

Abs	Neue Energie (9 / 2013)	Joule (11 / 2013)	Abs
	<b>Flügel außer Form</b> (Sascha Rentzing)	<b>Rotorblätter außer Form</b> (Sascha Rentzing)	
0	Wenn die Drehungen des Turbinenrotors aus dem Gleichgewicht geraten, drohen Ertragsausfälle und Schäden. Regelmäßige Messungen und Auswuchtungen können ungleiche Blätter früh erkennen.	Ertragseinbußen   Wenn sich Turbinenflügel nicht gleichmäßig drehen, drohen Ertragsausfälle und Schäden. Regelmäßige Messungen können ungleiche Blätter frühzeitig identifizieren,	0
	Dennoch: Betreiber sind skeptisch.	doch Betreiber zeigen wenig Interesse.	
1	Die jüngste Rotorblatt-Statistik des Windenergie-Dienstleisters Berlinwind sorgt in der Branche für Diskussionen.	Der Windenergie-Dienstleister Berlinwind sorgt mit seiner jüngsten Rotorblatt-Statistik für Diskussionen. In den vergangenen zehn Jahren haben die Ingenieure fast 800 Rotorauswuchtungen und 750 Blattwinkelmessungen an rund 1.000 Anlagen vorgenommen.	1
	112 von 250 Turbinen, die das Unternehmen ohne konkreten Verdacht untersucht hat, weisen aufgrund ungleicher Flügel kritische Unwuchtschwingungen auf.	Dabei zeigte sich: Fast die Hälfte der Turbinen weist aufgrund ungleicher Flügel kritische Unwuchtschwingungen auf.	
	Die Grenzwerte, ab wann die Drehungen eines Rotors als bedenklich gelten, sind für jeden Anlagentyp in der Zertifizierung festgelegt. Werden sie überschritten, rütteln zu starke Kräfte an der Turbine — die Blätter arbeiten ungleich und das Risiko von Schäden an empfindlichen Komponenten wie dem Getriebe steigt.	Die Grenzwerte, ab wann die Drehungen eines Rotors als bedenklich gelten, sind für jeden Anlagentyp in der Zertifizierung festgelegt. Werden sie überschritten, rütteln zu starke Kräfte an der Turbine — die Blätter arbeiten ungleich und das Risiko von Schäden an den Komponenten steigt.	
2	„Ertragsverluste und Reparaturkosten können Betreiber bei nicht festgestellten Rotorunwuchten teuer zu stehen kommen“, warnt Berlinwind-Geschäftsführer Michael Melsheimer. Bei den 250 untersuchten Turbinen senken die Unwuchten die jährliche Stromproduktion pro Anlage statistisch gesehen um durchschnittlich 1,5 Prozent. „Eine heute gängige Zwei-Megawatt-Anlage mit einer Jahresstromproduktion von etwa 4,5 Millionen Kilowattstunden würde bei einer solchen Ertragsminderung im Jahr mehr als 5000 Euro Einspeisevergütung verlieren“, erklärt Melsheimer.	„Ertragsverluste und Reparaturkosten können Betreiber bei nicht festgestellten Rotorunwuchten teuer zu stehen kommen“, warnt Berlinwind-Geschäftsführer Michael Melsheimer. Bei den untersuchten Turbinen senken die Unwuchten die jährliche Stromproduktion pro Anlage statistisch gesehen um durchschnittlich 1,5 Prozent. „Eine Zwei-Megawatt-Anlage mit einer Jahresstromproduktion von etwa 4,5 Millionen kWh würde bei einer solchen Ertragsminderung im Jahr mehr als 5.000 € Einspeisevergütung verlieren“, erklärt Melsheimer.	
3	Die Rotorblatt-Spezialisten der Hamburger Firma Windcomp berichten von ähnlichen Erfahrungen.	Christoph Lucks, Technikchef der Hamburger Servicefirma Windcomp, berichtet von ähnlichen Erfahrungen.	2
	„Zwei bis drei von zehn Anlagen weisen Blattwinkeldifferenzen von mehr als einem Grad, also deutliche Fehlstellungen auf. Dadurch drohen Ertragsausfälle von bis zu fünf Prozent“, sagt Windcomp-Technikchef Christoph Lucks. Er muss es wissen:	„Zwei bis drei von zehn Anlagen weisen Blattwinkeldifferenzen von mehr als einem Grad, also deutliche Fehlstellungen auf. Dadurch drohen Ertragsausfälle von bis zu fünf Prozent.“ Lucks kennt die Materie gut:	
	Seit 2010 hat der Experte weltweit 300 Rotoren vermessen.	Seit 2010 hat er weltweit bereits 300 Rotoren vermessen.	
4	Berlinwind bringt mir seiner neuen Rotorblatt-Statistik ein Thema ins Spiel, das die Branche	Die Rotorblatt-Spezialisten thematisieren ein Problem, das die Branche bisher kaum beachtet	3

Abs	Neue Energie (9 / 2013)	Joule (11 / 2013)	Abs
	bisher kaum beachtet hat.	hat.	
	Die Industrie hat weitreichende Innovationen im Auge: Immer längere und leichtere Blätter sollen mehr Wind einfangen und die Kosten der Windenergie senken. Alltägliche Probleme kommen im Ringen um technologische Fortschritte jedoch oft zu kurz.	Die Industrie ist auf weitreichende Innovationen fokussiert: Immer längere und leichtere Blätter sollen mehr Wind einfangen und Windstrom rasch günstiger machen. Alltägliche Probleme kommen im Ringen um technische Fortschritte jedoch oft zu kurz.	
	„Es gibt bei den Rotorblättern noch viele Dinge, die man ansprechen könnte. Dazu zählt auch die Unwuchtproblematik“, sagt Wolfgang Holstein, Geschäftsführer der Firma HMS Sachverständige Berlin und stellvertretender Vorsitzender im Sachverständigenbeirat des Bundesverbands WindEnergie (BWE).	„Es gibt bei den Rotorblättern noch viele Dinge, die man ansprechen könnte. Dazu zählt auch die Unwuchtproblematik“, sagt Wolfgang Holstein, Geschäftsführer der Firma HMS Sachverständige Berlin.	
	<b>Schädliche Schwingungen</b>	<b>Schäden schon ab Werk</b>	
5	Die Experten unterscheiden zwei Unwuchttypen.	Zwei Typen von Unwucht sind den Experten bekannt.	4
	Die so genannte massenbedingte Unwucht resultiert aus einer ungleichen Massenverteilung im Rotor. Sie führt zu schädlichen umlaufenden Fliehkräften und erhöht die Schwingungen. Die schweren Rotorblätter ziehen dabei auf ihrer Umlaufbahn durch ihre größere Fliehkraft die Gondel bei jeder Umdrehung einmal nach Links und einmal nach rechts — die Gefahr von Rissen im Maschinenträger und im Fundament steigt mit zunehmender Betriebszeit.	Die sogenannte massenbedingte Unwucht resultiert aus einer ungleichen Massenverteilung im Rotor. Sie führt zu schädlichen umlaufenden Fliehkräften und erhöht die Schwingungen. Die schweren Rotorblätter ziehen dabei auf ihrer Umlaufbahn durch ihre größere Fliehkraft die Gondel bei jeder Umdrehung einmal nach links und einmal nach rechts — die Gefahr von Rissen im Maschinenträger und im Fundament steigt mit zunehmender Betriebszeit.	
6	Oft entstehen massenbedingte Unwuchten bereits bei der Flügelproduktion. „Jedes Rotorblatt ist aufgrund des noch immer hohen Handarbeitsanteils in der Fertigung ein Unikat“, erklärt Melsheimer. Auch der spätere Aufbau ist nicht unproblematisch: Werden Rotorblätter und Nabe zu einem neuen Bauteil verschraubt, können sich ebenfalls Geometriefehler einschleichen. Während des Betriebs drohen Erosion, Wassereinlagerung oder Blattreparaturen die Flügel zu verändern.	Oft entstehen massenbedingte Unwuchten bereits bei der Flügelproduktion. „Jedes Rotorblatt ist aufgrund des noch immer hohen Handarbeitsanteils in der Fertigung ein Unikat“, erklärt Melsheimer. Auch der spätere Aufbau ist nicht unproblematisch: Werden Rotorblätter und Nabe zu einem neuen Bauteil verschraubt, können sich ebenfalls Geometriefehler einschleichen. Während des Betriebs drohen Erosion, Wassereinlagerung oder Blattreparaturen die Flügel zu verändern.	
7	Aerodynamisch bedingte Unwuchten hingegen ergeben sich vor allem aus Blattwinkeldifferenzen. Sie entstehen etwa dann, wenn der Monteur die Blätter nicht richtig einstellt oder deren Steuerung gestört ist, Die so genannte Pitch-Regelung verändert den Druck des Winds auf den Rotor so, dass die Anlage stets bei optimaler Drehzahl läuft. Steht ein Flügel im falschen Winkel, müssen ihn die anderen mitziehen. Dabei entstehen Vibrationen, die an allen Turbinen-Komponenten zerren und deren Lebensdauer verringern können. „Multimegawattanlagen mit vielleicht einem 60 Tonnen schweren Rotor haben nicht selten gravierende aerodynamische Unwuchten durch Blattwinkeldifferenzen von bis zu sieben Grad.	Aerodynamisch bedingte Unwuchten hingegen ergeben sich vor allem aus Blattwinkeldifferenzen. Sie entstehen etwa dann, wenn der Monteur die Blätter nicht richtig einstellt oder deren Steuerung gestört ist. Die sogenannte Pitch-Regelung verändert den Druck des Winds auf den Rotor so, dass die Anlage stets bei optimaler Drehzahl läuft. Steht ein Flügel im falschen Winkel, müssen ihn die anderen mitziehen. Dabei entstehen Vibrationen, die an allen Turbinen-Komponenten zerren und deren Lebensdauer verringern können. „Multimegawattanlagen mit vielleicht einem 60 Tonnen schweren Rotor haben nicht selten gravierende aerodynamische Unwuchten durch Blattwinkeldifferenzen von bis zu sieben Grad.	5

Abs	Neue Energie (9 / 2013)	Joule (11 / 2013)	Abs
	Die potenzielle Nutzungsdauer der gesamten Anlage verkürzt sich in solchen Extremfällen drastisch auf unter zehn Jahre", erklärt Melsheimer. Der Rotorblatt-Statistik zufolge treten beide Unwuchtersachen gleich häufig auf. Ein Drittel der aus dem Takt geratenen Turbinen weist ein aerodynamisch bedingtes Problem auf, ein Drittel eine Massenunwucht und der Rest eine Kombination von beiden Phänomenen, bei der sich die schädlichen Effekte überlagern.	Die potenzielle Nutzungsdauer der gesamten Anlage verkürzt sich in solchen Extremfällen drastisch auf unter zehn Jahre", erklärt Melsheimer. Der Rotorblatt-Statistik zufolge treten beide Unwuchtersachen gleich häufig auf. Ein Drittel der aus dem Takt geratenen Turbinen weist ein aerodynamisch bedingtes Problem auf, ein Drittel eine Massenunwucht und der Rest eine Kombination von beiden Phänomenen, bei der sich die schädlichen Effekte überlagern.	
8	Probleme können sich relativ leicht einschleichen, <b>denn</b> bisher ist die Branche nicht darauf eingestellt.	Viele Probleme blieben unbemerkt, <b>weil</b> die Branche kein Auge auf den Rotor hatte.	6
	Zwar fordern die europäischen Auslegungsnormen und -richtlinien Grenzwerte und deren Berücksichtigung bereits in der Auslegungssimulation für die gesamte Lebensdauer einer Turbine. Danach dürfen die drei Blätter nicht mehr als 0,5 Grad voneinander abweichen. Doch einen Nachweis durch Messung an der „realen Anlage“ vor Inbetriebnahme und während des Betriebs verlangen die Richtlinien nicht. Anfangs unsichtbar sind Unwuchten auch, weil die übliche elektronische Zustandsüberwachung für die einzelnen Turbinen-Komponenten Probleme nicht erkennt. „Die Sensoren von Condition-Monitoring-Systemen messen Turmschwingungen in der Regel erst ab einer Drehfrequenz von einem Hertz. Dann zeigen sich aber bereits größere Unwuchtprobleme in Gestalt häufiger Notabschaltungen der Anlage“, erklärt Melsheimer.	Zwar fordern die europäischen Auslegungsnormen und -richtlinien Grenzwerte und deren Berücksichtigung bereits in der Auslegungssimulation für die gesamte Lebensdauer einer Turbine. Danach dürfen die drei Blätter nicht mehr als 0,5 Grad voneinander abweichen. Doch einen Nachweis durch Messung an der „realen Anlage“ vor Inbetriebnahme und während des Betriebs verlangen die Richtlinien nicht. Anfangs unsichtbar sind Unwuchten auch, weil die übliche elektronische Zustandsüberwachung für die einzelnen Turbinen-Komponenten Probleme nicht erkennt. „Die Sensoren von Condition-Monitoring-Systemen messen Turmschwingungen in der Regel erst ab einer Drehfrequenz von einem Hertz. Dann zeigen sich aber bereits größere Unwuchtprobleme in Gestalt häufiger Notabschaltungen der Anlage“, erklärt Melsheimer.	
	<b>Lohnt sich Prävention?</b>	<b>Überbewertetes Problem?</b>	
9	Er plädiert deshalb für regelmäßige vorbeugende Unwuchtprüfungen. „Sachverständige haben erkannt, dass unzulässige Unwuchten per Schwingungsmessung schon bei Inbetriebnahme gefunden werden können, also wenn Schäden noch vermeidbar sind“, so Melsheimer. Bei der Schwingungsmessung werden so genannte Beschleunigungssensoren am Maschinenträger in der Gondel angebracht. Sie sind empfindlich genug, um kleinste Unwuchten aufzuspüren. Rotorblatt-Reparateure beseitigen die Probleme, indem sie ausgleichende Gewichte in speziell dafür vorgesehene Flügelkammern einbringen.	Er plädiert deshalb für regelmäßige vorbeugende Unwuchtprüfungen. „Sachverständige haben erkannt, dass unzulässige Unwuchten per Schwingungsmessung schon bei Inbetriebnahme gefunden werden können, also wenn Schäden noch vermeidbar sind“, so Melsheimer. Bei der Schwingungsmessung werden sogenannte Beschleunigungssensoren am Maschinenträger in der Gondel angebracht. Sie sind empfindlich genug, um kleinste Unwuchten aufzuspüren. Rotorblatt-Reparateure beseitigen die Probleme, indem sie ausgleichende Gewichte in speziell dafür vorgesehene Flügelkammern einbringen.	7
	Bei der Blattwinkelprüfung hingegen wird für jedes Rotorblatt der aktuelle Blattwinkel gemessen, um relative Abweichungen der Flügel zueinander zu ermitteln. Neueste laserbasierte Verfahren tasten die Blattprofile ab, während die Anlage in Betrieb ist. So schmälert kein analysebedingter Stillstand den Ertrag. Sind die	Bei der Blattwinkelprüfung hingegen wird für jedes Rotorblatt der aktuelle Blattwinkel gemessen, um relative Abweichungen der Flügel zueinander zu ermitteln. Neueste laserbasierte Verfahren tasten die Blattprofile ab, während die Anlage in Betrieb ist. So schmälert kein analysebedingter Stillstand den Ertrag. Sind die	8

Abs	Neue Energie (9 / 2013)	Joule (11 / 2013)	Abs
	<p>Blätter wegen Abweichungen neu einzustellen, muss die Turbine allerdings für die Nachjustierung angehalten werden. Dennoch lohnten sich die Maßnahmen, wie Melsheimer verspricht: „Betrachtet man als Fallstudie einen Park mit 100 Windturbinen der Zwei-Megawatt-Klasse und rechnet man mögliche Extragsausfälle durch Blattwinkelfehlstellungen bei zunehmender Unwucht in unsere Rotorblatt-Statistik ein, so ergibt sich: Periodisches Auswuchten im Falle der dem Branchendurchschnitt entsprechenden zwanzigjährigen Laufzeit der Anlagen bringt mindestens 17 Millionen Euro geldwerten Vorteil.“</p>	<p>Blätter wegen Abweichungen neu einzustellen, muss die Turbine allerdings für die Nachjustierung angehalten werden. Dennoch lohnten sich die Maßnahmen, wie Melsheimer verspricht: „Betrachtet man als Fallstudie einen Park mit 100 Windturbinen der Zwei-Megawatt-Klasse und rechnet man mögliche Ertragsausfälle durch Blattwinkelfehlstellungen bei zunehmender Unwucht in unsere Rotorblatt-Statistik ein, so ergibt sich: Periodisches Auswuchten im Falle der dem Branchendurchschnitt entsprechenden zwanzigjährigen Laufzeit der Anlagen bringt mindestens 17 Mio. € geldwerten Vorteil.“</p>	
10	<p>Unabhängige Sachverständige und Betreiber halten regelmäßige präventive Checks und Auswuchtungen jedoch für übertrieben. „Unwuchtmessungen machen nur Sinn, wenn die Anlage neu ist oder es einen berechtigten Anlass dafür gibt. Das kann zum Beispiel nach einer Blattreparatur sein, um sicherzustellen, dass die Massenunwucht-Grenzwerte des Herstellers nicht überschritten wurden“, erklärt der Berliner Sachverständige Wolfgang Holstein. Zur Relevanz der Unwuchtproblematik sagt er, sie sei ein wichtiger, aber derzeit nicht der entscheidende Punkt bei den Rotorblättern. „Was in diesem Bereich vor allem fehlt, ist eine brancheneinheitliche Definition von Schadensklassen, mit deren Hilfe Betreiber Rotorschäden und deren Folgen besser abschätzen können. „Führen Klebefalten, Spalten oder Wellen im textilen Gewebe von Blättern zu Totalversagen oder sind sie eher kosmetisch? Diese Fragen müssen vorab geklärt werden“, fordert Holstein. Der Husumer Sachverständige Sven Andresen vom Ingenieurbüro Andresen teilt die Einschätzung: „Wenn man das Gefühl hat, dass eine Maschine schaukelt, sollte man der Ursache auf jeden Fall auf den Grund gehen. Darüber hinaus gehende Messungen halte ich für überflüssig.“</p>	<p>Unabhängige Sachverständige und Betreiber halten regelmäßige präventive Checks und Auswuchtungen jedoch für übertrieben. „Unwuchtmessungen machen nur Sinn, wenn die Anlage neu ist oder es einen berechtigten Anlass dafür gibt. Das kann zum Beispiel nach einer Blattreparatur sein, um sicherzustellen, dass die Massenunwucht-Grenzwerte des Herstellers nicht überschritten wurden“, erklärt der Berliner Sachverständige Wolfgang Holstein. Zur Relevanz der Unwuchtproblematik sagt er, sie sei ein wichtiger, aber derzeit nicht der entscheidende Punkt bei den Rotorblättern. „Was in diesem Bereich vor allem fehlt, ist eine brancheneinheitliche Definition von Schadensklassen, mit deren Hilfe Betreiber Rotorschäden und deren Folgen besser abschätzen können. „Führen Klebefalten, Spalten oder Wellen im textilen Gewebe von Blättern zu Totalversagen oder sind sie eher kosmetisch? Diese Fragen müssen vorab geklärt werden“, fordert Holstein.</p>	
11	<p>Die Turbinenbetreiber fassen es noch deutlicher:</p>	<p>Die Turbinenbetreiber fassen es noch deutlicher zusammen:</p>	9
	<p>„Die Messspezialisten achten sehr auf ihre Arbeitsbeschaffung“, sagt Dieter Fries, Vorsitzender des BWE-Betreiberbeirats.</p>	<p>„Die Messspezialisten achten sehr auf ihre Arbeitsbeschaffung“, sagt Dieter Fries, Vorsitzender des Betreiberbeirats im Bundesverband WindEnergie.</p>	
	<p>Bei älteren Anlagen sei das Unwuchtthema wenig relevant, denn es ließen sich keine Auffälligkeiten beobachten. „Die Rotorblätter der Anlagen bis zu 600 Kilowatt Leistung sehen nach 18 Jahren noch gut aus.“ Besser achten müsse man hingegen auf</p>	<p>Bei älteren Anlagen sei das Unwuchtthema wenig relevant, denn es ließen sich keine Auffälligkeiten beobachten. „Die Rotorblätter der Anlagen bis zu 600 kW Leistung sehen nach 18 Jahren noch gut aus.“ Besser achten müsse man hingegen auf</p>	

Abs	Neue Energie (9 / 2013)	Joule (11 / 2013)	Abs
	<p>Blätter ab 80 Meter Durchmesser, wie sie in modernen Maschinen der Megawattklasse eingesetzt werden. „Je länger die Flügel werden, desto stärker können sich Unwuchten ausprägen“, so Fries. Regelmäßige präventive Messungen hält er jedoch auch bei diesen Anlagen für übertrieben. „Es reicht aus, wenn ein unabhängiger Sachverständiger im Rahmen der wiederkehrenden Prüfung die Windmühle im Betrieb überprüft. Schon am Vergleich parallel stehender Anlagen lassen sich Abweichungen feststellen.“ Fries' BWE-Stellvertreter und Enercon-Experte Ulf Winkler ergänzt: „Teure Messtechnik war und ist nicht nötig. Fehler kann man auch durch Beobachtung von unten und Fotos erkennen.“</p>	<p>Blätter ab 80 m Durchmesser, wie sie in modernen Maschinen der Megawattklasse eingesetzt werden. „Je länger die Flügel werden, desto stärker können sich Unwuchten ausprägen“, so Fries. Regelmäßige präventive Messungen hält er jedoch auch bei diesen Anlagen für übertrieben. „Es reicht aus, wenn ein unabhängiger Sachverständiger im Rahmen der wiederkehrenden Prüfung die Windmühle im Betrieb überprüft.“</p>	
	<p>Für Dienstleister wie Berlinwind wird es schwer, die <b>Betreiber</b> zu überzeugen.</p>	<p>Für Dienstleister wie Berlinwind wird es schwer, die <b>Branche</b> zu überzeugen.</p>	