

# Quantifizierung der globalen Schallemission eines skalierten Flügelprofils mit Hinterkantenklappe für Windenergieanlagen

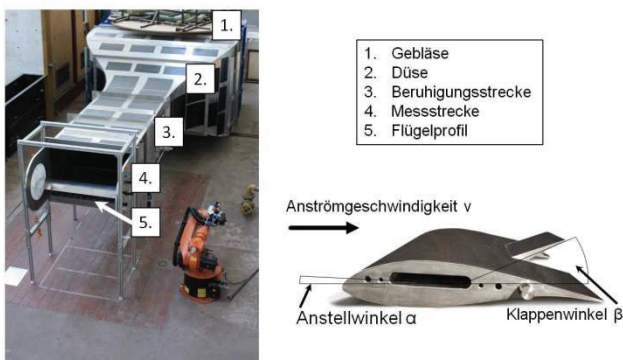
C.R. Brand<sup>1</sup>, J. Seume

Institut für Turbomaschinen und Fluid-Dynamik, 30167 Hannover, <sup>1</sup>E-Mail:brand@tfd.uni-hannover.de

## Einleitung

Windböen und die atmosphärische Scherschicht führen zu hohen dynamischen strukturmechanischen Belastungen der Rotorblättern von Windenergieanlagen (WEA). Diese hohen mechanischen Lasten können zu einer dauerhaften Schädigung der Blätter und zu einem Totalausfall der gesamten Anlage führen. Ein vielversprechendes Konzept zur Lastminderung sind starre Klappen, ähnlichen denen an Flugzeugtragflächen, die an der Hinterkante der Blätter appliziert werden. Jedoch haben experimentelle akustische Untersuchungen von Klappenprofilen aus der Luftfahrt eine erhöhte Schallemission gezeigt [1]. Ursächlich hierfür ist die höchst turbulente, periodisch instationäre Strömung im Bereich der Seitenkante der Klappen. Diese verursacht dominante Schallquellen, wodurch die globale Schallemission des gesamten Profils signifikant erhöht wird. Es ist daher zu erwarten, dass die Übertragung des Klappenkonzepts aus der Luftfahrt auf Rotorblätter auch zu einer erhöhten globalen Schallemission der WEA Blätter führen wird. Dieser Lärm würde vermutlich auch von den Anwohnern der Anlagen wahrnehmbar sein. Dabei ist das Maß der Lärmbelastigung der Anwohner durch WEA eines der Hauptkriterien für deren Akzeptanz [2]. Daher erfolgt im Verbundprojekt Smart Blades u.a. eine experimentelle Untersuchung zu den akustischen Eigenschaften eines WEA Profils mit starrer Klappe.

Für diese akustischen Untersuchungen ist am Institut für Turbomaschinen und Fluid-Dynamik der Leibniz Universität Hannover ein Prüfstand mit einem Versuchsprofil mit Hinterkantenklappe aufgebaut worden (s. Abb. 1).



**Abbildung 1:** Prüfstand und Versuchsprofil zur aeroakustischen Untersuchung eines Profils mit starrer Hinterkantenklappe im Rahmen des Verbundprojekts Smart Blades

Der Prüfstand ist ein Niedergeschwindigkeitsfreistrahler und besteht aus einem Gebläse mit angeschlossener Düse und Beruhigungsstrecke. Die Messstrecke schließt direkt an die Beruhigungsstrecke an und dient der Aufnahme

akustischer Messtechnik und des Versuchsprofils. Das Profil entstammt einer typischen Profildfamilie für Rotorblätter und verfügt über eine starre Klappe an der Hinterkante. Die Klappe ist mittig an der Hinterkante appliziert und hat eine Sehnenlänge von 30 % der Sehnenlänge des Hauptprofils, sowie eine Spannweite von 30 % der gesamten Spannweite. Mit dem Prüfstand können insgesamt drei Versuchsparameter systematisch variiert werden:

1. Anströmgeschwindigkeit des Profils
2. Anstellwinkel des Profils
3. Klappenwinkel der starren Hinterkantenklappe.

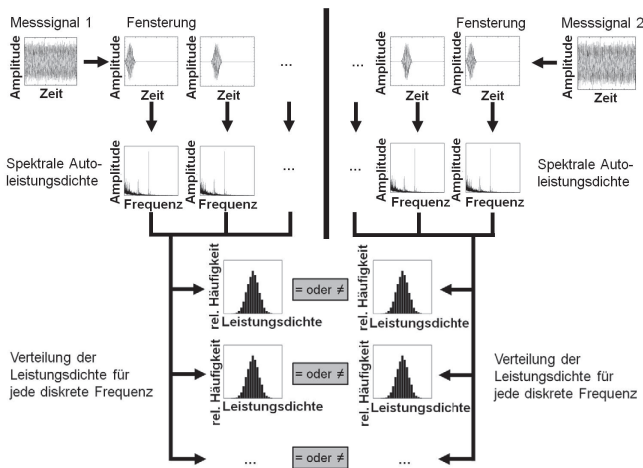
## Zielsetzung und Methodik

Das Ziel der ersten experimentellen akustischen Untersuchungen ist die Bestimmung der Sensitivität der globalen Schallemission des Profils hinsichtlich der Anströmgeschwindigkeit und des Klappenwinkels. Die Untersuchung erfolgt unter der Annahme, dass das Flügelprofil und die Variation der beiden Versuchsgrößen einen statistisch messbaren Einfluss auf die Autoleistungsdichte der globalen Schallemission des Profils hat. Die Signifikanz des Einflusses wird mit Hilfe statistischer Signifikanztests herausgearbeitet.

Für die Analyse erfolgt zuerst eine Aufnahme der globalen Schallemission an einer gleichbleibenden Position in der Messstrecke für folgende Konfigurationen:

1. Messstrecke ohne Flügelprofil
2. Messstrecke mit Flügelprofil bei verschiedenen Klappenwinkeln.

Für beide Konfigurationen wird jeweils die gleiche Anströmgeschwindigkeit eingestellt. In der anschließenden Datenverarbeitung erfolgt die Aufbereitung der Daten, sowie die Durchführung der statistischen Signifikanztests (s. Abb. 2). Dazu wird jedes Messsignal in äquidistante Signalblöcke zerlegt und auf jeden einzelnen Signalblock ein Hamming-Fenster angewendet. Anschließend wird für jeden gefensterten Signalblock die spektrale Autoleistungsdichte der globalen Schallemission bestimmt. Somit kann für je einen verarbeiteten Signalblock ein Wert der Autoleistungsdichte zu jeder aufgelösten Frequenz extrahiert werden. Da die spektrale Autoleistungsdichte für alle Signalblöcke einzeln bestimmt wird, stehen zu jeder diskreten Frequenz mehrere Werte aus den einzelnen Autoleistungsdichten zur Verfügung. Daraus kann eine statistische Verteilung der Autoleistungsdichte für jede Frequenz und für jedes einzelne Messsignal aufgebaut werden.



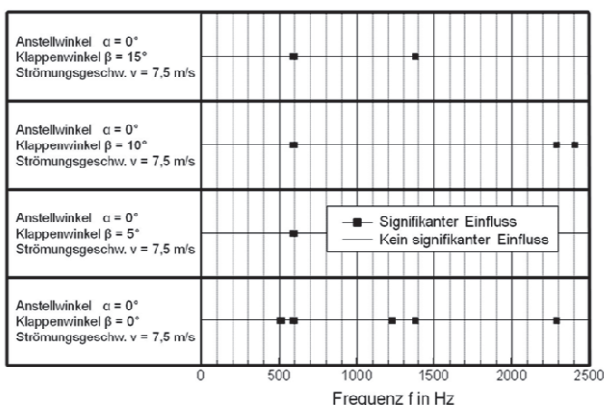
**Abbildung 2:** Statistische Methodik zur Analyse der Sensitivitäten der globalen Schallemission des Flügelprofils mit Klappe

Abschließend erfolgt die Durchführung der statistischen Signifikanztests. Dazu wird für jede aufgelöste Frequenz überprüft, ob eine Überschneidung der 63 %-Schwankungsintervalle der Verteilungen vorliegt. Eine nicht vorliegende Überschneidung bedeutet, dass das Flügelprofil mit dem jeweilig betrachtetem Klappenwinkel für die untersuchte Frequenz einen statistisch messbaren signifikanten Einfluss auf die globale Schallemission hat. Für jeden Test werden Verteilungen der Autoleistungsdichte zweier Messsignale herangezogen. Beide Signale entstammen einer Messung mit gleicher Anströmgeschwindigkeit, jedoch einmal ohne und einmal mit Profil bei verschiedenen Klappenwinkeln.

### Ergebnisse

In Abb. 3 und Abb. 4 sind die Ergebnisse der Signifikanztests für verschiedene Klappenwinkel und für verschiedene Anströmgeschwindigkeiten im Frequenzband 0...2500 Hz dargestellt. Ein identifizierter signifikanter Einfluss ist mit einem schwarzen Rechteck markiert.

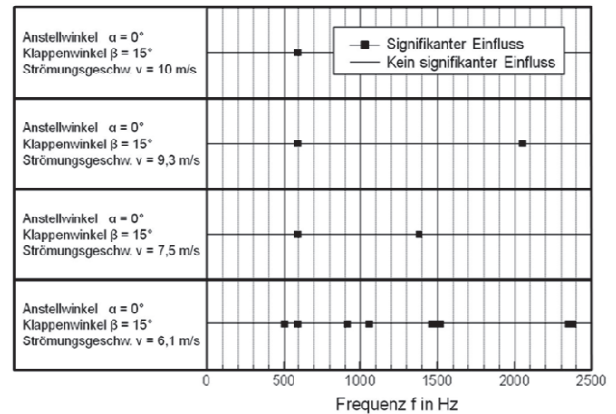
Variation des Klappenwinkels



**Abbildung 3:** Ergebnisse der Signifikanzanalysen für verschiedene Klappenwinkel und gleichbleibender Anströmgeschwindigkeit

Im Frequenzbereich 550...600 Hz verursacht das Flügelprofil einen signifikanten Einfluss auf die globale Schallemission für alle betrachteten Klappenwinkel und Anströmgeschwindigkeiten.

Variation der Anströmgeschwindigkeit



**Abbildung 4:** Ergebnisse der Signifikanzanalysen für verschiedene Anströmgeschwindigkeiten und gleichbleibendem Klappenwinkel

Vereinzelt liegt auch ein signifikanter Einfluss für höhere Frequenzen ( $f > 1000$  Hz) vor, jedoch ist kein funktionaler Zusammenhang zur Variation des Klappenwinkels (vgl. Abb. 3) und zur Variation der Anströmgeschwindigkeit (vgl. Abb. 4) erkennbar.

### Schlussfolgerung und Ausblick

Die Sensitivitätsanalyse der globalen Schallemission eines WEA Profils mit Hinterkantenklappe hinsichtlich der Anströmgeschwindigkeit und des Klappenwinkels auf Basis statistischer Signifikanztests deutet auf keine erkennbare funktionale Abhängigkeit hin. Der im Frequenzband 550...600 Hz identifizierte signifikante akustische Einfluss auf die globale Schallemission ist unabhängig von den variierten Versuchsparametern. Hinterkantenschall des Profils könnte eine Ursache der erhöhten Schallemission sein, da er weitgehend unabhängig von den variierten Versuchsgrößen ist. Diese Hypothese wird in einer zukünftigen Messreihe unter Einsatz einer akustischen Kamera zur Lokalisation von Schallquellen am Profil überprüft. Für die einzelnen signifikanten Einflüsse im Frequenzbereich  $f > 1000$  Hz ist ebenfalls kein Trend mit der Variation der Versuchsgrößen erkennbar. Auch für diese Frequenzen wird eine Analyse mit Hilfe der akustischen Kamera spezifischere Aussagen zur Ursache der erhöhten Schallemission ermöglichen.

### Danksagung

Diese Arbeit wurde im Rahmen des Projektes Smart Blades durch das BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) unter dem Förderkennzeichen 0325601A/B/C/D auf Beschluss des Deutschen Bundestages gefördert.



### Literatur

[1] Fink, M.R.; Schlinker, R.H.: Airframe Noise Component Interaction Studies. Journal of Aircraft 17 (1980)  
 [2] VDI – Fachauschuss Regenerative Energien (2012): Statusreport 2012. Regenerative Energien in Deutschland