

# URANS und DES von Rotorumströmungen für Zustände dynamischer Strömungsablösung

**Unsteady Reynolds-Averaged Navier-Stokes und Detached-Eddy Simulationen von dynamischer Strömungsablösung an großen, reaktiven Rotorblättern von Windenergie-Megastrukturen**

*J.D. Ahrens, L. Stania, J.R. Seume, Institut für Turbomaschinen und Fluid-Dynamik, Leibniz Universität Hannover*

## Kurzgefasst

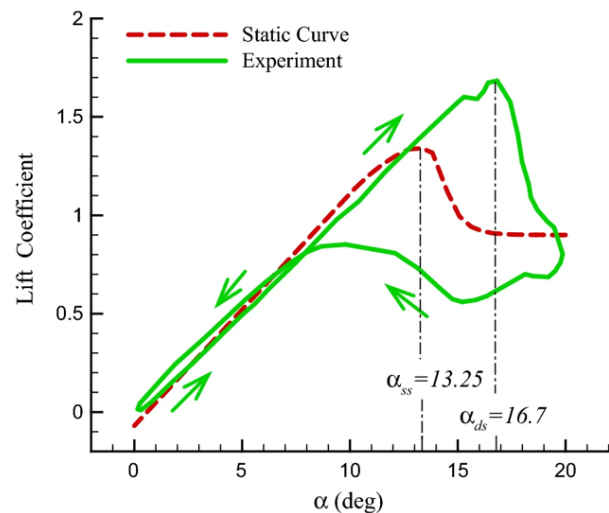
- Unsteady Reynolds-Averaged Navier-Stokes
- Detached-Eddy-Simulation
- Windenergie-Megastrukturen
- Dynamische Strömungsablösung

Die im Rahmen des Ausbaus der Windenergie geforderte Leistungssteigerung heutiger Windenergieanlagen (WEA) führt zu einer Vergrößerung des Rotordurchmessers zukünftiger WEA, da die Leistung einer WEA quadratisch mit ihrem Rotordurchmesser steigt. Die langen, schlanken und flexiblen Rotorblätter derartiger Megastrukturen werden schwingungsanfälliger als heutige Rotorblätter sein. Zu Schwingungen angeregt werden diese z. B. durch eine zyklische Pitchregelung, die Rotor-Turm-Interaktion, die sich bei für Megastrukturen interessanten Lee-Rotorkonfigurationen noch verstärkt, sich zyklisch ändernde Anströmungsbedingungen aufgrund unterschiedlicher Windgeschwindigkeiten während einer Rotorumdrehung in der atmosphärischen Bodengrenzschicht oder durch turbulenzbedingtes Rauschen.

Am Rotorblatt selbst kommt es durch schwingungsinduzierte Geschwindigkeiten oder Turbulenzschwankungen zu starken, transienten Änderungen des Anströmwinkels, wodurch die Strömung am Profil in den Bereich der dynamischen Strömungsablösung kommen kann. Zusätzlich wird die Profilmströmung und deren Ablöseverhalten an zukünftigen Megastrukturen durch über die Höhe variierende Turbulenzintensitäten beeinflusst, wie sie bei Anlagen der bisherigen Größenordnung nicht berücksichtigt werden mussten.

Im Bereich der dynamischen Strömungsablösung treten überhöhte instationäre Lasten auf (Abb. 1), die instationäre, aeroelastische Wechselwirkungen zwischen Strömung und Rotorblatt anregen. Durch diese zusätzliche Anregung werden mechanische Ermüdungslasten eingebracht, die im Fall der Resonanz bis hin zur Zerstörung des

Rotorblatts führen können. Die Berücksichtigung dieser Lasten und der damit verbundenen aeroelastischen Stabilität des Rotorblatts ist daher ein entscheidender Faktor in der Auslegung zukünftiger WEA-Megastrukturen.



**Abbildung 1:** Auftriebskoeffizient eines umströmten Profils in Abhängigkeit des zeitlich veränderlichen Anströmwinkels mit statischem Ablösewinkel  $\alpha_{ss}$  und dynamischen Ablösewinkel  $\alpha_{ds}$  [1]

Die Arbeitshypothese dieses Projekts lautet, dass die dynamische Strömungsablösung bereits während der Auslegung von Rotorblättern zukünftiger WEA-Megastrukturen berücksichtigt werden muss, um aeroelastische Wechselwirkungen zu minimieren. Bisherige Modelle sind dabei nicht anwendbar, da diese auf empirischen Daten beruhen, die für die jeweilige Profilageometrie experimentell bestimmt werden müssen.

Die Hauptinnovation dieses Projekts ist die Entwicklung eines erweiterten reduced-order Modells der dynamischen Strömungsablösung, das die Auslegungsmethodik von Rotorblättern zukünftiger WEA-Megastrukturen verbessert. Diese Neuentwicklung ermöglicht die Vorhersage dynamischer Lasten an Rotorblättern von Offshore-Megastrukturen aufgrund dynamischer Strömungsablösungen bereits während des Auslegungsprozesses. Dazu ist dieses Modell in der Lage, basierend auf typischen Profilauslegungsparametern, den Einfluss unterschiedlicher Profilageometrien auf das Verhalten der dynamischen Strömungsablösung zu model-

lieren, wodurch eine angepasste aerodynamische Auslegung der Rotorblattprofile bzw. die Auslegung robuster und kosteneffizienter Rotorblattstrukturen ermöglicht wird.

Im Rahmen dieses Projekts gilt es, den Zusammenhang zwischen Auslegungsparametern von WEA-Profilen und dynamischer Strömungsablösung samt ihrer aeroelastischen Wechselwirkung mit WEA-Rotorblättern zu erforschen. Zunächst wird dazu ein instationäres Computational-Fluid-Dynamics (CFD-)Modell der Rotorprofilumströmung erstellt und anhand von vorhandenen experimentellen Daten aus der Hubschrauber-Aerodynamik validiert. Dieses CFD-Modell bildet den experimentellen Versuch eins zu eins ab und bietet die Möglichkeit, die dynamische Strömungsablösung und deren allgemeines Verhalten zu untersuchen und Rückschlüsse auf die notwendige Genauigkeit der Modellierung zu ziehen. Diese Erkenntnisse werden anschließend auf ein CFD-Modell für WEA-Profile übertragen und mit Hilfe von Messdaten einer Modellwindenergieanlage überprüft. Mit diesem zweiten Modell wird es möglich sein, den Einfluss verschiedener Profilauslegungsparameter auf die Profillasten bei dynamischer Strömungsablösung an WEA-Profilen systematisch zu untersuchen. Daraus werden dann Erkenntnisse gezogen, die in ein reduced-order Modell der dynamischen Strömungsablösung zur Verwendung in Blade-Element-Momentum (BEM-)Simulationen einfließen. Dieses Modell ist dann in einem iterativen Auslegungsprozess anwendbar.

Der zu erreichende Meilenstein für die beantragte Förderperiode ist die Untersuchung der Korrelation der grundlegenden Profilparameter mit dem dynamischen Strömungsabriss an großen flexiblen Rotorblättern künftiger Megastrukturen (>20 MW). In der vorangegangenen Förderperiode wurde ein URANS CFD-Modell entwickelt und mit experimentellen Daten validiert. Unter Verwendung dieses Modells werden CFD-Simulationen von dynamischer Strömungsablösung an Rotorblättern von WEA-Megastrukturen durchgeführt. Anhand einer Netzstudie wurden die notwendige Netzauflösung und Zeitschrittweite bestimmt, sodass der Rechenaufwand pro Simulation zu  $\approx 2.8 \cdot 10^6$  CPUh abgeschätzt werden kann. Durch Variation der grundlegenden Profilparameter, der Reynolds-Zahl und der Frequenz wird mit den Ergebnissen der Simulationen eine Parameterstudie durchgeführt, um die Sensitivität der Einflussgrößen zu quantifizieren. Zusätzlich werden mit Hilfe der URANS Simulationen Blattbereiche identifiziert an denen die Strömung dynamisch ablöst. Diese Blattbereiche

werden anschließend mit höherwertigen Simulationsansätzen wie DES erneut gerechnet, um den validierten Parameterbereich des URANS-Modell zu erweitern. Außerdem kann durch einen Vergleich der Simulationsansätze die Genauigkeit der URANS Simulationen erhöht werden.

Ähnliche Untersuchungen mit überlagerten Rotationen für Hubschrauberrotoren wurden beispielsweise in [2] durchgeführt. Für vergleichbare Simulationen im Windenergie-Sektor wurden entweder die Pitch-Bewegung vernachlässigt [3] oder kleinere Rotorgeometrien verwendet [4]. Einen guten Überblick über die zukünftigen Herausforderungen in der Windenergieforschung geben [5], die unter anderem die Wichtigkeit dynamischer Strömungsvorgänge an zukünftigen Megastrukturen betonen und die Notwendigkeit ihrer Berücksichtigung bereits im Auslegungsprozess darlegen.

### WWW

<http://www.tfd.uni-hannover.de>

### Weitere Informationen

- [1] McAlister KW, Pucci SL, McCroskey WJ, Garr LW: An experimental study of dynamic stall on advanced airfoil sections, volume 2: pressure and force data. *AVSCOM technical report, Volume 84245 of NASA technical memorandum*, California, (1982).
- [2] Letzgus, J., Gardner, A. D., Schwermer, T., Keßler, M., & Krämer, E.: Numerical investigations of dynamic stall on a rotor with cyclic pitch control. *Journal of the American Helicopter Society* **64**, (1), 1-14, (2019).
- [3] Bangga, G., Lutz, T., Jost, E., & Krämer, E.: CFD studies on rotational augmentation at the inboard sections of a 10 MW wind turbine rotor. *Journal of Renewable and Sustainable Energy* **9**, (2), 023304, (2017).
- [4] Guntur, S., Sørensen, N. N., Schreck, S., & Bergami, L.: Modeling dynamic stall on wind turbine blades under rotationally augmented flow fields. *Wind Energy* **19**, (3), 383-397, (2016).
- [5] Veers, Paul, et al.: Grand challenges in the science of wind energy. *Science* **366**, (6464) (2019).

### Projektpartner

AG: Aeroakustik / Aeroelastik und Windenergie TFD

### Förderung

DFG Sonderforschungsbereich (SFB) 1463