

Ermittlung von Ermüdungslasten an großen Windenergieanlagen

Determination of Fatigue Loads on Large Wind Turbines

Erstes Gemeinschaftsforschungs-Projekt der VDMA IG WKA mit dem DEWI

Holger Söker, DEWI

Summary

Wind turbines show a potential for enhanced economy with growing size. Exploiting this potential forces design engineers to dimension wind turbine components closer to the limits. At the same time the present level of safety must be maintained. However, in practice the fatigue community has not quite cut the edge of the problem how to estimate fatigue loads conservative enough but yet allowing for cost effective design and rational use of materials. The discussion on that topic is reflected by the variety of load assumption techniques used throughout Europe. To foster the efforts of the German wind energy industry in developing economic and save MW-machines and at the same time promoting the discussion on harmonisation of design standards DEWI has started a research project on fatigue loads on large wind turbines. The project has been commissioned by the wind energy group of VDMA, the German association of machine builders and terotechnology. It comprises full scale fatigue load measurements on state of the art series produced wind power plants. The objective of the programme is to gain necessary knowledge about the nature of fatigue loads specifically on steel components such as wind turbine towers. The results are ment to be used in tuning the design strategies and effective standards in favour of more economic designs.

Der Windenergiemarkt fordert immer größere Anlagen. Damit einher geht die mögliche Verbesserung der Wirtschaftlichkeit moderner, größerer Windenergieanlagen (WEA), wie sie z.B. in [1] aufgezeigt wurde. Die Auslegungsphilosophie geht dabei weg von schweren Gondeln und Rotorblättern hin zum Leichtbau, um einerseits Material und Kosten einzusparen, und um andererseits die mit großen Massen verbundenen, deterministischen Ermüdungslasten zu reduzieren. Das bedeutet, daß die Bauteile moderner Windenergieanlagen sehr exakt auf die tatsächlichen Grenzkriterien hin dimensioniert werden müssen, ohne das bestehende Sicherheitsniveau zu verlassen. Um die diesbezüglichen Anstrengungen der Industrie zu unterstützen, ist das DEWI von der Interessengemeinschaft Windkraftanlagen im Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (IG WKA im VDMA) beauftragt worden, notwendige Informationen über die Natur der Ermüdungsbelastungen an Rotorblättern und Türmen von Mittel- und Großanlagen aus exemplarischen Untersuchungen zu ermitteln. Gefördert wird das Projekt jeweils zu gleichen Anteilen durch das Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) und der Forschungsvereinigung der Arbeitsgemeinschaft der eisen- und metallverarbeitenden Industrie (AVIF). Ein Punkt besonderer Aufmerksamkeit seitens des VDMA stellt in diesem Zusammenhang die Mitwirkung an der Weiterentwicklung nationaler, europäischer und internationaler Standardisierungs- und Zertifizierungsrichtlinien für WEA dar [2,3,4,5]. In der Interessengemeinschaft, die seit 1993 besteht, haben sich 10 WEA-Hersteller zusammengeschlossen, um Ihre Ziele durch eine gemeinsame Industrie-Interessenvertretung zielorientiert zu verfolgen. Neben der Schaffung akzeptabler Rahmenbedingungen für die Nutzung der Windenergie sieht der VDMA einen wichtigen Aufgabenschwerpunkt für die WEA-Industrie in der F&E-Förderung sowie der Durchführung von Gemeinschaftsforschungsprojekten.

Die Zielsetzung des Projektes umfaßt die meßtechnische Ermittlung der Ermüdungsbelastungen an Stahlbauteilen von großen Windenergieanlagen in Form von Betriebsbelastungskollektiven. Dabei ist eine Parameteruntersuchung der Einflüsse verschiedener Bau- und Regelungsarten auf diese Betriebsbelastungskollektive durchzuführen und schließlich aus den gewonnenen Erkenntnissen ein Vorschlag zur Verbesserung der Zulassungsrichtlinien für Windenergieanlagen zu formulieren. Darüberhinaus können die Meßdaten zur Verifizierung von Simulationsmodellen zur rechnerischen Ermittlung von Betriebsbelastungskollektiven herangezogen werden.

Ermüdungsbelastungen können für einige Stahlkomponenten von Windenergieanlagen dimensionierend sein. Ihre Charakteristika und der Weg, der zu beschreiten ist, um sie zu ermitteln, sind aber nichtsdestotrotz in der Fachwelt umstritten. Diese Tatsache spiegelt sich in den unterschiedlichen Anforderungen der europäischen Richtlinien für die Zertifizierung von Windenergieanlagen wider. Im Falle des Nachweises der Betriebsfestigkeit von Stahltürmen führt die derzeitige Praxis sogar dazu,

daß eine Windkraftanlage gleichen Typs in der Bundesrepublik Deutschland einen stärker dimensionierten Turm benötigt als im europäischen Ausland, wenn nach den sogenannten vereinfachten Betriebsbelastungskollektiven des Germanischen Lloyd (GL) oder des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) bemessen wird. Die genannten Lastannahmen scheinen eher konservativ zu sein. Neuere Messungen und Simulationsrechnungen an bereits aufgestellten Großanlagen führten jedoch dazu, daß im Juli '95 die Verwendung der vereinfachten Trapezkollektive nach der Richtlinie des GL/DIBt auf WEA mit Rotordurchmessern von weniger als 46m beschränkt wurde. Das wiederum legt die Annahme nahe, daß die betroffenen vereinfachten Lastannahmen die relevanten Mess- und Simulationsergebnisse nicht einschließen konnten, also nicht konservativ sind! Klärungsbedarf ist somit im Interesse aller Beteiligten dringend gegeben.

Im Rahmen des VDMA Gemeinschaftsforschungs-Projektes ist, neben den Untersuchungen am Rotor, vorgesehen, Messungen der Belastungen an den Stahltürmen von Windenergieanlagen verschiedenen Typs der Leistungsklasse um 500 kW durchzuführen.

Beim Teilprojekt "Betriebsbelastungskollektive des Turmes" werden zwei Wege parallel beschritten:

1.) Zeitreihenmessungen

Zeitreihen der zu messenden Belastungsgrößen werden für typische Betriebszustände während bestimmter Windgeschwindigkeiten und Turbulenzintensitäten aufgezeichnet. Mit Hilfe von Wind- und Betriebsstatistiken, wie sie in den Zulassungsrichtlinien beschrieben sind, können aus den gemessenen Zeitreihen Betriebsbelastungskollektive für die Lebensdauer der Anlage synthetisiert werden. Der Nachteil dieser Aufzeichnungsart ist, daß einerseits Extremzustände und Langzeiteinflüsse kaum bzw. nicht erfaßbar sind und somit nicht alle schädigenden Einflüsse aufgezeichnet werden können. Extremlasten, die aufgrund ihres seltenen Auftretens nicht ermüdungsrelevant sind, müssen rechnerisch bestimmt und nachträglich in das Betriebsbelastungskollektiv eingearbeitet werden.

2.) On-line Monitoring

Im zweiten eingesetzten Verfahren erfaßt ein sog. Lastkollektivsammler die Belastungsgrößen an der Meßstelle kontinuierlich und reduziert die Meßwertzeitreihe on-line mit der Rainflow-Zählmethode. Das Ergebnis dieser Operation ist eine sogenannte Übergangsmatrix, die eine Häufigkeitsverteilung der aufgetretenen Belastungszyklen darstellt. Wegen der Datenreduktion vor dem Abspeichern ist ein kontinuierlicher Meßbetrieb über sehr lange Zeiträume möglich (mehrere Wochen oder Monate). Das macht die Erfassung von extremen Betriebszuständen wahrscheinlicher. Langzeiteinflüsse werden automatisch berücksichtigt. Mit der Datenreduktion durch Rainflow-Zählung geht aber der Verlust des Zeitzusammenhangs der Meßwerte einher, d.h. einem bestimmten Belastungszyklus kann der genaue Zeitpunkt, an dem er stattgefunden hat, nicht mehr zugeordnet werden. Eine Korrelation der Belastung mit anderen Meßdaten, wie z.B. Winddaten oder andere Belastungsdaten ist dann nur noch statistisch für den gesamten betrachteten Meßzeitraum möglich. Echte Extrembelastungen (wie z.B. Jahrhundert-Bö) müssen nach wie vor extern berechnet und eingearbeitet werden. Der Lastkollektivsammler wird etwa einmal im Monat ausgelesen und die Daten sind mit den parallel dazu aufgezeichneten Meteorologie- und Betriebsstatistiken auszuwerten. Das geschilderte Verfahren erfordert einen kontinuierlichen, automatischen Betrieb der zu vermessenden Windenergieanlage mit 100%iger technischer Verfügbarkeit, um repräsentative Ergebnisse zu erhalten. Im Rahmen eines vor kurzem abgeschlossenen EU-Forschungsprojektes [6,7] hat das DEWI die Zuverlässigkeit der Meßmethode durch eine Meßkampagne mit Lastkollektivsammlern in einem Windpark unter Beweis gestellt. Diese Meßkampagne umfaßte neun Monate kontinuierlichen Meßbetrieb! Die Meßgeräte und der Zeitaufwand sind im Vergleich zu den Kosten installierter Großanlagen so gering, daß die Meßmethode, einmal verifiziert und standardisiert, eine interessante Alternative zur o.g. Zeitreihenmethode bei der Ermittlung von Ermüdungslasten an WEA sein kann.

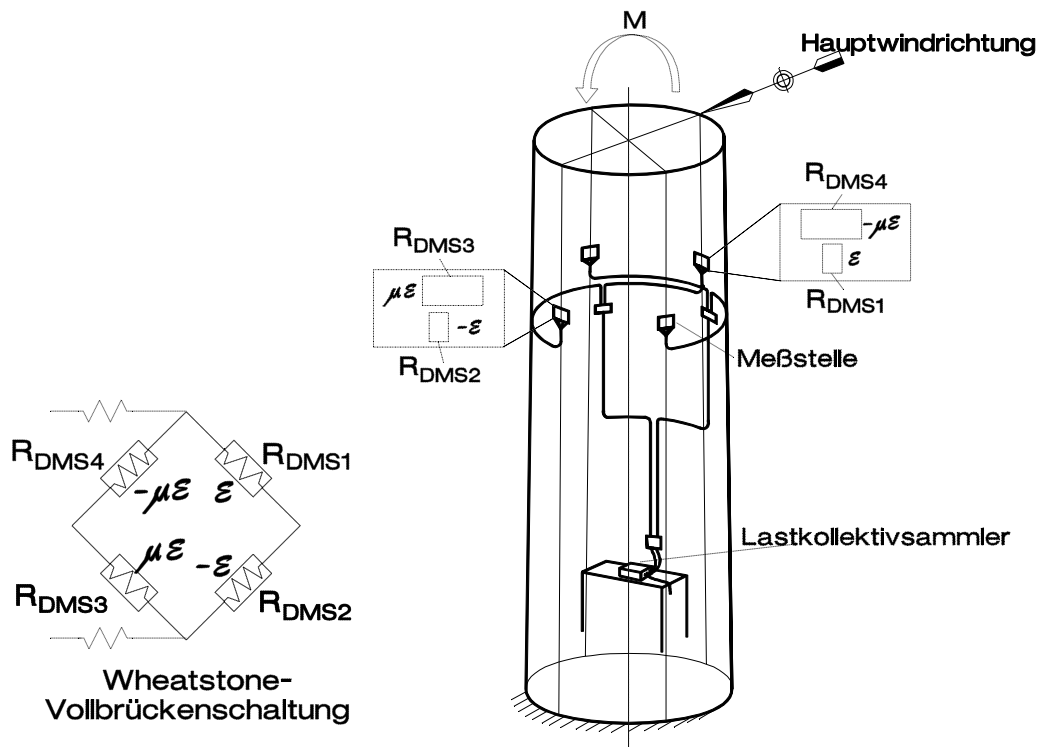


Abb. 1: Prinzip des Meßaufbaus zur Messung von Biegemomenten im Turm einer Windenergieanlage.

Fig. 1: Setup of the measurement system for measurements of tower bending moments in the wind turbine tower.

Vor Beginn der eigentlichen Projektarbeiten wurden prinzipielle Problemstellungen wie z.B. die der Temperaturdrift der Dehnungsmeßstellen (DMS) bei Sonneneinstrahlung auf den Stahlturm und die des sehr kleinen Nutzsignals untersucht. Die Beobachtungen zeigten, daß bei Auswahl einer adäquaten Verschaltung der Dehnungsmeßstreifen sowohl ein ausreichendes Nutzsignal als auch die für Langzeitmessungen notwendige Temperaturstabilität sichergestellt werden kann (siehe Abbildung). Die zunächst an einem Modell im Labor demonstrierte Meßtechnik wurde dann auf dem DEWI-Testfeld in einer Feldmessung im vollen Maßstab am Stahlturm einer 500kW-WEA verifiziert [6]. Derzeit sind im Rahmen des VDMA-Projektes zwei Stahltürme von WEA mit Meßstellen ausgerüstet und die Belastungsmessungen auf den Weg gebracht worden. Über den Projektumfang hinaus fließen die Meßdaten, nach Absprache mit der Projektgruppe, in weitere begleitende Grundlagenuntersuchungen ein. So wurde begonnen den Einfluß von Änderungen der Belastungsrichtung auf die gemessenen Betriebsbelastungskollektive zu ermitteln.

Die enge Zusammenarbeit zwischen DEWI und der IG WKA im VDMA gewährleistet eine zielgerichtete Forschungsarbeit und die direkte Umsetzung der Ergebnisse zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit großer WEA. Relevante Zulassungsstellen (GL, TÜV-Nord, DIBT, Prüfstatikbüros) und andere Know-How-Träger sind in die begleitende Projektgruppe integriert.

Nach Abschluß des Vorhabens werden die Ergebnisse in der Schriftenreihe "Forschungshefte Forschungskuratorium Maschinen" ausführlich dokumentiert und zusammenfassend auch in Fachzeitschriften publiziert. Ein Abschlußbericht wird in der Technischen Informationsbibliothek (TIB) der TU Hannover eingestellt werden und damit für die gesamte Fachwelt zugänglich gemacht. Über die laufenden Arbeiten und Zwischenergebnisse wird an dieser Stelle berichtet werden.

Literatur

- [1] Molly, J.-P.: Statistik spezifischer WKA Entwurfs- und Kostengrößen. DEWI Magazin Nr.2. S.19-26. Wilhelmshaven: DEWI, 1993.
- [2] Richtlinie für Windkraftanlagen. Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung. Deutsches Institut für Bautechnik (Hrsg.). Schriften des DIBt, Reihe B Heft 8, Fassung Juni 1993, Berlin
- [3] Richtlinie für die Zertifizierung von Windkraftanlagen: Vorschriften und Richtlinien: IV - Nichtmaritime technik, Teil 1 - Windenergie. Germanischer Lloyd (Hrsg.), Hamburg, Ausgabe 1993.
- [4] N.N.: Draft IEC 1400-1: Wind Turbine Generator Systems - Part I: Safety Requirements. Draft International Standard, Part1. IEC, Technical Commission TC88. Netherlands, June 1994.
- [5] Recommended Practices for Wind Turbine Testing and Evaluation: 3. Fatigue Loads: 2.
- [6] Seifert H.: Lasten sammeln an Ort und Stelle. DEWI Magazin Nr.7 S.74-79. Wilhelmshaven: DEWI, 1995.
- [7] Seifert H., Fragoulis A., Dahlberg J. Å.: Monitoring Fatigue Loads on Wind Turbine Rotor Blades: EWEC '94. European Wind Energy Conference, 10 - 14 Oct. 1994, Thessaloniki, Greece
- [8] Vionis P.; Söker H.; ea.: Fatigue Loads on Wind Turbine Rotor Blades: Effects of Wind Farm and Complex Terrain Operation: EWEC '94. European Wind Energy Conference, 10 - 14 Oct. 1994, Thessaloniki, Greece