

# Hybrid Methods for Noise Prediction in Aeroacoustic Simulations of a Small Straight-Bladed Darrieus Turbine

Johannes Weber<sup>1</sup>, Stefan Becker<sup>1</sup>, Jens Grabinger<sup>2</sup>, Christoph Scheit<sup>1</sup>, Manfred Kaltenbacher<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institut für Prozessmaschinen und Anlagentechnik, 91058 Erlangen, E-Mail: wb@ipat.uni-erlangen.de

<sup>2</sup> Lehrstuhl für Sensorik, 91052 Erlangen, E-Mail: jens.grabinger@fau.de

<sup>3</sup> Institut für Mechanik und Mechatronik, 1040 Wien, E-Mail: manfred.kaltenbacher@tuwien.ac.at

## Einleitung

Windenergie gewinnt in Deutschland aufgrund des gestiegenen Bewusstseins für die Notwendigkeit ökologisch nachhaltiger Stromerzeugung immer mehr an Bedeutung. Neben den konventionellen Großwindkraftanlagen werden Kleinwindkraftanlagen als eine Möglichkeit angesehen, Windenergie in kleinem Maßstab in bewohnten Gebieten nutzen zu können. Damit die Lärmbelastung auf den Menschen möglichst gering gehalten werden kann, ist es erforderlich, die Leistung im Hinblick auf die Akustik zu optimieren. Im Rahmen des Forschungsvorhabens E|Home-Center [1] werden die Schallentstehungs- und Schallausbreitungsmechanismen von vertikalen Kleinwindkraftanlagen untersucht. Zu diesem Zweck wird ein komplementärer Ansatz gewählt, der aus experimentellen Messungen und numerischen Strömungssimulationen besteht. Die Akustik eines H-Darrieus-Modells wurde in einem aeroakustischen Windkanal vermessen. Diese Daten dienen als Basis für die Validierung der numerischen Aeroakustiksimulation mittels Ffowcs Williams-Hawkings-Analogie (FW-H) [2].

## Numerische Methode

Um die Schallausbreitung des strömungsinduzierten Schalls zu berechnen, wurde ein hybrides Verfahren verwendet. Hybride Verfahren kennzeichnen sich dadurch, dass aufgrund der Disparität der Skalen die Strömungs- und Akustiksimulation getrennt voneinander berechnet werden. Zunächst wurde das Strömungsfeld mit der kommerziellen CFD-Software ANSYS CFX mittels eines instationären RANS-Modells (URANS) simuliert. Anschließend wird die Schallausbreitung mit dem Inhouse-Code SPySI (Sound Prediction by Surface Integration) berechnet, das auf einem Ffowcs Williams-Hawking Verfahren basiert. Dabei werden die Strömungsdaten wie Druck, Dichte und die Geschwindigkeitskomponenten auf eine poröse Integrationsfläche interpoliert und die Schallausbreitung in das Fernfeld berechnet.

## Rotorgeometrie und Randbedingungen

Die Rotorgeometrie des H-Rotors wird in Abbildung 1 dargestellt. Das Modell besteht aus drei symmetrischen NACA 0018 Tragflügelprofilen, welche in einem Abstandswinkel von  $120^\circ$  angeordnet sind. Die Sehnenlänge des Profils beträgt 0,05 m, der Durchmesser und die Höhe des Rotors betragen 0,2 m. Abb. 2 zeigt das Rechengebiet der

CFD-Simulation. Dieses ist in ein rotierendes und in ein stationäres Gebiet aufgeteilt, welche in der transienten Simulation über ein Rotor-Stator-Interface verbunden sind.

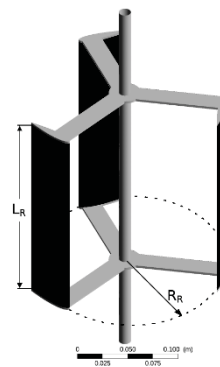


Abbildung 1: CAD-Modell des H-Darrieus-Rotor

Als Randbedingung für den Einlass wurde ein Blockprofil mit der Geschwindigkeit  $v = 21,28$  m/s gewählt. Am Auslass wurde ein relativer Druck von 0 Pa vorgegeben. Die Rotationsgeschwindigkeit der Tragflügel betrug  $n = 800$  rpm. An diesem Betriebspunkt wurde eine Schnelllaufzahl  $\lambda = 2\pi r n / v$  von 0,4 erreicht. Die Reynoldszahl, bezogen auf die Sehnenlänge, liegt bei ca. 84500. Es wurde ein strukturiertes Hexaedergitter, bestehend aus 12,6 Millionen Kontrollvolumen, verwendet.

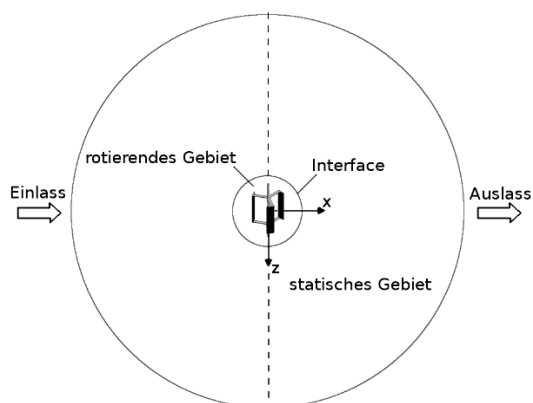


Abbildung 2: Numerisches Rechengebiet der Strömungssimulation

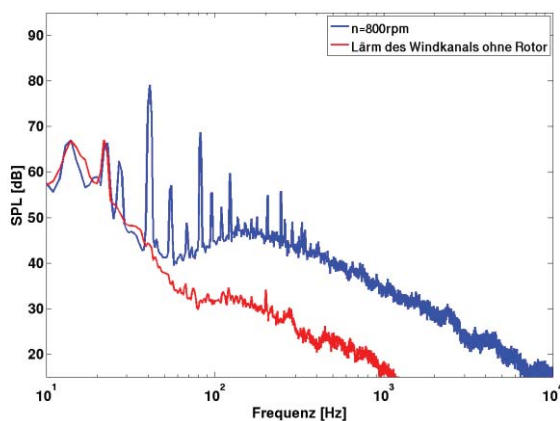
## Ergebnisse

In Abb. 3 sind das Strömungsfeld und die auftretenden Strömungsphänomene ersichtlich. In dieser Darstellung erfolgt die Anströmung von rechts nach links und die Drehrichtung erfolgt entgegen des Uhrzeigersinns. Die Hauptcharakteristika sind zum einen Strömungsablösungen in Abhängigkeit des Anstellungswinkels und zum anderen sich ablösende Blattspitzenwirbel, die mit den nachfolgenden Blättern interagieren. Weiterhin entsteht eine Kármánsche Wirbelstraße an den Blatthinterkanten.



**Abbildung 3:** Darstellung der Interaktion zwischen der Wirbelstruktur eines Blattspitzenwirbels und einem nachlaufenden Rotorblatt als Isofläche der turbulent kinetischen Energie

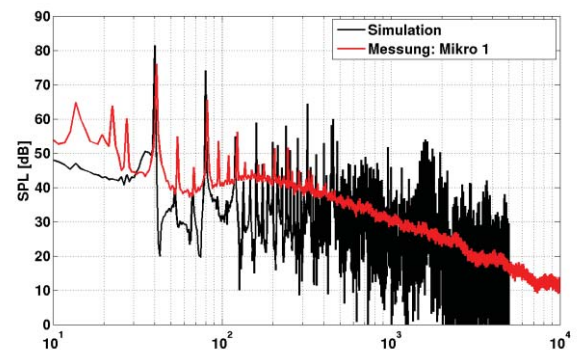
In Abbildung 4 ist das Schalldruckspektrum der Messung dargestellt. Es ist zu erkennen, dass das Schalldruckspektrum des H-Rotors hauptsächlich durch die niederfrequenten tonalen Komponenten charakterisiert wird, die der Blattfolgefrequenz (40 Hz) und ihren höherharmonischen entsprechen. Weiterhin tritt ab ca. 200 Hz Breitbandrauschen auf und wird ab einer Frequenz von 400 Hz die dominante Komponente. Eine Referenzmessung wurde durchgeführt, um die Lärmkomponenten des Windkanals vom Darrieus-Rotor zu unterscheiden.



**Abbildung 4:** Vergleich des Schalldruckspektrums zwischen Messung und Referenzmessung (Lärm des Windkanals ohne Rotor)

Wird das Spektrum der Simulation mit dem des Experiments qualitativ verglichen (siehe Abb. 5), so

ergibt sich eine sehr gute Übereinstimmung im Bereich der tonalen Komponenten. Auffällig ist das Breitbandrauschen der Simulation ab einer Frequenz von 300 Hz. Dies ist auf das Turbulenzmodell (URANS) zurückzuführen, da hier nur großskalige Wirbel modelliert werden können und die kleinskaligen Wirbel vom Turbulenzmodell rausgedämpft werden. Wird die Simulation und das Experiment quantitativ mit Hilfe des Gesamtschalldruckpegels verglichen, so ergibt sich ebenfalls eine sehr gute Übereinstimmung. Im Falle der Simulation beträgt der SPL 82 dB und die Messung 78 dB.



**Abbildung 5:** Vergleich des Schalldruckspektrums zwischen Messung und Akustiksimulation

## Zusammenfassung und Ausblick

Um ein besseres physikalisches Verständnis der Lärmentstehungs- und Lärmausbreitungsmechanismen von vertikalen Windturbinen zu erhalten, wurden numerische und experimentelle Untersuchungen an einem H-Darrieus Modellrotor durchgeführt. Für die Akustiksimulation wurde ein integrales Verfahren von Ffowcs Williams-Hawkings verwendet. Insgesamt ergibt sich eine sehr gute qualitative und quantitative Übereinstimmung mit den experimentellen Messungen. Weiterführende numerische Untersuchungen werden sich mit der Identifizierung der akustischen Quellterme beschäftigen. Ebenfalls wird ein skalenauflösendes Turbulenzmodell wie SAS (Scale Adaptive Simulation) verwendet, um den hochfrequenten Bereich numerisch besser abbilden zu können.

## Literatur

- [1] E|Home-Center Homepage,  
URL: <http://www.ehome-center.de/>
- [2] J.E. Ffowcs Williams and D.L. Hawkings, Sound Generation by Turbulence and Surfaces in Arbitrary Motion, Philosophical Transactions of the Royal Society, Vol. 264, No. 1151, 1969, pp. 321–342.
- [3] C. Scheit, B. Karic and S. Becker, Effect of blade wrap angle on efficiency and noise of small radial fan impellers – A computational and experimental study Journal of Sound and Vibration, No. 331, No. 5, 2012, pp. 996-1010