

## **Darstellung der Durchführung einer Rotorunwuchtmessung an Windenergieanlagen durch die Firma cp.max Rotortechnik GmbH**

### **1 Grundlegende Messbedingungen**

Windbedingungen:

- Konstante Windgeschwindigkeit (nicht böig)
  - o mind. 5 – 6 m/s bei Messung im Leerlauf
  - o mind. 8,5 – 12 m/s bei Messung im Lastbetrieb  
(abhängig vom Anlagentyp, z.B. Stall-WEA)

Messdauer:

- Je nach Anlagentyp sollten 400 bis 600 Rotorumdrehungen gewählt werden. Je nach Drehzahl ergibt sich damit eine Beurteilungs- bzw. Messdauer von 15 – 60 min.

Die Einstellung der Anlagenparameter für eine konstante Drehzahl erfolgt durch einen Techniker vor Ort oder alternativ durch die Fernüberwachung.

### **2 Durchführung der Schwingungsanalyse**

#### **2.1 Untersuchung des Wuchtzustandes des Rotors**

Prinzipiell erfolgt die Messung der Rotorunwucht nach der Richtlinie VDI 3834, hier insbesondere nach Anhang B.

Um die Anlage und ihr Schwingverhalten bzgl. Rotorunwuchten einschätzen zu können, wird eine erste Schwingungsmessung durchgeführt.

Dazu werden in der Gondel Messungen mittels Beschleunigungssensor, Drehzahlgeber und Schwingungsmessgerät durchgeführt. Diese Messgeräte messen die Drehzahl und die Schwingbeschleunigungen über das Zeitsignal. Es werden die Turm- Gondel- Schwingungen axial und radial zur Rotordrehachse gemessen.

Der Beschleunigungssensor wird am Hauptlagergehäuse oder einer anderen geeigneten Stelle im Maschinenhaus, befestigt und nimmt dabei die dort entstehenden axialen und radialen Schwingungen

auf. Laut VDI 3834 sollte er an einer Stelle angebracht werden, die die Einwirkung von dynamischen Kräften signifikant widerspiegelt und den gesamten Schwingungszustand der Maschine, der Gondel und des Turmes beschreibt. Der Drehzahl- und Phasenreferenzgeber wird an der langsamen Welle und dem Wellengehäuse montiert und misst so die Rotor-Drehzahl und die Phase der Unwucht des Rotors. Eine Messung dauert in der Regel 400-600 Rotorumdrehungen und wird erst gestartet, wenn die Anlage die fest eingestellte Drehzahl erreicht hat. Dafür wird meist die Nenndrehzahl verwendet, um den Betriebsfall mit der höchsten Rotordrehzahl darzustellen. Die Messungen erfolgen üblicherweise im Leerlauf bei konstant eingestellter Drehzahl, um eine Reproduzierbarkeit der Messungen zu gewährleisten. Messungen im „normalen“ Betriebszustand der Anlage sind auf Grund der Drehzahlschwankungen nicht vorgesehen. Eine Ausnahme sind Stall-WEA, da an diesen Anlagentypen keine Drehzahlvorgabe ohne Generatorlast möglich ist.

Aus den gemessenen Schwingungsdaten werden sogenannte Ordnungsspektren generiert. In dieser speziellen Form des Frequenzspektrums fällt die Rotordrehfrequenz mit der Schwingung bei 1P zusammen. Eine Schwingung in 1P tritt also genau ein Mal pro Rotorumdrehung auf und ist somit direkt mit einer möglichen Unwucht in Verbindung zu bringen.

Es werden 1P-Schwingungen in axialer (fore-and-aft) und in radialer (side-and-side) Richtung in Bezug auf die Rotorachse ermittelt. Des Weiteren werden die Phasenwinkel der Rotorunwucht ermittelt. Aus den 1P-Schwingungsamplituden und den Phasenwinkeln werden anschließend die Urvektoren der Rotorunwucht ermittelt und für die weitere Berechnung verwendet.

Entscheidend bei der Behebung der Unwucht ist, zuerst die aerodynamische Unwucht und anschließend die Massenunwucht zu beheben, da eine Beeinflussung der radialen Schwingung durch eine evtl. vorliegende aerodynamische Unwucht zu beachten ist.

Eine Übersicht über den erläuterten Ablauf ist im Anhang dargestellt.

## **2.2 Ermittlung einer aerodynamischen Unwucht**

Ursache für die aerodynamische Unwucht ist in den meisten Fällen eine nicht synchrone Blattstellung, die zu einer Leistungsabnahme und Schwingungsanregung der Windenergieanlage führt. Sind die Werte für die Schwingungsamplitude in axialer Richtung über dem zulässigen Grenzwert, wird eine Blattwinkelvermessung oder Test-Pitch-Messung empfohlen/durchgeführt, um den Einfluss der aerodynamischen Unwucht zu bestimmen.

Durch eine optische Blattwinkelvermessung kann die Abweichung der einzelnen Blätter zueinander sehr genau überprüft und ggf. minimiert werden. Außerdem kann, bei Kenntnis des entsprechenden

Verwindungswinkel, die Differenz des eingestellten Blattwinkels zum Sollwinkel bestimmt werden. Ein optimaler Anlagebetrieb ist nur durch korrekt eingestellte Blattwinkel zu gewährleisten.

Eine weitere Möglichkeit, um die axialen Schwingungsamplituden zu senken und keine Blattwinkelvermessung durchführen zu müssen, ist die Durchführung einer Test-Pitch-Messung. Hier wird einer der drei Blattwinkel definiert modifiziert, um anschließend einen erneuten Testlauf zu fahren. Durch den Vergleich beider Messungen ist es nun möglich die Unwucht zu lokalisieren und ferner eine Blattwinkelkorrektur vorzugeben, um die Schwingungen zu minimieren.

### **2.3 Ermittlung der Massenunwucht**

Um zu ermitteln, ob eine unzulässige Massenunwucht vorliegt, wird anschließend ein Testlauf mit definierter Massenunwucht durchgeführt. Dabei wird eine definierte Testmasse bei einem definierten Radius in eines der Rotorblätter eingebracht. Die Lage der Testmasse ist abhängig vom Aufbau des Rotorblatt-Typs. Mit dieser Testmasse wird eine erneute Schwingungsmessung durchgeführt. Aus dem Ur- und Testlauf kann dann die Unwucht mithilfe der Analysesoftware bestimmt werden. Als zulässige Massenunwucht gilt eine Abweichung von 0,1 % bis 0,5 % des mittleren statischen Moments der Rotorblätter eines Blattsatzes bzw. die in der jeweiligen Typenprüfung angegebene Gesamtunwucht des Rotors. Diese Angaben sind abhängig vom Anlagen- und Blatthersteller. Durch die Testmessung kann ein anlagenspezifischer Grenzwert für die 1P-Schwingungsamplitude berechnet werden. Wird dieser Grenzwert überschritten, muss der Rotor ausgewuchtet werden.

## Anhang

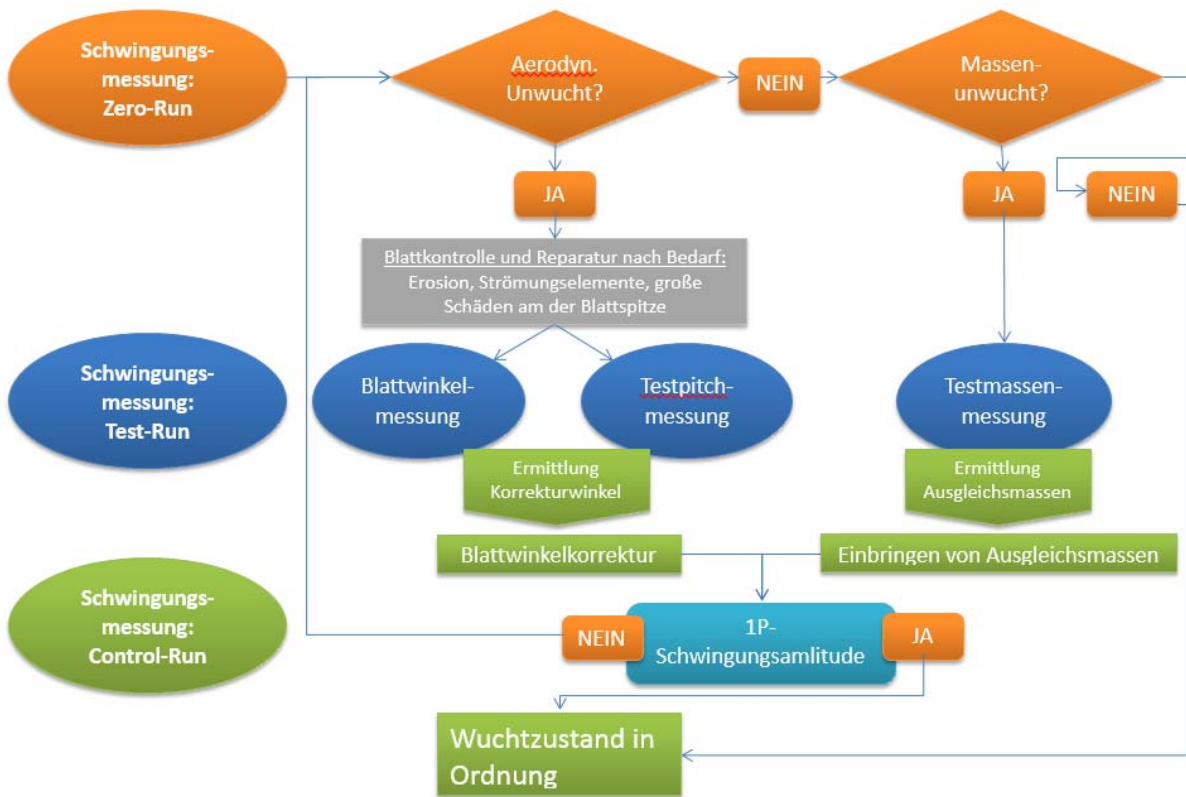


Abb. 1\_Verfahrensablauf Unwuchtmessung

Leistungsposition	Beschreibung der Leistung	Ziel der Leistung
1. Urmessung	Einfache Schwingungsmessung im Urzustand	Feststellung, ob signifikante Anregung durch Massenunwucht oder signifikante Anregung durch aerodynamische Unwucht <sup>1)</sup>
2. Blattwinkelvermessung	Fotometrische Vermessung der relativen Blatteinstellwinkel (mit Radiusangabe zum 0°-Twist auch absolute Einstellung ermittelbar)	Ermittlung der Ursache der aerodynamischen Unwucht zur weiteren Korrektur
3. Test-Pitch-Messung	Schwingungsmessung mittels Test-Pitch (nur in Kombination mit Pos. 1)	Kalibriermessung mit Testwinkel und/oder Ermittlung der vorhandenen Blattwinkeldifferenz
4. Test-Massenmessung	Schwingungsmessung mittels Testmasse (nur in Kombination mit Pos. 1)	Kalibriermessung mit Masse und/oder Ermittlung der vorhandenen Massenunwucht
5. Blattwinkelkorrektur	Einstellung der Blattwinkel lt. Korrekturvorschlag	Korrektur der ermittelten aerodynamischen Unwucht
6. Auswuchten	Einbringen von Ausgleichsmassen lt. Wuchtvorschlag	Korrektur der ermittelten Massenunwucht

Tab. 1\_Angebote Leistungen

- 1) Bei vorhandener signifikanter aerodynamischer Rotorunwucht ist eine Beurteilung bzgl. einer Massenunwucht durch einen einfachen Urlaub nicht möglich. Die aerodynamische Unwucht mus zunächst weitgehend beseitigt werden!