Wie sicher steht Ihre Anlage da?

SHM.Tower® und SHM.Foundation®
Intelligente Systeme zur Früherkennung von Turm- und Fundamentschäden und für optimierten Weiterbetrieb

Wölfel

Gravierende Schäden und lange Ausfallzeiten aktiv verhindern

Wer sicher, kontinuierlich und effizient grüne Energie erzeugen will, braucht eine gute Basis. Im Fall von Windenergieanlagen (WEA) sind das Turm und Fundament. Die beiden Tragstrukturen sind für die Standsicherheit verantwortlich. Schäden sind damit in erster Linie natürlich ein großes Risiko für die Menschen im direkten Umfeld der Anlage. Werden sie nicht frühzeitig erkannt, drohen aber auch gravierende und kostenintensive Folgeschäden, aufwendige Instandsetzungen und lange Ausfallzeiten.

Um dem vorzubeugen, haben wir unsere Structural Health Monitoring-Systeme SHM.Tower und SHM.Foundation entwickelt. Über Veränderungen in den Struktureigenschaften (z. B. Eigenfrequenzen oder kompensierte Neigungswerte) können sie Schäden frühzeitig erkennen und kontinuierlich überwachen. Reparaturen und Service-Einsätze werden somit planbar. Zusätzlich geben die Systeme Auskunft über die verbrauchte Lebensdauer. Damit erfüllen sie gleich zwei wesentliche Anforderungen: Der Betreiber hat stets einen aktuellen Überblick über den gesamten Windpark und eine Grundlage zur Entscheidung über den Weiterbetrieb.

Die Funktionen von SHM.Tower und SHM.Foundation im Überblick

Am Symbol unter der Überschrift erkennen Sie, in welchem System die beschriebene Funktion integriert ist:

SHM.Foundation SHM.Tower

Schwingungsmonitoring ermöglicht proaktive Optimierung

Abhängig von Standort und Betriebsweise einer Windenergieanlage variiert die Schwingungsbeanspruchung – insbesondere des Turms – stark. SHM.Tower und SHM.Foundation erfassen diese Beanspruchungen über einen integrierten 3D-Beschleunigungssensor. Die gemittelten Beschleunigungsdaten (RMS-Werte) ermöglichen als Tages-, Monats- oder Jahresverläufe eine genaue Analyse sowie einen Abgleich mit den geltenden Normen (z. B. VDI 3834, ISO 10816-21). Spezielle Ereignisse wie Starkwind und deren Auswirkungen können identifiziert und als Zeitverläufe und Frequenzspektren genau untersucht werden. Die optionale Erfassung der Betriebs- und Umgebungsdaten wie Windgeschwindigkeit, Drehzahl, Leistung, Pitch- oder Azimutwinkel erlaubt eine Beurteilung und Optimierung der WEA-Betriebsweise vor dem Hintergrund dieser Anlagendaten.

Deutliche Verlängerung der WEA-Lebensdauer und optimierter Weiterbetrieb

Windenergieanlagen werden üblicherweise für eine Lebensdauer von 20 Jahren dimensioniert. Am Ende dieser Entwurfslebensdauer existiert aber häufig ein großes Potenzial für eine Laufzeitverlängerung. Die Entscheidung darüber erfolgt im Rahmen eines Weiterbetriebsgutachtens. Bisher basieren diese üblicherweise auf historischen Betriebs- und Winddaten sowie Turbulenzgutachten oder historischen

Ertragsdaten. Durch konservative Lastannahmen und die unzureichende Berücksichtigung der Windrichtung – und damit der Verteilung des Lebensdauerverbrauchs auf den gesamten Turmquerschnitt – wird das Potenzial für einen möglichst langen Weiterbetrieb jedoch oftmals unterschätzt.

Durch die Aufzeichnung von Schwingungsprofilen können SHM.Tower und SHM.Foundation die tatsächlich auftretenden und über den Turmquerschnitt verteilten Ermüdungslasten auf einfache Weise und mit einer hohen Genauigkeit ermitteln. Die integrierten Auswertealgorithmen verwenden dabei ein Berechnungsmodell, das im Vorfeld auf Ihre Anlage abgestimmt wird und den Einblick in die Belastungen der gesamten Turmstruktur erlaubt.

Mit dieser Methodik zur Lastrekonstruktion kann somit der exakte Lebensdauerverbrauch einer Windenergieanlage berechnet werden. Auch kritische Extrembedingungen werden direkt erfasst. Somit basiert die Lebensdauerprognose nicht mehr nur auf Annahmen. Die Weiterbetriebsdauer kann maximiert und das gesamte Ertragspotenzial erschlossen werden.

WINDGUARD Certification

Assessment Declaration

Begutachtungsbescheinigung der WindGuard Certification GmbH für die Berechnungsmethodik zur Lastermittlung an Türmen von Windenergieanlagen

SHM.Tower wurde bereits 2019 von der WindGuard Certification GmbH als Condition Monitoring-System zertifiziert. In 2020 ist auch die implementierte Methodik zur Lastrekonstruktion erfolgreich begutachtet worden. Es konnte nachgewiesen werden, dass SHM.Tower eine Lasterfassung mit einer sehr hohen Genauigkeit ermöglicht und sich daher sehr gut für den Einsatz im Rahmen von Weiterbetriebsgutachten eignet:

„Nachdem gezeigt werden konnte, dass die mit SHM.Tower aufgezeichneten Schwingungsprofile sehr gut die für eine Ermüdung relevante Systemdynamik abbilden, ergeben sich tatsächlich wertvolle Möglichkeiten zur Beurteilung der Weiterbetriebsfähigkeit bei modernen WEA. Zum einen können die aus Schwingungen abgeleiteten DELs zur Validierung und Optimierung des dynamischen Berechnungsmodells herangezogen werden, um damit konservative Sicherheitsfaktoren abzuschmelzen. Zum anderen kann durch die gemessene Lastverteilung im Turmquerschnitt die ermittelte Schädigung von Fundament und Turm reduziert werden. Daraus ergibt sich real eine deutliche Verlängerung des Lebensdauerhorizontes ohne Einbußen an Prognosesicherheit. Das haben wir im Gutachterverfahren nachgewiesen."

Frank Weise,
Geschäftsführer der WindGuard Certification GmbH

Einsparung und Optimierung von visuellen Inspektionen

Ohne ein geeignetes Monitoring-System können Schäden nur durch regelmäßige visuelle Inspektionen detektiert und überwacht werden. Diese sind in der Regel aufwändig und teuer. Das Monitoring von Größen wie Verschiebungen, Neigungen, Bauteilspannungen oder Frequenzen wird daher einhellig empfohlen und im Fall von Offshore-Windparks sogar vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) vorgeschrieben. In zahlreichen Projekten hat sich bisher allerdings nur die Überwachung von zehn Prozent aller Anlagen etabliert.

Da jede WEA individuelle Eigenschaften und Schäden aufweist, verfolgen wir einen umfassenderen Ansatz und empfehlen, alle Anlagen eines Windparks mit einem System zur Überwachung der Turm- und Fundamentstruktur auszurüsten.
In Offshore-Windparks statten wir in der Regel zehn Prozent der Turbinen zur Erfüllung der BSH-Auflagen mit dem umfassenden System SHM.Foundation individual und 90 Prozent der Turbinen mit dem kostengünstigen Standardsystem SHM.Foundation aus. Diese Kombination macht es möglich, von den bisher üblichen zeitbasierten Inspektionen auf zustandsbasierte Inspektionskonzepte umzustellen.

Identifizierung von schwarzen Schafen

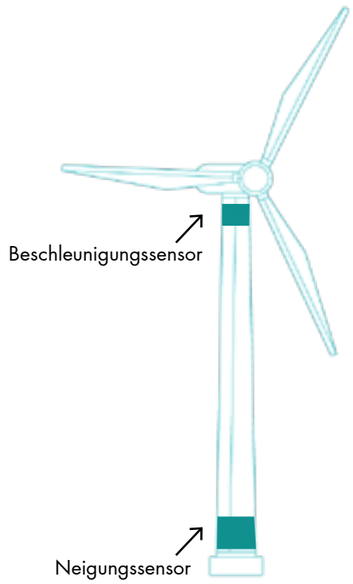
Der kontinuierliche Vergleich der aktuellen RMS-Werte mit den geltenden Normen – z. B. ISO 10816-21 und VDI 3834 – ermöglicht es, problematische Windenergieanlagen unter extremer Belastung sofort zu identifizieren. Der Betreiber wird alarmiert und kann entsprechende Gegenmaßnahmen einleiten.
Werden Grenzwerte dauerhaft überschritten, deutet dies auf einen fehlerhaften Zustand oder einen fehlerhaften Betrieb der WEA hin.

Monitoring von Fundamentschäden

Fundamentschäden machen zwar nur etwa zehn Prozent aller registrierten Schäden aus, sind dafür aber besonders kostenintensiv. Ob mangelhafte Gründungsstrukturen, eine Entkopplung von Fundament und Turm oder ein gelockertes Fundamenteinbauteil – durch Früherkennung und dauerhafte Überwachung mit SHM.Foundation stellen Sie sicher, dass keine gravierenden Folgeschäden und langen Ausfallzeiten entstehen. Zusätzlich ermöglicht das System objektbezogene Schadensanalysen und die kontinuierliche Bewertung des Schadensfortschritts (z. B. nach FGW TR 7 Rubring B3).

Einfache Installation – auch als Retrofit

Für die Überwachung benötigen wir nur wenige, kostengünstige Sensoren im gut zugänglichen Turm-Bereich (Offshore: TP-Bereich). Durch unser Virtual Sensor-Konzept auf Basis eines Digital Twins erhalten Sie trotzdem Informationen über die gesamte Tragstruktur. Im Fall von SHM.Foundation wird beispielsweise über einen Beschleunigungssensor im Turm die dynamische Bewegung der Turmstruktur erfasst, während ein Neigungssensor am Turmfuß die globale quasistatische Schiefstellung des Turms infolge eines schadhaften Fundaments detektiert und überwacht.

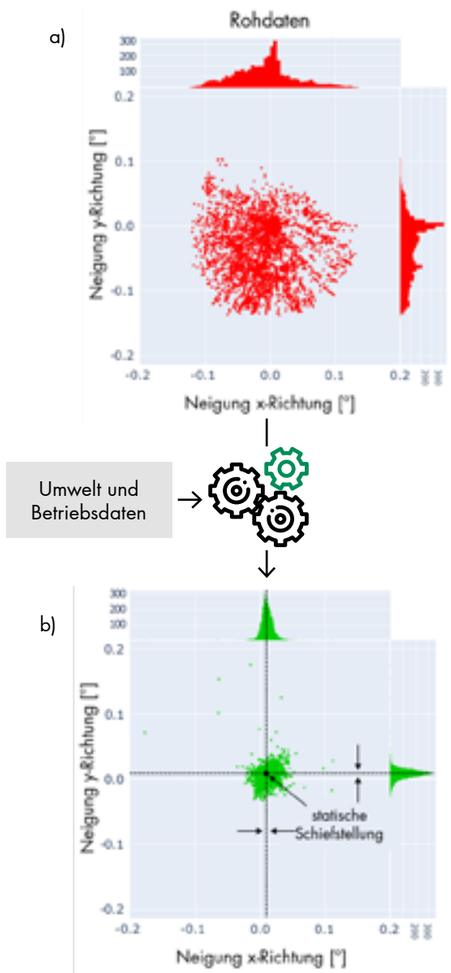


Zuverlässige Lösung für die Turm- und Fundamentüberwachung

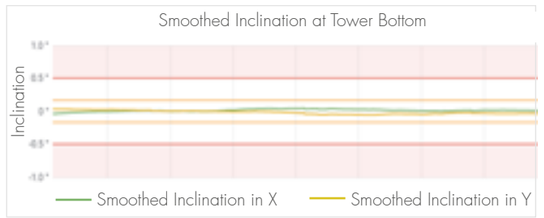
Einige Funktionen – insbesondere die Berechnung der verbrauchten Lebensdauer – entfalten ihre volle Wirkung natürlich am besten, wenn das System von Beginn an eingesetzt wird. Denn dann werden der Betriebszustand und die verbrauchte Lebensdauer über alle Nutzungsphasen hinweg exakt erfasst – durch den energieautarken Modus selbst während der Errichtung und bei Netzausfällen. SHM.Tower und SHM.Foundation können aber auch als Retrofit nachgerüstet werden. Obwohl die Schwingungen der ersten Betriebsjahre nicht vorliegen, werden im Vergleich zu den herkömmlichen Methoden signifikant verbesserte Lebensdauerbewertungen erzielt. Extrapolationen in Verbindung mit historischen Winddaten ermöglichen die Beurteilung über die gesamte Betriebsdauer hinweg. Nach dem ersten Weiterbetriebsgutachten können Sie die Restlebensdauer Ihrer WEA durch kontinuierliche Überwachung der Schwingungspegel und Lasten optimal begleiten.

Künstliche Intelligenz (KI) ermöglicht noch präzisere Ergebnisse

In der Basisversion wird der Einfluss der Temperatur auf die Neigung durch die Kompensation mit einem integrierten Temperatursensor ausgeglichen. Werden zudem die EOC-/SCADA-Daten erfasst, kann die Abhängigkeit des Schadensindikators (also des kompensierten Neigungswerts) gegenüber den Betriebsbedingungen erkannt werden. Durch eine optionale Funktionserweiterung kann der Einfluss der EOC-/SCADA-Daten mit Hilfe von KI-Methoden kompensiert und so die Genauigkeit weiter erhöht werden.



Strukturneigung ohne und mit Kompensation von Temperatur- und Betriebsbedingungen



Geglättete, resultierende Neigung am Turmfuß (Schadensindikator erlaubt Warning)

Monitoring Intelligence Center: Turning Data into Knowledge

Die von SHM.Tower und SHM.Foundation erhobenen Daten werden gemeinsam mit den optionalen Betriebs- und EOC-Daten direkt in unseren Monitoring Intelligence Centern MIC.Tower und MIC.Foundation ausgewertet beziehungsweise visualisiert. Aus dieser Datenflut werden alle wichtigen Indikatoren extrahiert und dem Anwender jederzeit übersichtlich aufbereitet zur Verfügung gestellt. Er kann auf den ersten Blick erkennen, ob Grenzwerte eingehalten werden, ob und wo ein Problem auftritt, was die Ursache hierfür sein kann und welche Maßnahmen einzuleiten sind, um den Fehler zu beheben oder ein Fortschreiten des Schadens zu verhindern.

Eventgesteuerte Benachrichtigungen und Alarme können individuell konfiguriert werden. Zusätzlich kann ein automatisiertes Reporting (optional mit Expertenbeurteilung) erfolgen, das auch behördliche Anforderungen erfüllt.

Die Sicherheit der sensiblen Messdaten steht dabei immer im Vordergrund. Durch ein Rechenzentrum in Deutschland, eine gesicherte Internetverbindung und ein dreistufiges User Management wird sichergestellt, dass nur berechtigte Personen Daten und Ergebnisse einsehen und Einstellungen vornehmen können. Ist eine Datenanbindung dennoch nicht gewünscht oder nicht möglich, können alle Monitoring- und Datensicherungsfunktionen auch auf einen zentralen Windparkserver ausgelagert werden.

Ganzheitlicher Ansatz: From the Bottom to the Tower to the Top

Standortunabhängig wird eine nachhaltige Senkung der Betriebskosten bei gleichzeitiger Steigerung der Erträge immer wichtiger. Um das Potenzial eines Windparks vollständig zu erschließen und die Effizienz langfristig sicherzustellen, ist daher eine ganzheitliche Überwachung der Anlagen sinnvoll. Kontaktieren Sie uns gerne für weitere Informationen rund um unser globales Structural Health Monitoring-Konzept und unsere Produkte zur Zustandsüberwachung des Blatts.

Mit dem Monitoring-System SHM.Foundation individual kann außerdem das Strukturverhalten Ihrer Windenergieanlagen und Umspannstationen richtlinienkonform erfasst, nachverfolgt und ausgewertet werden. Der Fokus liegt dabei auf der detaillierten Analyse von Maximal- und Ermüdungsbeanspruchungen, den einwirkenden Wind- und Wellenlasten, dem Tragwerkszustand und der sich daraus ergebenden Restlebensdauer sowie der Detektion von Korrosion und Kolkbildung. Sowohl bei der notwendigen Hardware als auch bei der Software zur Datenanalyse wird die Konfiguration von SHM.Foundation individual gezielt an Ihren Projektanforderungen ausgerichtet.

Die Vorteile von SHM.Tower und SHM.Foundation auf einen Blick

Mit unserer von der WindGuard Certification GmbH erfolgreich begutachteten Methodik zur Lastrekonstruktion fußt die Bewertung zum Weiterbetrieb der Anlage auf den tatsächlich auftretenden und über den Turmquerschnitt verteilten Ermüdungslasten. Damit kann der exakte Lebensdauerverbrauch berechnet und die WEA-Lebensdauer verlängert werden.

Mit SHM.Foundation und SHM.Tower können Sie Turm- und Fundamentschäden sicher und effizient detektieren und überwachen und so den Asset-Wert erhalten.

Problematische WEA unter extremer Belastung werden mit Hilfe des umfassenden Windfarmmonitorings sicher und effizient erkannt. Gegenmaßnahmen können eingeleitet werden, bevor Schäden entstehen.

Eine dauerhafte Überwachung ermöglicht es, Turbineneinstellungen und Betriebsweise kontinuierlich und proaktiv zu optimieren. Die erhobenen Daten sind außerdem Grundlage für eine fundierte Asset-Bewertung.

SHM.Foundation macht es möglich, von den bisher üblichen zeitbasierten Inspektionen auf zustandsbasierte Inspektionskonzepte umzustellen.

Was bewegt Wölfel?

Schwingungen, Strukturmechanik und Akustik – das ist die Welt von Wölfel. In dieser Welt sind wir die Experten. Sie ist unser Zuhause. Über 120 Mitarbeiter geben hier täglich ihr Bestes für die Zufriedenheit unserer Kunden. Seit mehr als vier Jahrzehnten unterstützen wir Sie weltweit mit Ingenieurleistungen und Produkten zur Analyse, Prognose und Lösung schwingungs- und schallinduzierter Aufgaben.

Sind Schwingungen wirklich überall? Ja! Darum brauchen wir ebenso vielfältige Lösungen! Ob als Ingenieurdienstleistung, als Produkt oder als Software – für jede Schwingungs- oder Lärmaufgabe gibt es eine spezifische Wölfel-Lösung, wie beispielsweise

- simulationsgestützte Auslegungen von Anlagen und Kraftwerken gegen Erdbeben
- Messungen der Schallemissionen von Windenergieanlagen
- universelle Mess-Systeme für Schall und Erschütterungen
- Lärmschutzgutachten und Schadstoffprognosen
- dynamische Insassen-Simulationen im Automobil und im Flugzeug
- und viele weitere branchenspezifische Wölfel-Lösungen …

Wölfel-Gruppe
Max-Planck-Straße 15 / 97204 Höchberg
Tel.: +49 931 49708 0 / Fax: +49 931 49708 150
info@woelfel.de / **www.woelfel.de**

WEA-01-DE-11-2020