



Abb. 1: Die schwimmenden Windkraftanlage SelfAligner-FOWT kann auch bei großen Wassertiefen eingesetzt werden Grafik: CRUSE Offshore GmbH

# Konzept einer selbstausrichtenden schwimmenden Windkraftanlage

**HyStOH** Im Rahmen des BMWi-geförderten Verbundprojekts HyStOH (Hydrodynamische und Strukturmechanische Optimierung eines Halbtauchers für Offshore-Windenergieanlagen) ist eine selbstausrichtende Windenergieanlage für den Offshore-Bereich entwickelt worden, die sich durch eine kostengünstige Leichtbauweise, einfache Installation und geringe Umweltbelastung auszeichnet. Das Konzept wurde an der Technischen Universität Hamburg (TUHH) durch umfangreiche numerische Simulationen optimiert und im Modellversuch erprobt. Zu den Projektpartnern gehören neben der TUHH die CRUSE Offshore GmbH, der DNV GL, die aerodyn GmbH und die Jörss-Blunck-Ordemann GmbH.

Prof. Dr. Moustafa Abdel-Maksoud, Prof. Dr. Alexander Düster, Dr. Andreas Bockstedte, Dr. Gerrit Haake, Sönke Siegfriedsen, Jens Cruse

Der weltweite Energiebedarf ist in den letzten Jahrzehnten immer weiter gestiegen. Gleichzeitig gibt es Bemühungen, insbesondere seit der Reaktor-katastrophe in Fukushima, die umstrittene Kernenergiegewinnung zurückzufahren. Ferner wurden im Kyoto-Protokoll und im Übereinkommen von Paris Ziele für den

Klimaschutz definiert, deren Fokus auf der Begrenzung der globalen Erwärmung liegt. Aus diesem Grund müssen Alternativen zur CO<sub>2</sub>-intensiven Energiegewinnung mit Braun- und Steinkohle entwickelt werden. Dies hat zur Folge, dass zwei Technologien mehr oder weniger gleichzeitig ersetzt werden müssen.

Eine solche Kompensation der Energiegewinnung bedarf eines immensen Aufwands, da hierfür nach Möglichkeit erneuerbare Energien genutzt werden sollen. Deutschland hat dabei weltweit eine Vorreiterrolle in der Erschließung und dem Ausbau verschiedener erneuerbarer Energiequellen übernommen. Zurzeit sind

bereits große Offshore-Windparks in der Nord- und Ostsee in Betrieb, und weitere befinden sich in der Entstehung.

Nord- und Ostsee als Flachwassermeere mit geringen Wassertiefen von bis zu 50 m, in denen Offshore-Windenergie-Anlagen im Meeresboden fest gegründet werden können, stellen weltweit eine Ausnahme dar. Da in vielen anderen Küstenregionen der Meeresboden mit zunehmendem Abstand zur Küste wesentlich stärker abfällt und schnell Tiefen von 100 bis 1000 m erreicht, können sich fest gegründete Anlagen nicht als weltweiter Industriestandard durchsetzen. Daher müssen Lösungen für größere Wassertiefen entwickelt werden. In Abbildung 2 sind Gebiete mit solch großen Wassertiefen dargestellt, in denen ein besonders hoher Energiebedarf besteht, wodurch sie ein großes Potenzial für den Ausbau von Offshore-Windenergie darstellen.

Um die mit zunehmender Wassertiefe steigenden Bau- und Installationskosten zu verringern, ist der Einsatz schwimmender Windenergieanlagen unabdingbar. Eine Lösung ist die Verwendung schwimmender Fundamente, die am Meeresboden verankert sind. Im Rahmen des HyStOH-Verbundvorhabens (Hydrodynamische und Strukturmechanische Optimierung eines Halbtauchers für Offshore-Windenergieanlagen) wurde eine effiziente, robuste und kostengünstige Anlage entwickelt, die für die Massenproduktion geeignet ist.

### Schwimmendes Fundament-Konzept

Für die Offshore-Windenergiegewinnung in Regionen mit großer Wassertiefe wurde von der CRUSE Offshore GmbH eine innovative schwimmende Anlage konzipiert und konstruiert, die „SelfAligner-FOWT“. Die Anlage basiert auf einer sich selbst ausrichtenden Halbtaucherplattform, die der Windrichtung automatisch folgt. Das Fundament ist an einem einzigen Punkt gelagert und dreht sich frei um eine Turret Buoy, die im Meeresboden verankert ist (siehe Abb. 3). Ein Downwindrotor und ein profilierter Turm induzieren aerodynamische Kräfte, die ein selbstausrichtendes Drehmoment erzeugen und somit eine passiv gesteuerte Ausrichtung der gesamten schwimmenden Anlage ermöglichen.

Das dynamische Verhalten des schwimmenden Fundaments wurde in Zusammenarbeit mit folgenden Konsortialpartnern untersucht und optimiert: Institut für Fluidodynamik und Schiffstheorie (Technische Universität Hamburg TUHH), Institut für Konstruktion und Festigkeit von



Abb. 2: Potenzielle Märkte für schwimmende Windenergieanlagen

Grafik: Siemens

Schiffen (TUHH), DNV GL, aerodynamische engineering GmbH und Jörss-Blunck-Ordeermann GmbH.

Die Gründungsstruktur der Offshore-Windenergieanlage zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus: >

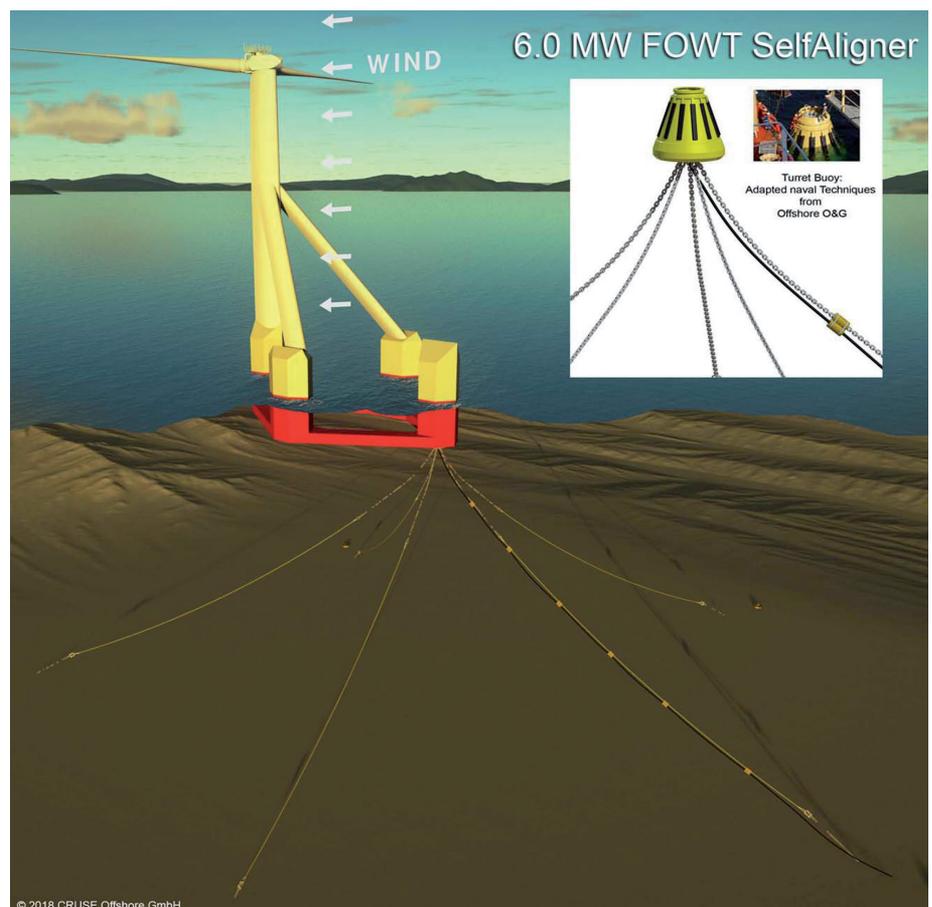


Abb. 3: Gestaltung der schwimmenden selbstausrichtenden Windenergieanlage „SelfAligner-FOWT“

Grafik: CRUSE Offshore GmbH

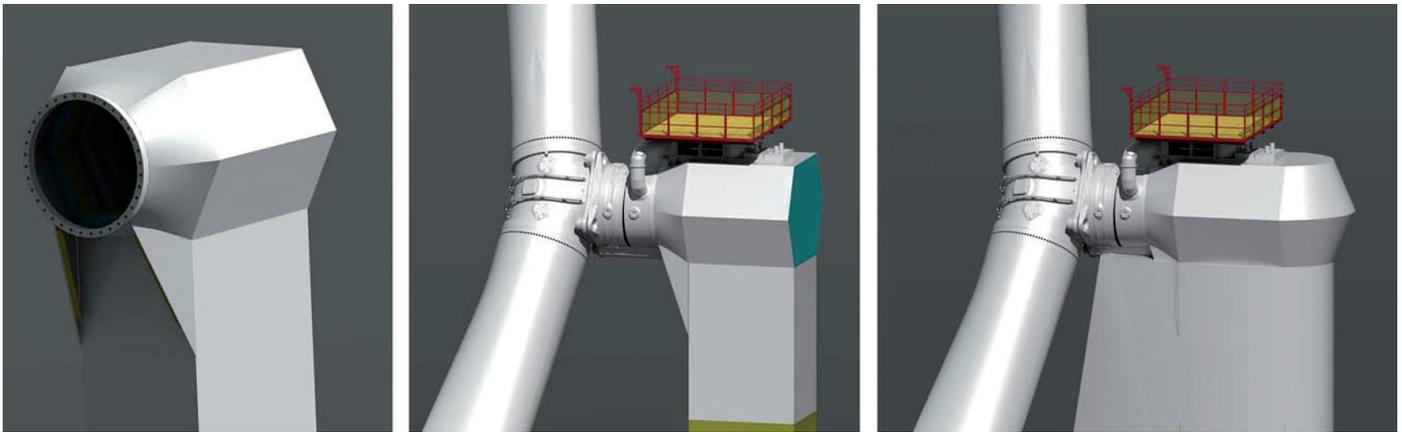


Abb. 4: Turmkopfdesign, ohne und mit aerodynamischer Verkleidung aus glasfaserverstärktem Kunststoff

Grafik: CRUSE Offshore GmbH

#### › Hohe Stabilität

Das Fundament der SelfAligner-FOWT wird durch ca. 5000 t Ballastwasser stabilisiert. Selbst bei rauen Wetter- und Wellenbedingungen beeinträchtigen die Beschleunigungen in der Nabenhöhe von 100 m den Betrieb nicht.

#### › Serielle Fertigung

Die Stahlkonstruktion des schwimmenden Fundaments orientiert sich an Schiffbaukonstruktionen und kann in jeder Werft gebaut werden. Bei der Entwicklung der Konstruktion wurde darauf geachtet, dass diese ohne zusätzlichen Aufwand auf automatisierten Fertigungslinien hergestellt werden kann.

#### › Geringe Installationskosten

Die SelfAligner-FOWT ermöglicht eine wesentlich einfachere Installation in Gewässern bis zur Tiefe des Festlandssockels. Die im Dock fertig installierten und betriebsbereiten FOWTs können einfach an ihre Positionen geschleppt und an das Turret Buoy-Mooring angeschlossen werden, ohne dass ein spezielles Installationsschiff erforderlich ist. Für umfangreiche Reparaturen, Stilllegungen oder Aufrüstungen können die Einheiten an die Küste zurückgeschleppt werden. Die Transfermanöver für die Wartungsscrew sind einfacher und erfordern eine weniger ausgefeilte Ausrüstung. Damit wird zugleich die Sicherheit des Personals erhöht.

#### › Niedrige Umweltbelastung

Der für maritime Lebewesen problematische Offshore-Baulärm wird sehr niedrig gehalten. Das Suction-Ankersystem ist einfach zu installieren und zu entfernen, sofern der Meeresboden für diesen Ankertyp geeignet ist. Darüber hinaus deckt das Ankersystem nur einen kleinen Bereich des Meeresbodens ab und lässt sich einfach und fast rückstandslos entfernen.

### Windenergeturbine

Kriterien für die Auswahl der Windenergeturbine waren ein geringes Gewicht und möglichst störungsfreier Betrieb. Die von der aerodyn engineering GmbH (aerodyn) entwickelten SCD-Technologie-Turbinen „Super Compact Drive“ erfüllen diese Voraussetzungen. Bei der SCD-Technologie handelt es sich um ein vollständig integriertes Konzept für Antriebe und Windenergiegenerator in Leichtbauweise, wodurch die Massen des Turms und dessen Fundament verringert werden. aerodyn übernahm als industrieller Partner im HyStOH-Verbundprojekt die Entwicklung und Integration der Windenergeturbinen in die Turmstruktur. So konnten die Erfahrungen im Turbinendesign mit einer neuen schwimmenden Fundamenttechnologie für eine wettbewerbsfähige Marktlösung kombiniert werden.

Ausgehend von der Turbinenlastbewertung wurden Anfangslastgrenzen für die Turmkopfverbindung bestimmt. In die Untersuchung wurden Parameter wie Rotorausrichtung, Turbinenleistung, Flügelanzahl, Rotordurchmesser, Nabenhöhe und Typenklasse einbezogen. Zusätzlich wurden für das Rotor-Nacelle-Assembly (RNA) die notwendigen Massendaten ermittelt und für die strukturelle Vorplanung von Turm und Fundament verwendet. Die berechnete aerodynamische Belastung und detailliertere Turbinendaten wurden für die Verifikation der Detailmodellierung anderer Projektpartner eingesetzt.

Das Design der RNA wurde von aerodyn basierend auf den abgeleiteten Lasten in einer vollständig gekoppelten Simulationsumgebung unter Berücksichtigung der Aeroelastik, der Hydrodynamik, des Strukturverhaltens und der Windenergieanlagensteuerung erstellt. Die Ergebnis-

se flossen in den Entwurfsprozess für die Turm-Gondel-Schnittstelle, das Getriebe, den Generator, die Rotornabe und das Rotorblattdesign ein. Abschließend wurde ein Konzept für die Antriebsstranganordnung und die Rotorblätter unter Berücksichtigung der schwimmspezifischen Regleranforderungen abgeleitet, um eine voll funktionsfähige Windenergieanlage auf dem schwimmenden Fundament zu ermöglichen. Das Design berücksichtigt standortspezifische Umweltbelastungen einschließlich Betriebsbelastungen und Überlebensbedingungen.

### Hydrodynamisches Verhalten

Die genaue Vorhersage des Bewegungsverhaltens einer schwimmenden Windenergieanlage ist ein entscheidendes Thema beim Entwurf und der Entwicklung eines selbstausrichtenden Systems, da zur Beurteilung der Ausrichtung viele Einflüsse berücksichtigt werden müssen. Die Fähigkeit zur Selbstausrichtung hängt nicht nur von den momentan wirkenden Kräften des Seegangs und der Strömung ab, sondern auch von den aerodynamischen Belastungen, die im Wesentlichen durch den Turm und den Turbinenrotor hervorgerufen werden. Außerdem trägt die Spannung der Ankerleinen, die das System in Position halten, erheblich zu den auf die Schwimmstruktur wirkenden Kräften bei.

Darüber hinaus werden aufgrund unterschiedlicher dynamischer Effekte durch den Windturbinenbetrieb zusätzliche Kräfte induziert. Kleine Roll- und Stampfbewegungsamplituden der Plattform erzeugen große Bewegungsamplituden der Gondel und des Rotors in Längs- (entlang der Rotationsachse) und Querrichtung. Die Bewegung entlang der Längsrichtung verursacht eine komplexe Wechselwirkung

zwischen dem Rotor und seinem Nachlauf. Die Bewegung in Querrichtung induziert ein Kreiselmoment. Eine zuverlässige Simulation der Plattformbewegung erfordert die Berücksichtigung aller wirkenden Kräfte und Momente.

Während des Konstruktionsprozesses müssen alle genannten Lasten im Zeitbereich einbezogen werden. Die angewandte numerische Simulationsmethode für die Berechnung des aero- und hydrodynamischen Verhaltens muss in der Lage sein, die Kräfte des Rotors bei Schräganströmung zu berechnen. Die instationären hydrodynamischen Belastungen hängen stark von der aktuell benetzten Oberfläche der Plattform ab. Daher muss die relative Position zwischen der tatsächlichen Wasserlinie der Plattform und der Wellenhöhe zu jedem Zeitpunkt aktualisiert werden. Insbesondere muss die Widerstandskraft sich selbst ausrichtender schwimmender Windenergieanlagen mit hinreichender Genauigkeit berechnet werden, da sie einen starken Einfluss auf die Bewegung der Plattform hat.

Um diese Voraussetzungen zu erfüllen, wurde am Institut für Fluidodynamik und Schiffstheorie der Technischen Universität Hamburg (TUHH) das Simulationsverfahren panMARE weiterentwickelt und im Rahmen des HyStOH-Verbundprojekts zur Simulation der umfassenden Belastung von Turbine und Plattform der SelfAligner-FOWT eingesetzt. Das Verfahren basiert auf der Potenzialtheorie und dient zur Berechnung des dreidimensionalen aero- und hydrodynamischen Strömungsfeldes. Die berechnete Rotorumströmung umfasst die Nachlaufflächen der Rotorblätter und deren Wechselwirkung mit dem Rotor unter Berücksichtigung der Roll- und Stampfbewegung der Anlage. Die Simulation ermöglicht die Berechnung der jeweils aktuell benetzten Oberfläche der Struktur. Außerdem erlaubt das Verfahren die Einbeziehung externer Kräfte wie Rumpfwiderstand. Im Rahmen des Projekts wurde ein dynamisches Verankerungsmodell entwickelt, das in der Lage ist, die Zugkräfte entlang der Ankertrosse in Abhängigkeit von der Bewegung der Struktur und der Seegangseigenschaften zu erfassen. Bei der Berechnung der Bewegungen einer schwimmenden Anlage wie der SelfAligner-FOWT werden die gekoppelten aerodynamischen und hydrodynamischen Kräfte sowie die Ankerkräfte synchron behandelt [1].

panMARE eignet sich insbesondere zur Vorhersage der Bewegungen bei extremen

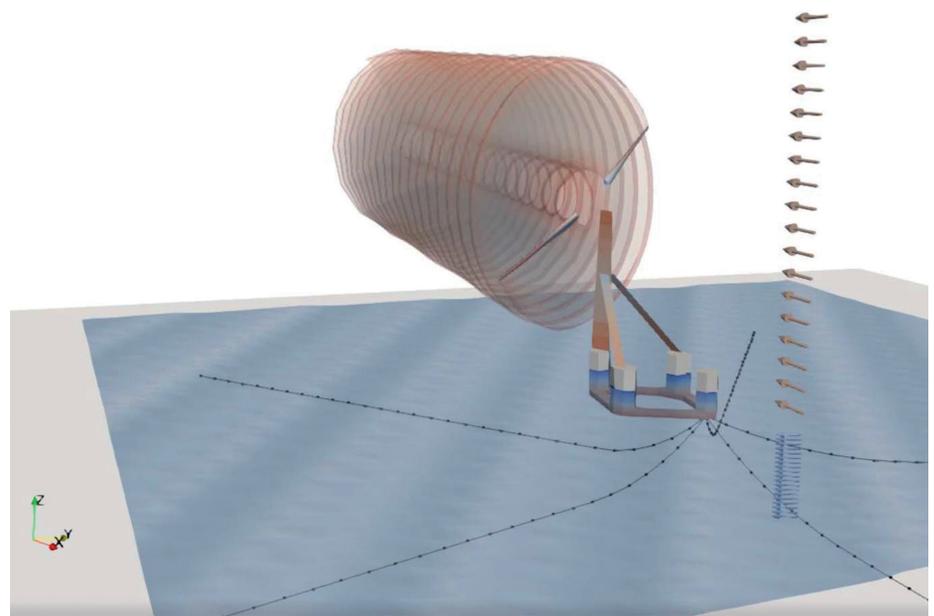


Abb. 5: panMARE Simulation

Grafik: TUHH, Institut für Fluidynamik und Schiffstheorie

Belastungszuständen und zur Analyse der Fähigkeit zur Selbstausrichtung [2][3]. Das passive Ausrichten von Plattform und Rotor kann für unterschiedliche Wind-, Strömungs- oder Wellenwinkel simuliert werden. Ebenso können dynamische Bedingungen mit wechselnden Wind- bzw. Strömungsrichtungen oder Geschwindigkeiten simuliert werden.

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde eine Verifikationsstudie durchgeführt, indem Simulationsergebnisse mit etablierten numerischen Methoden verglichen wurden [4]. Für die untersuchten Lastfälle wurde eine hohe Übereinstimmung erzielt.

Ferner wurden Windkanal- und Wellentankversuche durchgeführt, um das aero- und hydrodynamische Modell zu validieren.

### Numerische Simulation der Fluid-Struktur-Interaktion

Schwimmende Windenergieanlagen sind im Seegang erheblichen Belastungen ausgesetzt. Um ihre strukturelle Integrität sicherzustellen und ihre Leistung zu bewerten, ist es wichtig, die Fluid-Struktur-Interaktion (FSI) zu berücksichtigen. Hierdurch kann der Einfluss der aerodynamischen und hydrodynamischen Fluidkräfte auf das Bewegungsverhalten der

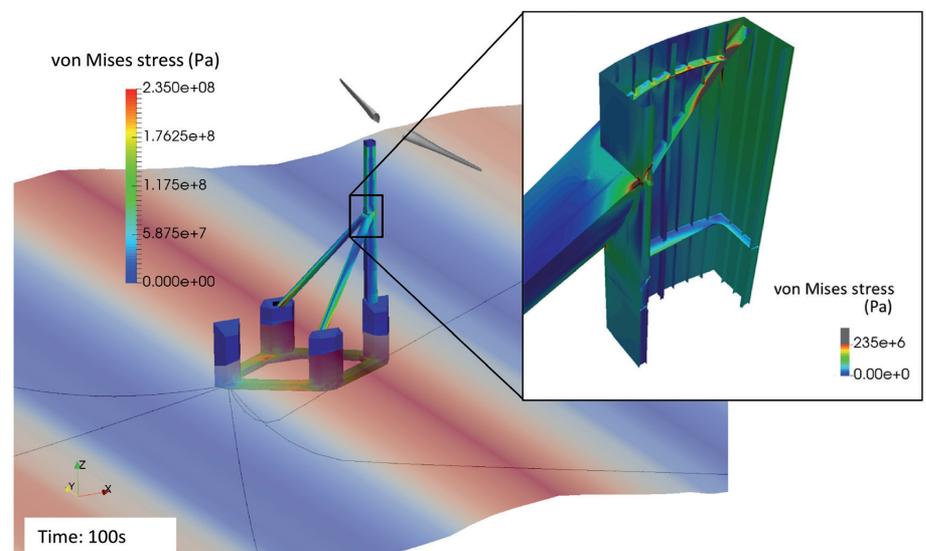


Abb. 6: Simulation der FSI und Spannungsanalyse mit sehr detailliertem FE-Modell im Entwurfsstadium

Grafik: TUHH, Institut für Konstruktion und Festigkeit von Schiffen

Struktur und auch auf die Deformationen und Spannungen der einzelnen Komponenten ermittelt werden. Im Rahmen des Verbundprojekts HyStOH wurden am Institut für Konstruktion und Festigkeit von Schiffen (TUHH) umfangreiche FSI-Simulationen mit zum Teil sehr detaillierten finite Elemente (FE)-Modellen der SelfAligner-FOWT durchgeführt (Abb. 6).

Für die Simulation der FSI wurde die Softwarebibliothek comana [5] entwickelt, die einen partitionierten Lösungsansatz für gekoppelte Mehrfeldprobleme ermöglicht. Hierdurch können für die einzelnen Felder, d.h. für das Fluid- sowie das Strukturproblem, verschiedene Löser verwendet werden. In einem Zeitschritt der dynamischen Simulation werden die Teilprobleme abwechselnd berechnet und die jeweiligen Lösungen in Form von Fluidlasten und sich daraus ergebenden Verschiebungen bzw. Deformationen am gemeinsamen Rand ausgetauscht, bis sich ein Gleichgewichtszustand einstellt. Aufgrund der getrennten Behandlung der Teilprobleme ist es möglich, verschiedene räumliche und zeitliche Diskretisierungsverfahren sowie bereits vorhandene spezialisierte und schnelle Algorithmen für die numerische Lösung der jeweiligen Teilprobleme zu verwenden. Folglich ist der partitionierte Ansatz nicht nur sehr flexibel, sondern ermöglicht auch eine effiziente Lösung von FSI- und anderen gekoppelten Mehrfeldproblemen.

In diesem Projekt wurde für das Fluidproblem das Simulationsverfahren panMARE mit dem auf der Finite-Elemente-Methode (FEM) basierenden Strukturlöser ANSYS (ANSYS Academic Research Mechanical, Release 18.2) gekoppelt [6]. Die Bauteile der Struktur können dabei als starr modelliert werden, um einen Abgleich der Ergebnisse des globalen Bewegungsverhaltens mit panMARE vorzunehmen. Werden die Bauteile elastisch modelliert, wird die FSI in die Simulationen einbezogen, und es sind je nach Detailgrad des FE-Modells sehr präzise Spannungsanalysen möglich. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf eine Vorgehensweise gelegt, die auch für sehr komplexe FE-Modelle eine effiziente FSI-Simulation ermöglicht. Hierdurch konnten detaillierte Strukturanalysen der SelfAligner-FOWT durchgeführt werden.

### Entwurfsgrundlagen und Lastensimulationsmodell

Das aerodynamische Design der SelfAligner-FOWT sowie eine spezielle Verankerung fördern die passive Selbstausrichtung der Plattform an der aktuellen Windrichtung und machen das aktive Giersystem herkömmlicher Windenergieanlagen überflüssig [7] (Abb. 7). Die Entwicklung dieses innovativen schwimmenden Windenergiekonzepts wurde in Rahmen des HyStOH-Verbundprojekts vom Geschäftsbereich Renewables Certification (RC) des DNV GL begleitet. DNV GL

trug insbesondere zu dem Entwurfsgrundlegendokument bei, das die technischen Randbedingungen enthält, wie allgemeine Umgebungsbedingungen, Entwurfsmethoden, Sicherheitskonzept, Test- und Validierungsverfahren sowie die Codes und Standards für die spätere Konzeptentwicklung und Prototypenzertifizierung.

Den Projektpartnern wurden die Definitionen von Auslegungslastfällen für die Konzeption des innovativen schwimmenden Fundaments zur Verfügung gestellt. Mit dem Simulationsprogramm Bladed wurden Lastberechnungen mit einem vollständig dynamisch gekoppelten, integrierten Simulationsmodell durchgeführt [8]. Dieses Modell umfasst die gesamte Turbine, den Turm, den Schwimmer und die Verankerung unter gleichzeitiger Einwirkung turbulenter Wind- und stochastischer Seezustände und Einbeziehung der nichtlinearen Turbinensteuerung.

Weiterhin unterstützte DNV GL die Projektpartner bei der Strukturberechnung sowie bei der Auslegung des Verankerungssystems.

### Konstruktive Gestaltung der SelfAligner-FOWT

Die Idee der Anwendung von Schiffbauprinzipien besteht darin, das Stahlgewicht und die Herstellungskosten der Tragstruktur aufgrund einer hohen Automatisierungsrate im Herstellungsprozess zu reduzieren. Zudem soll die Tragstruktur die Selbstausrichtung des Rotors unterstützen.

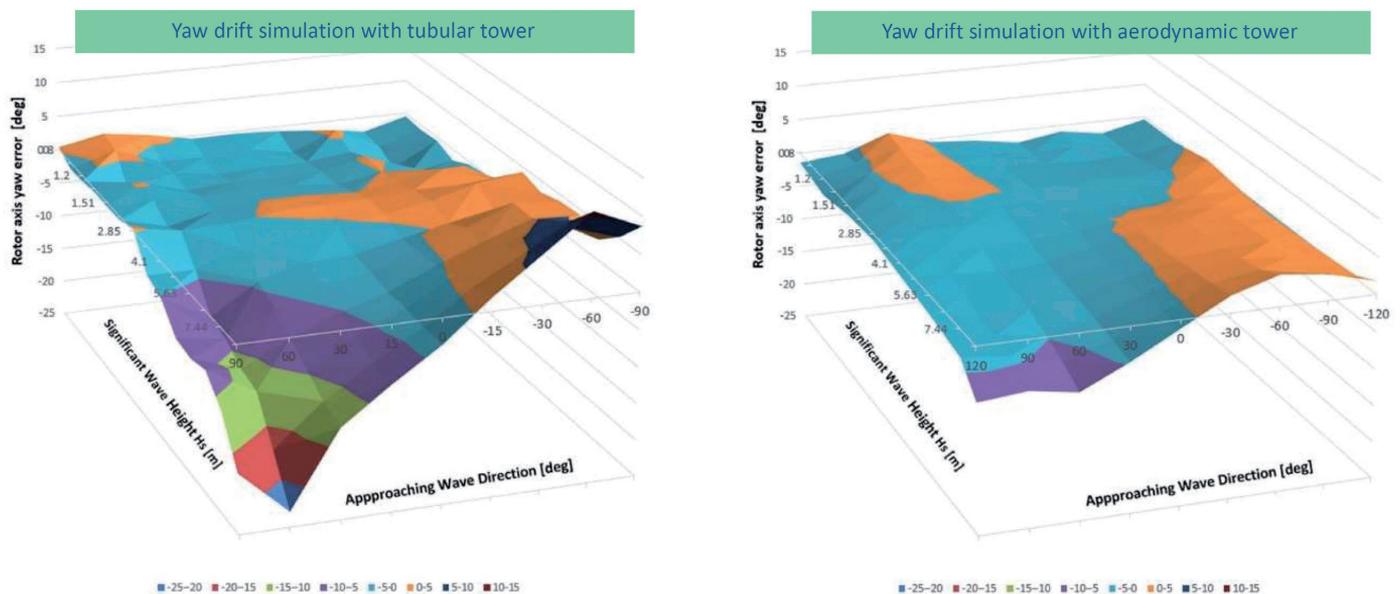


Abb. 7: Gierdrift abhängig von Windwellenversatz mit rundem (links) und mit profiliertem Turm (rechts)

Grafik: DNV GL

Auf Basis der aerodynamischen Anforderungen bezüglich der Selbstausrichtung befindet sich der Turm auf dem leeseitigen Schwimmkörper, der mit zwei Streben mit den mittleren Schwimmern verbunden ist. Der Dreh- und Ankerpunkt befindet sich stets auf der Luv-Seite, um den Hebelarm der selbstausrichtenden Kräfte zu maximieren. Turm und Streben sind zur Optimierung des aerodynamischen Verhaltens als symmetrisch profilierte Querschnitte ausgeführt. Für die Konstruktion wird nur ein versteifter Kastenträger verwendet, während Vorder- und Hinterkante aus Leichtbaumaterial wie glasfaserverstärktem Kunststoff ohne Tragfunktion bestehen.

Die strukturelle Auslegung der Self-Aligner-FOWT für die Fertigung in Standard-Schiffsfertigungsprozessen stellt eine neue Herausforderung dar. Die Extrem- und Ermüdungslasten, die auf eine Windenergieanlage bei der Stromerzeugung wirken, unterscheiden sich erheblich von jenen, die auf ein Schiff wirken. Für die Auslegung und Fertigung der Windenergieanlagen-Tragstruktur mit den Methoden des Schiffbaus müssen daher unterschiedliche Kompromisse hinsichtlich Materialstärke und Fertigungsverfahren eingegangen werden. Aufgrund der begrenzten zulässigen Wandstärke des Mastes und der Streben sind Stabilitätsprobleme der Struktur zu vermeiden. Im Verbundvorhaben HyStOH wurden Versteifungselemente unterschiedlicher Größe in Längs- und Horizontalrichtung hinsichtlich Anzahl und Abmessungen optimiert, um das Gewicht der Struktur zu reduzieren. Das Ergebnis ist in Abbildung 8 dargestellt.

In Bezug auf die Prüfung der Materialermüdung existieren mehrere Standarddetails für Verbindungspunkte von T- und HP-Profilen, die aus der Schiffbauindustrie bekannt sind. Details der für den Ermüdungsnachweis relevanten Bauelemente können durch konstruktive Anpassung zu einer Verringerung der Spannungskonzentrationsfaktoren (SCF) um den Faktor 3 oder mehr führen. Insbesondere die Verbindungen des Turms und der Streben mit den Schwimmkörpern, bei denen die Kräfte auf den Schwimmer übertragen werden, müssen sorgfältig ausgelegt werden. Um alle relevanten Aspekte der Aerodynamik, der Wellenbewegung und des Ankersystems abzudecken, wurden die Lasten auf die SelfAligner-FOWT in einem vollständig gekoppelten Modell analysiert.

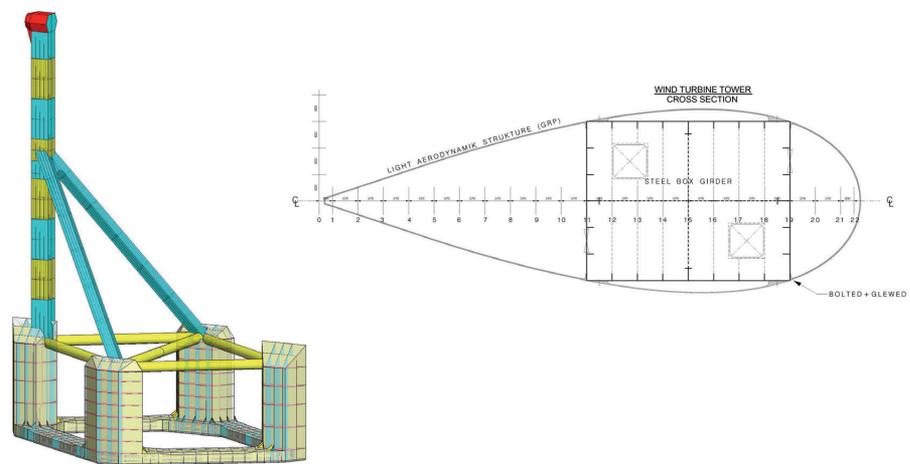


Abb. 8: Optimiertes Design: Gesamtstruktur (links), Querschnitt des Turms (rechts)

Grafik: CRUSE Offshore GmbH

## Logistikkonzept

Um den Anforderungen und Erfahrungen bei der Untersuchung der Montage-logistik Rechnung zu tragen, wurden im Fraunhofer-Center für Maritime Logistik und Dienstleistungen CML Interviews mit allen Projektpartnern geführt. Die Ergebnisse der Interviews und der weiteren Recherchen wurden ausgewertet und in ein Logistikkonzept einbezogen.

## Zusammenfassung

Durch das Verbundvorhaben HyStOH ist es gelungen, die selbstausrichtende Windenergieanlage SelfAligner-FOWT zu entwickeln. Für die Berechnung des Bewegungsverhaltens der Anlage wurde ein Simulationsmodell erstellt, das in der Lage ist, den gekoppelten aero- und hydrodynamischen Einfluss, kombiniert mit den Verankerungskräften, abzubilden. Anhand der Simulationsergebnisse wurde die Geometrie der SelfAligner-FOWT optimiert und unter Berücksichtigung der Fluid-Struktur-Interaktion für die Festigkeit analysiert. Es ergab sich eine im Vergleich zu anderen schwimmenden Windenergieanlagen relativ leichte Struktur, die jedoch aufgrund ihrer gewollt einfachen Konstruktion sehr robust ist. Für den anspruchsvollen Offshore-Einsatz in windreichen Gebieten ist eine solche Anlage geeigneter als eine mit aktiver Windnachführung, sodass die kommerzielle Anwendung möglich ist.

## Literatur

[1] Stefan Netzband, Christian W. Schulz, Ulf Götsche, Daniel Ferreira González, Moustafa Abdel-Maksoud. A panel method for floating offshore wind turbine simulations with fully integrated aero- and hydrodynamic modelling

in time domain. *Ship Technology Research*, 65(3):123–136, September 2018

[2] Stefan Netzband, Christian W. Schulz, Moustafa Abdel-Maksoud. Self-aligning behaviour of a passively yawing floating offshore wind turbine. *Ship Technology Research*, 0(0):1–11, December 2018

[3] Stefan Netzband, Christian W. Schulz, Moustafa Abdel-Maksoud (2018): Assessment of floating and yaw stability of a self-aligning floating offshore wind turbine, in: *Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft* 2018

[4] Stefan Netzband, Christian W. Schulz, Moustafa Abdel-Maksoud (2017): A Fully Coupled Simulation Method for Floating Offshore Wind Turbine Dynamics Using a Boundary Element Method in Time Domain, 10th International Workshop on Ship and Marine Hydrodynamics 2017

[5] Marcel König, Lars Radtke, Alexander Düster (2016): A flexible C++ framework for the partitioned solution of strongly coupled multifield problems, *Computers & Mathematics with Applications*, 72:1764–1789

[6] Bjarne Wiegard, Lars Radtke, Marcel König, Moustafa Abdel-Maksoud, Alexander Düster (2019): Simulation of the fluid-structure interaction of a floating wind turbine, *Ships and Offshore Structures*, DOI: 10.1080/17445302.2019.1565295

[7] Andreas Manjock, Stefan Netzband (2018): Drift stability of HyStOH semi-submersible supported by airfoil shaped structures, *Journal of Physics Conference Series*, DOI: 10.1088/1742-6596/1222/1/012025

[8] Andreas Manjock, Markus S. Starr (2019): Loading and Structural Analysis of the Self-Aligning HyStOH Floating Wind Turbine Concept, 2nd International Offshore Wind Technical Conference 2019

## Die Autoren:

Prof. Dr.-Ing. Moustafa Abdel-Maksoud (TUHH), Prof. Dr.-Ing. Alexander Düster (TUHH), Dr.-Ing. Andreas Bockstedte (DNV GL, Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH, Hamburg), Dr.-Ing. Gerrit Haake (Jörss–Blunck–Ordemann GmbH, Hamburg), Sönke Siegfriedsen (aerodyn engineering GmbH, Büdelsdorf), Jens Cruse (CRUSE Offshore GmbH, Hamburg)

Danksagung: Die Autoren danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Namen des HyStOH-Konsortiums für die Förderung des Verbundprojekts sowie dem Projektträger Jülich für die herausragende administrative Projektbetreuung. Darüber hinaus gilt der Dank den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses, E.ON, Climate & Renewables Central Europe GmbH, nun RWE Renewables GmbH, für die aktive Mitarbeit in diesem Projekt.