

»Retrofit« für Windenergieanlagen

Windenergieanlagen im Leistungsbereich von 200 bis 600 kW erreichen derzeit ihre Designlebensdauer von 20 Jahren. Die Frage einer Lebensdauerverlängerung wird üblicherweise im Rahmen von Gutachten beantwortet. Das exakte Potential kann damit nur unzureichend erfasst werden. Intelligentes Monitoring bietet da einen wertvollen Beitrag zur Lebensdauerverlängerung auf Basis von messtechnisch erfassten Ermüdungsbeanspruchungen.

Onshore-Windenergieanlagen werden im Regelfall für eine Lebensdauer von 20 Jahren ausgelegt. Für die baurechtliche Nachweisführung werden die DIBt-Richtlinie »Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung«, aktuelle Eurocode-Normen und ergänzend GL-Richtlinien herangezogen. Die Ermittlung der Beanspruchungen aus dem Wind basiert dabei auf sogenannten WEA-Klassen (Tabelle 1), was einer Einteilung in Referenzstandorte entspricht. Das ermöglicht das Design der WEA und die Erteilung von Typenzertifikaten, ohne die tatsächlichen Einwirkungen zu kennen, die sich in den einzelnen Windparks deutlich unterscheiden.

Im Zuge der Projektierung von Windparks sind dann die vorherrschenden

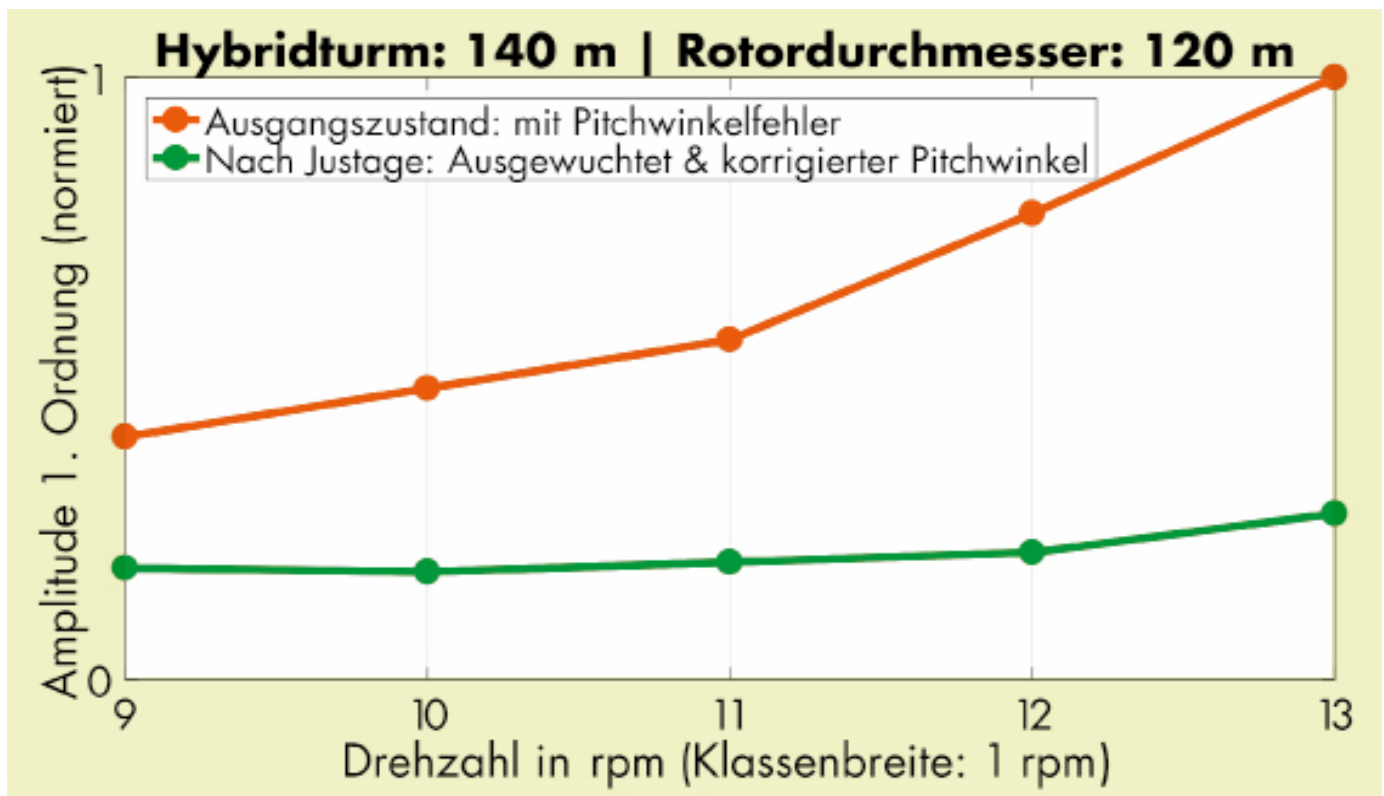
Windbedingungen zu bestimmen und eine geeignete WEA entsprechend der Windklassen auszuwählen.

Nach Ablauf der Entwurfslebensdauer stellt sich – sofern die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen gegeben sind – hingegen die Frage, ob die WEA die in der Auslegung berücksichtigten Lasten wirklich erfahren hat und sicher weiterbetrieben werden kann: Sind durch günstige Windverhältnisse oder Betriebsweisen eventuell Reserven in der Lebensdauer vorhanden oder ist der Weiterbetrieb durch extreme Windbedingungen nicht mehr gefahrungsfrei?

Eine solche Beurteilung erfolgt unter anderem auf Basis der in der DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen sowie in den GL-Richtlinien für den Weiterbetrieb von

WEA (Ausgaben 2009 und 2016) festgelegten Anforderungen. Aktuell werden von Sachverständigen Gutachten für den Weiterbetrieb für Windenergieanlagen erstellt, die zwischen 1995 bis 2000 errichtet worden sind. Es handelt sich dabei meist um kleinere Anlagen mit Nennleistungen im Bereich von 200 bis 600 kW. Demnächst erreichen dann auch die ersten Turbinen der MW-Klasse das Ende der Entwurfslebensdauer.

Die Beurteilung, welche Beanspruchungen eine WEA am Standort erlebt hat, erfolgt bisher meist auf Basis von benachbarten metrologischen Messstationen (Daten des DWD, Flughäfen, etc.) sowie – sofern vorhanden – auf Basis von SCADA-Daten der Turbinen (Windgeschwindigkeit, eingespeiste elektrische Energie). Diese



Durch korrekte Pitchwinkleinstellungen und Auswuchten des Rotors können Schwingungsamplituden signifikant reduziert werden.

GRAFIK: WÖLFEL ENGINEERING

Informationen werden mit den Design-Annahmen verglichen und bewertet.

Wie in der Designphase werden demnach mittlere Umgebungs- und Betriebsdaten herangezogen, um die bisher aufgetretenen Lasten einer bestimmten WEA abzuschätzen. Es ist jedoch bekannt, dass die jeweilige Betriebsweise der WEA einen großen Einfluss auf die Strukturschwingungen und damit die Lebensdauer hat. Beispielsweise führen bereits geringe Abweichungen der Pitchwinkel zu signifikant höheren Turm- und Gondelschwingungen. Von unabhängigen Sachverständigen durchgeführte Messungen bestätigen dies und zeigen, dass durch korrekte Pitchwinkeleinstellungen und Auswuchten des Rotors die Schwingungsamplituden signifikant reduziert werden können – durchaus auf die Hälfte im Vergleich zum Zustand vor der Blattjustage und dem Wuchten, siehe Abbildung. Dies führt zu einer drastischen Reduktion der Ermüdungsbeanspruchungen, da diese Amplitudenunterschiede exponentiell in die Lebensdauerbewertung eingehen. Umgekehrt gilt dies natürlich ebenso: Ist das Schwingungsniveau durch einen mangelhaften Wuchtzustand des Rotors oder sonstige Einflüsse erhöht, sinkt die Lebensdauer dramatisch (Tabelle 2). Bereits eine geringfügige Erhöhung des Schwingungsniveaus von 100 % auf 120 % erhöht die rechnerische Schädigungswirkung um zusätzlich 149 % (bei einer Wöhlerliniensteigung von $m=5$) und reduziert damit die verbleibende Lebensdauer (antiproportional zur Schädigung) erheblich.

Dieses Beispiel zeigt sehr deutlich, dass eine Lebensdauerbeurteilung allein auf Basis von Windgeschwindigkeiten und eingespeisten Energiemengen nur orientierend sein kann und kritisch zu hinterfragen ist. Eine ingenieurtechnisch belastbare Bewertung des Lebensdauerverbrauchs von Turmstrukturen sollte daher die tatsächlichen Materialbeanspruchungen berücksichtigen. Dies setzt die individuelle Erfassung der Ermüdungsbeanspruchungen für die zu bewertende WEA voraus.

Durch die Integration von Sensorik bzw. einem Monitoring-System im Turmkopf sind die Turmschwingungen wirklichkeitsgetreu und dauerhaft erfassbar. Ein wesentliches Ergebnis ist, dass erhöhte und ungewöhnlich starke Turmschwingungen jederzeit erkannt werden. In der VDI-Richtlinie 3434, Blatt 1 bzw. der ISO-Norm 10816, Teil 21 sind entsprechende Schwellenwerte aufgeführt, bei deren Überschreitung Warnungen und Alarmer an

Tabelle 1: Windklassen, Bezugswindgeschwindigkeiten und Jahresmittel der Windgeschwindigkeit (aus GL 2010)

WEA-Klasse	I	II	III	S
(m/s)	50	42,5	37,5	Werte sind vom Hersteller anzugeben.
(m/s)	10	8,5	7,5	

Tabelle 2: Zunahme der Schädigung in Abhängigkeit von Schwingamplituden

Schwingamplitude	Zunahme Schädigung	Zunahme Schädigung
	(Wöhlerliniensteigung $m=3$)	(Wöhlerliniensteigung $m=5$)
100 %	0 %	0 %
120 %	73 %	149 %
150 %	238 %	659 %

die Betreiber übermittelt werden können. Solche Ereignisse sollten Anlass sein, nach den Ursachen für die Schwingungen zu suchen und diese auf übliche Maße zu reduzieren.

Das von Wölfel entwickelte Monitoring-System SHM.Tower geht noch einen Schritt weiter: Durch intelligente, modellbasierte Auswerterroutinen auf Basis von probabilistischen Ansätzen sind direkte Aussagen zur Strukturbeanspruchung von Turm und Fundament möglich. Für jede einzelne Schweißnaht, jeden Flansch und jeden Bolzen kann so eine Aussage zur erlebten Ermüdungsbeanspruchung getroffen werden. Dies ermöglicht eine individuelle Lebensdauerbewertung auf Basis der Ermüdungsnachweise bestehender Normen und Regelwerke.

Im Idealzustand wird die verbrauchte Lebensdauer mittels eines solchen Monitoringsystems über alle Nutzungsphasen (Bau, Betriebsbeginn, Regelbetrieb, Ende der Entwurfslebensdauer) hinweg erfasst, so dass auch Extremlasten individuell und exakt berücksichtigt werden können. Und selbst der Einbau eines Monitoringsystems in den letzten Betriebsjahren liefert wichtige Erkenntnisse und ermöglicht signifikant bessere Lebensdauerbewertungen als die eingangs dargestellten Methoden aus der derzeitigen Praxis. Wird beispielsweise die Sensorik nach 17 Jahren Betriebsdauer in den Turmkopf eingebaut, können in den verbleibenden 3 Jahren genug Daten zur Erfassung der Beanspruchungen gesammelt werden. Statistisch basierte Extrapolationen erlauben so eine Bewertung über die gesamte Betriebsdauer von 20 Jahren. Exakt das gleiche Verfahren wird im Zuge des Designs von Windenergieanlagen angesetzt.

Von Wölfel analysierte Validierungsmessungen zeigen, wie zuverlässig das Konzept funktioniert. Dabei wurden WEA-Türme über mehrere Jahre überwacht. Es zeigte sich nicht nur, dass das intelligente Monitoring-System überaus valide Aussagen über die Ermüdungslasten macht. Vielmehr konnten bei speziellen Betriebsbedingungen extreme Schwingungsbeanspruchungen mit einem erheblichen Einfluss auf die Lebensdauer erfasst werden, die im Design nicht bzw. nur mit sehr geringen Zeitanteilen berücksichtigt werden. Ohne permanente Überwachung bleiben solche Zustände unerkannt und unberücksichtigt.

Monitoring-Systeme schließen somit jene Lücken während des Beurteilungsprozesses zum Weiterbetrieb von Windenergieanlagen, welche sich zwischen den real vorherrschenden Beanspruchungen und den bisher über metrologische Messstationen abgeleiteten und angesetzten Lasten ergeben. Sachverständige können auf Basis von real aufgetretenen Ermüdungslasten urteilen und genauere Aussagen zum Weiterbetrieb treffen. Neben einem gewünschten Weiterbetrieb an einem bestimmten Standort kann die individuelle Ermittlung der verbrauchten Lebensdauer auch einen Mehrwert beim Wiederverkauf bieten. Sofern die erfassten Beanspruchungskollektive niedriger als die angesetzten Designlasten liegen, was regelmäßig der Fall ist, erfährt ein 20 Jahre alter Turm ein instantanes und kostenfreies »Retrofit«.

Dr.-Ing. Carsten Ebert; Dr.-Ing. Manuel Eckstein

Wölfel Engineering GmbH + Co. KG,
Max-Planck-Straße 15
97204 Höchberg
Tel: 0931 49708-240
E-Mail: ebert@woelfel.de