



Wenn die Offshore-Windturbine im Takt der Wellen schwingt, kann es gefährlich werden. Diese hier steht aber felsenfest im Wasser. Wir haben grafisch etwas nachgeholfen.

# Stillgestanden!

Beginnt der Turm zu schwingen, sinkt seine Lebensdauer dramatisch. Dagegen gibt es Mittel. Und die könnten bald noch wichtiger werden.

Ein heiterer Tag auf der Nordsee. Gemächlich schwappen die Wellen gegen die Gründung der Offshore-Turbine. Und weil die gleichmäßigen Bewegungen so gut mit der Turbine harmonieren, fängt sie an, ein wenig mitzuschwingen. Der Tanz wird wilder, die Windenergieanlage beginnt zu schaukeln, immer stärker, bis sie schließlich schief steht. Ein Horrorszenario für den Statiker.

Wird am Materialeinsatz gespart, kann so etwas leicht passieren. Denn was an Land noch standfest ist, wird auf dem Meer leicht zum Opfer der Wellen. In der Nordsee dominieren Wellengangfrequenzen zwischen 0,15 und 0,3 Hertz. Die liegen genau im Bereich der Eigenfrequenzen der Windtürme. Vereinfacht gesagt ist die Eigenfrequenz eines Körpers die Frequenz, mit der er zu schwingen beginnt, wenn er von außen angeregt wird. Eine Stimmgabel etwa hat eine Eigenfrequenz von 440 Hertz – die hört man, wenn man sie anstößt.

## Die einfachste Lösung ist teuer

Regen die Wellen einen Windturm nun gleichmäßig mit seiner Eigenfrequenz an, werden die Schwingungen immer stärker, bis die Struktur nachgibt. Das Problem ist leicht lösbar, aber teuer: Mit mehr Material, dickeren Stahlwänden erhöht man die Frequenz des Turms, damit der Windpark nicht im Takt des Meeres tanzt.

Alternativ zu dieser Materialschlacht ist es möglich, Turmschwingungsdämpfer einzusetzen. In der Vergangenheit scheuten Turbinenhersteller das jedoch, denn auch die Dämpfer haben ihren Preis. Nun hat ein Forschungsunternehmen aus Österreich einen neuartigen Flüssigkeitstilger entwickelt und behauptet selbstbewusst: „Der finanzielle Vorteil unseres Tilgers kann bis zu 20 Prozent der Turmkosten betragen.“ Das sagt Andreas Kluibenschedl, Geschäftsführer der RED Bernard GmbH. In den 20 Prozent Kostenersparnis sollen die Investitionskosten für den Tilger bereits enthalten sein.

Schwingungstilger funktionieren nach einem einfachen Prinzip. Sie antworten auf einen Erregerimpuls mit einem Gegenimpuls. Das kann zum Beispiel ein schweres Pendel im Kopf des Turms sein, das entgegengesetzt zur Erregerschwingung pendelt und sie so neutralisiert.

Flüssigkeitstilger werden häufig im Hochbau zur Dämpfung von Erdbebenshwingungen oder auch im Schiffbau eingesetzt, in der Windindustrie hat es sie bislang nicht gegeben. „Unser Tilger redu-

ziert die Turmschwingung um 80 bis 90 Prozent“, sagt Kluibenschedl. Wie genau der Tilger aussieht, könne das Unternehmen aus Schutzrechtgründen nicht sagen. Eine Animation auf der Homepage zeigt aber die grundsätzliche Funktionsweise. Dort ist eine Art U-förmiges Rohr im oberen Turmteil zu sehen, das mit einer Flüssigkeit gefüllt ist. Die Trägheit des Wassers schluckt die ankommende Bewegungsenergie und wandelt sie in Wärme um. Getestet wurde die Entwicklung im Originalmaßstab auf einem Rütteltisch.

Individuelle Entwicklungsherausforderung der Konstruktion ist es, die Geometrie des Tilgers so anzupassen, dass die Flüssigkeit exakt der Eigenfrequenz des jeweiligen Turms entspricht.

## Ein Viertel weniger Material

Die Installation auf See ist dagegen laut RED Bernard verhältnismäßig einfach, da der Tilger zunächst nur ein geringes Gewicht hat. Erst wenn er mit der frostsicheren Flüssigkeit befüllt worden ist, erreicht er sein Arbeitsgewicht. „Das liegt bei maximal vier Prozent des Gesamtgewichts“, sagt Kluibenschedl. Für eine Offshore-Turbine mit 650 Tonnen vom Turmfuß bis zur Rotorblattspitze bedeutet das ein Zusatzgewicht von rund 25 Tonnen.

Gleichzeitig soll der Tilger laut Unternehmen bis zu 25 Prozent Materialeinsparung im Turm ermöglichen. Dafür muss man allerdings die individuelle Turmkonstruktion beachten. Der Schwingungsdämpfer hat nur Auswirkung auf die Ermüdungslasten. Der Lebensdauernachweis für die Extremlasten, auf die der Dämpfer keinen Einfluss hat, muss trotz Materialeinsparung gewahrt bleiben.

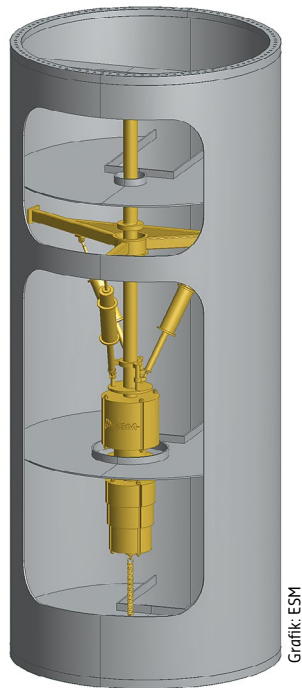
Sollte sich die versprochene Materialeinsparung bewahrheiten, könnten Turmschwingungsdämpfer auf See ein effizienter Weg werden, die Kosten zu senken. Angebote für Offshore-Tilger gibt es schon mehrere. Das Ingenieurbüro Wölfel beratende Ingenieure hat bereits 2011 einen aktiven Schwingungstilger für Fünf-Megawatt-Offshore-Anlagen entwickelt. Und auch der hessische Schwingungstechnikspezialist ESM ist laut eigener Aussage in der Lage, sein Onshore-System gegen Turmschwingungen aufs Meer auszuweiten.

Selbst wenn die Materialkostenersparnis durch die Dämpfer geringer ist als erwartet, könnten sie unter bestimmten Voraussetzungen in der künftigen Entwicklung des Offshore-Geschäfts an Bedeutung gewinnen, sagt Peter Schaumann, Leiter

„Der finanzielle Vorteil unseres Tilgers kann bis zu 20 Prozent der Turmkosten betragen.“

Andreas Kluibenschedl,  
Geschäftsführer  
RED Bernard GmbH

Der Turmschwingungstilger von ESM basiert auf der trägen Masse eines Pendels: Eine Art beweglicher Stab mit Gewichten am unteren Ende und schräg verlaufenden hydraulischen Dämpfern. Die Kette unten im Bild dient der Feinjustierung der Frequenz nach der Montage.



Grafik: ESM

des Instituts für Stahlbau der Leibniz Universität Hannover. „In der Offshore-Windenergie gibt es drei wesentliche Bemessungskriterien für das Design der Tragstrukturen: Tragsicherheitsnachweise gegen die Extrembeanspruchungen aus Wind und Seegang, Nachweise gegen die Ermüdungsbeanspruchung in der betrachteten Lebensdauer und die Resonanzabstimmung gegen die Erregerfrequenzen aus dem Betrieb der Anlage.“

Je nachdem, für welches der drei Kriterien die Anlagen optimiert werden, fällt das Ergebnis des Designprozesses anders aus. In der Regel wird die Resonanzabstimmung so gewählt, dass die erste Eigenfrequenz der Tragstruktur zwischen der Rotor- und der Blattfrequenz liegt. Bei Anregung dieser ersten Eigenfrequenz vollzieht der gesamte Turm leichte Kippbewegungen nach vorn und hinten. Daher sollten Rotor und Blätter tunlichst eine andere Frequenz haben, um nicht mit dem Turm zu interagieren. Was aber bleibt, sind mögliche Anregungen des Turms durch Windlasten oder Wellen.

Künftig könnte eines der drei Bemessungskriterien durchschlagen, sagt Schaumann. Etwa wenn 30 oder 40 Meter Wassertiefe mit sogenannten XXL-Monopiles erschlossen werden, die die stabileren, aber auch teureren Jacket-Gründungen oder Tripods ersetzen. „Dann könnte die Abstimmung der Resonanz auf die Rotorfrequenz das designgebende Kriterium werden“, sagt Schaumann. Schwingungsdämpfer könnten hier hilfreich sein. Ihr Einsatz würde damit bedeutsamer. Doch auch an Land steigen die Anwendungsfelder. „Bei sehr hohen schlanken Türmen kann es ein Thema werden“, sagt Schaumann.

Das bestätigt Tobias Schumacher, Entwicklungsleiter bei der ESM GmbH, die Schwingungs-

technik für Windkraftanlagen entwickelt. „Die höheren Türme werden schwingungsanfälliger, was Tilger wichtiger macht.“ ESM baut Dämpfer für Getriebe, Generatoren und andere Komponenten der Windturbine. Im Bereich Turmschwingung steigt langsam das Interesse. ESM hat bisher rund 50 Anlagen mit Turm-Schwingungstilgern ausgestattet.

In der Regel haben Windturbinen zwei Eigenfrequenzen, die angeregt werden können. Für beide bietet ESM verschiedene Schwingungstilger. Zur Erinnerung: In der ersten Eigenfrequenz vollzieht der gesamte Turm leichte Wankbewegungen. Sie kann durch Windlasten oder Rotorlasten wie Unwuchten angeregt werden. In der zweiten Eigenfrequenz ist die Schwingung bei etwa zwei Drittel Turmhöhe am stärksten. Hier vollzieht der Turmkopf eher eine Drehbewegung, ausgelöst beispielsweise durch Torsionsschwingungen des Triebstrangs.

Zur Dämpfung der ersten Eigenfrequenz setzt ESM große mechanische Pendel ein. Das ist, vereinfacht gesagt, ein beweglich gelagerter Stab, der am unteren Ende mit schweren Gewichten versehen ist. Von dort laufen – abhängig vom Turm – meist drei hydraulische Dämpfer schräg nach oben zur Turmwand. Sie sind wesentlich für die Funktionsweise des Tilgers verantwortlich. Zuletzt hat ESM diese Dämpfer soweit verbessert, dass ihre Dämpfungseigenschaften über einen Bereich von minus 40 bis plus 60 Grad Celsius unverändert bleiben. „Bei herkömmlichen Hydraulikdämpfern ändern sich die Dämpfungseigenschaften in diesem Temperaturbereich um den Faktor zehn“, sagt Schumacher.

## Schwungbremse Pitch-System

Alternativen zum Turmdämpfer hat in den letzten Jahren das Fraunhofer IWES untersucht: Mit einer gezielten Blattwinkelverstellung sollten die Schwingungen abgefangen werden. „Das ist getestet und funktioniert“, sagt Martin Shan, Abteilungsleiter Regelungstechnik beim Fraunhofer IWES. Der Vorteil: Dieses Konzept benötigt keine zusätzliche Hardware.

Einsetzen lässt sich das vor allem in einem Bereich: „Es ist eher eine Lösung für kurzzeitige hohe Belastungen, zum Beispiel bei auftretenden Erregungen bei Böen und Windgeschwindigkeitsänderungen“, sagt Shan. Für den Dauereinsatz – etwa um Ermüdungslasten zu reduzieren und schlankere Türme zu bauen – ist das Konzept weniger geeignet, da es das Pitch-System beansprucht. Weitgehend machtlos ist es auch bei Seitwärtsschwingungen, die nicht aus der Windrichtung kommen. Diesen Fall gibt es besonders auf See, wenn die Richtung der Wellen und des vorherrschenden Windes nicht miteinander korrelieren. Die optimale und erprobte Lösung, um heutigen und künftigen Schwingungen Herr zu werden, ist noch nicht gefunden. Doch mit den Vorstößen im Binnenland und auf See sollte der Innovationsdruck steigen. ■ DENNY GILLE