREL/EL-500-29798. Golden, Colorado: National Renewable Energy Laboratory, 2005.
- [3] Laino, D. J., Hansen, A. C.: *User's Guide to the Wind Turbine Aerodynamics Computer Software AeroDyn*, 2002.
- [4] Mittendorf, K., Kohlmeier, M., Habbar, A., Zielke, W.: Influence of irregular wave kinematics description on fatigue load analysis of offshore wind energy structures. In: Proceedings of DEWEK 2006 – 8th German Wind Energy Conference, November 22-23, 2006, Bremen, Germany, 2006
- [5] Kossel, T.: *Wellenbelastungen auf die Tragstrukturen von Offshore-Konstruktionen*, Diplomarbeit, Institut für Strömungsmechanik, Universität Hannover, 2006.
- [6] Peinke, J., Stoevesandt, B.: *ForWind: Annual Report 2006*, TP IX Part B, 2007.